

Capítulo 2

*Planeación del
Transporte
urbano.*

Planeación del Transporte urbano

La planificación de transporte se puede definir como la disciplina que permite anticipar situaciones futuras y plantear soluciones realizables y factibles. En teoría, busca por medio del análisis de la situación actual el obtener soluciones que logren un sistema de transporte que permita la movilidad y la accesibilidad de sus usuarios.

La formación de un sistema de transporte en México ha sido evolutiva, no el resultado de un plan maestro. El sistema con el que se cuenta actualmente es el producto de muchas decisiones individuales de construir o mejorar sus diferentes partes. La mayoría de estas instalaciones de transporte se seleccionaron para construirse o para remodelarse, debido a que los responsables llegaron a la conclusión de que el proyecto desembocaría en una mejora en general.

En México se ha omitido la importancia de formar cuadros de personas orientadas al estudio racional de la problemática del transporte y sus alternativas de solución. En virtud de ello es posible observar en no pocas ocasiones situaciones incongruentes, como la poca coordinación entre medios de transporte, el diseño de estaciones ajenas y hasta contrarias a la necesidad del usuario, localizadas en sitios que dificultan la solución a las necesidades de movilidad de la población.

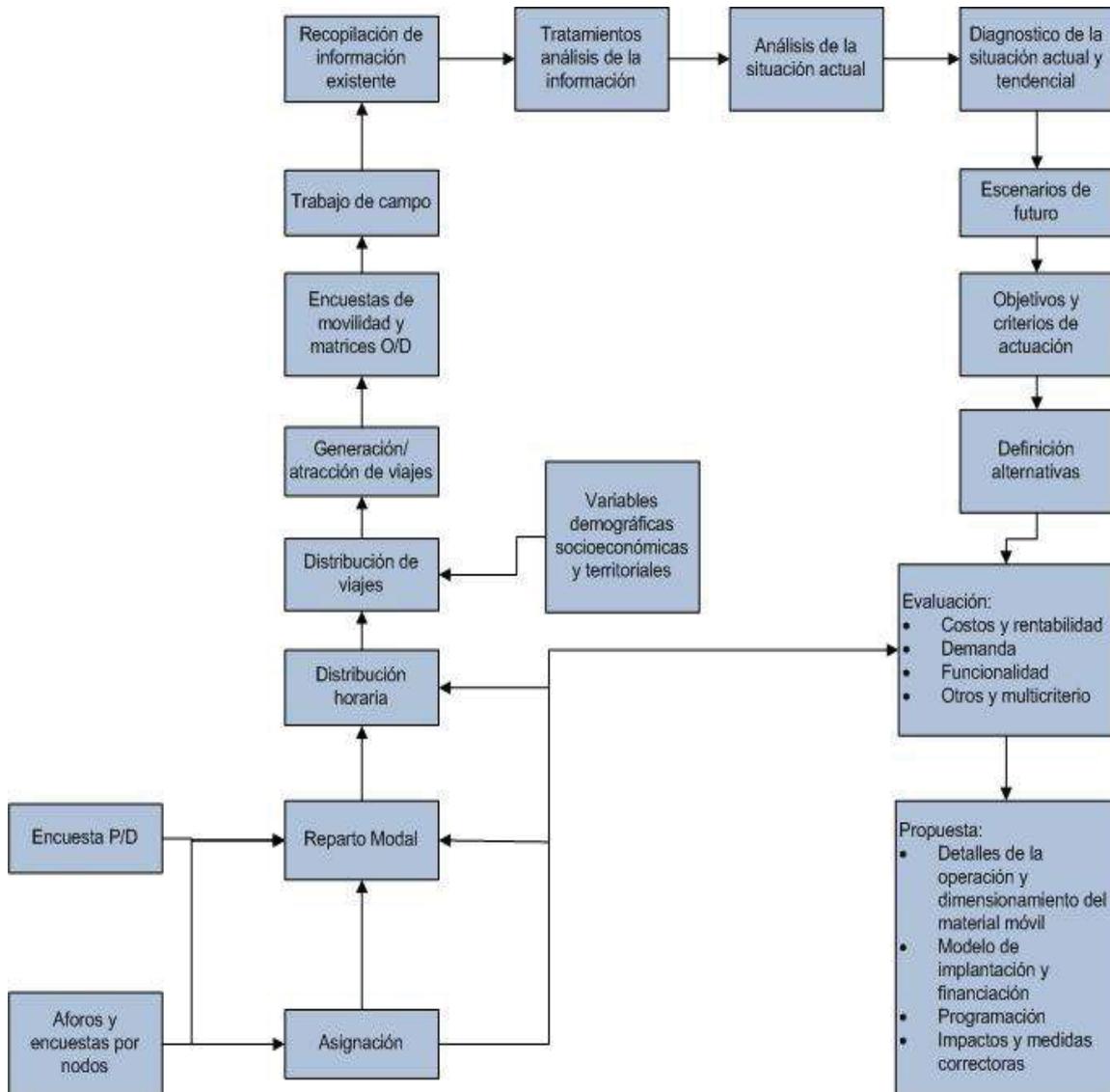
Para ello es necesario conocer el sistema y el comportamiento de sus elementos, para poder evaluar lo que está sucediendo, lo que puede ocurrir si se continúa con la misma tendencia, y lo que se puede lograr en el futuro al mejorar la situación presente.

El ejercicio de planeación permite a los administradores establecer prioridades de inversión y anticiparse a los requerimientos de la demanda de viajes, pues a la vez que cuantifica la demanda permite hacer estimaciones y pronósticos para proveer una oferta que satisfaga de manera armónica la demanda en los componentes de los sistemas de transporte.

La operación de un sistema de transporte será el conjunto de procesos y procedimientos que garantizan que el sistema de transporte preste un nivel de servicio mínimo.

La planeación tiene otro componente importante y complejo: el problema de pensar en el futuro, este problema generalmente se trata a través de escenarios. Los escenarios son alternativas de posibilidades de ocurrencias en el futuro por la incertidumbre total que uno tiene en cuanto a la previsión de las variables que intervienen en el problema.

Esquema detallado de una planificación general del transporte.



Fuente: Manual de tranvías, metros ligeros y sistemas en plataforma reservada. Clara Zamorano

Es necesario enfatizar en que la incertidumbre va a existir siempre, lo que se busca es disminuirla. La incertidumbre es tanto mayor cuanto mayor son los plazos u horizontes de planeación. No hay ninguna posibilidad de prever todas las variables que interfieren en el problema de transporte a largo plazo.

La actividad de la planeación del transporte público de personas no se puede aislar del contexto urbano en donde se desea implantar. Es necesario que en paralelo se aborden campañas para educar en vialidad a las personas, establecer

programas de capacitación para conductores y en general adoptar medidas enérgicas para disminuir los cada día más graves problemas de circulación y poder aprovechar la estructura urbana.

A la fecha, el automóvil ha demostrado poca eficiencia en cuanto a la relación espacio ocupado y contaminación generada por persona atendida, lo que nos obliga a controlar y limitar su proliferación, con medidas racionales para el uso en el área urbana que día con día se hace más escasa en espacios para acomodar tanto vehículo de transporte privado, lo que restringe, limita y socava el espacio peatonal y las áreas verdes tan necesarias para salvaguardar la salud física y mental de los habitantes. Y por el otro a considerar como alternativa viable para el futuro de los grandes asentamientos humanos el transporte público de personas, aun y con las limitaciones que implica para el ser humano que lo utiliza, ya que no es posible ajustarlo a cada particularidad, sino a una generalidad evaluada y jerarquizada para garantizar su éxito y la preferencia del usuario.

El hecho de que las personas que conviven en un asentamiento urbano pierdan de vista el enorme esfuerzo que es necesario conjuntar para suministrar a los habitantes un transporte público regular, oportuno, puntual, seguro, cómodo y económico, hace necesario documentar las características con que conviene dotar al Sistema de Transporte Público de Personas.

La planificación del transporte urbano incluye la evaluación y la selección de la infraestructura vial o de tránsito, que sirva a los usos de suelo presentes y futuros.

La planificación de transporte urbano se interesa en dos horizontes de tiempo. El primero hace énfasis en el corto plazo y selecciona proyectos que puedan implementarse dentro de un periodo de uno a tres años. Estos proyectos están diseñados para suministrar una mejor administración de las instalaciones existentes haciéndolas tan eficientes como sea posible. El segundo horizonte de tiempo tiene que ver con las necesidades de transporte a largo plazo de un área e identifica los proyectos que se van a construir en un periodo de 20 años.

Los proyectos a corto plazo incluyen programas como la sincronización de los semáforos de tránsito para mejorar el flujo, optimizar el uso de vehículos particulares para reducir congestiones, áreas de estacionamiento.

Los proyectos a largo plazo incluyen programas como la adición de nuevos elementos en las vialidades, líneas adicionales de autobuses o metro y uso exclusivo de carriles, sistema y ampliación de transporte rápido o vías de acceso para aeropuertos o centros comerciales.

2.1. El proceso de planeación de un sistema de transporte.

El énfasis en la planeación del transporte urbano ha cambiado en los últimos años. Los procedimientos anteriores estaban más involucrados en la provisión de oferta para satisfacer la demanda.

Las herramientas de planeación, especialmente los modelos matemáticos, también reflejaban este espíritu con la elaboración de modelos integrados de uso del suelo y de transporte y, con procedimientos de elaboración de planos muy caros y generalmente muy tardados.

Con la crisis económica y con la introducción de las computadoras personales se cambió el énfasis. Con la falta de recursos para obras, se dirigieron los esfuerzos a la búsqueda de alternativas de bajo costo para mejorar y operar mejor el sistema existente.

El proceso de planificación de los sistemas de transporte es un proceso racional, que trata de proporcionar información no sesgada acerca de los efectos que el proyecto de transporte propuesto ejercerá sobre la comunidad y sobre los usuarios esperados. La planeación del transporte busca optimizar los procesos de planificación, diseño y análisis. Debe ser comprendido como un conjunto de actividades relacionadas entre sí que tienen por objetivo mejorar la calidad de vida de los ciudadanos, específicamente en los aspectos relacionados al funcionamiento del sistema de transporte.

El proceso debe de ser lo suficiente flexible para ser aplicable a cualquier proyecto o sistema de transporte, este no está pensado para proporcionar una decisión o para dar un solo resultado que debe seguirse. En lugar de ello, el proceso está pensado para dar información apropiada a aquellos que tendrán la responsabilidad de decidir si el proyecto de transporte debe continuar.

La planificación del transporte se define como un proyecto que estudia demandas presentes y futuras de movilidad de personas y material. Estos proyectos están precedidos por estudios de movimientos y necesariamente involucran a los diferentes medios de transporte.

El uso de la palabra "proceso" indica que la planeación debe ser una actividad continua, que acompaña la evolución del sistema estudiado así como la naturaleza de sus problemas y de la eficacia de las soluciones adoptadas. Es fundamental

que la planeación sea conducida por un enfoque sistemático, considerando los componentes del sistema estudiado, las relaciones entre ellos y su comunicación con su ambiente interno.

La planificación es la fase fundamental del proceso de desarrollo y organización del transporte, pues es la que permite conocer los problemas, diseñar o crear soluciones y, en definitiva, optimizar y organizar los recursos para enfocarlos a atender la demanda de movilidad. En ella hay que destacar la importancia de asignar en los presupuestos los recursos.

El proceso de planificación del transporte comprende siete elementos básicos que están interrelacionados y que no necesariamente se desarrollan en forma secuencial. La información adquirida en una fase del proyecto puede ser útil para la alguna fase anterior o posterior de modo que hay una continuidad o un esfuerzo que finalmente conduce a una decisión. Tiene las siguientes etapas:

Definición de la situación: Incluye todas las actividades que se requieren para entender la situación que dio lugar a la necesidad percibida de una mejora al transporte. Recolecta una gran cantidad de información, para realizar un diagnóstico de la situación del sistema de transporte. En esta fase se describen los factores básicos que originaron la situación presente y se establece el alcance del sistema que se va a estudiar. Se analiza el sistema presente y se describen sus características. Se establece tanto el alcance del estudio como el dominio del sistema que se va a investigar.

Definición del problema: En esta etapa se describe el problema en términos de los objetivos que el proyecto debe alcanzar y traducir estos en criterios que puedan cuantificarse. Al estar determinados los objetivos, los planificadores saben hacia dónde dirigir el diseño de los planes y pueden evaluar la bondad de cada alternativa diseñada. Los objetivos son declaraciones de propósitos y los criterios son las medidas de efectividad que pueden usarse para estimar el desempeño que tendrá el proyecto de transporte propuesto, para alcanzar los objetivos que se propone. Deben identificarse las características de un sistema aceptable y observarse limitaciones y requerimientos específicos.

Búsqueda de soluciones: Se considera una variedad de ideas, de diseños, de ubicaciones y de configuraciones del sistema que puedan proporcionar soluciones al problema. Esta es la etapa de la lluvia de ideas. Entre las opciones que pueden emplearse están los diferentes tipos de tecnología del transporte o de vehículos, las diferentes disposiciones del sistema o de la red y los diferentes métodos de operación. Esta fase incluye los estudios preliminares de factibilidad.

Análisis del desempeño: El propósito de esta etapa es estimar como se comportaría cada una de las alternativas propuestas en las condiciones presentes y futuras. Este elemento incluye el uso de modelos matemáticos para estimar la demanda de viajes. Se determinan el número de personas o de vehículos que van a usar el sistema y estos resultados, expresados como vehículos o personas sirven como base para el diseño del proyecto. También se determinan otra información acerca del uso del sistema tal como la duración de los viajes en el día la ocupación de los vehículos, que se emplean para calcular los beneficios de los usuarios para diferentes criterios o medidas de efectividad. Es importante recalcar que para cumplir con un objetivo usualmente hay más de una alternativa que lo logra. Algunas veces a esta tarea se le denomina el proceso de planificación del transporte.

Evaluación de las alternativas: Su fin es que los tomadores de decisiones puedan escoger la más conveniente para la sociedad. La evaluación por lo general es multicriterio e incluye criterios tales como la evaluación económica y medidas de efectividad y de costo-efectividad⁴. Se usan los datos de desempeño producidos en la fase de análisis para calcular los beneficios y los costos que resultaran si se selecciona el proyecto. En los casos donde los beneficios no pueden reducirse a un valor monetario, pueden asignarse una jerarquía ponderada para cada alternativa y compararse con los otros proyectos propuestos. En situaciones complejas en las cuales hay muchos criterios, que se expresa tanto en términos monetarios como no monetarios, los resultados pueden mostrarse simplemente en una matriz costo-efectividad.

Selección del proyecto: La selección final del proyecto se hace después de considerar todos los factores que intervienen.: Se determina el orden en el cual van a ser implementadas las medidas así como el posible presupuesto que nos va a generar la obra en su puesta en marcha

Especificación y construcción: Una vez seleccionado el proyecto de transporte se comienza una fase detallada de diseño, en la cual se especifica cada uno de los componentes de la instalación. Para una instalación de transporte, esto incluye su ubicación física dimensionamiento, geometrías y la configuración estructural. Se hacen planos de diseño para que el contratista pueda usar para estimar el costo de construcción del proyecto. Cuando se adjudica el proyecto a una compañía constructora, estos planos serán la base sobre la cual se construya el

⁴ Las medidas de efectividad indican el grado en el cual una alternativa cumple con un objetivo. Las de costo-efectividad indican el grado en el que se cumple un objetivo por unidad monetaria.

proyecto. En esta etapa se hacen evaluaciones de la forma como han sido implementados los planes propuestos, con el objetivo de aprender para futuras rondas del proceso de planeación.

El proceso tradicional de planeación⁵



Fuente: "Ingeniería de tránsito y de carreteras", Nicholas J. Garber

Aun cuando técnicamente se requiere de un cúmulo de conocimientos y herramientas para efectuar la planeación del transporte, es un "arte" el encontrar el mejor diseño que tome en cuenta todas y cada una de sus múltiples y variadas circunstancias e instalaciones, lo que demanda enorme esfuerzo y gran dedicación para lograr que cumpla su función en forma eficiente.

La buena interpretación y el mejor manejo que se haga de todos estos eventos impactará en forma contundente sobre los resultados que se deriven de la implementación y operación futura del sistema de transporte. El escenario que nos ofrece la zona metropolitana de la Ciudad de México hace evidente que las circunstancias han rebasado a los proyectos, y es imperativo emprender acciones que permitan resolver los problemas resultantes; aquí trataremos de brindar opciones para trabajar el aspecto del transporte, lo que permitirá evitar el que las circunstancias lo minimicen y reduzcan, como a la fecha ocurre.

2.1.1 Causas de las fallas en la planeación

En algunas ciudades en los países en desarrollo, el nivel de congestión es exageradamente alto. La congestión se debe, entre otras cosas, a que los gobiernos planifican soluciones que rara vez logran mejorías importantes.

⁵ A este proceso de planeación se le ha dado el nombre de proceso tradicional de planeación del transporte

La planeación del transporte, por diversas razones, no es efectiva en muchas ciudades del tercer mundo. A continuación se presenta una lista de las supuestas causas que podrían intervenir en este problema:

- **Falta de capacidad de gestión:** Es probablemente la principal causa de las deficiencias en la planeación. Se puede definir como el conjunto de procedimientos, reglas de juego y equipo de personas que le permiten a una organización, pública o privada, llevar a cabo las labores asignadas eficientemente y efectivamente. La falta de capacidad de gestión se debe, principalmente, a la falta de suficiente personal calificado en áreas como la ingeniería de tráfico, de transporte y la planeación urbana y a que no hay herramientas como modelos y toma de información.
- **Técnicas inadecuadas para realizar los planes:** El esquema básico para el proceso de planeación, diseñado para los países desarrollados, no siempre es aplicable a los países en desarrollo.
- **Falta de una planeación permanente y continua:** La planificación del transporte se hace al comienzo del periodo de gobierno cuando hay que decidir los proyectos que se acometerán durante el mandato. Esta falta de continuidad hace que los problemas se acumulen y que las soluciones se puedan plantear cada cierto tiempo y no de forma permanente.
- **La baja capacidad de negociación de los planificadores:** Debido a la baja capacidad de gestión, los planificadores no tienen cómo enfrentarse con argumentos sólidos a los planteamientos de un nuevo gobierno cuando decide cambiar los proyectos en curso.
- **Falta de credibilidad en las instituciones de planeación del transporte y del uso del suelo:** La debilidad institucional tanto de las oficinas a cargo de la planificación del transporte como del uso del suelo se traduce en una falta de credibilidad.
- **Falta de realismo político:** En la planeación a mediano y largo plazo que se hace, en repetidas ocasiones falta realismo político. Se proponen proyectos que no van a tener aceptación de la ciudadanía o que a los próximos gobernantes les van a parecer innecesarios.
- **Falta de realismo presupuestal:** En la planeación a mediano y largo plazo falta realismo financiero ya que se proponen proyectos muy costosos, que las finanzas locales no son capaces de sostener.
- **Falta de información:** La información disponible en muchos países es deficiente, cubre algunas zonas de la ciudad o simplemente no existe. Inclusive estadísticas socio-económicas desagregadas al nivel requerido por los modelos de transporte pueden ser difíciles de encontrar. Mediciones

de velocidad, conteos de pasajeros y otras medidas de tráfico suelen ser aún más raras⁶.

2.1.2 Proyecciones

El acto de planear trae como consecuencia la necesidad de pensar en el futuro con toda la incertidumbre que esto pueda traer.

Esto hace que uno de los problemas más complejos de la planeación, sea el hacer proyecciones de variables socioeconómicas y, con esto, hacer posible la estimación de variables de comportamiento de los usuarios frente a los cambios.

En la planeación del transporte urbano esto es, sin embargo, más complejo pues resulta que no solamente se deben de estimar tasas de crecimiento generales, sino que se tienen que hacer hipótesis de su distribución en el espacio.

La calidad de las proyecciones por este factor, depende mucho de la calidad de la información disponible, del conocimiento que tenga el planeador del sistema, de la existencia y calidad de los planes de desarrollo urbano, del control del uso del suelo y, finalmente, de la estabilidad económica y política del país.

Se debe de tener un procedimiento para elaborar proyecciones y verificarlas periódicamente frente a nuevos factores no esperados y al conocimiento que el propio proceso de planeación trae como resultado.

2.1.3. Los instrumentos de análisis

La planeación de transporte fue una de las actividades que desde su inicio se benefició con la llegada de las computadoras. La necesidad de tratar de forma sistemática grandes volúmenes de información, representando en detalle áreas extensas y simulando el comportamiento de sistemas complejos, solamente pudo satisfacerse cuando la capacidad de manipulación de información y la realización de cálculos de las computadoras empezó a hacerse disponible.

Con el uso de las computadoras fue posible establecer una metodología de simulación de sistemas de transporte que se hizo clásica. No se trata de que el proceso de planeación por sí sólo dependa exclusivamente de las computadoras. En realidad, esto posee fases distintas, en las cuales el conocimiento del problema

⁶ Cuando se hace un plan maestro de transporte o planeación a largo plazo, la información requerida se recolecta como parte del estudio. Esta información, sin embargo, no siempre es útil en ejercicios posteriores de planificación, particularmente cuando los proyectos bajo estudio no hacen parte de los originalmente contemplados en el plan maestro

y la creatividad en la búsqueda de soluciones desempeñan papeles por lo menos tan importantes como el uso de la informática.

Sin embargo, la informática permitió la utilización, hasta entonces restringida, de uno de los elementos centrales en el análisis de sistemas complejos: el desarrollo y uso de modelos. En particular, en el caso de la planeación de transporte, modelos matemáticos de simulación de demanda y de representación de la oferta de transporte.

2.1.4. La Evaluación de Acciones

La evaluación de acciones involucra analizar su factibilidad técnica, socioeconómica, financiera y sus impactos ambientales y, someterla a un proceso de decisión que seleccione la alternativa deseable frente a los objetivos definidos para el estudio. Todo proyecto de inversión, como lo es el transporte, debe ofrecer al tomador de decisiones los análisis técnicos que justifiquen la elección.

Evaluación Técnica

La evaluación técnica empieza con la definición de los problemas que se quiere resolver (diagnóstico). Para cada uno de los problemas o, para un conjunto de ellos, son elaboradas alternativas de solución: puntuales, optimización de la utilización de la oferta de espacio vial, inversión en la expansión de la capacidad del sistema, etc. La evaluación técnica debe mostrar hasta qué punto cada una de las alternativas presentadas soluciona el problema identificado.

En muchas ocasiones la toma de decisiones para elegir un proyecto de esta naturaleza obedece más a intereses ya creados que a satisfacer los requerimientos de transporte de los habitantes del área urbana. En este sentido cabe señalar que los proyectos elegidos son justificados al arbitrio, mediante artificiosos mecanismos que los maquillan y distorsionan, pero que al ser analizados con rigor y detalle permiten detectar el cúmulo de incongruencias concatenadas necesarias para validar la toma de decisión.

Evaluación Económica y Financiera

La evaluación económica calcula los beneficios y los indicadores económicos de evaluación. La evaluación financiera evalúa las fuentes de recursos y la capacidad de pago del municipio en caso de préstamos para hacer la inversión. Un aspecto importante es que la evaluación debe empezar en cuanto estén identificados los problemas y las alternativas de solución. La evaluación tiene fases distintas de

precisión. Al inicio se tienen que eliminar las alternativas que claramente no son factibles. Esto se hace al nivel de ideas con costos y beneficios estimados de manera muy general. Si las alternativas propuestas no son factibles se buscan nuevas soluciones.

La evaluación económico-financiera de los proyectos de inversión en materia de transporte público deberá realizarse con la información actual, veraz y relevante; además, conviene tener en cuenta que sus resultados en términos monetarios muchas veces no satisfacen las expectativas del inversionista privado, especialmente cuando se requiere de cuantiosas obras de infraestructura vial para soportarlo. Es la administración pública quien debe afrontar estas circunstancias (financiar), debido a los beneficios colaterales derivados del funcionamiento del proyecto, en rubros tales como:

- Desarrollo Urbano
- Aprovechamiento de Infraestructura
- Apoyo a otros sectores de la economía
- Disminución en el nivel de contaminación
- Ahorro en horas hombre y energéticos, etcétera.

Desafortunadamente esto no es lo que se ve en la mayoría de los estudios y México no es una excepción. En muchas ocasiones incluso el proyecto ejecutivo ya está desarrollado antes de hacerse una evaluación. Con esto se procura forzar la aceptación de alternativas pues ya no hay tiempo de analizar otras soluciones o ya se hicieron muchos compromisos políticos. Con esto, suelen ejecutarse proyectos equivocados, como la construcción de vialidades con más carriles de los necesarios.

Esto naturalmente no es la decisión más justa ni la más acertada.

Evaluación de Impactos Ambientales

Con el exceso de contaminación en las ciudades, los impactos ambientales de las acciones de transporte revisten cada vez mayor importancia. Los impactos ambientales del transporte se relacionan con cuatro áreas principales:

- contaminación del aire
- contaminación por ruido
- deterioro del paisaje urbano
- creación de barreras artificiales al movimiento de las personas

La planeación debe mantener información sobre el monitoreo de estos factores e investigar medidas para mitigarlos.⁷

2.1.5 Presentación de los resultados

La presentación de los resultados debe ser siempre sintética con uso de recursos gráficos de fácil entendimiento. Los estudios deben tener siempre un reporte final consolidado, que usualmente se conoce como reporte ejecutivo.

2.1.6. La selección de alternativas

La selección de alternativas involucra por lo menos dos fases: la selección efectuada por los técnicos y, la selección final llevada a cabo por las personas que toman las decisiones.

Al terminar un estudio, los técnicos hacen una primera evaluación y recomiendan las acciones que creen las más convenientes entre las alternativas factibles. Las alternativas factibles deben ser presentadas a los tomadores de decisión. Estas últimas deben ser presentadas a los sectores que opinarán acerca de las decisiones en seminarios, reuniones técnicas, etc.

En México, los encargados de dicha decisión generalmente está restringido al poder ejecutivo y, algunas veces, a empresarios y transportistas. La forma de presentar el trabajo a estos sectores es esencial para la aceptación de los estudios y de las acciones planteadas.

2.2. Información para la Planeación del Transporte

2.2.1. Información Básica

Cartografía: La información inicial requiere que la planeación de transporte comience con una cartografía actualizada de la ciudad, de toda su área urbanizada, calles, áreas ocupadas, topografía, etc.

Una de las bases de datos disponibles es el sistema SCINCE del INEGI. La cartografía actualmente existente del INEGI tiene calidad variable de ciudad en ciudad, pero todos los archivos están siendo mejorados y la tendencia es tener, a lo largo del tiempo, cartografía de buena calidad. La cartografía del INEGI tiene escala 1:10,000 y no tiene detalles de banquetas, relieve y otros.

⁷“Criterios de Análisis del Impacto Ambiental en Estudios de Transporte Urbano”, Asesoría Técnica de la SEDESOL.

Un procedimiento que puede sugerirse para esta actualización, es la utilización de fotos de satélite para identificación preliminar de nuevos fraccionamientos. Las fotos de satélite pueden ofrecer una precisión de hasta una escala de 1:25,000. Esto puede no ser suficiente para la planeación, pero sirve para identificar modificaciones en la ocupación de espacios y nuevos fraccionamientos.

Series Temporales: Otra información básica importante son las series temporales de datos que influyen en la planeación del transporte; como los datos de población y empleo de los anuarios del INEGI.

Estructura Urbana: Otro aspecto muy importante para la planeación, es el entendimiento de la estructura urbana de la ciudad: las zonas de empleo, las zonas habitacionales y sus características socioeconómicas, los corredores viales, las áreas de expansión y, las barreras físicas al sistema de transporte y al desarrollo urbano.

Esta información debe considerar el uso del suelo y la función de la vialidad como espacio de comunicación entre las diferentes actividades urbanas. En la estructura urbana es importante tener claridad en la distribución de las actividades urbanas y la jerarquía vial que sirve a la comunicación entre dichas actividades.

Los Planos de Desarrollo Urbano: Los planos de desarrollo urbano son esenciales para hacer pronósticos y definir políticas de desarrollo del sistema de transporte urbano. El sector de planeación del transporte urbano no solamente debe conocer el plan de desarrollo urbano, sino participar en su elaboración y actualización. Se debe verificar siempre si los pronósticos realizados en la planeación del transporte urbano están de acuerdo con los planos de desarrollo urbano y qué efectos va a tener la aplicación de las políticas de transporte urbano en el desarrollo de la ciudad.

2.2.2. Información de la oferta de transporte

La oferta de transporte está relacionada con la vialidad y con los tipos de vehículos que utilizan esta vialidad. La capacidad del sistema de calles tiene como unidad básica un vehículo padrón que es el automóvil promedio del área de estudio.

Es la infraestructura que proporciona el servicio para el movimiento rápido de las personas en una región urbana. Una característica particular de la oferta de transporte es que se trata de un servicio y no de un bien. El servicio de transporte debe ser “consumido” en el mismo momento y sitio en que es “producido”, ya que

de lo contrario se pierde su beneficio. Por tal motivo, es muy importante que la oferta de transporte se adapte continuamente a la demanda.

Sistemas en vialidad aislada como lo son los metros, tranvías, al igual que los corredores exclusivos de autobuses, tienen su capacidad expresada en términos de pasajeros.

Así, para el caso de una empresa como sería el metro, que ofrece un servicio de transporte de pasajeros, la función de servicio estará dada por la cantidad de Trenes-kilómetro ofrecidos a determinada tarifa. Sin embargo, la cantidad de producto a ofrecer no sólo dependerá del precio del producto en el mercado, sino también de factores tales como el precio de los insumos y de la tecnología.

La oferta de transporte contempla un medio físico representado por la vialidad (elemento fijo), vehículos (elemento móvil) y reglas de operación. La información debe de contemplar todos estos factores.

El problema de que la infraestructura y los vehículos no pertenecen a un mismo grupo genera un conjunto complejo de interacciones entre autoridades gubernamentales, constructores, desarrolladores, operadores de transporte y usuarios.

Características Físicas de la Vialidad

La principal información referente a la oferta de transporte son las características físicas de la vialidad: longitud, ancho de calzada, número de carriles, ancho de banquetas y calidad del pavimento. Estos datos son necesarios para la vialidad primaria y secundaria.

Las medidas físicas de la vialidad son necesarias para definir datos de capacidad, velocidad y costos operacionales utilizados en los análisis de transporte. Los datos de ancho de banqueta son necesarios para analizar los problemas de seguridad y comodidad de los peatones. Estos muchas veces no son considerados en el proceso de planeación, pero la seguridad y el confort del peatón debe de ser objeto de todos los estudios.

Estacionamientos

Los datos de regulación y de estacionamiento deben de ser recabados y mantenidos por la autoridad de administración del tránsito, pero los encargados de

la planeación del transporte deben tener acceso a esta información y utilizarla como una de las variables de la planeación.

En México existe la costumbre de estacionarse en la calle y lo más cerca posible del destino. En muchos casos se sacrifica la capacidad vial para permitir el estacionamiento de coches en la calle. Esto tiene un costo muy alto y se deben de buscar soluciones para este problema. En todos los casos se puede calcular cuál es el costo de proveer estacionamiento y cobrar a los usuarios el costo debido.

Transporte Público

El planificador tiene que conocer el sistema de transporte con sus características operacionales más generales, tales como empresas, rutas, tipo y número de vehículos y frecuencia de las rutas. La conformación de las rutas define la cobertura. El tipo y número de vehículos y la frecuencia definen la oferta del transporte. Es importante también contar con información de terminales y puntos de transferencia.

Capacidad

A partir de las características físicas del sistema, se puede estimar la capacidad en cada uno de los tramos de la red. La capacidad se define como el volumen máximo que puede pasar por una sección determinada en un periodo de tiempo determinado.

Costos

Siempre hay un costo asociado a la oferta de transporte. Este costo es el representado para el usuario, compuesto de un costo monetario y del tiempo de viaje. El objetivo es siempre proveer el mejor servicio al menor costo

2.2.3. Información de la demanda de transporte

Esta etapa de la planeación del transporte permite obtener información de la demanda y del uso actual de los sistemas de transporte, que permiten por tanto establecer la base de los análisis de proyección futuros mediante los modelos y metodologías disponibles de la planeación.

La demanda de transporte es la representación del deseo de desplazamiento de una persona de un punto de origen a otro de destino. Así, estos puntos tienen una ubicación en el espacio.

Como es imposible la representación individualizada de la demanda, ésta se agrega en áreas. Lo interesante es que estas áreas sean una agregación de las unidades estadísticas que, en el caso de México, son las Áreas Geo estadísticas Básicas - AGEBs - definidas por el INEGI para todas las ciudades de México. La información debe ser definida para el sistema de zonificación adoptado.

En la actualidad, la información sobre el comportamiento humano en respuesta a cambios en el sistema de transporte se representa por medio de funciones de demanda. Con ellas se intenta predecir el comportamiento de un individuo o de un grupo de individuos ante situaciones cambiantes del sistema. Las decisiones de las personas sobre los viajes que deben efectuar como parte de sus actividades cotidianas conducen directamente a una “demanda” o un “deseo” de viajes.

La demanda de viajes dependerá del ingreso del viajero, mientras que la selección del modo de transporte queda sujeta a una serie de factores tales como el propósito del viaje, distancia por recorrer e ingreso del viajero.

En el caso del transporte una función de demanda muestra, un número de pasajeros deseando utilizar un servicio de transportación a los diferentes niveles de precios o tarifas entre un par origen y destino, para un viaje específico durante un periodo determinado.

Es indispensable disponer de información confiable y actualizada para el desarrollo de los modelos básicos de la planeación del transporte. La información requerida se presenta a continuación.

- **Usos del suelo y variables socioeconómicas:** se utilizan principalmente en el desarrollo del modelo de generación de viajes. Es importante contar con datos de estos parámetros para la situación actual, así como con pronósticos oficiales para los escenarios futuros que requieran ser analizados.
- **Red vial y de transporte público:** La red vial se encuentra representada por enlaces (arcos), que son representaciones esquemáticas de la infraestructura vial y de los itinerarios de las rutas de transporte público. Los nodos y arcos de la red vial esquemática representan las intersecciones y los tramos viales, respectivamente, de la infraestructura vial.
- **Condiciones físicas o geográficas:** Contempla la ayuda de accidentes geográficos que sirven de límites o barreras entre las zonas (hidrografía, topografía, vías, vías férreas, ríos, canales, barreras naturales, entre otros).

Criterios para el análisis de la demanda

Aun cuando en apariencia alguien pudiera imaginar que en los asentamientos humanos de cierta magnitud, por cualquier sitio en el que uno se asoma, existe una demanda grande de usuarios, la realidad ha hecho evidente que el desprecio y la arrogancia con que en algunos casos se considera este factor ocasiona la efímera aparición y cancelación de rutas. Por otra parte, la magnitud de la inversión efectuada en las obras de ingeniería que se encuentran subutilizadas, desperdiciadas o incluso abandonadas, trae como consecuencia que se observen imponentes monumentos a la ineptitud que se tratan de ocultar sin éxito, por lo que podemos justificar que los estudios se realicen con seriedad, lo que se asienta como mínimos a considerar durante el proceso de planeación de un Sistema de Transporte Público de Personas.

En aquellos casos en los que por distintas causas los objetivos no se alcanzan, es molesto por el impacto económico de tal erogación, aunado a una pobre o nula recuperación de la inversión en términos cualitativos, ya que en los más de los casos estas inversiones en términos financieros son deficitarias, su única justificación estará en función de la población servida.

La recomendación inicial es contar con un plano del área urbana que se pretende estudiar, que contenga:

- a. información de las reservas territoriales,
- b. zonas de influencia y, en general,
- c. toda la información relevante que pudiera impactar a futuro la conceptualización del diseño.

De esta base se extraen los datos en cuanto a:

- i)* Vialidad; localización de centros
- ii)* Industriales
- iii)* Empresariales.
- iv)* Comerciales.
- v)* Educativos
- vi)* Hospitalarios,
- vii)* De esparcimiento,
- viii)* Recreativos.
- ix)* Sociales,
- x)* Políticos,
- xi)* Jurídicos, etc.

Asimismo es imprescindible tener definidas en general las funciones urbanas (uso del suelo) de las distintas áreas, que en conjunto conforman la totalidad del espacio que se proyecta analizar, para establecer origen y destino tentativo de la ruta.

Además, es necesario obtener toda la información que exista sobre rutas de transporte en servicio, origen, destino, derrotero, frecuencia, cantidad, capacidad, horarios, etc. (estudios de campo).

Entonces es posible estimar el tamaño de la demanda en los distintos puntos del asentamiento humano, para diseñar una estrategia que permita corroborar la información obtenida en el gabinete, y en su caso detectar los errores u omisiones importantes que hubieran podido generarse durante su desarrollo, para corregirlos de inmediato.

La importancia de un estudio en detalle que permita estimar el tamaño de la demanda, radica en que de allí se derivarán en gran medida las acciones a realizar para satisfacer en forma adecuada, oportuna y regular el transporte de los usuarios, de acuerdo a las necesidades de los habitantes en un asentamiento humano. El tamaño de la demanda nos proporcionará la información relevante y de importancia para seleccionar el tipo y la forma de transporte más adecuado para satisfacer las necesidades de la población tanto en magnitud como en frecuencia y regularidad.

La regularidad, es un factor que reviste la mayor importancia al momento en que el usuario elige el medio de transporte. Es bien conocido que cuando una persona se organiza, éste es uno de los principales factores a considerar para la utilización de tal servicio, o en su caso, para sustituirlo por otro. Casos en que la frecuencia es espaciada, cuando se tiene la garantía de un servicio cíclico y puntual, los usuarios seleccionan esta alternativa y organizan sus actividades de acuerdo con la oferta de transporte, en los horarios que la empresa haya determinado convenientes y rentables. Si el estudio fue bien efectuado, existirá una estrecha correlación entre la frecuencia del servicio y las necesidades de los usuarios.

Análisis de la demanda

Uno de los aspectos de importancia dentro del análisis de la demanda es la localización geográfica. En todos los estudios de transporte, la región de estudio se divide en zonas geográficas, donde la población se considera parte de segmentos del mercado. En todo proceso de planeación de transporte hay dos etapas básicas:

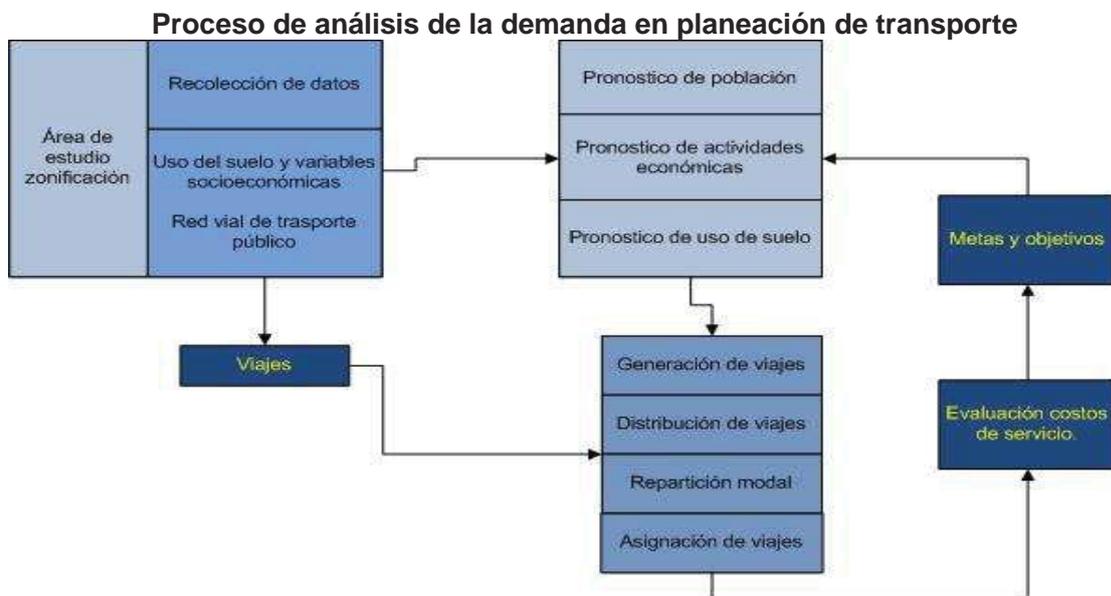
1. Establecer la demanda para un nivel y calidad de servicio dados.
2. Elaborar un plan de acción capaz de satisfacer esa demanda.⁸

Una de sus características económicas es que el viajero es visto como un consumidor que en realidad está seleccionando entre varias opciones para maximizar su utilidad, teniendo en mente varias restricciones que podrían ser decisivas en su elección. La primera de estas restricciones incluyen las cantidades límite de tiempo y de dinero del viajero.

Las técnicas disponibles en el campo de la planeación del transporte se encuentran enfocadas a escala urbana, regional o estatal.

Para el caso de los servicios de transporte, la demanda se considera como una demanda derivada. Esto es, el transporte es un servicio raramente demandado por sus propias características ya que usualmente se deriva de alguna otra función o necesidad. Cabe señalar que existe un supuesto muy importante en el análisis de la demanda de transporte, y que consiste en asumir que la demanda del mercado será el agregado de todas las demandas de los consumidores, y ésta será a su vez determinada por los mismos factores que afectan las demandas individuales.

A continuación, se presenta el proceso que se desarrolla para analizar la demanda en el proceso de la planeación del transporte



Fuente: "Elaboración propia con base en Manual de planeación y diseño para la administración del tránsito y el transporte Cal y Mayor"

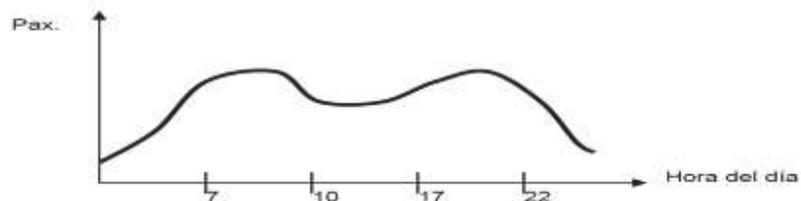
⁸ La primera etapa se encuentra enfocada a tener en cuenta el estudio de las necesidades, mientras que la segunda es un estudio de los medios

Variación de la demanda

La demanda puede variar de manera imprevista o aleatoria; no obstante, dado que la demanda de transporte depende de las actividades económicas que tienen un alto grado de rutina y repetición, puede existir cierta tendencia a mostrar un comportamiento cíclico más o menos estable.

Hay un patrón para la variación horaria durante el día, esto es, una demanda que al amanecer crece hasta alcanzar un máximo matutino (la "hora pico"), luego disminuye a medio día y vuelve a subir en la tarde, para reducirse conforme la población se retira a descansar durante la tarde y noche.

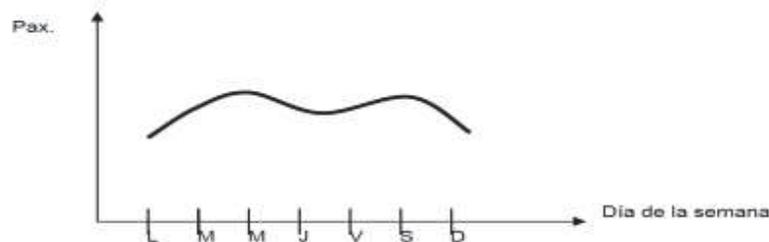
Variación horaria



Fuente: Estudio de la demanda de transporte, SCT

Similarmente, existe una variación en la demanda durante la semana: mientras que la demanda es normalmente baja los domingos, crece los lunes; se estabiliza los martes (de hecho el martes se toma como típico o promedio de la semana); puede bajar los miércoles o jueves; muestra picos y congestionamientos los viernes, para disminuir los sábados. Igualmente, la demanda puede variar según el sentido del viaje que se realiza.

Variación semanal



Fuente: Estudio de la demanda de transporte, SCT

Podemos concluir que si bien la demanda tiende a mostrar ciertos patrones estables, el nivel real que se presentará en un lugar y un momento específico dependerá de algunas circunstancias. Por ello, resulta necesario realizar una investigación y un monitoreo constante del comportamiento de la demanda, para

sustentar mejor las decisiones que se tomen con relación a la oferta que se debe proporcionar.

Factores que determinan la demanda de transporte

Las razones por las que la demanda será más o menos intensa en unas regiones o lugares, o en unos momentos más que en otros, son muy diversas, los principales son los siguientes:

- **El precio** Normalmente, el precio del servicio está inversamente relacionado con la cantidad demanda de viajes. Es decir, a menor precio, mayor cantidad de usuarios demandará el servicio de transporte ofrecido.
- **Los precios relativos de los diferentes modos de transporte o de servicios de transporte similares** La transferencia de pasaje entre los diferentes modos o compañías en el transporte de pasajeros se determina en gran parte por los niveles relativos de tarifas, así como del costo percibido por viajar.
- **Ingreso del pasajero** Si el ingreso de los habitantes de una cierta región se incrementa de manera evidente y no ocasional, la demanda de transporte aumentará (ya sea en cantidad de viajes, o cantidad de kilómetros), pues al tener más ingresos hay más posibilidades de comprar vehículos o realizar más viajes en el transporte público, en muchas ocasiones es el nivel socioeconómico del usuario lo que determina que tenga mayor actividad económica y social, además de más compromisos ineludibles.
- **Velocidad del servicio** Depende del valor del tiempo de los usuarios del servicio de transporte. Un menor tiempo requerido para realizar el servicio de traslado incentivará un mayor uso por los usuarios. Además, una mayor productividad mejorará la disponibilidad de los vehículos para satisfacer el incremento de la demanda sin la necesidad de adquirir vehículos adicionales.
- **Calidad del servicio** En muchas ocasiones no es el precio, sino la calidad del servicio que en general esté ofreciendo la empresa, lo que motiva que se acerquen más usuarios a solicitar su servicio. Los elementos que pueden entrar en consideración del usuario pueden ser muy variados.
- **Frecuencia del servicio.** Los tiempos de despacho o los tiempos de arribo deben ser aquellos que el cliente espera obtener.
- **Estándar del servicio.** La calidad de un servicio se determina por el mantenimiento de ciertos estándares o normas de desempeño que, como

meta mínima, serán fijados en función del tipo de servicio. De hecho, dichos estándares deben ser acordes con el nivel de vida de la mayoría, lo cual debe ser tomado en cuenta por la empresa, si realmente desean continuar con la atracción de demanda por sus servicios.

- **Comodidad.** Esto se refiere no sólo a los aspectos que frecuentemente se relacionan con el “confort” propiamente del viaje o del vehículo, tales como viajar sentado y con cierta amplitud, visibilidad, aire respirable, temperatura regulada, ascenso y descenso fácil, etcétera, sino con aspectos relacionados con el diseño de las rutas o de las instalaciones para la espera y acceso a los vehículos todo lo cual se traduce en un ahorro de esfuerzos y molestias para los usuarios.
- **Confiabilidad.** Una razón frecuente de la pérdida de usuarios en el transporte de pasajeros, es cuando se falla en llevar a los pasajeros a sus destinos, o al no realizar una conexión del servicio en el tiempo programado.
- **Seguridad.** Este es de suma importancia en el transporte y concierne tanto a los pasajeros y autoridades del Gobierno como a los proveedores del servicio. La publicidad adversa de accidentes reduce la demanda para un modo de transporte en particular, especialmente en el corto plazo.
- **La disponibilidad de las instalaciones y de los servicios de transporte,** denominados como la capacidad. Los viajeros son sensibles al nivel de servicio suministrado por los modos alternativos de transporte.

Patrones de demanda no influenciados por los operadores

- **Demanda en periodos de máxima demanda** se refiere a los lapsos en los cuales la demanda de servicios de transporte se concentra de manera especialmente importante por lo que incluso puede llegar a rebasar la capacidad de transporte ofrecida. Este fenómeno puede presentarse por hora del día, día de la semana, estaciones de mayor demanda durante el año, etc.
- **Cambios en los hábitos sociales** Los cambios en el patrón de los viajes de placer están fuera del control de los operadores de transporte.
- **Cambios en los precios y calidades de servicio de los competidores** La mejora en los servicios alternos, particularmente en la reducción de precios, puede significar cambios en la demanda en los servicios de un operador en particular.
- **Cambios en la distribución de la población** El cierre o generación de nuevos centros de atracción, y generadores de viajes (centros laborales,

comerciales, de vivienda, etc.) modificará el patrón de viajes de la zona en cuestión, alterando la demanda de los servicios de transporte

Por lo anterior, se dice que básicamente el operador intenta influenciar la demanda a través de las siguientes acciones.

1. Cambios en el precio para incentivar nuevos usuarios, o atraer usuarios de otros modos o atendidos por otros operadores. El objetivo de los operadores es maximizar sus ingresos y competir más efectivamente en el mercado.
2. Mejoramiento en la calidad del servicio en términos de: frecuencia, confiabilidad, comodidad, accesibilidad, velocidad, intervalos regulares.

2.3. Organización de la información

Cuando la ciudad dispone de estudios, en ocasiones resulta complicada la recuperación de la información de los mismos. Esto puede deberse a dos motivos:

- El municipio participa en el estudio de manera burocrática y, por lo tanto, no tiene conocimiento de los detalles del estudio, principalmente de la información recabada y de su calidad.
- Los resultados presentados en los reportes se basan en información procesada y tales resultados se muestran resumidos, sin presentar archivos con la información original junto con una evaluación de su calidad.

Esto hace que no se pueda tener un proceso de construcción del conocimiento. En cada estudio se recaba más información que se pierde en poco tiempo. Por lo tanto, la organización de la información es extremadamente importante, no sólo por los costos, sino por la precisión de los análisis y de la evaluación de las acciones.

2.3.1. El Diseño de las Bases de Datos

La organización de la información debe empezar con el diseño de la base de datos. Este diseño debe iniciar con la definición clara de los objetivos de dicha base: quiénes son los usuarios, sus necesidades y las fuentes de información de que se dispone. Con esto se puede definir una lista de la información existente y de la información deseable. En seguida se debe caracterizar la información existente en términos de forma de acopio, fuente, formatos, etc. Algunos datos van a estar ya procesados, pero otros van a estar en planos, tablas, reportes, etc.

Con esta información se pueden definir los componentes de la base de datos:

- Organización según asuntos
- Establecimiento de unidades geográficas de análisis
- Identificación de entes y atributos
- Identificación de los datos recopilados en trabajos de rutina como los aforos de tránsito para análisis de cruceros
- Identificación de los organismos más relacionados con cada uno de los datos
- Caracterización de entes y atributos
- Caracterización de las diferentes bases de datos del sistema
- Identificación de las condiciones y necesidades para organizar y sistematizar la información

Con estos datos se puede identificar la composición de cada una de las bases de datos, su responsable y las condiciones para tener acceso a tales datos.

2.3.2 El Problema de Mantenimiento de la Información

Uno de los problemas más críticos de los sistemas de información es cómo mantener los datos actualizados. Los organismos necesitan información rápida y actualizada y no pueden esperar los trámites con sistemas complejos de difícil acceso. Con esto, los organismos que participan en un sistema centralizado luego empiezan a trabajar con su propio sistema y se alejan del sistema central.

Lo mejor es identificar bien las responsabilidades y las rutinas de trabajo y acopio de información y tener bases de datos distribuidas de acuerdo a estas responsabilidades. Los organismos deben definir procedimientos de acceso a la información sin entrar por burocracias no necesarias.

2.3.3 Los Flujos de Información

La descentralización de las bases de datos tiene como fin básico establecer los flujos de la información, o sea, los caminos que debe recurrir la información para garantizar su acceso a todos los que la utilizan en su trabajo normal o en situaciones específicas.

Esto puede parecer simple pero es lo más complejo en el establecimiento de un sistema de información, pues involucra acuerdos, convenios, definición de rutinas y procedimientos de trabajo. La información es un instrumento importante del poder y, si las responsabilidades y obligaciones de cada uno de los componentes

del sistema no están bien claros, es difícil que se logre obtener un sistema eficiente.

2.3.4 Los Softwares Administradores de las Bases de Datos

Otra decisión compleja es qué software utilizar para administración de datos. Cada organismo puede tener su preferencia; ya puede estar utilizando algún software o tener alguna experiencia anterior que no fue muy positiva en algún experimento con formar una base de datos. Todos estos factores deben ser evaluados antes de una decisión.

Un aspecto importante es que el personal de informática debe participar de este proceso como asesoría técnica y no como tomador de decisión. Los usuarios deben tener la información suficiente para tomar la decisión.

El factor más importante no es tener un programa único sino tener una forma de comunicación entre ellos. Es claro que todo se facilita si todos trabajan con el mismo programa. Muchas veces es mejor empezar con el uso de programas más simples y emigrar para otros sistemas cuando se tenga un mejor conocimiento de los datos de que se dispone.

Por último se puede decidir investigar los sistemas de información geográfica. Estos sistemas combinan la información de ubicación de espacio geográfico con las bases de datos.

2.4. La aplicación de modelos matemáticos

El modelaje aplicado al análisis y a la planeación de transportes es una ciencia madurada. La riqueza metodológica vinculada a esta cuestión proviene de más de 30 años de investigación interdisciplinaria, abarcando conocimientos de ingeniería, economía, geografía, sociología, psicología, estadística, matemática aplicada, análisis de sistemas, etc. Como una ciencia con su madurez, la distancia entre la teoría y la práctica no es muy grande.

Los desarrollos teóricos más recientes son, en general, rápidamente involucrados en la estructura de las aplicaciones verificadas en la práctica, sin que el enfoque global sea cuestionado o ampliamente revisado.

2.4.1 Nociones iniciales para el modelaje

El modelaje para el planeación de transportes requiere el desarrollo de distintas actividades que la anteceden. Algunas de las más importantes son las siguientes:

- **Definición del Área de Estudio:** Esta es una actividad inicial del proceso de planeación. La definición precisa de la región que debe de ser estudiada es fundamental, puesto que resulta definitorio en la futura disponibilidad de los resultados, así como en la determinación de los recursos necesarios para el levantamiento de informaciones y, para el modelaje.
- **Zonificación del Área de Estudio:** La representación de la demanda, generalmente se hace a través de matrices conteniendo alguna medida de intensidad de la demanda por desplazamientos entre zonas de tráfico. Estas zonas representan agrupaciones espaciales de la multiplicidad de orígenes y destinos individuales de cada desplazamiento realizado en el sistema de transportes. La división del área de estudio en zonas debe intentar identificar regiones que presenten homogeneidad en relación a la demanda por transporte.
- **Elaboración de las Redes de Transportes:** La descripción de la oferta de transporte es elaborada a través de redes representadas por arcos y nudos. Los arcos corresponden a tramos de las calles o carreteras, vías de ferrocarril, de rutas de transporte colectivo por autobuses, metro, etc. Los nudos representan intersecciones de la vialidad.

2.4.2. Etapas del modelaje para la planeación de transporte

Desde los últimos 30 años se desarrolló y consolidó una metodología para elaborar un modelaje de la demanda por transporte, así como la oferta representada por sistemas de transporte.

El proceso de modelaje generalmente es tratado en cuatro etapas distintas:

- Generación de viajes o de la demanda
- Distribución de viajes o de la demanda
- División o selección modal
- Distribución a las redes de transportes.

Cada una de las etapas tiene un objetivo definido en la simulación del comportamiento de la demanda y abarca algunos tipos de modelos para desempeñar su función. El encadenamiento entre las etapas, la posible no consideración de algunas o la sustitución por procedimientos alternativos para

lograr los mismos resultados, dependen del objetivo de cada estudio, de la metodología adoptada y de las informaciones disponibles, entre otros factores.

2.4.3. Modelos de generación/atracción de viajes

Los modelos de generación y atracción constituyen la primera etapa del modelo clásico de estimaciones de demanda y tienen como objetivo determinar el número total de viajes generados y atraídos en cada zona de transporte considerada.

Estos modelos tienen como objeto establecer una función matemática que recoja los comportamientos que expliquen el volumen total de viajes en las diferentes zonas del área de estudio. Lógicamente, dicho volumen se debe explicar variables socioeconómicas de cada una de las zonas estableciéndose como variables explicativas las que más correlación tienen con la movilidad (y son fácilmente obtenibles y predecibles) como la población, plazas de empleo y de estudio, motorización, población en cada una de las zonas consideradas.

Lo anterior da lugar al uso de dos modelos de generación de viajes: de producción y de atracción. Además, hay dos enfoques en la construcción de modelos de generación de viajes: los agregados y los desagregados. Los primeros tienen como unidad de trabajo la zona; los segundos, el hogar. Los agregados tratan de relacionar el total de viajes generados en cada zona con las variables de la zona (población total en la zona, cantidad total de vehículos en la zona, etcétera). Los modelos desagregados tratan de encontrar la relación entre los viajes generados en los domicilios con características de los mismos (cantidad de personas en el domicilio, cantidad de vehículos en el domicilio, etcétera).

El análisis de generación de demanda o de viajes es especialmente importante, ya que en esta etapa de la elaboración de transportes se define la demanda total que debe ser atendida en los distintos años horizonte de un estudio. El objetivo de la aplicación de modelos de generación de la demanda es permitir la estimación, para cada año horizonte considerado, de las demandas totales producidas y atraídas por cada zona de tráfico del área de estudio y su entorno, en un determinado período de tiempo.

Los modelos de generación de demanda relacionan las variables que describen la población o actividad económica de cada zona y las que caracterizan su patrón de uso y ocupación del suelo, con el potencial de la zona como unidad productora (modelos de producción) y consumidora / atractiva (modelos de atracción) de viajes.

Entre las variables más comúnmente empleadas en los modelos de generación de viajes, como variables explicativas, son:

- Para modelos agregados, con origen en el hogar:
 1. Ingreso promedio por hogar, de los hogares asentados en la zona.
 2. Población o densidad de población de cada zona.
 3. Cantidad promedio de vehículos por hogar.
 4. Localización de cada zona.
 5. Tipificación o categorías de individuos u hogares, según su estrato socioeconómico.
- Para modelos agregados, con origen distinto al hogar:
 1. Cantidad de empleados por categoría de empleo, por tipo de uso del suelo y por la zona.
 2. La matrícula escolar por zona.
 3. La cantidad de servicios por zona.

Para la obtención del modelo de generación de viajes se propone el siguiente proceso resumido. Cabe notar que los pasos de este proceso son similares a los aplicables en los modelos de distribución de viajes y selección modal.

1. **Definir las variables que desde el punto de vista técnico:** se piensa pueden explicar el fenómeno en cuestión. Además, debe procurarse que tales variables sean congruentes con los postulados teóricos de los restantes modelos y sus resultados. Especial atención deberá ponerse en que las variables seleccionadas se agreguen al modelo si cumplen tres condiciones como mínimo:
 - Que tal variable es la que más contribuye a la significancia global del modelo
 - Es la que tiene el menor esfuerzo para su correcto pronóstico
 - Es la variable con mayor grado de precisión en tales pronósticos.

2. **Ensayar diferentes modelos:** esto es, estructuras matemáticas o conjuntos de ellas. En particular, deberán intentarse relaciones lineales y no-lineales, y diferentes métodos de combinaciones de ellas. Además, es factible que sea necesario hacer agregar información o incluso usar otras fuentes de información. En el primer caso, se sumarían los datos de varias zonas y así crear datos para una sola zona, o se cambiaría la zonificación si lo permite la información disponible. En el segundo caso, de búsqueda de fuentes alternas de información, puede resultar conveniente cuando haya motivos para pensar que determinada estructura matemática respondería (calibraría) mejor la información más confiable.
3. **Seleccionar** aquel modelo que tenga las mejores características de confiabilidad estadística, en los términos señalados anteriormente.
4. **Verificar la validez de los resultados del modelo:** tanto en relación con los datos de partida, como en cuanto a otras fuentes. También es del todo conveniente aplicar el modelo construido a una muestra reducida de zonas de las que se tengan estimaciones actuales de los volúmenes de viajes generados.
5. **El pronóstico de las variables exógenas:** consiste en que una vez calibrado, validado y aceptado un modelo, se procederá a "explotarlo", para lo cual es necesario un pronóstico de las variables involucradas en el modelo seleccionado. Además, en forma paralela al proceso de construcción del modelo, habrá que desarrollar un pronóstico de la estructura urbana, por preliminar que sea, de tal suerte que sirva de base para el pronóstico en el tiempo y el espacio de las variables exógenas mismas.
6. **Aplicar el modelo calibrado y validado:** suministrarle las variables exógenas para calcular viajes futuros. Esto puede hacerse considerando tendencias distintas en las variables exógenas, por ejemplo: calcular la generación de viajes que tendría lugar bajo tendencias pesimistas, como serían, máximas tasas de crecimiento de la población, desequilibrios en la economía regional o nacional, reflejados en el nivel de ingreso familiar, etcétera. Entonces, la generación de viajes pronosticada respondería al "escenario" de planeación seleccionado. A priori, se aconseja tener sólo tres tipos de escenarios: tendencia baja, alta, e intermedia; o pesimista, optimista y normal.

7. **Revisar los pronósticos realizados en la generación de viajes:** se debe tener especial referencia a ciertos indicadores demográficos (como en el caso de la población), urbanísticos (como en el caso de la densidad de viajes, y la densidad vehicular asociada a ella), o económicos (como podría ser la cantidad de recursos necesarios para el transporte).

Es habitual adoptar una forma función lineal en cada uno de los modelos a estimar, siendo su expresión genérica analítica como sigue:

$$G_i = \sum_1^N \theta_i * X_i$$
$$A_j = \sum_1^N \theta_j^A * X_j$$

Dónde:

G_i y A_j representan el número total de viajes generados y atraídos en cada una de las zonas para cada motivo.

- θ_i y θ_j son los parámetros desconocidos de las funciones de generación y atracción respectivamente,

- X_i y X_j recogen el valor de las variables socioeconómicas en cada zona de generación y atracción.

- "N" es el número total de zonas en el área de estudio.

Las variables que explican mejor, en general la generación de viajes son la población total.

2.4.4. Modelos de distribución.

Después de que la generación de los viajes ha sido resuelta, el siguiente punto es distribuir esos viajes. El número total de viajes pueden estimarse pero la cuestión es cómo se distribuyen entre los destinos posibles.

Para una región con muchas zonas, la base de datos y la cantidad de cálculos es bastante extensa. Es por eso que este método sólo se puede aplicar haciendo uso de la computadora. La distancia puede ser tomada como una línea recta de una zona a otra, o puede considerarse la distancia real, tiempo de viaje, o algún compuesto de ambos

El objetivo de los modelos de distribución es, una vez estimados los volúmenes totales de viajes generados y atraídos en cada zona de viaje, establecer el flujo de dicho volumen de demanda.

La información del modelo se obtiene a partir del modelo de generación-atracción (los volúmenes totales de viajes) y de una función entre las zonas de origen y destino de los viajes que se hace depender de los costos o tiempo generalizados de viaje.

La expresión es la siguiente

$$V_{ij} = k \frac{G_j^\alpha A_j^\beta}{C G_{ij}^\gamma}$$

En donde:

-" V_{ij} " es el flujo de viajes entre la zona de generación i y la zona de atracción j .

-" G_i " es el número de viajes generados en la zona i .

-" A_j " es el número de viajes atraídos por la zona j .

-" $C G_{ij}$ " es el coste generalizado de la relación entre la zona de generación i y la zona de atracción j .

-" k " es la constante del modelo, mientras que los parámetros " α, β, γ " son las elasticidades de las variables independientes anteriores.

Para poder llevar a cabo la estimación de los diferentes parámetros que afectan a cada una de las variables mencionadas anteriormente, se especifica un modelo lineal mediante la transformación logarítmica. De esta forma se consigue.

- Aumentar la sencillez operativa del modelo sin perder capacidad explicativa del mismo.
- Los valores estimados, para los parámetros que intervienen como exponentes en la formulación, se corresponden con el valor de la elasticidad de la variable explicativa y la variable dependiente correspondiente (es decir, indican la variación de la variable dependiente frente a un cambio unitario en la variable independiente)

Cabe señalar que el producto de la fase de distribución de viajes es la matriz de viajes; esto es, la tabla de los viajes que se observarán entre los diferentes orígenes y destinos

2.4.5. Modelos de reparto modal.

Donde existe más de un modo de transporte disponible, es importante distribuir los viajes generados en la etapa anterior. En general, los dos parámetros principales que determinan la elección del modo son la calidad de servicio y el costo. La calidad de servicio es principalmente un asunto del tiempo de transporte.

Sabiendo algo acerca de la distribución de los ingresos de la población que usa transporte público es posible hacer estimados de cómo se articulan los diferentes modos de transporte.

Este modelo es de gran aplicación. Sin embargo, es el que ha tenido menos uso en la planeación del transporte.

Este modelo constituye la tercera etapa que consagra al reparto entre los diferentes modos privados y públicos. Los factores que configuran al grado de satisfacción de los pasajeros se pueden clasificar en:

- Disponibilidad
- Intervalo de paso
- Puntualidad
- Velocidad comercial o tiempo de viaje
- Comodidad
- Seguridad
- Disponibilidad de estacionamientos
- Necesidad o no de transbordo
- Precio del viaje
- Accesibilidad para personas de movilidad reducida
- Temperatura y humedad
- Ventilación
- Ruido interior
- Vibración
- Otros

La idea básica en este tipo de modelos es que los individuos se enfrentan a un conjunto de alternativas con sus atributos y deben elegir una entre todas ellas. Supone el modelo que el individuo se comporta racionalmente y elige en función de sus preferencias y grado de satisfacción proporcionado por cada alternativa. El mecanismo de elección de cada individuo se trata de representar matemáticamente. El individuo valora cada alternativa o modo dando un peso a

cada uno de los atributos y calcula el resultado de cada alternativa con una función concreta.

Se construye lo que se denomina función de utilidad de cada posible elección. En el caso más simple es una función lineal y su expresión típica sería:

$$U_i = K_i + \theta_1 * T_1 + \theta_2 * C_i + \theta_3 * f_i$$

Dónde:

–" U_i " Utilidad del modo i, es una cifra que el individuo valora para cada modo de transporte.

–" T_1 " Tiempo de viaje en el modo i, que suele considerarse como tiempo total.

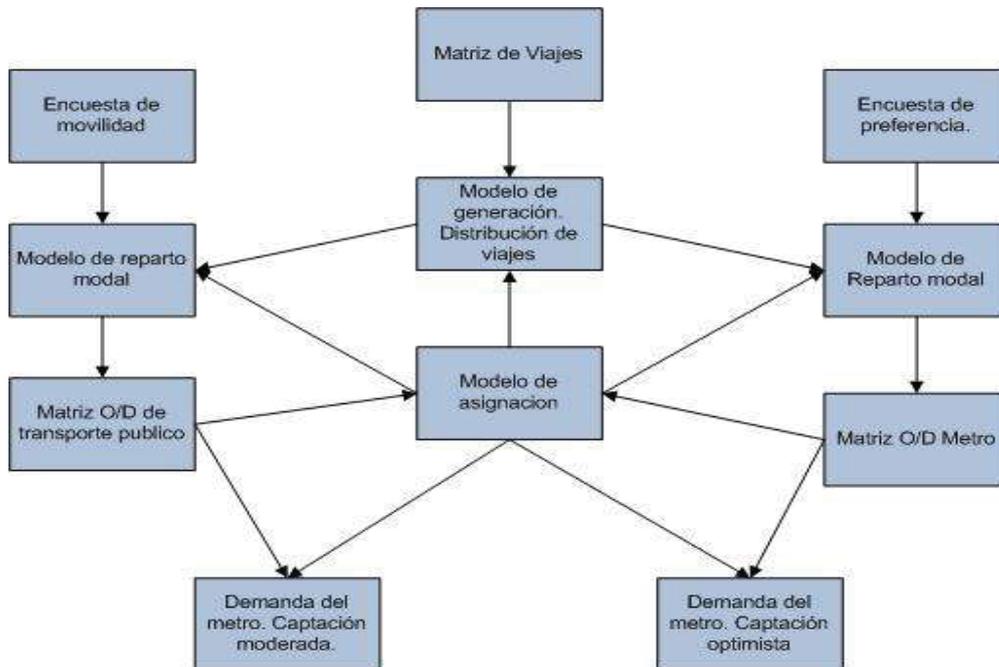
–" C_i " El costo del viaje en el modo i.

–" f_i " El intervalo de servicio de viaje en el modo i, (modos de transporte público).

–" K_i " Es la constante que, una vez ajustada, representa los factores que no se pueden traducir a costo y tiempo.

La importancia que el individuo asigna a cada atributo deben calcularse indirectamente por procedimientos estadísticos sobre la base de los atributos de la alternativa elegida y los atributos de las alternativas no elegidas

En el siguiente esquema se puede observar la participación de los modelos de reparto modal dentro de la metodología general de la estimación de la demanda



Fuente: Manual de tranvías, metros ligeros y sistemas de plataforma reservada, Clara Zamorano.

Captación moderada

Con las funciones de utilidad estimadas se puede reproducir el reparto modal actual entre los diversos modos de transporte y obtener un modelo que permita observar los cambios en el reparto modal si se modifican las condiciones actuales de los modos.

La implantación de un nuevo modo de transporte público, como es el caso de una línea de plataforma reservada, da una mejora esencial en este tipo de transporte. La demanda de este tipo de transporte no solo procederá de los viajeros actuales de autobús, sino que, como consecuencia de esa mejora en el transporte público, se conseguirá que un porcentaje de usuarios del vehículo privado utilicen este nuevo modo de transporte

De esta manera, con la aplicación de los modelos de reparto modal a la matriz viajes O/D y al haber mejorado las características del transporte público (intervalos de paso y tiempo de viaje principalmente), se obtendrá una nueva matriz de transporte público con más viajes.

Al asignar esta matriz a la red de transporte público actual a la que se ha añadido la nueva línea de metro y tren ligero (autobuses+metro) se evaluará la demanda de viajes de la nueva línea de plataforma reservada y la del resto de las líneas y modos.

Se considera que este caso es la captación moderada al suponer que el nuevo modo no supone un salto cualitativo en la calidad del transporte público, sino que es una línea más de transporte público, más rápida y con una frecuencia y accesibilidad determinada.

Captación optimista.

La utilización de modelos de reparto modal PD⁹ permite reflejar en la estimación de la demanda de un nuevo modo como el metro en aquellos aspectos valorados por los usuarios de autobús y de coche no recogidos en los modelos PR¹⁰, como pueden ser la comodidad, seguridad, imagen, etc....del nuevo modo. Con estos modelos PD se obtiene también el valor del tiempo en cada modo de transporte.

La estimación de estos modelos se realiza a partir de los datos de las encuestas de preferencia declaradas realizadas en cada uno de los modos existentes.

Si en el caso de los modelos de PR se estima un único modelo de reparto modal por tipo de movilidad en los modelos PD se realizan un modelo por cada uno de los modos existentes.

Con los modelos de reparto modal aplicados a las matrices del escenario correspondiente se obtienen directamente la matriz O/D del nuevo modo en plataforma reservada.

2.4.6. Modelo de asignación

Una vez que se eligió el modo de transporte, el último aspecto es decidir cómo se distribuirán los viajes entre las diferentes rutas que enlazan los puntos de origen y destino. Estos modelos toman en cuenta la saturación de cada uno de los posibles caminos para lograr un equilibrio (considerando que así es como los usuarios eligen su ruta en base a la información disponible).

El modelado mediante la computadora, permite examinar posibles mejoras al sistema de transporte, pero en sí, no toma ninguna decisión.

Un apoyo técnico para la toma de decisiones es el análisis de costo beneficio. Éste es un proceso que enumera los beneficios y costos de cada opción lo que permite distribuir los fondos.

⁹ Encuestas de preferencia declarada

¹⁰ Encuesta de movilidad

Este análisis tiene su lado subjetivo: No es posible asignar valores precisos a la vida y salud humanas. Se han usado medidas como ahorros o costos de las demandas, pero son difícilmente reales.

Es la cuarta etapa que toma como dato de entrada las matrices de viajes desglosadas por modo de transporte, teniendo las siguientes funciones:

- Calcula los costes, tiempo y distancia para cada par origen/destino para todos los viajes modelizados
- Calcula los viajes de cada línea de transporte, en el caso de asignación de transporte público, así como los accesos, los trasbordos y los intercambios entre modos en cada estación.
- Calcula la carga de cada arco de la red, con el tiempo y coste de cada uno de ellos, después de aplicar las funciones de restricción de capacidad.

La red de transporte privado se modela por medio de un sistema formado por un conjunto de nodos y arcos¹¹ que conectan los nodos entre sí. La mayor parte de los nodos representan intersecciones, mientras que los arcos corresponden a tramos homogéneos entre las intersecciones adyacentes.

Cada arco representativo de la red posee una serie de características y atributos, tales como:

- Nodo de origen y destino
- Longitud del arco
- Tipología del arco, que corresponde a los distintos tipos de infraestructura.
- Número de carriles
- Función volumen –tiempo utilizadas para representar el comportamiento de las vías de congestión.
- Capacidad de la vía, la velocidad y el porcentaje de vehículos pesados.
- Pueden incluirse otros atributos de interés para ciertas investigaciones específicas, como las mediciones ambientales.

Esta función es también conocida como selección de rutas. Es de todas las funciones de planeación del transporte, la más compleja y laboriosa. En términos generales consiste en identificar las rutas óptimas de los viajes, esto es, la mejor

¹¹ Se entiende por arco de una red, la parte de la ruta de transporte o de la arteria vial que queda comprendida entre dos nodos. Se entiende por nodo de una red vial o de transporte, lugar de la ruta donde es potencialmente factible realizar un cambio de ruta o de arteria; esto es, donde se conectan dos rutas, dos arterias o donde se conectan los centroides de zona con las redes

forma en que las personas recorrerán las redes viales o de transporte para ir de sus orígenes a sus destinos.

Entre cualquier pareja de zonas, existe normalmente cierta cantidad de rutas diferentes factibles de ser usadas. Cada una involucra cierta cantidad de tiempo, costo, comodidad, etcétera, que los usuarios de las redes de transporte consideran para hacer su elección. Este fenómeno es el que se trata de reproducir o simular mediante el algoritmo de asignación de viajes

Las funciones utilizadas en el algoritmo de asignación en la modelización de la red relacionan la intensidad, es decir el volumen de vehículos asignados, con el tiempo de recorrido para cada arco.

Una forma general adoptada es la siguiente.

$$T = 1 \left[T_0 + a \left(\frac{i}{c} \right) \right]^2$$

Dónde:

-“T” tiempo medio del recorrido del arco

-“l” longitud del arco

-“t₀” tiempo medio de recorrido de 1 km a flujo libre

-“i” volumen o intensidad de vehículos. Esta variable la obtenemos como resultado de la asignación de la matriz de viaje a la red primaria.

-“c” Capacidad teórica del arco

“a, b” parámetros de ajuste.

2.4.7. Aplicación de los modelos al cálculo de la demanda.

Finalmente, cabe añadir que, en la evaluación de escenarios, la aplicación de los diferentes modelos suele ser la descrita en la tabla siguiente. Cada modelo evalúa mejor determinados impactos de las actuaciones.

Tabla de análisis de escenarios. Factores a considerar y método de evaluación.	
<i>Escenario / Actuaciones</i>	<i>Modelo principal aplicado</i>
Planeamiento urbano	Modelo de distribución o modelo de Generación/Atracción
Infraestructura y servicios de transporte	Modelo de reparto modal y asignación
Reestructura de la red de transporte público	Modelos de reparto modal y asignación
Sistema tarifario	Modelos de reparto modal
Grado de captación	Modelos de reparto modal
Año de puesta en servicio	Modelo de distribución
Trafico inducido	Modelo de distribución
Impacto de la congestión	Modelo de asignación y coste generalizado de los modelos de demanda.

Fuente: Manual de tranvías, metros ligeros y sistema de plataforma reservada. "Clara Zamorano"

Al igual que ocurre con cualquier nuevo modo de transporte, el proceso de implantación de un sistema de plataforma reservada¹² supone, en general, un paso importante en el sistema de transporte de un área, un corredor, una población, una ciudad o incluso una región metropolitana.

Sería un error introducir este nuevo modo sin valorar el impacto en el sistema de transportes en su conjunto lo que lleva a graves ineficiencias en el sistema de transportes. Por ello, es necesario un análisis del impacto sobre los otros modos y buscarla optimización del sistema de transporte en forma global.

2.5. Análisis, Evaluación y Elección.

2.5.1 Trazo de la ruta

Es posible proceder a marcar los sitios de mayor demanda, los orígenes y destinos que con mayor frecuencia generan viajes. Conviene aclarar que en este punto se requiere de gran sensibilidad para llevar a cabo una juiciosa e imparcial valoración de las magnitudes que se tienen en cada localización.

Resulta conveniente que desde un principio se tengan previstas las diversificaciones tanto de los orígenes como de los destinos, ya que su omisión inicial en muchas ocasiones restringe con gran severidad, e incluso imposibilita el que, de ser necesario, se puedan hacer ampliaciones y extensiones a futuro.

Es oportuno señalar que un factor económico en el funcionamiento y operación de la red es que la longitud de cada ruta sea extensa a conveniencia de la empresa del transporte, para optimizar (reducir) los tiempos muertos y de maniobras de las unidades y del personal.

¹² Metro

No menos importante es mencionar que el trazo de una ruta por ningún motivo se debe generar en función de caprichosas determinaciones al margen de la información, análisis, estudio y evaluación de los parámetros que rigen la demanda de transporte. Ya se ha visto, que trazar la ruta primero y esperar que los usuarios la utilicen para resolver sus necesidades, conduce a privar al organismo del transporte de la recuperación económica prevista; lo cual además, por una parte, penaliza a la sociedad con servicios que no requiere y, por la otra, se le grava con el pago de las deudas contraídas para el proyecto.

En esencia, la labor a desarrollar en la planeación del sistema de transporte público urbano de personas, radica en detectar las necesidades y carencias del usuario para poder poner a su alcance la mejor opción factible que mejore, por un lado, sus condiciones en materia de transporte y, por otro, que ofrezca un servicio digno que impacte en forma positiva su estado de ánimo, lo que se demuestra mediante la aceptación y preferencia respecto a los demás medios de transporte.

En el trazo de la ruta, se deberá procurar ofrecer al usuario del transporte público al menos alguna ventaja respecto del transporte privado. En concreto, es conveniente que las autoridades responsables de la vialidad se orienten a facilitar en primera instancia los movimientos del transporte público, liberen las vías y carriles correspondientes, e instrumenten medidas tendientes a facilitar su movilización continua en las horas conflictivas o pico, para incrementar el atractivo de este transporte.

Elementos para estimar la capacidad de la ruta

Por ningún motivo es conveniente diseñar la ruta en el límite de la demanda esperada, ya que cualquier variación o contingencia restringe la posibilidad de cumplir con el objetivo que se persigue alcanzar durante todo el proceso de planeación del transporte público de personas, que consiste en satisfacer de manera razonable los rubros de movilidad y transporte del usuario.

En los casos del metro o del tren ligero, tenemos como variables para desplazar dentro de un intervalo tanto la frecuencia de las unidades que circulan, como la longitud del convoy; esto implica ampliar o reducir capacidad mediante la adición o el retiro de carros, de tal forma que se pueda tener siempre un equilibrio conveniente entre el material rodante y la demanda a satisfacer. Para que se cuide por un lado la atención al usuario y por el otro reducir el desgaste innecesario de vehículos e infraestructura; el cual tiene asociado un costo de operación y mantenimiento.

La importancia de este punto radica en la dificultad que siempre ha representado para el ser humano determinar el justo medio. Y es aquí en donde encontramos tal disyuntiva. Por ello es conveniente tener tanta información confiable como sea posible, ya que en esa medida se disminuirán los riesgos de equívocos de graves consecuencias económicas para las finanzas públicas, que en general son las que se ocupan de atender este tipo de actividad, y poder brindar cada vez un mejor y mayor servicio al usuario.

2.5.2 Estaciones y Paraderos

El tamaño adecuado y la buena distribución de las estaciones y paraderos dependerá la vida útil del proyecto y en particular cuando se presenta la máxima demanda, este no logre la afectación de la operación del sistema. Es ante esta situación que los defectos se hacen evidentes, ya sea por descuido en el diseño o por economías mal entendidas. No se debe omitir la consideración de este aspecto primordial en cuanto al área y espacio suficiente para el diseño funcional de las estaciones y los paraderos.

En teoría, al momento de efectuar el diseño correspondiente, se deben de analizar las horas de máxima demanda u horas pico, como situación crítica, aunque su ocurrencia en general sea sólo de escasa duración respecto a la magnitud de la jornada en que se opera, debido a que la máxima demanda se presenta en forma recurrente todos los días laborables, por lo menos en dos períodos, uno en cada dirección.

En primer lugar deben contemplarse los estudios globales que permitan estimar los posibles sitios de enlace, y antes de empezar a diseñar las estaciones sintetizar y conceptualizar sus funciones tanto en el presente, que correspondería a la ruta en cuestión, como ante la eventualidad de que en el futuro pueda llegar a ser punto de convergencia de otras rutas, en cuyo caso convendrá que el diseño muestre algunas preparaciones previas que en muchas ocasiones tienen bajo costo; cuando son consideradas con oportunidad, y en otros, su olvido u omisión acarrearán costos elevados que pondrán en serios aprietos los proyectos de expansión o limitarán y comprometerán su eventual crecimiento o adecuación, como sucede en muchas de las obras en la zona metropolitana de la Ciudad de México.

Debe hacerse énfasis en que la función de las estaciones y paraderos son atraer y captar usuarios y no ahuyentarlos o desalentarlos mediante diseños poco ingenieriles, tortuosos, molestos y no pocas veces apareados con peores concepciones físicas. Todas las instalaciones deberán contar con la infraestructura

que permita proteger al usuario de las inclemencias del clima, desde su arribo hasta que alcance la salida en el sitio de su destino, los andenes, los pasillos y en especial las escaleras, deberán cuando menos tener las dimensiones mínimas establecidas en los manuales internacionales actualizados para el diseño de transporte público.

Por otra parte cabe señalar que la distribución de los componentes de estaciones y paraderos deberán a su vez ser armónicos y, de ser necesario, que los esfuerzos físicos para alcanzar cualquier punto al que desee llegar el usuario, sean mínimos, lo que proporcionará seguridad.

Asimismo, en este renglón es oportuno mencionar que las estaciones profundas deberán considerar la eventualidad de una emergencia en la cual se hace necesario evacuar las instalaciones. La recomendación al respecto es la de colocar rutas de evacuación, de preferencia independientes, de los tiros de ventilación naturales, adecuados y suficientes, en estricto apego a las normas de seguridad.

La simulación y manejo de los flujos que se generan en cada estación o paradero conviene plasmarlos sobre el papel, en donde de inmediato, cuando se tiene la adecuada formación técnica o profesional, así como la experiencia en el campo del transporte, aparecerán revelando las deficiencias que tiene el proyecto, lo que permitirá someterlo a nuevas consideraciones hasta encontrar el óptimo.

Asimismo, las estaciones son un elemento que coadyuva a resolver algunos de los problemas viales que se generan en cualquier asentamiento urbano, cuando su diseño es el adecuado. Conviene tomar en cuenta que la red que se pretende construir de ninguna manera es antagonista del entorno urbano en que se implanta; sino por el contrario, su vinculación es tan estrecha que interactúan y se provocan efectos positivos o negativos en función de su acertada o deficiente concepción y realización.

En el caso del transporte público de pasajeros, lo que se lleva de un origen hasta su destino son seres humanos y como tales deberán ser considerados. Es recomendable equiparlo para que eventualmente permita satisfacer algunas de las necesidades de los seres humanos, en donde haya confluencia de usuarios (en este caso las estaciones y paraderos).

En este sentido se hace referencia a las instalaciones sanitarias, que aun cuando podrían tener algún costo adicional y su operación sería ajena al transporte $\frac{3}{4}$ por lo que se podría concesionar $\frac{3}{4}$, cabe mencionar que dado el costo marginal

relativo resultaría insignificante adicionarlas, y el costo del servicio lo cubriría el usuario. Con ello se elevaría la calidad de vida en el área que atiende la red de transporte.

Lineamientos para ubicar estaciones y paraderos

La separación entre estaciones y paraderos impacta en la velocidad que podrá alcanzarse durante el desplazamiento, así como los tiempos de aceleración y frenado requeridos en cada tramo. Todo ello se refleja en la duración del recorrido desde el origen hasta su destino, lo cual tendrá un efecto directo sobre la decisión del usuario.

Ahora bien, aun cuando de la premisa anterior se podría suponer acertado elegir sólo los extremos, las condiciones reales de brindar el servicio al área por donde se transita hace forzoso el ubicar estaciones intermedias en donde se permita el ascenso y descenso de pasaje; por un lado, los que llegan a su destino o punto de transbordo y, por el otro, los que desean hacer uso del servicio de transporte que allí se ofrece para trasladarse a su destino.

Con esta base se procederá en cuanto al trazo de la ruta, la justificación de las ubicaciones que ofrecen algún factor de aglutinamiento de personas.

El transporte colectivo de personas tiene un impacto considerable sobre la vialidad que se genera en su entorno, principalmente en el área de influencia de cada estación intermedia, de correspondencia (transbordo) o terminal. Por ello es importante el diseño apropiado de cada una de estas instalaciones con objeto de atenuar o disipar el caos que puede provocar el arribo masivo de usuarios; hay quienes en forma equivocada han pretendido aliviar esta circunstancia mediante el alejamiento desmedido entre medios de transporte, lo que lejos de mejorar la situación vial la empeora, tal y como se ofrece para este análisis.

La correcta elección del sitio en que se ubicará la estación o paradero repercute en beneficios adicionales a la vialidad y a su entorno, lo que adiciona un cúmulo de ventajas tanto al usuario como a los habitantes del lugar, conductores de automóviles privados y, en general, a toda la sociedad; dichas ventajas se deben considerar y valorar en su dimensión exacta.

Al igual que con la ubicación, es necesario que el diseño de las estaciones y paraderos, sus accesos y la distribución respecto a la vialidad existente o futura, sean armónicos, para que cumplan mejor la función que les corresponde, y así resuelvan los problemas de transporte. Es necesario equipar dichas estaciones y

paraderos con los accesorios más adecuados al tipo de usuario que demanda el servicio en cada ubicación

Los accesos deben colocarse en la mayor cantidad y orientados en tal forma que se pueda atender con mayor eficacia a los usuarios potenciales en el área de influencia de la estación, así como el incremento fortuito en casos de emergencia, para evacuar con seguridad y rapidez.

Otro punto obscuro que se observa en la composición y articulación de la red de transporte urbano en la Ciudad de México lo constituyen las opciones para el usuario, es decir, la ilógica ubicación de estaciones y paraderos en lugares poco estratégicos y distantes. Cuando las rutas pertenecen a organismos independientes, su misión está orientada a un mismo fin, servir al usuario; el pasajero, por su parte, requiere que al menos alguno de los transportes lo lleve a su destino. La deficiencia mencionada ocasiona que los usuarios se tengan que desplazar con apuro, incrementando el caos vial y poniendo en riesgo su integridad al moverse de un sitio a otro, ya que algunas estaciones lo exponen a cruzar avenidas peligrosas, o bien, a recorrer distancias que no alcanzan a cubrir en el breve lapso del que disponen para ello, por lo que pierden la oportunidad de tomar un medio de transporte.

2.5.3. Material rodante

Los vehículos que se empleen para el transporte de personas deberán estar dotados con iluminación, apoyos y pasamanos suficientes para garantizar la seguridad y comodidad del usuario, quien con su aportación directa implícita en el pago de la tarifa, con subsidio o sin él, exige un servicio de calidad.

El aspecto interior de las unidades debe mostrar respeto al usuario, los descuidos en la apariencia, ya sean estos pisos desechos; ventanas sucias, rotas o bloqueadas; asientos dañados; pasamanos incompletos o faltantes; puertas deterioradas, etc., impactan en el ánimo del pasajero, demeritan la imagen de la empresa y fomentan el vandalismo. De lo anterior se puede deducir que si lo notorio no ha sido observado y corregido por los encargados del mantenimiento, más difícil les resultará detectar y corregir deficiencias en áreas de difícil acceso y menor visibilidad que son de mayor trascendencia para la eficiente operación del vehículo.

Esta revisión, cuando existe alguna anomalía, es loable. Sin embargo, es más efectivo, eficiente, económico y seguro realizar el mantenimiento preventivo en apego al programa dentro de los talleres, en donde se debe contar con la

infraestructura apropiada, disminuyendo los riesgos al personal y a los usuarios, lo que minimizaría las interrupciones durante el servicio.

Aquí se considera oportuno mencionar que la elección del vehículo o material rodante, así como los componentes electromecánicos externos necesarios para el buen funcionamiento de los sistemas de transporte más sofisticados, deberán someterse a un análisis técnico financiero que considere costos de inversión, gastos en mantenimiento, vida útil, características técnicas y de seguridad que impactan el estudio de factibilidad económica de la inversión.

Los estudios de factibilidad se realizan para jerarquizar y seleccionar los proyectos potenciales de inversión en cualquier ámbito, incluido el transporte, con el criterio de optimización, para ofrecer al tomador de decisiones todo el panorama que le permita elegir la alternativa más favorable. Además, es necesario que durante su vida útil, no se desvíen los recursos necesarios para el rubro de mantenimiento ya que allí radica la seguridad del usuario, la calidad del servicio y el prestigio de la empresa que ofrece el transporte público de personas.

2.6. Aspectos importantes de carácter general

Por último, no se debe olvidar que es necesario ofrecer al usuario información clara y precisa para que pueda conducirse con agilidad, rapidez, seguridad y confianza dentro de las instalaciones. Es necesario considerar que la celeridad con la que el usuario se desplace en su interior, impactará en la ocupación de espacios dentro del sistema de transporte; si se tiene en cuenta que la función del proyecto es hacer eficiente y óptimo el sistema de transporte por medio de la movilidad expedita del usuario, resulta impropio limitar o restringir su movilidad dentro de las instalaciones debido a información deficiente, confusa o inexistente.

La información instalada en todo el sistema de transporte deberá ser comprensible, clara y objetiva para el usuario. Por ello se recomienda que ésta se apegue en lo posible a la simbología de uso internacional, lo que facilitará las labores del personal, así como la operación del sistema de transporte. De la claridad y precisión con que se instale esta información, se evitarán trastornos molestos y, en horas pico, incluso contrarios al buen funcionamiento. La necesidad de consulta para identificar el rumbo a seguir, es además de incómodo, molesto, entorpece la circulación y el flujo de usuarios, lo que congestiona sin necesidad los espacios limitados de las instalaciones: estación, paradero, andén, pasillo, etcétera.

Es aconsejable, debido al escaso nivel educativo general de nuestra población, colocar estratégicos señalamientos que alienten y encaucen a los usuarios al mejor aprovechamiento de su tiempo y de las instalaciones. Por ello, vialidad y cortesía nunca serán suplicas desdeñables mediante claras ilustraciones alusivas al respecto, lo que permitirá un flujo más expedito en el tránsito por las diferentes estructuras del sistema de transporte. Los enlaces peatonales entre las diferentes rutas que convergen en alguna estación, deben ser amplios, breves, cómodos y seguros para alentar en el público la preferencia por un transporte público eficiente, eficaz y económico.

El diseño de todas las instalaciones en un sistema de transporte público urbano deberá considerar siempre las dimensiones ergonómicas del ser humano que las utilizará. En muchas ocasiones, su omisión nos permite observar estructuras viales urbanas en las que se encuentra ausente este factor, por lo que espacios reducidos, pasos peatonales muy elevados, entre muchos otros, agreden con inmisericorde regularidad al usuario, sin reparar en un mínimo respeto a su dignidad y a los derechos de seres humanos.

Los proyectos modificados en forma intempestiva, al ser llevados a la práctica por lo general elevan costos, surgen defectos, deficiencias y desventajas derivadas de la celeridad y premura con que se hacen. En los casos de modificaciones, será necesario en su oportunidad someter a consideración la alternativa visualizada y el porqué de su aceptación o rechazo; ello permite conciliar, de la mejor manera, el proyecto definitivo que el análisis técnico y económico justifica.

El procedimiento para realizar el diseño del sistema de transporte público de personas brinda en forma secuencial los criterios para entender y dar respuesta a la problemática tan compleja que reviste el transporte. Toma en consideración al usuario y pretende disminuir los desaciertos, lo cual permitirá que las futuras generaciones puedan tener una mejor plataforma para emprender acciones para mejorar la calidad del servicio de transporte público en nuestras ciudades.

Los aspectos tecnológicos y operativos de los sistemas de transporte público urbano, son parte importante en la planeación de las necesidades de la comunidad ya que con esto se podrá prever que tipo de transporte es el que se necesita. Para esto se requiere conocer a fondo las características que nos ofrecen cada tipo de transporte para así poder tomar la mejor decisión en base a las necesidades de cada región.

2.7 Tipos de Transporte público urbano

El transporte público comprende los medios de transporte en que los pasajeros no son los propietarios de los mismos, siendo servidos por terceros. Los servicios de transporte público pueden ser suministrados tanto por empresas públicas como privadas.

Los transportes públicos ayudan al desplazamiento de personas de un punto a otro en un área de una ciudad. El transporte público urbano es parte esencial de una ciudad. Disminuye la contaminación, ya que se usan menos automóviles para el transporte de personas, además de permitir el desplazamiento de personas que, no teniendo auto y necesitan recorrer largas distancias.

Los tipos más importantes de transporte público son:

2.7.1 Autobús y trolebuses

Los autobuses son prácticos y eficientes en rutas de corta y media distancia, siendo frecuentemente el medio de transporte más usado a nivel de transportes públicos, por constituir una opción económica. Las compañías de transporte buscan establecer una ruta basada en un número aproximado de pasajeros en el área a ser tomada. Una vez establecida la ruta, se construyen las paradas de autobuses a lo largo de esa ruta.

Sin embargo, dada su baja capacidad de pasajeros, no son eficientes en rutas de mayor uso. Los autobuses, en rutas altamente usadas, producen mucha contaminación, debido al mayor número de autobuses que son necesarios para el transporte eficiente de pasajeros en esa ruta.

Los autobuses y trolebuses son medios de transporte público urbano que normalmente operan en la vialidad urbana compartiendo su derecho de vía con otros vehículos (transito mixto). En algunos casos estos medios han empezado a operar en carriles reservados o exclusivos.

Las características generales presentan 3 características generales:

- Capacidad de operar en casi cualquier calle: Esta característica permite que las rutas puedan ser designadas a cualquier calle y no se vea limitado a operar sobre ciertos derechos de vía. Asimismo las paradas pueden ser colocadas en varios puntos.
- Costos de inversión bajos: Ya que la infraestructura que necesita es mínima, la implantación, cambios y extensiones de rutas y paradas es

rápida y sencilla de hacer. Sin embargo la baja inversión hace que tenga poca permanencia y por ende, una influencia limitada en el uso del suelo y en la configuración de la forma urbana.

- **Unidades de transporte con capacidad limitada:** Este medio de transporte es ideal para rutas de transporte con volúmenes de pasajeros bajos moderados. Si se pretende mover volúmenes mayores a 15000 pas/hr es necesario visualizar otras opciones de transporte debido al espacio de capacidad presentada.

En síntesis el uso de autobuses presenta mayor flexibilidad que cualquier otro medio de transporte urbano; la ramificación de sus rutas es fácil la inversión necesaria es relativamente baja. Sin embargo en los lugares donde la demanda supere los 15000 pas/hr es recomendable buscar soluciones alternas de otros medios de transporte de mayor capacidad debido a que la productividad laboral y el rendimiento se decrementan así como la calidad del servicio.

Tamaño de los autobuses

El tamaño adecuado de un autobús está basado en los siguientes principios:

- **Costo de operación:** El costo de operación por unidad de capacidad ofrecida decrece conforme el tamaño del vehículo crece, principalmente debido a la productividad laboral, al menor consumo de energía y al mantenimiento.
- **Capacidad:** Esta crece casi linealmente con el incremento en el tamaño del vehículo. Esto se debe principalmente a que son requeridos menor número de vehículos, lo cual trae como consecuencias un menor congestionamiento y una mayor velocidad.
- **Maniobrabilidad:** La maniobrabilidad del vehículo decrece con el tamaño del vehículo, siempre y cuando la carrocería esté formada por un solo cuerpo.
- **Comodidad:** La comodidad se incrementa con el tamaño del vehículo cuando este está formando por un solo cuerpo. La comodidad en los articulados y de doble piso se decrementan en el primer caso en la parte posterior y en el segundo en la altura del techo.

A su vez en función de su tamaño los transportes superficiales pueden ser clasificados por el tipo de carrocería, la cual define la fisonomía del vehículo.

- **Minibús:** Es un vehículo de pequeña longitud, la cual se encuentra entre 5 y 7 metros con una capacidad de asientos de 12 a 20. La capacidad total

del vehículo oscila entre los 20 y los 35 pasajeros. La velocidad máxima que presentan es de 40 a 70 km/hr. Este vehículo es idóneo para zonas de baja densidad. El motor es normalmente de gasolina, algunos presentan conversiones a gas licuado de petróleo.

- **Autobús regular:** Es un vehículo de una sola carrocería soportado por dos ejes. La capacidad normal de asientos varía de 35 a 50, pudiendo tener una capacidad total de 50 a 110 pasajeros.
- **Autobús articulado:** Es un vehículo que presenta mayores dimensiones que el autobús regular y está formado por dos carrocerías unidas por una articulación, lo que permite tener un interior continuo a la vez que permite que el autobús doble durante sus giros. La longitud de estos vehículos varía entre los 16 y los 18 m, con un total de asientos de 66 y una capacidad total de 180 pasajeros. Un vehículo de estas magnitudes debe presentar un mayor número de puertas para facilitar el ascenso y descenso del usuario, haciendo que cuente de 3 a 4 puertas, generalmente de doble canal.

2.7.2. Vehículo.

El tipo de vehículo se puede clasificar principalmente por el tipo de propulsión que presenta, siendo estos:

- **Diesel:** Dentro del transporte público es el de uso más generalizado debido a la durabilidad y sencillez que presenta el motor; a sus costos de operación más bajos que en relación al motor de gasolina y a un mantenimiento más sencillo y una menor contaminación del aire. Sin embargo, presenta mayores problemas en cuanto a las emisiones de humo, vibraciones y ruido.
- **Eléctrico:** En esencia el trolebús en su aspecto operativo y físicos es similar al autobús, diferenciados en su propulsión, a partir de un motor eléctrico el cual obtiene la energía eléctrica por medio de dos cables. Aun cuando se vean limitados sus movimientos laterales debido a la línea elevada, el trolebús puede desplazarse poco mas de un carril a la izquierda o derecha ubicado debajo de la línea por lo que se rango de acción se considera de 3 carriles.
- **Motor de gasolina:** Este motor, dentro del transporte público se utiliza en minibuses ya que es más eficiente debido a su poco peso y al hecho de que necesita producir poca potencia.
- **Gas propano:** Este motor es más limpio y silencioso. Sin embargo produce una menor potencia y presenta el peligro de almacenamiento del combustible.

- **Electreobus:** Este es el nombre que se designa a los autobuses que obtienen su propulsión a través de un motor eléctrico alimentado por baterías. Desgraciadamente el peso de la batería es alto lo cual repercute en los costos de operación.
- **Energía inercial:** Las terminales del vehículo hace contacto con un alimentador trifásico y un motor eléctrico acelera la rueda que acumula energía. Esta energía cinética impulsa a un generador el cual envía la energía producida a una batería con la cual se alimenta un motor eléctrico. El problema es que el mecanismo es complejo y presenta un gran peso. Este vehículo opera en Bélgica.

2.7.3. Transporte férreo

Los medios de transporte férreo que se utilizan en las ciudades presentan cuatro características generales que los distinguen de otros medios de transporte, las cuales son las siguientes:

- **Guía externa:** Al contar con una guía externa o riel, el vehículo es guiado físicamente por la vía y el operador del vehículo solo controla la velocidad del mismo, Esta característica permite que se utilice solamente el ancho mínimo necesario de derecho de vía a la vez de lograr un viaje más cómodo.
- **Tecnología férrea:** El uso del conjunto rueda de acero y riel ha dado como consecuencia un mecanismo básico y simple para el movimiento de vehículos. Esta combinación permite tener cambios de dirección de una manera rápida, simple y sin errores. Asimismo su baja resistencia al rodamiento (10 veces menor que la que se presenta con rodada neumática) trae como consecuencia inmediata un consumo muy bajo de energía por tonelada de peso. La combinación de soporte y guía permite obtener comodidad en el recorrido ya que se realiza el viaje de una manera estable y suave. Sin embargo, al contar con un coeficiente de adhesión bajo, se presentan problemas con las pendientes así como, con las distancias de frenado, las cuales deben ser mucho mayores que en el caso de los vehículos de rodada neumática.
- **Propulsión eléctrica:** Al contar el transporte férreo urbano con propulsión eléctrica, se obtienen excelentes rendimientos dinámicos en los vehículos, especialmente en cuanto a aceleración. Asimismo, sus componentes mecánicos son limpios, durables y de poco mantenimiento, logrando niveles de ruido bajos así como una contaminación ambiental directa nula. Las principales desventajas de este tipo de propulsión van encaminadas a las grandes erogaciones que se tienen que realizar así como, a la limitación

que se presenta en el recorrido del vehículo hasta donde se extienda la línea electrificada.

- **Separación del derecho de vía:** Es interesante notar que la falta de flexibilidad de movimiento de la tecnología férrea hace que su operación en tránsito mixto, sea inferior a los medios que cuentan con rodada neumática. Sin embargo, es mucho más fácil lograr la separación para transporte férreo ya que las vías separadas, sin pavimentar, se distinguen de otros carriles y no son invadidas por los automovilistas tal como lo son los carriles de autobuses.

Medios de transportes férreos

Dentro del transporte férreo que se utiliza en las áreas urbanas, se pueden distinguir cuatro conceptos principales, los cuales se relacionan a continuación:

- **Tranvía:** Es un medio de transporte que opera generalmente con un solo carro, pero al que se le pueden acoplar una o dos unidades más. Su operación generalmente es en calles con tránsito mixto y aun cuando presenta excelentes características dinámicas, estas no pueden ser desarrolladas en su totalidad. Su operación en tránsito mixto hace que su confiabilidad y velocidad de operación dependan de las condiciones de tránsito, siendo estas menores a los 20 km/h.
- **Tren ligero:** Es la concepción moderna del tranvía, al cual se le han mejorado aspectos tanto tecnológicos como operativos. Así se tiene que es un medio de transporte que puede operar hasta con tres carros y que presenta capacidad de transportar hasta un 50% de los pasajeros sentados. Sus características de rendimiento a costo lo sitúan entre el tranvía y el metro y opera en derechos de vía predominantemente separados a la vez de presentar la posibilidad de ramificarse y por ende hacer un mejor uso de su tramo troncal. Asimismo, por lo general son vehículos articulados de seis u ocho ejes, los cuales presentan una longitud total que va de los 20 a los 32 metros y pueden presentar escalones para abordar a nivel del suelo o bien mediante el uso de plataformas en la cual el piso de la unidad se encuentra al mismo nivel que el de la estación.
- **Metro:** Es el medio óptimo de transporte para un corredor de gran capacidad, en el cual su derecho de vía está completamente separado y por ende, no presenta interferencias externas. Su guía es simple y la tracción es eléctrica, y cuenta con equipos de seguridad que permiten las velocidades máximas que se puedan lograr para espaciamientos entre

estaciones dadas, así como, las permitidas por la comodidad del usuario. Su operación es siempre en trenes pudiendo llegar hasta los diez carros y cada carro cuenta con cuatro ejes. Estos trenes son operados por un conductor, lo cual implica una gran capacidad al mismo tiempo de lograr una buena productividad laboral. La longitud total de cada carro de metro varía entre los 16 y los 23 metros, con un ancho de 2.5 a 3.2 metros. La capacidad por cada carro son del orden de 120 a 250 espacios, de los cuales del 25 al 60% son asientos. Sus velocidades de operación van entre los 25 y los 60 km/h con frecuencias a la hora de máxima demanda de 20 a 40 trenes por hora. Esto permite obtener capacidades máximas de 60,000 a 80,000 pasajeros por hora.

- **Tren regional:** Por tren regional se entiende los servicios locales de trenes interurbanos, los cuales presentan normas técnicas y operacionales muy altas. Generalmente, son operados por las compañías férreas en sus propios derechos de vía, con vehículos de tracción eléctrica o diesel. Se caracterizan por presentar grandes espaciamentos entre estaciones (del orden de los 5 km o más) así como, longitudes promedio de viajes de 35 km. Todo ello conlleva a lograr altas velocidades y gran confiabilidad en el servicio.

De lo anterior, se puede concluir que la diferencia a un medio de transporte férreo de otro son los siguientes aspectos:

- Tipo de derecho de vía
- Número máximo de carros por tren
- Plataformas en las estaciones
- Forma de la toma de energía (catenaria; tercer riel)
- Control de recorrido (visual o por señales)
- Velocidad máxima

Tipo de carro

Se puede clasificar el transporte férreo, según el tipo de carros que utilizan, así tenemos que:

- **Carro con cabina.** Es aquel que cuenta con un mando de control y donde algunos o todos sus ejes poseen tracción. Este tipo de carro puede operar individualmente o acoplados con otros carros.
- **Carro motriz.** Es aquel que tiene en sus ejes tracción pero no controles de mando

- **Remolque.** Como su nombre indica, es un carro sin tracción, el cual es tirado por un carro con motor.
- **Locomotora.** Es un carro que posee motor pero es utilizado exclusivamente para remolcar tráilers y no lleva pasajeros.
- **Carros A y B (pareja casada).** Son vehículos con motor, los cuales comparten algunos componentes y por ende solo pueden operar en forma conjunta. Cada uno tiene controles de mando en un solo extremo.

Así por ejemplo, el metro de la Ciudad de México está formado por una combinación de carros con cabina, motrices y remolques.

Tipo de carrocería

Normalmente, esta es la clasificación más utilizada para definir los diferentes tipos de vehículos férreos. Por carrocería se entiende la porción del vehículo que contiene la sección de pasajeros, la cabina del conductor y el equipo eléctrico y mecánico. Así, se puede hablar de:

- **Carro de una sola carrocería.** Dentro de esta categoría encontramos a la mayoría de los carros del metro y tren regional, así como algunos tranvías.
- **Carros articulados.** Consiste en dos o tres cuerpos o carrocerías intercomunicadas por articulaciones. Esta configuración hace que se vea un interior continuo. La configuración permite que el vehículo se doble en curvas tanto horizontal como verticalmente.
- **Carros de doble piso.** Este tipo de carrocería se presentaba durante las primeras épocas del tranvía y todavía se pueden ver algunos ejemplos en Inglaterra y sus ex colonias,

Existen varios factores que van a afectar el diseño de la carrocería de un vehículo férreo. Así se tiene que la forma en que va a operar el sistema va a tener una injerencia importante en el diseño por lo que los intervalos, capacidades, tamaño del personal a bordo y los costos mismos de su operación deben ser tomados en cuenta. Asimismo, es importante considerar los aspectos que el usuario va a buscar en el vehículo, tales como los escalones, los congestionamientos que pudieran darse alrededor de las puertas y la comodidad de sus asientos, además de consideraciones estéticas.

Por otra parte, el prestatario del servicio va a buscar que los costos de mantenimiento sean los menores a través del fácil reemplazo de partes y de superficies lisas, que ayuden a su limpieza. Finalmente, los costos de inversión

son también importantes y van a depender del tipo de vehículo, su complejidad, los materiales utilizados, la durabilidad y la cantidad de componentes utilizados.