

PLANIFICACION DE TRANSPORTE

PLANIFICACION DEL TRANSPORTE

1. GENERALIDADES.

El desarrollo de la comunidad caracteriza al ser humano porque éste realiza actividades de la más variada índole que, según el lugar y la oportunidad con que se efectúan, están representadas por los diferentes tipos de uso del suelo.

Las ciudades en la actualidad constituyen complejos sistemas en los que se desarrollan un gran número de funciones fundamentales para la vida en el mundo moderno. A su vez, el proceso de urbanización es consustancial al desarrollo socioeconómico de los pueblos, haciendo que cada día un mayor porcentaje de la población viva en áreas urbanas, lo que plantea importantes problemas a la operación de los sistemas básicos de la ciudad.

Uno de los más importantes es el sistema de transporte urbano, que posibilita el movimiento de personas y bienes imprescindibles para mantener el desarrollo de las actividades socioeconómicas. La operación de tal sistema se torna más difícil y conflictiva en la medida que el desarrollo económico hace crecer el nivel de ingreso de la población y con ello la complejidad y sofisticación de las interrelaciones urbanas. Signos de este proceso lo constituyen el incremento de la tasa de motorización y de la cantidad de viajes que cada persona realiza, lo que a su vez trae consigo los problemas de congestión, polución ambiental y accidentes, típicos de las urbes actuales.

Nuestras ciudades no son ajenas a este fenómeno y es así como durante los últimos años hemos visto aparecer y hacer crisis problemas que hace sólo unas décadas eran inexistentes.

El uso del suelo es un factor que origina demanda de transporte, es decir, necesidad de intercambio espacial o traslado de personas o de cosas entre un origen y un destino, necesidad que el proceso del movimiento vehicular el tránsito la satisface físicamente, imprimiendo al mismo tiempo características peculiares al sistema de transporte existente. En otras palabras, el uso del suelo produce tránsito, y todo proceso de movimiento de vehículos satisface en general la necesidad de transporte de personas o de cosas con él empleo de movilización individual o colectiva para las primeras y de vehículos de carga para las segundas. Sin embargo, la interrelación entre las actividades humanas y la demanda de transporte es un proceso tal que las diversas variables que contiene, se ven afectadas mutuamente.

La definición general dice que "Planificación es el desarrollo de planes y programas de acción dentro del contexto de un proceso continuo mediante el cual se alcanza un objetivo predeterminado". La planificación clásica se refiere pues a la formulación, evaluación y elección de alternativas para poder cumplir un objetivo determinado, por ejemplo la construcción de un ferrocarril metropolitano, establecimiento de líneas de buses expresos, etc.

Ahora bien, en la planificación del tránsito y del transporte no hay objetivo único, sino que en general hay varios, cuya finalidad es la obtención de un sistema de tránsito satisfactoriamente eficiente, en consonancia con el desarrollo urbano, en que se reduzca o se eviten la secuela de consecuencias negativas que suele caracterizar la circulación tanto de vehículos como de peatones.

Por la amplitud de objetivos y por involucrar una gama considerable de variables del desarrollo urbano referido, la Planificación del tránsito y del transporte es parte importante del proceso continuo de planificación urbana general.

Según declaración conjunta del Instituto de Ingenieros del Tránsito y del Instituto Americano de Planificadores, de los EE.UU. de Norte América, la planificación del tránsito consiste esencialmente en la aplicación de procedimientos y técnicas de Ingeniería del Tránsito, para la optimización de sistemas de tránsito tanto existentes como futuros. Se puede observar que la planificación del tránsito comprende también al transporte, ya que es obvia la relación directa que tienen en todo momento estos dos conceptos.

El transporte forma parte de la infraestructura urbana, conjunto complejo de servicios que se prestan a la comunidad. Por su importancia, se analizará fundamentalmente el tránsito urbano, el cual incluye las siguientes modalidades de transporte:

- Transporte individual de personas, en automóviles
- Transporte colectivo de personas, en buses
- Transporte de cosas, en vehículos de carga
- Otros tipos de transporte, en vehículos especiales.

El transporte individual comprende aquel que no está sujeto a rutas ni itinerarios regulares.

El transporte colectivo presenta, en cambio, regularidad en recorridos y en horarios, por lo que su comportamiento futuro se puede determinar con mayor facilidad que en el transporte individual.

El transporte de cosas corresponde al traslado de bienes muebles en general, tales como materiales, productos elaborados, etc.

Otros tipos de transporte están relacionados con el tránsito de taxis, vehículos oficiales de emergencia, etc., cuyo empleo no requiere mayor explicación.

Es evidente, por otra parte, que muchos de los principios de análisis de] tránsito en áreas urbanas, son aplicables en general al tránsito de carácter no urbano.

Un sistema de tránsito y de transporte adecuadamente planificado debe cumplir condiciones de equilibrio entre los factores que lo integran, principalmente entre el uso del suelo y la demanda de transporte, relación cuya expresión es compleja. Si no existiera ese

equilibrio o relación mutua adecuada, dentro de márgenes aceptables, se produciría congestión de tránsito o, en caso contrario, por la falta de medios de transporte, no se tendría en qué movilizar personas ni cosas.

En suma, en la planificación del tránsito y del transporte se contemplan los factores que afectan aquel equilibrio, tanto en condiciones actuales como futuras, considerando básicamente la interrelación de los elementos del sistema de tránsito:

USUARIO - VEHÍCULO - ARTERIA - MEDIOS DE CONTROL

cuyo valor reside, por otra parte, en la interrelación entre factores tales como los viajes, el uso del suelo, la red vial, la población, etc., y en la integración de diversas disciplinas, en el empleo de modelos matemáticos y uso de los procesos de la computación.

El tratamiento de sistemas o Ingeniería de Sistemas, rama de la Ingeniería que se relaciona en este caso directamente con la aplicación de la ciencia al diseño y creación del sistema de tránsito antes mencionado, tiene pues importancia fundamental en el proceso de la planificación.

No obstante lo expresado, es la Ingeniería de Tránsito la disciplina básica para el estudio y el análisis del transporte urbano.

Como dice Leslie B. Ginsburg, de la Asociación de Arquitectura de Londres en el Prólogo del texto "Traffic Engineering", de Hobbs & Richardson, el Ingeniero de Tránsito es un miembro altamente especializado del equipo de planificadores, pero es esencial que su labor esté estrechamente integrada con la de todas las demás profesiones que conciernen al desarrollo urbano. Por su parte, el Profesor Donald S. Berry, durante la recepción del 16° Premio Matson que le fuera conferido en el año 1972, por el Instituto de Ingenieros del Tránsito, manifestaba: "La planificación del transporte urbano es otro campo que está dentro de los objetivos de la definición de la Ingeniería del Tránsito".

1.1 Visión sistémica de la comuna.

A lo largo de las tres últimas décadas se ha venido configurando un nuevo cuerpo de pensamiento que plantea una vuelta a la utilización de principios basados en el racionalismo para la solución de problemas de diseño y planificación a gran escala. Este nuevo cuerpo de pensamiento ha sido denominado "enfoque desde el punto de vista de la teoría de sistemas".

Los sistemas son grupos de elementos que funcionan en interacción para conseguir el objetivo global del conjunto. Adoptar un enfoque desde el punto de vista de la teoría de sistemas supone la consideración de cada parte componente en los términos de papel que desempeña en el sistema global. Una característica particular de este enfoque es que trata de llegar a establecer decisiones que afecten al orden total del conjunto y no solo a las

partes individuales o elementos, a través de una serie lógica y organizada de etapas escalonadas. Esto implica la necesidad de comprender los problemas en términos de

procesos más detallados y materiales de modo que las reorganizaciones que se establezcan para alcanzar los objetivos deseados puedan ser explicadas y repetidas.

Uno de los objetivos básicos de la teoría de sistemas es el descubrimiento de aquellos elementos cuyo funcionamiento proporciona una medida real de funcionamiento del sistema global. En este caso, si la medida del funcionamiento del elemento aumenta, permaneciendo inalteradas todos los restantes elementos, la medida del funcionamiento sistema total debe así mismo aumentar; en caso contrario, el componente no está contribuyendo realmente al funcionamiento del sistema.

Los sistemas se pueden clasificar sobre la base de varios factores, por ejemplo, según en de sus elementos (sistemas naturales o artificiales), según su complejidad (sistemas determinísticos o probabilísticos), según su relación con el entorno (sistemas abiertos o cerrados), etc.

Un análisis cuidadoso de la estructura de una ciudad demuestra que es imposible estudiar cualquiera de sus partes en forma aislada, ya que cada una de ellas se encuentra fuertemente relacionada con los demás elementos de la estructura general de ciudad.

Existen muchos ejemplos que demuestran lo inadecuada que, resulta la consideración de las partes de un sistema urbano en forma independiente, por lo que seriamente estos problemas y sus soluciones deben abordarse desde la teoría de mas aplicada a la ciudad.

Para definir el sistema urbano, debemos tratar de identificar los componentes o elementos que lo forman o que forman los subsistemas en que se divide.

Snell y Shuidiner definen algunos elementos básicos del sistema urbano que se en clasificar en cuatro grupos:

Objetos: población mercancías vehículos.

- Infraestructura:

Edificios

Viviendas

Escuelas

Tiendas

Fábricas

Oficinas

Medios de transporte
Carreteras
Líneas De Ferrocarril
Aeropuertos
Puertos
etc.

- Actividades:
 - Residencial
 - Trabajo
 - Comercio al por menor enseñanza
 - Producción de bienes y servicios ocio

- Suelo: suelo de diferentes usos

Se puede agrupar determinados elementos de estas distintas clases para generar los subsistemas del sistema urbano. Para hacer esto debemos tener bien presente la necesidad de reconocer todas las relaciones entre los elementos de; sistema, especialmente las que se refieren a la estructura causaj.

Por ejemplo, podemos generar un sistema agrupando los siguientes elementos: población, residencias, trabajo, viviendas, fábricas, transporte y el suelo sobre el que se asienta cada una de estas actividades. Se puede obtener otro sistema agrupando población, centros comerciales, tiendas, transporte y el suelo correspondiente sobre el que se asientan. En estos dos ejemplos vemos que algunos elementos (ejemplo la población) forman parte de los dos subsistemas. Este hecho explica en cierta medida la fuerte interrelación que existe entre los diferentes subsistemas del sistema urbano.

Podemos considerar que el sistema urbano está estructurado por varias partes o subsistemas. Cuando estamos estudiando un determinado subsistema, los otros interactúan con el subsistema objeto de estudio y con todos los demás; en otras palabras, están influyendo en su funcionamiento. En consecuencia podemos identificar todos los demás subsistemas como el entorno del subsistema en cuestión, que entonces ha de ser contemplado como un sistema abierto.

A causa de las dificultades teóricas y de la falta de conocimientos que rodean a muchas de las relaciones entre los elementos del sistema urbano, los investigadores han tendido a aislar artificialmente los distintos subsistemas con la esperanza de que investigaciones posteriores proporcionarían más datos acerca de las relaciones entre subsistemas y, en consecuencia, entre todos los elementos del sistema urbano. .

Los sistemas que han recibido mayor atención por parte de los investigadores son los siguientes:

Al nivel más elevado de agregación espacial

- Sistema de la población urbana
- Sistema económico urbano

A un nivel inferior de agregación espacial

- Sistema espacial urbano
- Sistema del transporte urbano

1.2. La Calidad de Vida y el Transporte

Dentro de la concepción sistémica del espacio urbano, surge el concepto de "Calidad de Vida", término muy usado y enarbolado en nuestros días.

La calidad de vida que entenderemos en este desarrollo será las condiciones que presentan, en forma integrada, todos los subsistemas del espacio urbano, es decir, las variables que inciden o determinan la calidad de vida de una población son tantas como subsistemas podamos reconocer del sistema urbano general. Así, la calidad de vida dependerá de las condiciones sociales, económicas, de servicios, de equipamientos, de comercio, de trabajo, de transporte, de contaminación, de cultura, de educación, etc., que tenga un determinado territorio y que perciba un determinado tipo de poblador.

En lo que respecta al transporte, la calidad de vida se ve determinada por las alternativas de transporte, la calidad del servicio, las frecuencias del servicio, los tiempos involucrados, los grados de contaminación y congestión de las vías, etc.

El ansiado beneficio social del transporte se mide en todas estas variables, por lo que es necesario conocerlas, medirlas y manejarlas en forma adecuada de manera de optimizarlas al máximo posible.

1.3. El rol del transporte como una variable más del sistema urbano

Los urbanistas que se han enfrentado al componente físico de los problemas urbanos han tratado siempre de descubrir y comprender las tendencias básicas de la localización urbana; todos sus esfuerzos se han dirigido al estudio de la organización espacial urbana, categoría que puede definirse como el resultado de un proceso en el que las actividades de la población se asignan a lugares o espacios determinados.

Webber ha escrito, "Las actividades generadas en una parcela de suelo no se pueden entender si se refieren solamente al suelo, sino que deben ser contempladas como parte del sistema de actividades urbanas unidas mediante relaciones funcionales a lo largo del tiempo".

Nos hemos referido antes a la existencia de una gran cantidad de actividades y también hemos señalado que, entre ellas, podemos distinguir, por ejemplo, las actividades que están ligadas a localizaciones espaciales determinadas. Ahora podemos identificar otras actividades, como por ejemplo viajar, que se desarrollan entre zonas, con lo que resulta posible clasificar las actividades de la población en dos categorías:

- Actividades que se desarrollan **en** lugares.
- Actividades que se desarrollan **entre** lugares.

Los viajes o actividades entre lugares se ejecutan por vías conectoras en superficie y vías subterráneas (infraestructura de desplazamiento). En sus lugares de destino son recibidos por una infraestructura de edificios que se distribuyen en la trama de la ciudad.

Por otra parte, el crecimiento de la población urbana y de su nivel de actividades ha modificado la demanda por transporte en las últimas décadas, no solo en cuanto al número de viajes, sino también en la forma que estos se distribuyen en la ciudad (origen y destino), y en la proporción en que participan los distintos modos de transporte en la satisfacción de esta demanda (partición modal).

La red vial primaria de la ciudad de Santiago consta de 45 Km. de autopistas, 7 Km. de autovías, 15 Km. de vías de servicio, 553 Km. de vía troncales y 287 km. de vías colectoras distribuidores. La red vial secundaria consta de 1500 km. de los que aproximadamente 60% son pavimentados.

En las 34 comunas del Gran Santiago, que cubren 42.000 hectáreas, viven aproximadamente 4,7 millones de habitantes (INE 1989). Durante un día de trabajo, esta población realiza alrededor de 4 millones seiscientos mil viajes motorizados. Estos desplazamientos consumen cerca de tres millones y medio de horas y 500 millones de pesos diariamente.

De los 6,5 millones de viajes realizados diariamente en el gran Santiago (en 1989), aproximadamente 1,9 millones (30%) se efectúa a pie, 3,3 millones (50%) en transporte público y 1,3 millones (20%) en automóvil (como conductor o acompañante).

1.3 Funcionalidad vial y detalles de las categorías netamente vehiculares

A. Vías expresas

i. Autopistas

- Velocidad de diseño entre 80 y 100 km/h
- Ausencia de interrupciones o detenciones
- Flujo predominante de automóviles
- Restricción para vehículos tracción-animal y bicicletas
- Segregación funcional completa respecto a las actividades del entorno
- Recomendable continuidad funcional en una distancia de 10 km
- Relación sólo con autopistas, autovías y vías troncales mediante enlaces controlados.
- Cruces a desnivel para vehículos y peatones
- Calzadas independientes
- Vías paralelas para tráfico local
- Segregación física del entorno
- Servicios anexos prohibido sin accesos especiales

ii. Autovías

- Velocidad de diseño entre 80 y 100 km/h
- Ausencia de interrupciones a detenciones, en general
- Flujo predominante de automóviles, ocasionalmente buses
- Restricción para vehículos tracción animal y bicicletas
- Segregación funcional selectiva del entorno
- Ausencia de paradas de buses sobre la calzada de tipo expresa
- Recomendable continuidad funcional en una distancia mínima de 8 km
- Relación con autopistas, autovías y vías troncales mediante enlaces controlados
- Cruces a desnivel para vehículos y peatones
- Calzadas independientes
- Vías paralelas para tráfico local.
- Segregación física del entorno
- Servicios anexos prohibidos sin accesos especiales

B. Vías Troncales

- Velocidad de diseño entre 50 y 80 km/h
 - Interrupciones ocasionales en semáforos
 - Estrategia de control acorde a lo establecido en el Manual de Señalización de Tránsito (MINTRATEL, 1982)
 - Flujos de automóvil y locomoción colectiva
 - Restricción sobre vehículos de tracción animal
-

-
- Segregación funcional parcial del entorno
 - Separación entre paradas de buses, sobre 500 m.
 - Estacionamientos, ferias y otros usos eventuales de la vía indeseables
 - Recomendable continuidad funcional en una distancia mínima de 8 km
 - Relación con autopistas y autovías mediante accesos controlados
 - Relación con vías troncales, colectoras y de servicio en cruces semaforizados
 - Uno o dos sentidos de circulación, o bien sentido reversible
 - Calzadas independientes para flujos elevados
 - Posible calzada única para flujos mediano, con mínimo dos pistas por sentido
 - Servicios anexos sólo con accesos normalizados

C. Vías Colectoras – Distribuidoras

- Velocidad de diseño entre 40 y 50 km/h
- Semáforos dependientes sincronizados
- Preferencia en intersecciones prioritarias
- Flujo predominante de automóvil, restringido tracción animal
- Ausencia de todo tipo de segregación con el entorno
- Estacionamientos, ferias y otros usos eventuales de la vía, restringidos
- Recomendable continuidad funcional. en una distancia mínima de 3 km
- Relación con troncales y colectoras - distribuidoras a través de cruces semaforizados
- Relación con vías locales mediante intersecciones prioritarias
- Una o dos calzadas, con posibilidad de uno o dos sentidos

D. Vías de Servicio

- Velocidad de diseño entre 30 y 40 km/h
 - Semáforos dependientes sincronizados
 - Preferencia en intersecciones prioritarias
 - Servicio de locomoción colectiva predominante; restricción sobre tracción animal
 - Ausencia de todo tipo de segregación con el entorno
 - Ferias y otros usos eventuales de la vía, restringidos
 - Estacionamientos restringidos, de preferencia en bandas especiales operación con prioridad al transporte público
 - Separación entre paradas de buses entre 300 y 500 m Recomendable continuidad funcional en una distancia mínima de 3 km Relación con vías troncales, colectoras-distribuidoras y de servicio a través de intersecciones semaforizadas.
 - Relación con vías locales mediante intersecciones prioritarias
 - Una o dos calzadas, con posibilidad de uno o dos sentidos.
-

E. Vías Locales

- Velocidad máxima de diseño, 30 km/h
- Flujos de automóviles, bicicletas y vías peatonales o semipeatonales
- Posible uso alternativo eventual de la vía: recreación, ferias y competencias entre otros
- Posibilidad de estacionamiento en la calzada
- Una o dos calzadas, posibilidad de uno o dos sentidos
- Relación con vías colectora-distribuidora, de servicios y locales, a través de intersecciones prioritarias en favor de las dos primeras
- Trazados que desincentiven la velocidad
- Ausencia de continuidad funcional para servicios de transporte

2. RELACION TRÁNSITO / TRANSPORTE.

Como se puede ver, los conceptos Tránsito y Transporte están estrechamente relacionados, de modo que en general todo vehículo en movimiento - lo que constituye tránsito - cumple con objetivos específicos de transporte de personas o de cosas entre un punto de origen y otro de destino, como se indica en el esquema de la Fig. 1:

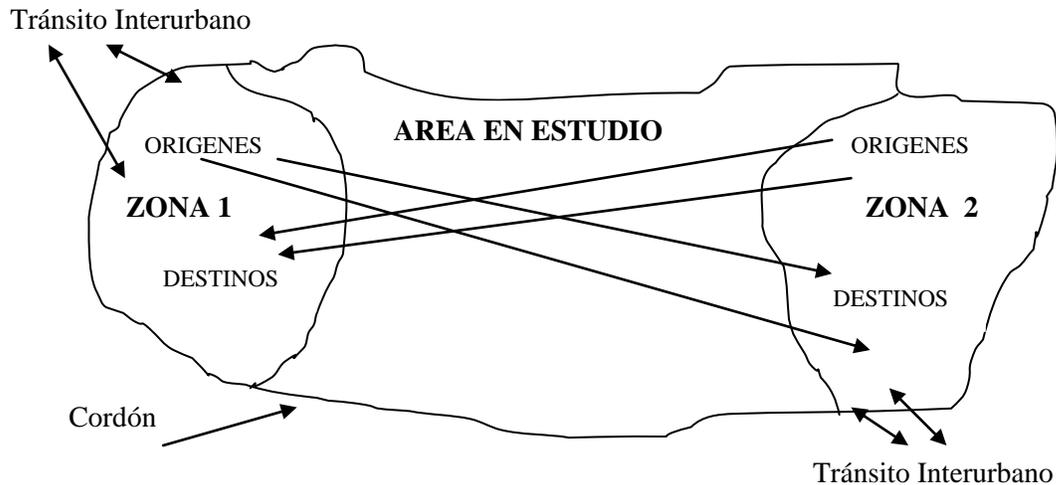
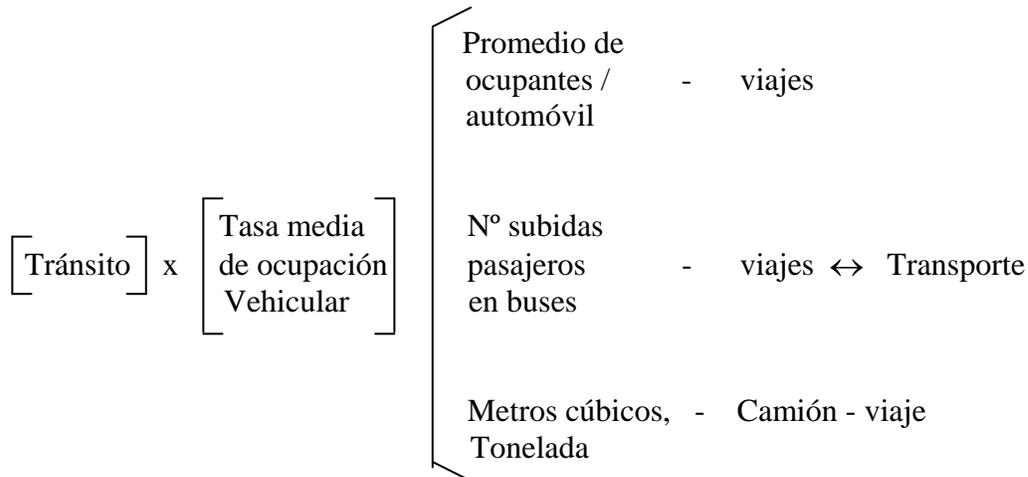


Fig 1. Transporte de Personas o de cosas

Por otra parte, la magnitud del tránsito, expresada en las unidades correspondientes a automóviles de pasajeros, y la del transporte, en la unidad denominada "viaje" cuando se trata de personas o en toneladas, metros cúbicos o "camión-viaje" cuando se trata de cosas, se pueden deducir una de otra mediante la evaluación del grado de uso que se hace de los vehículos, o sea de la tasa de ocupación vehicular. En efecto, al multiplicarse la magnitud

del tránsito por la tasa de ocupación vehicular, se puede determinar la del transporte, dentro de un proceso de características reversibles.

Una forma para expresar la relación Tránsito-Transporte es:



Relación Tránsito/Transporte

Tránsito y Transporte son conceptos multidisciplinarios en los que se consideran aspectos institucionales, socio-económicos y por supuesto, aquellos esencialmente técnicos. Así por ejemplo, un fundamento teórico para el tratamiento geográfico del transporte urbano, lo señala Ullman, quien manifiesta que la acción mutua que se ejerce entre dos zonas cualesquiera que origina tránsito, y por lo tanto transporte, se basa en conceptos de: "complementación", según el cual lo que falta en una de las zonas es suministrado por la otra y viceversa; de "oportunidad interpuesta", según el cual, si existe un punto de atracción que se interpone entre las dos zonas, éste afecta la acción mutua mencionada y, finalmente, el que se refiere a facilidades de transferencia entre los diversos medios de movilización.

Se suele agregar un cuarto concepto, que es la idiosincracia de las personas, que puede modificar los ya mencionados.

3. ESTUDIOS COMPRENSIVOS.

Según el alcance que se dé a los estudios de planificación del tránsito, éstos pueden tener carácter parcial y limitado o bien ser amplios, en cuyo caso se denominan comprensivos, que son los que interesa analizar en forma más detenida, por su mayor aplicación.

Se define pues la planificación comprensiva como el proceso por medio del cual se establece una política y se formulan planes para el futuro de la comunidad organizada sobre la base de las interrelaciones de toda clase de actividades que la caracterizan, Dicho proceso comprende en general etapas: de diagnóstico, en que se define el problema; de prognosis, en que se analizan las necesidades futuras; de realización del plan, de desarrollo del programa y finalmente la revisión comprensiva de los planes.

Las características socioeconómicas se refieren a toda actividad demográfica y económica como:

- Número de empleos
- Población
- Ingresos
- Tasa de motorización, etc.

En relación con un año-base, tomado como referencia, para aquello que se relaciona con la información actual como también para sus proyecciones.

Con respecto a la red vial y medios de transporte, se incluyen aspectos de diseño, la acción mutua de sus partes integrantes y los medios de transporte de alternativa, la evaluación de soluciones de alternativa y la elección de un plan de transporte con proposiciones para su implementación, programación y financiamiento.

Los planes de transporte que, en general, son a largo plazo, deben caracterizarse por su flexibilidad y dinamismo, en cuya gestación deben intervenir economistas, planificadores

urbanos y regionales, sociólogos, estadísticos, investigadores operacionales, analistas de sistemas, ingenieros de tránsito, etc., lo que viene a confirmar el carácter multidisciplinario que posee esta clase de estudios relacionados con el tránsito y el transporte.

La realización de estudios comprensivos hace necesario por lo general dividir el área en estudio en zonas, que constituyen la unidad fundamental de análisis en las diversas etapas de la planificación.

Un punto, importante es el periodo de proyección del estudio, el cual depende de los objetivos que se persigan. Así por ejemplo, una red de arterias nuevas, comparada con una Instalación de semáforos, requerirá más años para construirse, y por lo tanto será necesario un período de pronóstico mayor que en el caso de los semáforos, los que se pueden instalar en pocos días o en unas cuantas, semanas.

Los modelos matemáticos constituyen una importante herramienta para el cálculo de proyecciones el que sólo se justifica después de agrupar individuos en familias y éstas en comunidades, como se señala en el Estudio del Transporte para la zona de Pittsburgh, EE. UU. de Norte América.

En general, las proyecciones deben referirse a períodos algo mayores que la vida útil del proyecto, corrientemente de 25 a 30 años en planes relativos a sistemas viales, etc. y de 10 a 15 años para dispositivos reguladores del tránsito, instalaciones de semáforos, etc.

4. METODOLOGÍA DE LA PLANIFICACIÓN DEL TRANSITO.

Se ha desarrollado una metodología completa para el estudio de la Planificación del Tránsito y del Transporte urbanos.

El proceso correspondiente comprende la integración de muchas de las características de acción recíproca del medio ambiente urbano, distinguiéndose etapas de obtención de datos o inventarios de tránsito, de análisis, de cálculo de proyecciones para determinar situaciones futuras, de formulación y comprobación de planes de alternativa, de elección de planes definitivos y programas de realización e implementación.

No obstante, el objetivo fundamental reside en el cálculo de la demanda futura de viajes, cuyo conocimiento cabal define en consecuencia, lo que será el tránsito futuro.

Se indica a continuación el esquema general de la Planificación del Tránsito y del Transporte.

ESQUEMA GENERAL DE PLANIFICACIÓN DEL TRÁNSITO

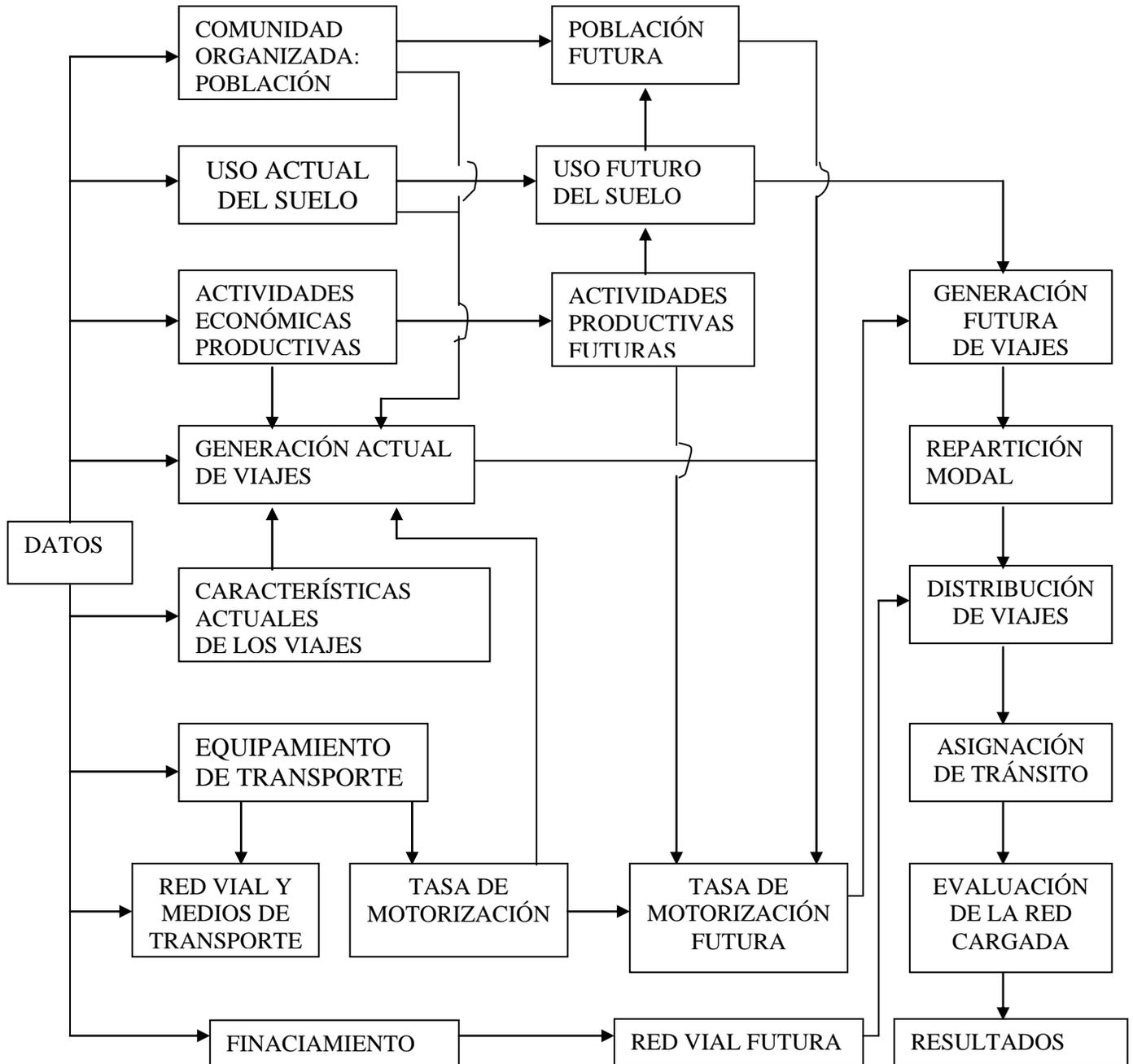
STUACIÓN ACTUAL

S ITUCIÓN PROYECTADA

INVENTARIO
DE TRÁNSITO

DESARROLLO DEL
ÁREA EN ESTUDIO

EVALUACIÓN DE
VIAJES Y TRÁNSITO
FUTUROS



5. SITUACIÓN ACTUAL.

5.1. Inventario de Tránsito.

Las condiciones existentes de un sistema de tránsito quedan reflejadas en el inventario, contexto que representa la situación real del tránsito y de su equipamiento, distribuida espacialmente.

De acuerdo con el alcance que se le asigne, el inventario de tránsito puede incluir una subdivisión de áreas urbanas o no urbanas en, zonas, según tipos de uso del suelo, cuya característica principal es la uniformidad de las actividades que se realicen en éste y cuya aplicación primordial se encuentra en el cálculo del número de viajes dentro de las zonas, entre éstas o entre éstas y lugares situados fuera de ellas.

El inventario de tránsito indica el potencial y las características de la generación actual de tránsito, subetapa esta última que conduce posteriormente al cálculo de sus proyecciones correspondientes. Por otra parte, el inventario de tránsito es un punto de paso importante en el desarrollo del área en estudio.

Los datos que se toman en un inventario, cuya forma de presentación puede incluir ábacos, tablas de valores o gráficos, se encuentran indicados en el esquema general de la Planificación, entendiéndose que su obtención debe ser simultánea para los ítems considerados.

Por la importancia que tiene dentro del inventario, se analizará la Generación de viajes en forma especial.

6. GENERACIÓN DE VIAJES.

Es conveniente definir primero lo que se entiende por **viaje**.

Como se ha visto anteriormente, la demanda de transporte se satisface físicamente mediante el uso del vehículo motorizado, cuya circulación equivale al movimiento entre dos puntos definidos. En tales condiciones, dicho movimiento constituye lo que en general se denomina viaje, el cual se caracteriza geoméricamente por sus puntos de origen y de destino, llamados en este caso puntos extremos, como se indica en Fig. 2.

En relación con el proceso de cálculo del número de viajes, tiene especial importancia el número de puntos extremos. Para tales efectos, se consideran todos los puntos extremos de viajes que se produzcan en una zona, como si estuvieran concentrados en su centro de gravedad, denominado centroide.

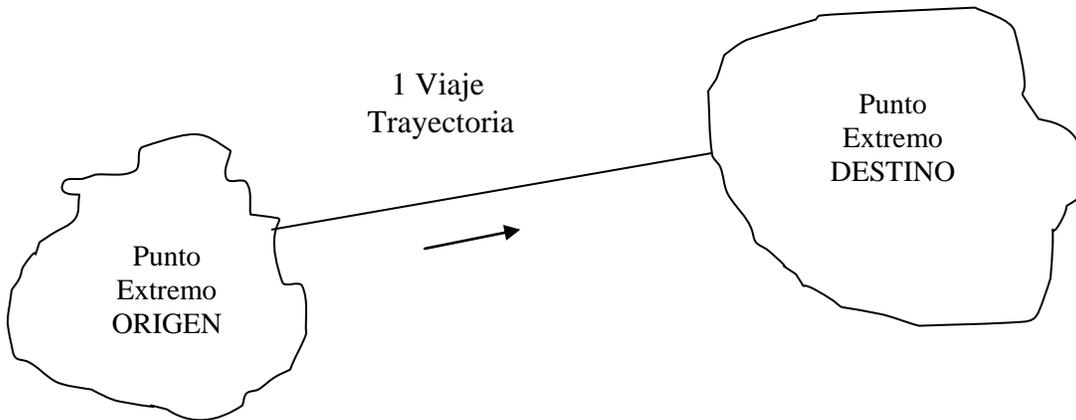


Fig. 2

Con respecto a la justificación de los viajes, ésta obedece por lo general a una necesidad o a un deseo del usuario. En el primer caso se tiene un viaje obligado. En el segundo, un viaje voluntario. Sin embargo, pueden existir viajes mixtos, esto es, que obedezcan a una necesidad y a un deseo simultáneamente.

En cuanto a localización, los viajes pueden ser:

- Intrazonales
- Interzonales
- Interurbanos

Se llama viaje intrazonal aquel cuyo origen y cuyo destino se encuentran, dentro de la zona considerada, por ejemplo el viaje MN de la Fig. 3:

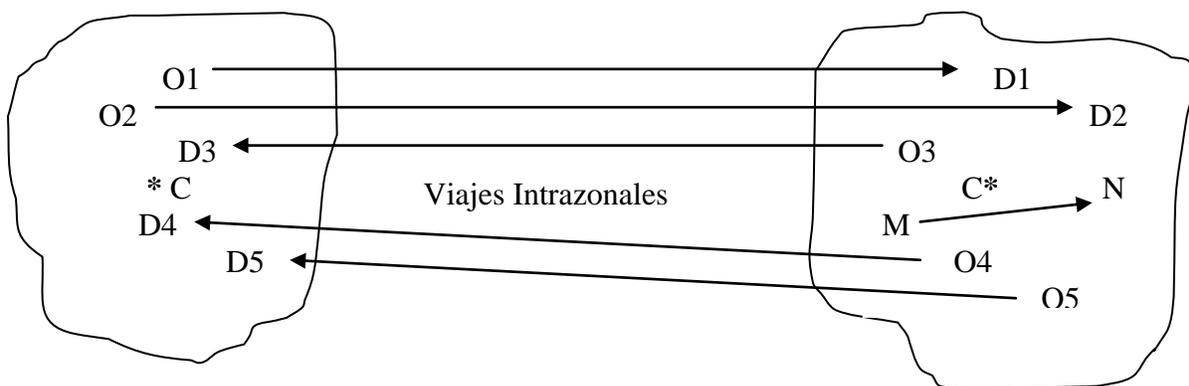


Fig. 3

Se llama viaje interzonal aquel cuyo origen y cuyo destino se encuentran en zonas distintas, por lo que esta clase de viajes debe realizarse entre pares de zonas.

Se llama viaje interurbano aquel que se realiza desde o hacia lugares situados fuera de un área urbana en estudio.

En cuanto a quién es el que realiza los viajes, se distinguen: viajes de personas o simplemente viajes, que involucran a los ocupantes de los vehículos y viajes vehiculares, que involucran al vehículo mismo.

Los viajes de personas, que interesan fundamentalmente, se definen específicamente como el movimiento en un solo sentido que realiza una persona, de más de 5 años de edad, empleando una o más formas de transporte desde un lugar de origen hacia otro de destino, incluyendo el recorrido a pie hacia y desde los medios de transporte utilizados.

En cuanto a la forma de transporte, ésta puede ser el automóvil, que es ocupado por la persona como conductor o como pasajero, o la movilización colectiva, que la emplea solamente en calidad de pasajero.

Si la persona se baja de un vehículo en un lugar cualquiera A de la ruta previamente elegida, y utiliza luego un nuevo medio de transporte, pueden originarse más viajes. Sin embargo, toda detención que tenga carácter secundario y que no sea determinante en la elección de la ruta, no se considera como circunstancia que origine un nuevo viaje, por ejemplo, poner cartas a un buzón, comprar gasolina, etc. Se tendrían, de este modo, dos viajes como se indica en Fig. 4:

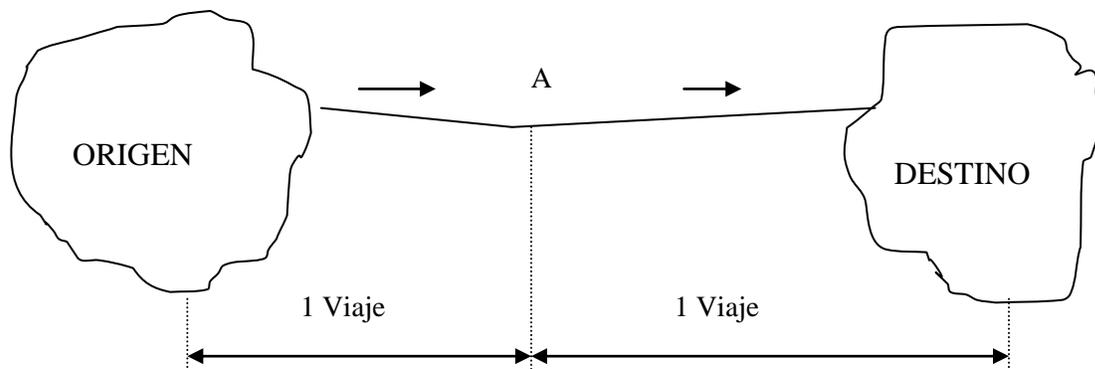
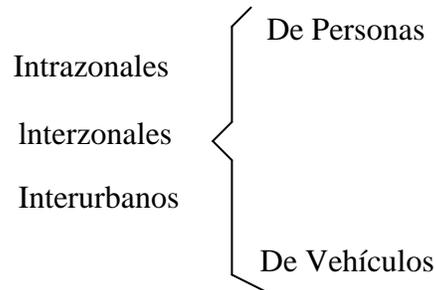


Fig. 4

En cuanto a los viajes vehiculares, éstos pueden ser de vehículos comerciales para el transporte de personas o de cosas (buses y camiones en general) o no comerciales, (particulares) entre los que se incluyen automóviles, taxis, etc.

Según la combinación de recorridos que se produzcan hay viajes simples y viajes compuestos, según que se consideren dos o más puntos extremos de recorridos.

Un resumen de la clasificación de los viajes es:



Clasificación de los viajes

Los viajes se caracterizan principalmente por su propósito y por el medio de transporte en que se realizan. Así, tienen mayor relevancia los viajes cuyo propósito es el trabajo o la escuela, porque su porcentaje es elevado; son concentrados durante las horas de volumen máximo de vehículos; presentan regularidad con el transcurso del tiempo, circunstancia esta última que permite proyectarlos con mayor facilidad. Se trata en este caso de viajes de tipo productivo, a diferencia de aquellos que se realizan mediante el uso opcional del vehículo motorizado, que no se pueden proyectar con exactitud porque dependen del deseo del usuario y de otros factores conexos. La unidad en que se expresan los viajes es viajes/persona/día, o bien viajes/vehículo/día.

Los investigadores R. J. Smeed y E. M. Holroyd, del Laboratorio de Investigaciones Viales, de Inglaterra, han expuesto el concepto de área requerida para la realización de un viaje, la cual se ha calculado en el caso de viajes en automóvil hacia y desde el lugar de trabajo del usuario, bajo la hipótesis de ciudades ideales. La Magnitud de dicha área depende de varios factores, tales como la tasa de ocupación vehicular, cuyo efecto se deja ver con claridad cuando viajan dos personas en un automóvil, caso en el cual el área requerida antes señalada se reduce en más de un 50 %, lo que finalmente se traduce en una mayor eficiencia en el movimiento vehicular.

6.1 DEFINICIÓN Y OBJETIVOS DE LA GENERACIÓN DE VIAJES.-

La generación de viajes constituye el ítem más importante del inventario de tránsito, la que tiene por objeto determinar los factores que afectan la frecuencia y clases de viajes producidos en las diversas zonas.

La frecuencia de viajes se expresa como promedio diario de viajes de personas, en las 24 horas, que se realizan entre pares de zonas de una región geográfica denominada área en estudio, que en el caso más general puede corresponder a una metro poli. Las clases de viajes se caracterizan según el propósito de ellos o según el sentido en que se realicen, conceptos ambos que sirven de base para su estratificación posterior.

La generación actual de; viajes se basa en las condiciones de tránsito existentes dadas por el inventario, debiéndose tomar en cuenta los cambios que se produzcan en el área en estudio por variaciones del uso del suelo de carácter socioeconómico, etc.

Establecido entonces lo que se entiende por viaje, corresponde ahora definir y analizar la generación tanto de viajes como de tránsito.

Específicamente, generación de viajes es la cantidad de viajes que se generan en una zona determinada durante un periodo dado, generalmente de 1 día, y se expresa como número de puntos extremos existentes (orígenes y destinos), En otras palabras, se refiere, mediante la cuantificación y clasificación de tales puntos extremos, al número de viajes de tipo determinado que se realizan desde o hacia una zona considerada, que a su vez es parte integrante de un área en estudio (metrópoli, región, etc.).

Como se puede observar, la generación de viajes, como también la atracción, se refieren a lugares perfectamente determinados,

Calculada la generación actual de viajes, se considera luego el desarrollo que experimenta el área en estudio, para llegar finalmente a la generación futura de viajes y de tránsito, que constituye la primera etapa dentro del proceso de la evaluación de estos últimos, es decir, la tercera columna del esquema general.

6.1.1 Variables.-

La Generación de viajes depende fundamentalmente de las características del uso del suelo y socioeconómicas de la zona considerada, por lo que con el análisis de correlación correspondiente, es posible fijar cuantitativamente las relaciones del caso. (Se dice también que influye la accesibilidad relativa que ofrezca la zona considerada a las diversas actividades y por consiguiente a los tipos de usos del suelo).

Las principales variables del uso del suelo y socioeconómicas de que depende la generación de viajes se subdividen según la relación que los viajes tengan con la vivienda, lugar ocupado por el grupo familiar, que constituye la base de la mayoría de los viajes. Aún cuando no se trata de una subdivisión de carácter rígido, se la puede establecer en la forma siguiente:

Para viajes basados en la vivienda:

- Densidad de población
- Tamaño de la ciudad
- Número de integrantes del grupo familiar
- Ingreso familiar
- Número de empleados (personas residentes de las viviendas consideradas y que están empleadas).
- Tasa de motorización
- Número de viviendas

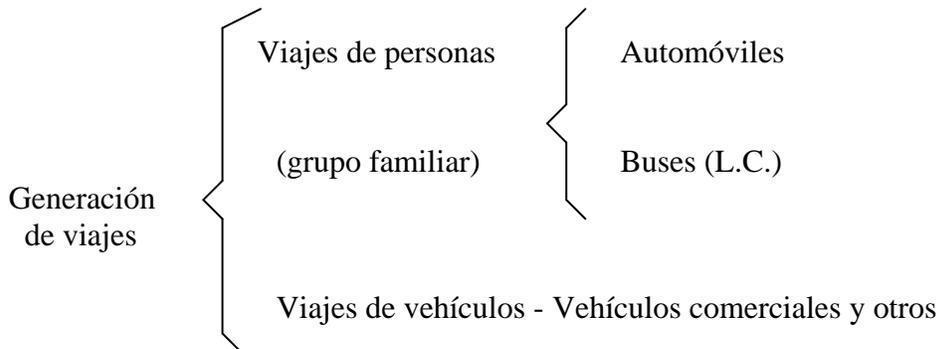
Para viajes no basados en la vivienda:

- Uso del suelo e intensidad en el destino
- Número de empleos
- Longitud de los viajes
- Distancia al área central urbana
- Volumen de ventas del comercio
- Disponibilidades de medios de transporte
- Medios de transporte
- Propósito de los viajes

Una vez identificadas las variables, se deben elaborar modelos matemáticos, como se verá más adelante en los procesos de la Planificación, que permiten apreciar el efecto conjunto de aquéllas.

6.1.2 Clasificación.

En cuanto a la naturaleza de la generación de viajes, se distinguen los tipos siguientes:



Para los viajes de personas (grupo familiar) según la relación que existe entre el propósito de los viajes y la vivienda, se distinguen:

- Viajes basados en la vivienda
- Viajes no basados en la vivienda

- Viajes basados en la vivienda son viajes con uno de sus puntos extremos, origen o destino, situado en la vivienda, es decir, son viajes que comienzan o que terminan en la vivienda. Por lo tanto, su propósito está relacionado directamente con la vivienda y el grupo familiar respectivo. Alcanzan por lo general a un porcentaje del orden de 75 % a 80 % del total de viajes urbanos,

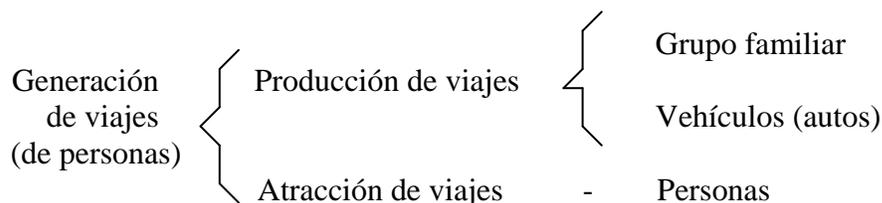
Otros tipos de viajes de naturaleza similar son los viajes vivienda-trabajo, que se basan en la cantidad de empleados, la que a su vez está en relación con la población de la zona considerada. Es decir, es una relación de la forma:

Zona residencial (empleados) - Zona de empleos (número)

- Viajes no basados en la vivienda son aquellos en que ninguno de sus puntos extremos se encuentran en la vivienda considerada, es decir, su propósito no está relacionado con la vivienda.

Esta clase de viajes se agrupa, además, según el medio de transporte, lo que da origen al viaje de 1 persona como conductor de un automóvil, como pasajero de éste o de vehículos de movilización colectiva.

Según sea el sentido del movimiento de los viajes, hay dos clases de generación:



Producción de viajes es el número de viajes realizados por grupos familiares de una zona considerada, o por los automóviles existentes en dicha zona, por unidad de tiempo, incluyéndolos viajes que ocurren fuera de la zona de residencia. En tales condiciones, la producción se relaciona pues con las características del grupo familiar: número de sus integrantes, ingresos, tasa de motorización, etc.

Específicamente la producción de viajes se refiere al cálculo del número de puntos extremos, orígenes o destinos, situados en la vivienda, de viajes basados en la vivienda, o a los orígenes de viajes no basados en la vivienda. Estos orígenes se consideran como puntos extremos, fuente o puntos extremos-producción, independientemente del sentido de movimiento en que se realice el viaje.

Por lo tanto, viaje producido en una vivienda es aquel que tiene uno de sus puntos extremos, origen o destino, en la vivienda. El cálculo de la producción de viajes es una etapa básica que sirve para determinar la generación de viajes, luego de efectuarse la distribución espacial de los puntos extremos de generación. En otras palabras, conociendo la producción de viajes de grupos familiares en una zona, hay que determinar enseguida dónde se generan los viajes.

Atracción de viajes es en general el número de viajes atraídos por una zona por unidad de tiempo, y se refiere al número de puntos extremos, orígenes o destinos, que no corresponden a la vivienda, de viajes basados en la vivienda, o a los destinos de viajes no basados en la vivienda. Estos destinos se consideran como puntos extremos-sumidero o puntos extremos-atracción.

Por lo expresado, la atracción existe en los orígenes o en los destinos de los viajes, los cuales son realizados por personas cuya vivienda se encuentra fuera de la zona considerada.

La atracción de viajes está relacionada con el número de empleos, volumen de ventas al detalle, asistencia de los escolares, etc.

En resumen, tanto la producción como la atracción de viajes pueden coincidir con el origen o con el destino, pero se refieren siempre a uno de estos lugares.

La generación de viajes y por lo tanto de tránsito, en las condiciones existentes, se puede determinar sobre la base de los estudios de O y D, que entregan características de la situación actual, y que constituyen el tratamiento más simple como estudio espacial de

orígenes y destinos de viajes, complementados por los demás factores señalados en el esquema general de la Planificación.

6.1.3. Unidades.

La unidad de generación de viajes es la vivienda, que se considera como base, la cual es parte integrante de las zonas consideradas. Por eso, la generación de viajes basados en la vivienda constituye una generación básica de viajes. Es pues la vivienda la que sirve de origen o destino a la mayor cantidad de viajes urbanos y donde las personas permanecen un mayor tiempo.

Las unidades de generación y de atracción de viajes son:

- Viajes/persona/unidad de área/día
- Viajes/automóvil/unidad de área/día.

La producción de viajes, referida al grupo familiar que es el que ocupa las viviendas, constituye la unidad de realización de viajes y es la base para la elaboración de modelos de generación de viajes. Dicha unidad se expresa como viajes/grupo familiar/día.

En suma, se puede decir que:

$$\begin{array}{ccccc} \text{Generación} & = & \text{Producción} & + & \text{Atracción} \\ \text{de viajes} & & \text{de viajes} & & \text{de viajes} \end{array}$$

en relación a un par de zonas consideradas, como se indica en el esquema de Fig. 5.

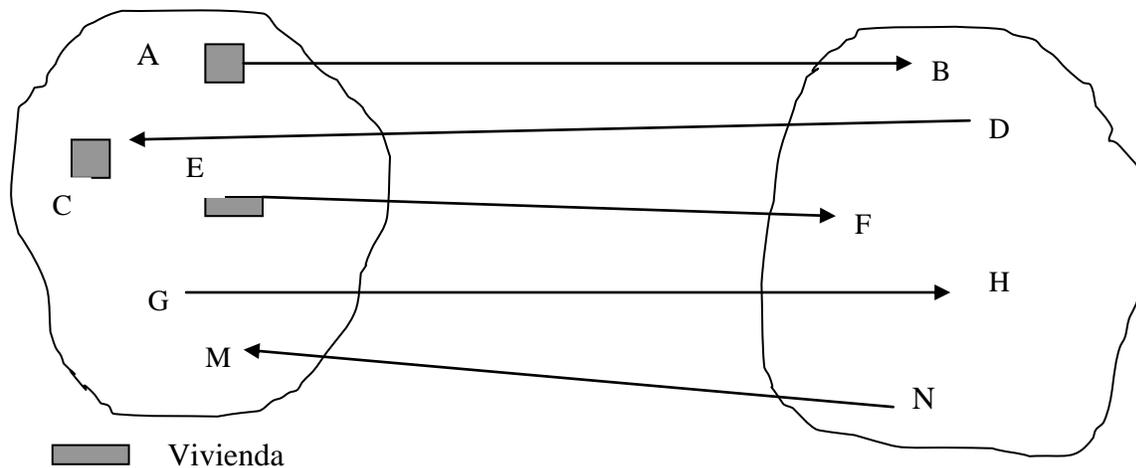


Fig. 5.

Tipo de Viajes	Viajes	PUNTOS EXTREMOS							
		De Generacion				De Producción		De Atracción	
		En Zona 1		En Zona 2		Zona 1	Zona 2	Zona 1	Zona2
		Origen	Destino	Origen	Destino	1	2	1	2
Basados en la vivienda	AB	A	*	*	B	A	*	*	B
	CD	*	C	D	*	C	*	*	D
	EF	E	*	*	F	E	*	*	F
No basados en la vivienda	GH	G	*	*	H	G	*	*	H
	MN	*	M	N	*	*	N	M	*
Nº puntos extemos		5		5		4	1	1	4

6.1.4. Cálculo de la Generación de viajes y de tránsito.-

El análisis de los datos del inventario de tránsito entrega los antecedentes básicos para la determinación de la generación actual de viajes y de tránsito.

El número de viajes actuales se puede determinar ya sea con la utilización de antecedentes que se obtienen del estudio de origen y destino o bien mediante la elaboración de modelos matemáticos. Los modelos fundamentales se refieren a producción y a atracción de viajes, en forma separada.

El número de viajes que se producen en una zona se puede calcular considerando el grupo familiar como la unidad de referencia, grupo al que se aplican tratamientos basados en procedimientos de:

- Análisis de estratificación
- Análisis de regresión

- Según el análisis de estratificación, se clasifican los grupos familiares por estratos o categorías. Luego, a cada uno de éstos se le atribuye una tasa específica de realización de viajes. El número de puntos extremos de viajes se obtiene entonces sumando los viajes realizados en cada uno de los estratos de grupos familiares en la zona considerada.

Con este tipo de tratamiento se requiere una cantidad elevada de entrevistas a grupos familiares.

- Mediante el análisis de regresión se establece y se calcula una relación, generalmente regresión lineal, con variables de naturaleza socioeconómica, para toda el área en estudio. Ello se hace relacionando el número actual de viajes producidos y atraídos por cada zona considerada con variables como población, número de empleos, tasa de motorización según tipos de vehículos, etc.

Con este tipo de tratamiento se requiere una cantidad relativamente baja de entrevistas a grupos familiares.

En tales condiciones, el modelo de generación de viajes puede tener la forma:

$$G_i = c_0 + c_1X_1 + c_2X_2 + \dots + c_nX_n$$

donde:

G_i = número de viajes de tipo determinado, generados en una zona de orden i .

c_0, c_1, c_2, \dots = constantes deducidas del análisis de regresión.

x_1, x_2, x_3, \dots = variables de naturaleza socioeconómica.

Las relaciones mencionadas se aplican luego a grupos familiares de cada una de las zonas del área en estudio, a fin de obtener el número de puntos extremos de producción de viajes. Sin embargo, es importante señalar que las técnicas de regresión múltiple entregan modelos matemáticos para el cálculo de la variable dependiente (Nº de viajes) y/o sus proyecciones, pero no son apropiados para el cálculo o proyecciones de puntos extremos de viajes en el futuro.

Un modelo de generación de viajes puede servir para la proyección de viajes según medios de transporte, en forma separada o combinada.

En resumen, las variables que afectan la generación de viajes deben primero cuantificarse y luego proyectarse, Si bien, ciertas variables independientes se pueden valorar satisfactoriamente para el año-base, es difícil y a veces imposible proyectarlas. Por lo tanto, es conveniente incorporar esas variables en un modelo de regresión que se emplee para proyecciones.

La generación de tránsito se puede deducir de la generación de viajes mediante la tasa de ocupación vehicular, según la relación obvia:

$$\begin{array}{ccc} \text{GENERACIÓN} & & \text{GENERACIÓN} \\ \text{DE VIAJES} & \times \frac{1}{\text{TASA MEDIA DE}} & \text{DE TRÁNSITO} \\ & \text{OCUPACIÓN VEHICULAR} & \end{array} =$$

y corresponde al tránsito total que llega o que sale de un área en que exista un determinado tipo de uso del suelo durante un tiempo dado.

Lo anterior quiere decir que, al calcularse primero los viajes de personas, que es lo que generalmente se hace, éstos se traducen luego en vehículos en la forma indicada:

$$\text{VIAJES DE PERSONAS EN AUTOMÓVIL} \times \frac{1}{\text{TASA MEDIA DE OCUPACIÓN VEHICULAR}} = \text{VIAJES DE AUTOMÓVILES}$$

Se define también la intensidad de generación de tránsito, equivalente a una unidad de generación, que se expresa en personas, o en toneladas/unidad de área y por unidad de tiempo.

La Fig. 6 indica la forma gráfica de presentar la generación de viajes en las diversas zonas de un área en estudio, expresada, en número de puntos extremos de viajes. Se trata de un gráfico de carácter isométrico.

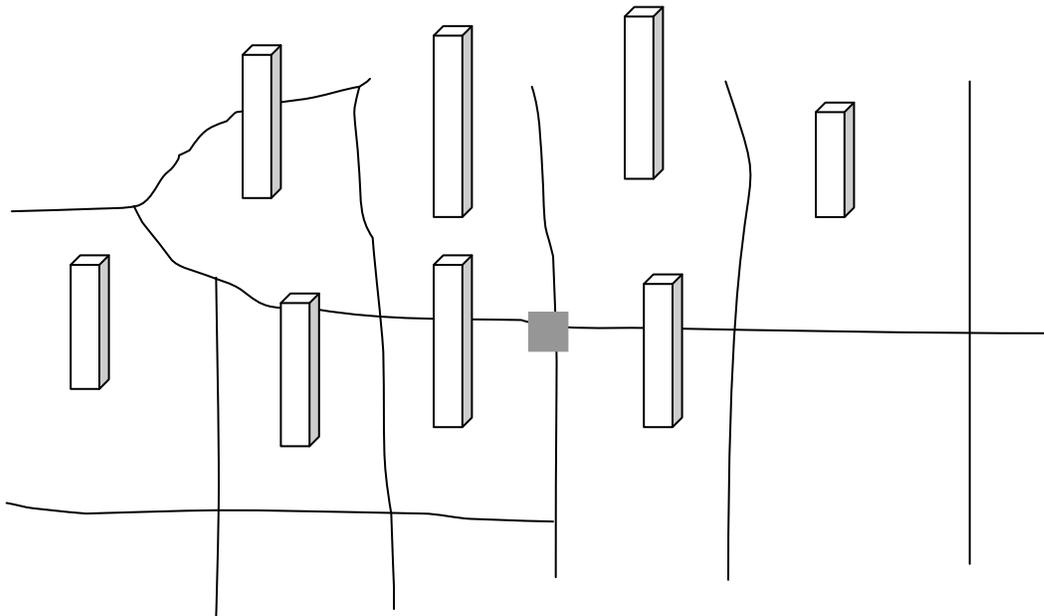


Fig. 6

Como es lo usual, la cantidad de viajes generados por zona se encuentra concentrada en el centroide de éstas, término definido anteriormente y que corresponde al "centro de gravedad" de puntos extremos de viajes equivalentes.

7. DESARROLLO DEL ÁREA EN ESTUDIO.

El desarrollo del área en estudio, cuya proyección se origina en la información suministrada por el inventario de tránsito, comprende la evaluación de las proyecciones de población, de uso del suelo, de las actividades productivas, de la tasa de motorización y de la red vial.

El factor principal que influye en las proyecciones de tránsito es la población, caracterizada por su localización, su magnitud y su densidad, pues es aquélla la que determina los cambios del uso del suelo, factor que afecta directamente la demanda de viajes. La población puede referirse a residentes o a empleados. A mayor población se requieren mayores disponibilidades de medios de transporte. Sin embargo, el cálculo de la población futura, que se realiza en general con el empleo de ecuaciones exponenciales, sólo es válido mientras no se presenten fenómenos de fuerza mayor como catástrofes masivas, guerras, etc., que alterarían las tendencias normales,

El análisis de las proyecciones de la población y de los empleos se hace con el uso de técnicas de cálculo de regresión múltiple, programación lineal y simulación. Las proyecciones indicadas deben necesariamente tratar de las interrelaciones de uso del suelo futuro para cada una de las cuatro actividades básicas de las personas (proyecciones de uso del suelo):

- Trabajo
- Compras
- Diligencias
- Esparcimiento.

Otro de los factores importantes es el cambio que experimenta la tasa de -motorización con el transcurso del tiempo. A este respecto, no es conveniente el empleo de un factor único de crecimiento, pues se subestimarían los viajes privados futuros y se sobreestimarían los de tipo industrial.

Una vez que se han establecido las relaciones que rigen el desarrollo urbano mediante las técnicas mencionadas, es posible entonces tener las proyecciones para todas las zonas del área en estudio, lo que se hace calculando primero el desarrollo total que puede producirse en el área en estudio durante el período de proyección y luego localizando este desarrollo en las diversas zonas consideradas.

8. EVALUACIÓN DE VIAJES Y DE TRÁNSITO FUTUROS.

En la etapa final del proceso de planificación del tránsito y del transporte, corresponde hacer la evaluación de las necesidades futuras de movimiento de personas o de cosas, es decir, del tránsito y del transporte futuros.

La generación de viajes y de tránsito actual permite, mediante los factores de evaluación del desarrollo del área urbana, condicionada a las hipótesis de crecimiento correspondientes, pasar a la tercera etapa del proceso de planificación mencionado, cual es la evaluación de los viajes y del tránsito futuros, que comprende las subetapas clásicas señaladas en el esquema general:

- Generación de viajes y de tránsito
- Distribución de viajes
- Repartición Modal
- Asignación de tránsito

En el cálculo de cada una de estas subetapas se hace uso de submodelos que alimentan consecutivamente a las subetapas indicadas.

En cuanto a tránsito, los flujos futuros no se basan solamente en el estudio del volumen de tránsito actual. Son el resultado de las variaciones del uso del suelo y del inventario de vehículos motorizados, factores que afectan directamente la demanda de viajes de personas y de cosas. Las proyecciones correspondientes de tránsito se hacen sobre la base del promedio diario de tránsito, aún cuando se suelen emplear también proyecciones horarias, debido a que interesa también el volumen horario máximo, el cual no debe tomarse como porcentaje del promedio diario, ya que éste varía de una arteria a otra.

El cálculo de la generación de viajes basados en la vivienda tiene relación directa con las características socioeconómicas y de localización de zonas residenciales, que son los lugares en que existen las viviendas, El cálculo de viajes futuros no basados en la vivienda es más complejo, en razón de la multiplicidad de tipos de uso del suelo no residenciales y diversidad de actividades que se realizan en ellos, lo que dificulta la cuantificación de la relación entre el número de viajes generados y las características de los diversos usos del suelo.

Por eso, además de tener en cuenta las características socioeconómicas mencionadas, se debe buscar la relación con el propósito del viaje y con la intensidad de actividades en la zona considerada.

La evaluación de los viajes y del tránsito futuros se realiza, en resumen, sobre la base del proceso siguiente:

- Proyección de la generación de viajes, mediante el cálculo del número de puntos extremos (orígenes y destinos) futuros.
 - Unión de los puntos de origen y destino para que formen viajes propiamente tales, lo que constituye la distribución de viajes.
 - Proyección de la repartición modal de viajes de personas que es una subetapa cuyo orden se puede alterar.
-

-
- Asignación de movimientos existentes a la red vial propuesta. Luego se hace el cálculo del aumento del tránsito que será generado en las nuevas arterias, aumento que se suma a la asignación original.

Las subetapas de distribución, repartición modal y asignación presentan mayor complejidad que la generación.

El cálculo del tránsito futuro que se origina y que termina en cada zona considerada, sobre la base del estudio de origen y destino como, se ha dicho, permite derivar fórmulas que relacionan el tránsito existente que termina en una zona, que es originado por sus habitantes, con otras características de la zona, por ejemplo población, densidad de población, número de vehículos, ingreso familiar, tipo de uso del suelo, etc.

8.1 Proyecciones de la Generación de viajes y de tránsito.

El cálculo de la generación de viajes futuros se puede referir al número total de viajes de personas o bien al número de viajes según medios de transporte, caso en el cual se suma los valores parciales así obtenidos para determinar el número total de viajes de personas. En el primer caso, al proyectar el número total de viajes de personas, la repartición modal debe realizarse como subetapa posterior.

El cálculo del número de viajes futuros que genera cada una de las zonas pertenecientes a un área en estudio se puede realizar mediante la proyección de los antecedentes obtenidos del uso del suelo, del que se deduce el número de personas que vive en una zona, el número de trabajadores empleados en zonas industriales o comerciales, y el número de automóviles que poseen. Estas cifras se pueden convertir enseguida en volumen de viajes, mediante la aplicación de las relaciones desarrolladas en la generación de viajes, y con el empleo de modelos matemáticos, como se verá más adelante.

El resultado de las proyecciones debe subdividirse según las diversas clases de viajes, que permitan variaciones de la distribución de estos en relación con las diferentes actividades en cada tipo de uso del suelo.

Además de agruparse los viajes según propósito, o sentido, debe determinarse también el medio probable de transporte que se usará para realizar los viajes.

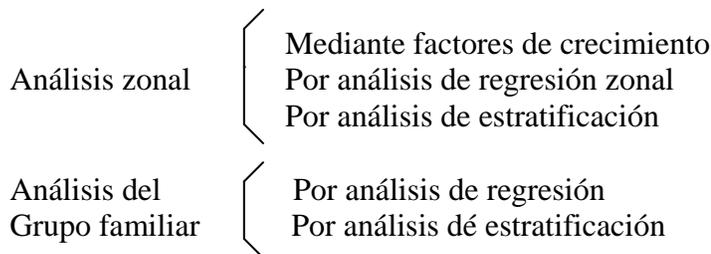
Para proyectar la producción de viajes se emplea la tasa de motorización y la población, expresadas como densidad/unidad de área de terreno bruto. Para la atracción de viajes se emplea la población y el número de empleos.

Los métodos para determinar las proyecciones de tránsito se basan en las proyecciones del uso del suelo. La conversión de las proyecciones de uso del suelo en proyecciones de tránsito se divide en dos partes:

- Cálculo del número de viajes generados por cada zona.
- Determinación de la distribución de viajes.

El cálculo de las proyecciones de viajes y de tránsito comprende todos los viajes producidos en una zona o atraídos por ella, en toda el área en estudio, basándose en las relaciones entre viajes y población y uso del suelo y características socioeconómicas.

El cálculo de la generación de viajes de tipo intrazonal e interzonal se puede realizar mediante un tratamiento zonal, de naturaleza asociativo de datos, o de un tratamiento aplicado al grupo familiar, de naturaleza disociativa. Tanto la zona como el grupo familiar constituyen las unidades de análisis, que comprenden a su vez los procesos que se indican:



Análisis zonal: El análisis zonal permite la determinación del número total de viajes/zona en un día normal, área de carácter geográfico que en este caso es la unidad de análisis.

Factores de crecimiento: La generación de viajes está afecta a crecimiento (variación positiva), lo que se puede expresar mediante factores relativos a dicho crecimiento. Ello constituye uno de los primeros métodos que se emplearon para tal objeto.

Como las variaciones de la generación de viajes y su hipótesis de crecimiento son difíciles de verificar, el empleo de factores de crecimiento tiene uso restringido, limitándose a zonas de escasa importancia, con períodos de proyección a corto plazo, del orden de los 5 años. En tales casos se suele emplear el crecimiento anual del volumen de tránsito o las variaciones de población y número de empleos, como la base de cálculo.

Una forma simple que puede adoptar un factor de crecimiento es la siguiente:

$$\frac{\text{Población futura}}{\text{Población actual}} \times \frac{\text{Tasa de motorización futura}}{\text{Tasa de motorización actual}} \times \frac{\text{Uso futuro del auto}}{\text{Uso actual del auto}}$$

Análisis de regresión: El análisis de regresión lineal múltiple o técnica de correlación lineal múltiple, permite relacionar el número de viajes según sus propósitos con las características socioeconómicas del suelo, empleándose las variables zonales correspondientes.

El análisis de regresión zonal es una técnica que permite correlacionar una variable dependiente y que representa el número de viajes con propósitos determinados, producidos o atraídos por una zona expresados en unidades de viajes/zona o viajes/grupo familiar/zona durante un día normal.

Tal correlación se efectúa con n variables independientes x_1, x_2, \dots, x_n que en este caso se pueden referir al uso del suelo o a características socioeconómicas tales como población, ingresos, áreas residenciales, etc., en forma tal que cada variable en particular comprenda solamente un tipo de tales características.

La correlación indicada tiene entonces la forma:

$$y = b_0 + b_1 x_1 + b_2 x_2 + \dots + b_n x_n$$

Los coeficientes b_0, b_1, \dots representan constantes que se pueden determinar, entre otras formas, mediante el procedimiento de los cuadrados mínimos.

Como se observa la forma señalada es similar a la expresión dada, para el cálculo de la generación de viajes y de tránsito.

Análisis de estratificación: Este tipo de análisis, para determinar la producción zonal de viajes, se basa en la clasificación de la zona según categorías de viviendas, definidas por: ingreso familiar, tasa de motorización y estructura familiar, y en la determinación del valor medio o respuesta promedio de la variable dependiente para categorías o estratos definidos de las variables independientes.

Cada categoría de grupo familiar produce una tasa específica de viajes cuyas unidades pueden ser: viajes/persona, viajes/vehículo, etc. Sin embargo, el análisis de estratificación es más apropiado para el cálculo de proyecciones de viajes basados en la vivienda.

Los estratos o categorías se definen mediante una matriz multidimensional en que cada dimensión representa una variable independiente y en que éstas se encuentran estratificadas en categorías.

En las aplicaciones para el cálculo del número de puntos extremos de viajes, cada unidad de análisis (zona o grupo familiar) observada es asignada a una categoría particular o casillero de la matriz, que depende de los valores de las variables independientes: número de automóviles, ingreso familiar y tamaño del grupo, etc.

Posteriormente se asignan a cada categoría tasas medias de producción de viajes para cada casillero, tasas que se supone permanecen relativamente constantes con el tiempo o período de pronóstico.

La vivienda es la unidad de análisis básica más apropiada, en el análisis de estratificación indicado.

En otras palabras, dichas tasas se las establece en viajes por unidad de área de suelo en una zona dada, obtenida de las evaluaciones del uso del suelo y del origen y destino (situación actual). Por ejemplo, en una zona residencial, puede resultar una tasa de generación de 10 viajes/día/hectárea. En todo caso, la cantidad de puntos extremos de viajes en la zona se obtiene sumando los viajes realizados en cada una de las categorías de grupos familiares dentro de la zona considerada,

La tasa de generación de viajes es función de dos clases de variables: la 1ra. clase representa variables que tienden a incrementar el potencial de realización de viajes. La otra clase la constituyen las fuerzas restrictivas,

Dentro de la primera clase de tales variables se pueden indicar: tasa de motorización, población activa, número de empleados, área que posee cada uso del suelo en la zona, etc. Estas variables miden el potencial de producción de viajes.

La segunda clase de variables corresponde a las denominadas fuerzas restrictivas, que son las variables que miden el potencial de atracción de viajes.

El número de viajes generados en una zona está principalmente influenciado por el número de grupos familiares o por el número de lugares de trabajo. También lo está por el número de automóviles por grupo familiar y por los ingresos de éstos lo que introduce el concepto de tasa de generación de vía es de personas o de cosas hacía o desde un uso del suelo determinado que se denomina deseo de viaje o probabilidad de viajes. Mientras mayor sea la población, mayor es el deseo de realizar viajes.

Las tasas de generación de viajes presentan una reducción desde el área central de una metrópoli hacia los puntos situados en los suburbios de ésta, lo que significa que la utilización del suelo es menos importante.

Análisis del grupo familiar: El análisis referido al grupo familiar permite el cálculo de la producción futura de viajes de dicho grupo, que en este caso es la unidad de análisis.

Y, como se ha visto anteriormente, hay dos procedimientos:

Análisis de regresión: El modelo correspondiente tiene la forma general:

$$\text{Viajes/grupo familiar} = b_0 + b_1 z_1 + b_2 z_2 + b_3 z_3 + \dots$$

Dónde las variables z_1, z_2, z_3, \dots representan:

- Ingreso familiar,
- Tasa de motorización,
- Tamaño del grupo familiar, etc.

Los coeficientes b_0, b_1, b_2, \dots se calculan, como se ha repetido, mediante técnicas de regresión lineal múltiple.

Análisis de estratificación. Tasas: Los grupos familiares se clasifican en cada zona considerada en categorías, atendiendo a sus características socioeconómicas, las que son definidas, fundamentalmente, por:

Ingreso familiar,
Tasa de motorización y
Estructura familiar

Se asigna una tasa de producción de viajes, de carácter constante, a cada categoría o estrato.

Posteriormente, las categorías se pueden subdividir de acuerdo con el medio y el propósito del viaje. Las tasas referidas se aplican a cada categoría de grupo familiar, lo que finalmente conduce a la determinación de los viajes, totales producidos.

En cuanto al número de puntos extremos de atracción de viajes, se calculan mediante la formulación de ecuaciones de regresión zonal y de tasas de viajes, según categorías del número de empleos (características de viajes al trabajo).

9. DISTRIBUCIÓN DE VIAJES Y DE TRÁNSITO.

La subetapa denominada generación de viajes, anteriormente analizada, permite determinar en general UNO de los puntos extremos de los viajes interzonales: el número de puntos extremos de generación de viajes y clasificados según propósitos. La subetapa denominada distribución de viajes o transferencias interzonales define totalmente los viajes, complementándolos con el otro extremo.

En consecuencia, ambas subetapas permiten la evaluación de la magnitud y la localización del intercambio de viajes producido entre las zonas de un área en estudio,

Los procedimientos actuales de distribución de viajes se basan principalmente en la obtención de tasas de atracción relativa entre pares de zonas, por lo que la cantidad de viajes interzonales, y por lo tanto, la magnitud del tránsito correspondiente, se obtienen solo cuando dichas tasas son incorporadas en el proceso de cálculo de la generación de viajes,

En forma general, la realización de viajes entre dos zonas i y j , exige la existencia de una "fuerza" de atracción interzonal, la cual puede ser función de la demanda, expresada como deseo o como necesidad de realizar un viaje, o como una combinación de ambos; de alguna función de la distancia interzonal o velocidad que pueda desarrollarse, del costo del viaje, de las "oportunidades" de intercambio zonal o finalmente de las llamadas "oportunidades competitivas". En otras palabras, deben existir motivos para realizar un viaje.

Básicamente, la distribución de los viajes que se producen en cada una de las zonas de un área en estudio, se puede calcular mediante la extrapolación de condiciones existentes, como son las características actuales de origen, y destino de los viajes, aún cuando este procedimiento no es suficientemente adecuado, por cuanto no permite contemplar los cambios que en general experimentan el uso del suelo o el equipamiento de los medios de transporte con el tiempo. Por eso se recurre al empleo de modelos matemáticos que incorporan la magnitud del impacto potencial de los cambios mencionados. Sin embargo, de acuerdo con lo manifestado por el ingeniero investigador Oscar Perilla de "The Port of New York Authority", los modelos basados en analogías con la Física, no serían adecuados, debiéndose considerar teorías del comportamiento propiamente tal.

La relación básica que expresa la distribución de viajes entre dos zonas i y j tiene la forma:

$$T_{i-j} = t_i k_{i-j}$$

en que:

T_{i-j} = número de viajes entre las zonas i y j

t_i = número de viajes generados en la zona i

k_{i-j} = factor de distribución que refleja la atracción que ejerce la zona j sobre la zona i , la que se puede relacionar a su vez con la "resistencia" o dificultad para realizar viajes.

Como expresión de la atracción se puede emplear también la probabilidad de atracción que ejerce la zona j para que se realicen viajes entre i y j , o sea:

$$T_{i-j} = t_i P_{ij}$$

9.1 Matrices de distribución de viajes.-

Al considerarse los viajes que se realizan en una serie de zonas 1, 2, 3, 4, n , los cuales se pueden representar por los términos de una matriz simétrica (excluyéndose Viajes intrazonales), la demanda de viajes entre las diversas zonas se puede determinar si se conocen los elementos de la matriz referida.

Esta matriz de distribución de viajes tiene la forma:

Hacia \ Desde	Zonas de atracción						ΣT_{i-j}	
	1	2	3	.....	j	.....		n
1	T_{1-1}	T_{1-2}	T_{1-3}	.....	T_{1-j}	.....	T_{1-n}	G_1
2	T_{2-1}	T_{2-2}	T_{2-3}	.....	T_{2-j}	.....	T_{2-n}	G_2
.								
i	T_{i-1}	T_{i-2}	T_{i-3}	.....	T_{i-j}	.....	T_{i-n}	G_i
.								
n	T_{n-1}	T_{n-2}	T_{n-3}	.....	T_{n-j}	.....	T_{n-n}	G_n
ΣT_{i-j}	A_1	A_2	A_3	.....	A_j	.....	A_n	

donde:

T_{i-j} = número de Viajes generados en la zona i y atraídos por la zona j

G_i = número de viajes generados en la zona i

A_j = número de viajes atraídos por la zona j

n = número de zonas consideradas

$\Sigma T_{i-j} \Sigma i-j$ = generación y atracción totales en las h zonas consideradas,

La matriz indicada anteriormente contiene elementos en diagonal, los cuales representan viajes de carácter intrazonal, y que pueden o no ser tomados en cuenta en el proceso del estudio correspondiente.

En la subetapa de distribución de viajes, además de la determinación de la cantidad total de viajes interzonales o magnitud del movimiento de personas o de cosas, se requiere determinar el medio de transporte, el propósito de los viajes, etc., lo que exige la estructuración en cada caso de otras matrices similares a la indicada.

En cuanto a la distribución de tránsito, ésta se calcula determinando en primer término la distribución de viajes, los que luego se convierten, en tránsito mediante la aplicación de la tasa de ocupación vehicular correspondiente, como se vió en el punto 5.

10. MODELOS DE DISTRIBUCIÓN DE VIAJES.-

Se han, elaborado diversos modelos para expresar la distribución de viajes entre zonas, los cuales se diferencian, además de su naturaleza misma, según que el cálculo del número de viajes se realice dentro de un proceso único o bien en varias etapas. Se requiere, por otra parte, conocer la magnitud de lo que se va a distribuir, esto es, de la generación de viajes interzonales.

Para clasificar los modelos de distribución de viajes existen diversas formas. Una clasificación que pretende agruparlos por sus similitudes es la que se indica en el esquema del siguiente Cuadro

CUADRO I
CLASIFICACIÓN DE MODELOS DE DISTRIBUCIÓN DE VIAJE



La clasificación anterior tiene el alcance de proposición y, en ningún caso, es absoluta.

Los modelos directos de distribución permiten la determinación del número de viajes entre dos zonas de un área en estudio mediante la realización de un proceso único.

Los valores de los elementos de la matriz mencionada anteriormente, que representan los viajes generados en una zona y atraídos por otra, quedan determinados por esta clase de modelos en tal forma que la suma de las líneas es la generación y la suma de las columnas es la atracción entre todas las zonas de una área considerada.

Según lo expresado por un modelo gravitacional, el intercambio de vía es entre zonas depende de la atracción relativa que ofrezca cada una de ellas y de cierta función de la separación espacial entre zonas, con una gran analogía con la ley de la gravitación universal.

En la aplicación de los modelos indirectos, el proceso se inicia tomando en cuenta los valores G de la generación de viajes y, en contadas veces, los valores de la atracción A. La distribución total de la generación de viajes de una zona entre todas las demás zonas de atracción de un área en estudio se hace de acuerdo con factores de variación o de desarrollo, propios de las zonas, los cuales se calculan antes del proceso de la distribución, en, cada una de las zonas consideradas. Se determina así el aumento o la disminución del potencial generador de tránsito entre los pares de zonas correspondientes.

En los modelos de los factores de variación no se toman en consideración los cambios que sucedan en las redes viales. Por ello, el tratamiento es difícil en zonas en que no se realicen tales cambios, lo que constituye una deficiencia de tales modelos. En suma, significan extrapolar el presente sobre la base de antecedentes actuales de origen y destino y de crecimiento (variación positiva) previsto de una zona, en relación a la cual se proyecta el tránsito futuro.

Entre los modelos analíticos, se indica el de las "Oportunidades", cuyos fundamentos, son de carácter probabilístico. Se distinguen oportunidades interpuestas y competitivas.

Otro modelo, de naturaleza analítica, en el cual se aplica la teoría de las probabilidades, es el de las analogías electrostáticas, según el cual se asimila el movimiento de traslado de las personas con el de electrones dentro de un campo electrostático.

10.1 MODELOS DE REGRESIÓN MÚLTIPLE: La relación entre las variables que inciden en la producción de viajes puede expresarse en una ecuación lineal como:

$$T = a_0 + a_1 x_1 + a_2 x_2 + \dots$$

donde:

T = número de Viajes/día (personas o vehículos)

a_0 = constante

a_1, a_2, \dots = coeficientes de regresión o parámetros de la zona i

$x_1, x_2, x_3 \dots$ = variables independientes que se refieren a la zona j , tales como magnitud del grupo familiar, ingresos, tasa de motorización, etc.

La determinación de las variables que afectan la generación de viajes es relativamente fácil, no así de los coeficientes, en que se debe recurrir a la ayuda del computador.

El procedimiento estadístico para determinar estos coeficientes, llamado análisis de regresión, se basa en el análisis de los datos que se obtienen de las entrevistas a domicilio o encuestas, del estudio de O. y D. de donde se deducen los valores constantes relativos al área en consideración.

10.1.1. Modelo de regresión múltiple de Osofsky.-

S. Osofsky, en 1938, además de emplear regresiones, elaboro el siguiente modelo para distribución, de viajes de vehículos (solamente) entre dos zonas i y j , basado en la ecuación lineal anterior, el cual tiene la forma:

$$T_{i-j} = a_0 + a_1 \frac{P_j^2}{d_{i-j}^{1.5}} + a_2 \frac{E_j^2}{d_{i-j}^{1.5}} + a_3 \frac{M_j}{d_{i-j}^{1.5}} + a_4 \frac{U_j}{d_{i-j}^{1.5}}$$

donde:

P_j = población de la zona

E_j = número de empleados en la zona

M_j = tasa de motorización en la zona j

U_j = índice del uso del suelo en la zona j

d_{i-j} = distancia en línea recta entre centroides de las zonas i y j

a_0 = constante

a_1, a_2, \dots = coeficientes que se determinan por el método de los cuadrados mínimos.

10.2 MODELOS GRAVITACIONALES: la interdependencia que existe entre un par de zonas de un área en estudio desde el punto de vista de los viajes que se pueden realizar entre ellas es análoga a la ley de la gravitación universal. Tal es entonces el principio en que se basan los modelos gravitacionales de distribución de viajes.

El primer modelo, con cierta similitud; gravitacional fue propuesto por Lill, en 1889. Tenía la forma:

$$T = x y$$

En que T = módulo de viajes; x = número de personas que viajan a una distancia y .

Como se puede observar, se trataba de un modelo bastante elemental y restringido. Sin embargo, es evidente, a través del raciocinio puro, que el número de viajes entre dos zonas i

y j depende de la importancia de la zona i (evaluada mediante la producción de viajes), de la zona j (evaluada por su atracción) y por último de una relación con la "resistencia" para hacer viajes, es decir:

$$T_{i-j} = T_i A_j f(d_{i-j})$$

en que:

T_{i-j} = numero de viajes entre las zonas i y j

T_i = producción de viajes en la zona i (que se originan en dicha zona)

A_j = atracción de viajes ejercida por la zona j

$f(d_{i-j})$ = función de la separación entre las zonas i y j ("resistencia" para realizar viajes)

Sin, embargo, al buscar una formamos similar con la ley de la gravitación, se puede afirmar que:

El número de viajes que se realizan entre un par de zonas obviamente debe ser proporcional a la importancia de las zonas e inversamente proporcional a las dificultades o resistencias que se presentan para realizar viajes, factores que son afectados a su vez por el propósito que tengan dichos viajes, es decir:

$$T_{i-j} = k \frac{M_i M_j}{d_{i-j}^2}$$

Donde:

T_{i-j} = número de viajes por unidad de tiempo entre las zonas i y j

M_i, M_j = importancia o "masa" de las zonas i y j d_{i-j} = distancia entre y

k = constante empíricamente determinable

El modelo original se encuentra contenido en la obra "Das Reisegesetz und Seine Anwendung auf den Eisenbahn Verkehr" por E. Lill, 1891, el cual fue modificado con posterioridad en lo que se refiere a la magnitud de los términos M, a la manera de expresar la distancia entre las zonas consideradas y al valor del exponente de ésta.

10.2.1 Modelo gravitacional general.-

A fin de llegar a una expresión generalizada del modelo gravitacional, se consideran la zona A en que se generan viajes y las zonas $M_1, M_2, M_3, \dots, M_n$, que ejercen atracción.

Sean además, en Fig. 7

T_A = N° de viajes generados en A, de tipo determinado, que se distribuyen en n zonas M.

A_M = atracción de las zonas M sobre A

T_{A-M} = N° de viajes de tipo determinado entre A y las zonas M.

$f(t_{A-M})$ = función del tiempo de viaje o de la distancia A y las zonas M.

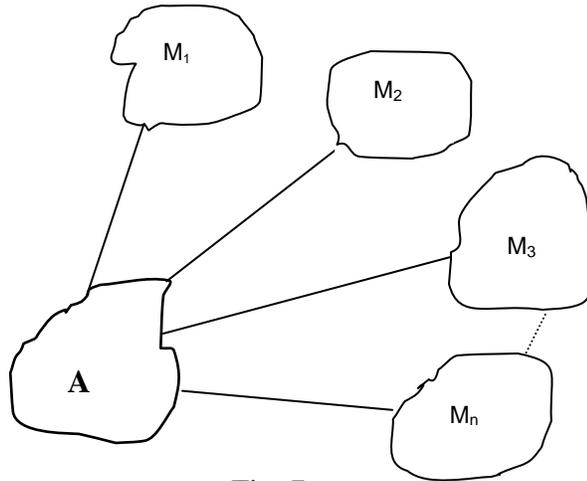


Fig. 7

k_A = Constante que caracteriza a la zona A (para diferenciar los cálculos que se hagan para otras zonas). Es evidente:

$$T_{A-M} = k_A T_A A_M f(t_{A-M})$$

Considerando que la suma de los viajes generados en A debe ser igual a los viajes que llegan a las zonas M, la expresión (1), escrita para todas las zonas M, queda:

$$\Sigma T_{A-M} = \Sigma [k T_A A_M f(t_{A-M})]$$

o, luego de algunas transformaciones,

$$T_{A-M} = \Sigma [k T_{AM} f(t_{A-M})]$$

y, finalmente:

$$T_{A-M} = T_A A_M f(t_{A-M}) \frac{1}{\Sigma [A_M f(t_{A-M})]}$$

El denominador refleja la atracción entre zonas.

Generalizando para una zona cualquiera de orden j resulta:

$$T_{A-Mj} = T_A \frac{M_j}{d_{A-Mj}^x}$$
$$= \frac{M_1}{d_{A-M1}^x} + \frac{M_2}{d_{A-M2}^x} + \dots + \frac{M_j}{d_{A-Mj}^x} + \dots + \frac{M_n}{d_{A-Mn}^x}$$

en que:

M = importancia de la zona

d = función de la separación interzonal

x = exponente representativo del propósito del viaje

Los modelos gravitacionales. Son alimentados básicamente con los antecedentes que proporciona, el cálculo de la generación de viajes, en forma de número de viajes producidos y atraídos por cada zona, de acuerdo con la hipótesis de que las características de generación de los viajes permanecen constantes.

Sin embargo, se diferencian en las formas, que se emplean para expresar la atracción, la resistencia y el propósito del viaje. Por lo tanto, es necesario efectuar lo siguiente;

- a) La medida de la atracción de las zonas (importancia)
- b) La determinación de la función resistencia (distancia, tiempo de viaje, etc.).
- d) La clasificación de los viajes según propósitos (representados por los exponentes de la función resistencia).

Como medida de la atracción interzonal se pueden emplear: valores relacionados con, el propósito de los viajes. Sin embargo, se emplean con mayor frecuencia relaciones con el número de residentes y de empleados según categorías de actividad, el número de empleos, la población, etc.

Como medida de la "resistencia" en los viajes se emplean: la distancia (en línea recta o según la realidad), el tiempo de viaje (durante horas que no son de volúmenes máximos) o el costo de transporte, etc. En la clasificación de los viajes según propósitos, se han sugerido 8 grupos para ciudades importantes, mientras que para ciudades pequeñas se consideran suficientes 3 grupos.

En cuanto a la importancia o "masa", si se expresa en habitantes, se tiene que, al duplicarse el número de éstos en cada una de las zonas (i y j), el número de viajes se cuadruplica. Ello induce a pensar en un factor k menor pues en la realidad los viajes no

aumentan en igual proporción que la población. En todo caso, dicho factor k menor (pag.37) representa características socioeconómicas de las zonas, consideradas en forma individual.

Función "resistencia": La separación interzonal ha sido objeto de especial consideración, ya que se la puede expresar en forma espacial, temporal, etc.

Se ha dicho que, el modelo gravitacional tiene deficiencias ya que no da valores enteramente satisfactorios con distancias demasiado pequeñas ni demasiado grandes. Por tal motivo en la publicación "Factors affecting the amount of travel" el profesor J. C. Tanner ha propuesto la expresión:

$$\frac{e^{-\lambda d}}{d^n}$$

en que d es la distancia entre dos zonas consideradas; λ y n son constantes; e es la base de los logaritmos naturales. Así, se tiene una mejor aproximación en la aplicación de modelos gravitaciones.

Por otra parte, el profesor Bruno Wehner, de la Universidad Técnica de Berlín, empleó una función distancia que tiene una constante para los primeros 30 minutos de tiempo de viaje, la cual decrece linealmente hasta casi 0 (cero) cuando dicho tiempo está comprendido entre 30 y 60 minutos.

Sin embargo, una de las primeras funciones que se emplearon para expresar el efecto de la distancia, tenía la forma:

$$f(d) = d^{-\alpha}$$

en que α se deduce de las zonas en forma experimental.

Otra función que se ha empleado tiene la forma exponencial siguiente:

$$f(d) = e^{-\beta d}$$

en que β se deduce en forma similar a α .

El exponente de la función-resistencia, en el caso más general, tiene valores que dependen del propósito del viaje, cómo se indica:

Para viajes al trabajo:	0,5 - 2,0
Para viajes de compras:	1,5 - 2,0
Para viajes por diligencias, etc.	2,0 - 2,5

No obstante, en general, se consideran exponentes comprendidos entre 1,0 y 2,0 para viajes de naturaleza urbana, y de 2,0 a 3,0 para los de carácter no urbano.

Se expresa también la separación interzonal, en relación al tiempo de viaje, para cuyo fin se han propuesto factores especiales, de forma exponencial, debidamente tabulados.

10.3 Otros modelos gravitacionales.-

a) **Modelo de Alan Voorhees:** Su expresión tiene la forma:

$$T_{i-j} = T_i \frac{A_j f(d_{i-j})}{\sum_n A_n f(d_{i-n})}$$

donde:

T_{i-j} = número de viajes, de determinada clase, entre i y j dentro de un área con n zonas

T_i = número total de viajes generados en i

A_j = magnitud de la atracción de j sobre i

$f(d_{i-j})$ = función de la separación interzonal

b) **Modelo del "Bureau of Public Roads":** Es una variante del modelo anterior:

$$T_{i-j} = P_i \frac{A_j f(d_{i-j}) k_{i-j}}{\sum_n A_n f(d_{i-n}) k_{i-n}}$$

donde:

P_i = número de viajes, de determinada clase, producidos en la zona i

A_j = magnitud de la atracción de j sobre i

$f(d_{i-j})$ = separación interzonal, en tiempo de viaje

k_{i-n} = coeficiente de ajuste interzonal, que involucra características socioeconómicas.

Se requiere que los viajes se agrupen según propósitos.

c) **Modelo de Tanner:** Este modelo tiene por expresión:

$$T_{i-j} = m \frac{P_i P_j}{d_{i-j}^\lambda} \frac{1}{C_j} + \frac{1}{C_j}$$

donde:

T_{i-j} = número de viajes entre i y j

m = constante

P_i, P_j = población de zonas i y j

d_{i-j} = función de la separación entre las zonas i y j (expresada en distancia, tiempo o costo de viaje)

c_i, c_j = densidades medias de población, correspondientes a las zonas i y j

λ = parámetro relacionado con la longitud media de los viajes.

d) **Modelo de la "Traffic Research Corporation":** Este modelo tiene, como función de la separación interzonal, una expresión exponencial de la forma:

$$e^{-\beta d_{i-j}}$$

y en lo demás, concuerda con la forma general de los modelos gravitacionales.

e) **Modelo del Ingeniero Oscar Perilla:** Este Investigador, al manifestar que los modelos basados en la Física no logran explicar satisfactoriamente o en forma completa la distribución de viajes y de tránsito, sugiere basarse en teorías del comportamiento del usuario.

Así, al considerar al grupo familiar como la unidad fundamental de decisión, lo caracteriza mediante diversas variables, tales como ingresos, niveles de educación, etc., como también hace una clasificación de las actividades de los integrantes, materia en la cual aplica ciertas técnicas estadísticas, por ejemplo el análisis "discriminante", de Fisher, al que el Ingeniero Perilla hace mención.

Finalmente, existen otras variantes del modelo gravitacional general que por ahora no se mencionan.

10.4 Aplicación del Modelo Gravitacional.-

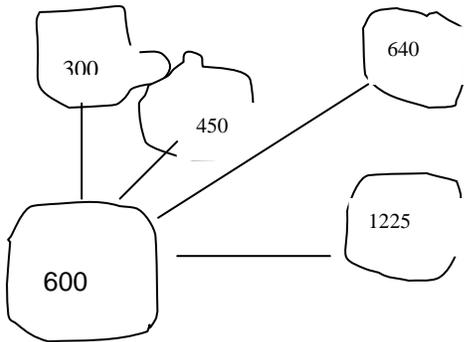


Fig. 8

Sea una zona A en, la cual, se originan 600 viajes, con destinos en las zonas B, C, D y E, cuya importancia se ha expresado en metros cuadrados de establecimientos, comerciales. Se indican además, las separaciones interzonales. Calcular. la distribución de viajes entre las zonas.

Para ello se aplica la expresión general del modelo gravitacional.

$$T_{A-B} = \frac{600 \frac{300}{4}}{\frac{300}{4} + \frac{450}{2,25} + \frac{640}{16} + \frac{1.225}{12,25}} = \frac{45.000}{415} = 108,4$$

Para los viajes restantes se tiene análogamente:

Viajes entre A y C:

$$T_{A-C} = 289,1$$

Viajes entre A y D:

$$T_{A-D} = 57,8$$

Viajes entre A y E:

$$T_{A-E} = 144,6$$

$$\text{Total} = 599,9$$

La distribución anterior es satisfactoria, ya que se puede comprobar con la suma antes indicada.

La aplicación anterior del modelo gravitacional proporciona resultados similares si se emplean otras unidades de importancia de las zonas, como así mismo si se consideran los tiempos de viaje en vez de distancias.

MODELOS INDIRECTOS, DE LOS FACTORES DE VARIACIÓN:

En esta clase de modelos se determina, en esencia, el aumento o la disminución que experimenta la generación de tránsito (producción y atracción) de las zonas de un área en estudio, variaciones que se expresan mediante factores de variación Fv cuya forma es:

$$Fv = \frac{\text{N}^\circ \text{ de viajes futuros hacia y desde una zona}}{\text{N}^\circ \text{ de viajes actuales hacia y desde una zona}}$$

En otras palabras, se puede obtener el tránsito futuro multiplicando la magnitud del tránsito actual por factores de variación F_v calculados para cada una de las zonas consideradas. Por lo tanto, si se pueden proyectar las condiciones de variación de una zona, es posible entonces calcular el número de viajes interzonales y su distribución.

El factor de variación se aplica tanto a las zonas individualmente consideradas como a áreas de zonas o finalmente a toda el área en estudio.

En todo caso del modelo da resultados satisfactorios siempre que no ocurran cambios substanciales en el uso del suelo ni en el equipamiento de transporte. Por lo expresado, debe emplearse en proyecciones a corto plazo. Sin embargo, constituye una desventaja del modelo si existen zonas en que no se genera, ni se atrae tránsito (viajes) al realizarse el estudio.

Los principales modelos de esta clase son los que se indican a continuación:

Factor Uniforme de variación.-

El modelo tiene la forma:

$$T_{i-j} = t_{i-j} F$$

donde:

T = número de viajes futuros entre i y j

t_{i-j} = número de viajes actuales entre i y j

F = factor de variación uniforme para el área respectiva, que incluye las zonas i y j

La aplicación de este modelo es limitada, por cuanto en una ciudad sus zonas se desarrollan con distinta intensidad.

Modelo del Factor medio.

Según este modelo, se toman en cuenta las tasas de variación o de desarrollo de las zonas en forma individual.

El número de viajes futuros es:

$$T_{i-j} = t_{i-j} \frac{F_i + F_j}{2}$$

donde:

T_{i-j} = número de viajes futuros entre i y j

t_{i-j} = número de viajes actuales entre i y j
 F_i, F_j = factores de variación (de desarrollo) de las zonas i y j

Aplicación del modelo del Factor medio.-

Sea la Fig. 9, en la cual se indica la distribución actual de viajes entre las 4 zonas A, B, C y D, además del número de viajes producidos en cada zona y sus factores de variación correspondientes.

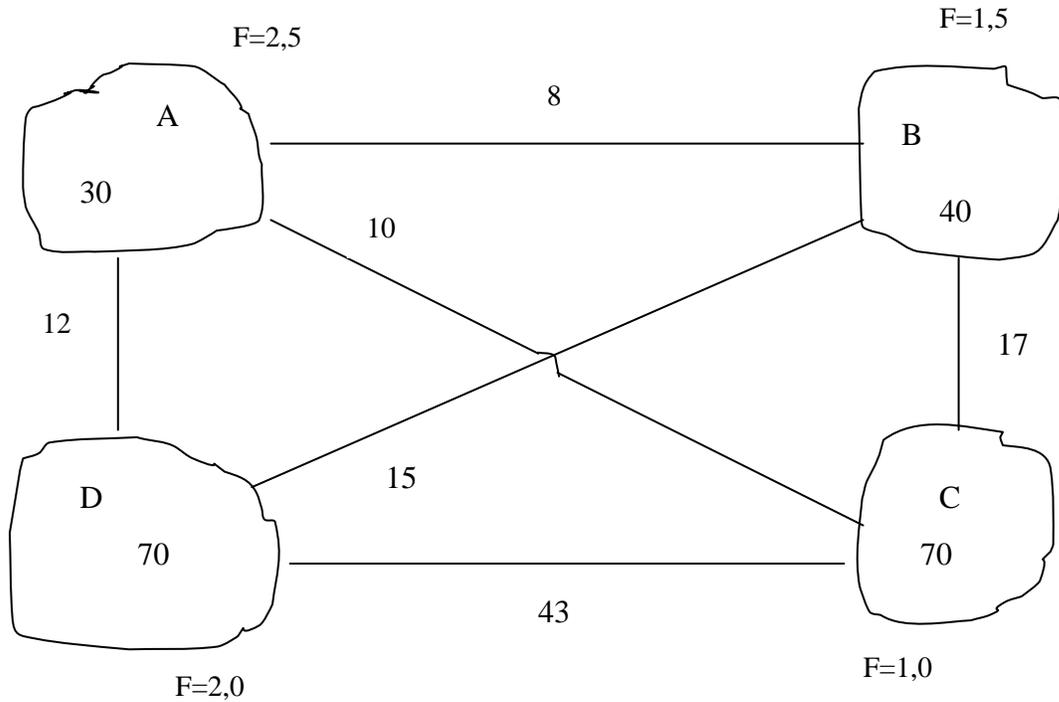


Fig. 9

Se desea conocer la distribución futura de viajes interzonales, mediante el empleo del modelo del actor medio de variación, con lo que se tiene entonces:

Zonas	A	B	C	D
A	-	8	10	12
B	8	-	17	15
C	10	17	-	43
D	12	15	43	-
Totales actuales	30	40	70	70
Factores de variación	2,5	1,5	1,0	2,0
Totales Futuros	75	60	70	140

- 1ra. Aproximación

Desde	Hacia	Factor medio de Variación	Nº actual de viajes	Nº de viajes futuros	Factor final de variación
A	B	$(2,5+1,5)/2 = 2,00$	8	16,00	$75/60,5 = 1,240$
	C	$(2,5+1,0)/2 = 1,75$	10	17,50	
	D	$(2,5+2,0)/2 = 2,25$	12	27,00	
B	A	$(2,5+1,5)/2 = 2,00$	8	16,00	$60/63,5 = 0,945$
	C	$(1,5+1,0)/2 = 1,25$	17	21,25	
	D	$(1,5+2,0)/2 = 1,75$	15	26,25	
C	A	$(1,0+2,5)/2 = 1,75$	10	17,50	$70/103,25 = 0,678$
	B	$(1,0+1,5)/2 = 1,25$	17	21,25	
D	D	$(1,0+2,0)/2 = 1,50$	43	64,50	$140/117,75 = 1,189$
	A	$(2,0+2,5)/2 = 2,25$	12	27,00	
	B	$(2,0+1,5)/2 = 1,75$	15	26,25	

- 2da. Aproximación

Desde	Hacia	Factor medio de variación	Nº de viajes futuros	Factor final de variación
A	B	$(1,240+0,975)/2 = 1,093$	17,49	$75/60,5 = 1,240$
	C	$(1,240+0,678)/2 = 0,959$	16,78	
	D	$(1,240+1,189)/2 = 1,215$	32,80	
B	A	$(0,945+1,240)/2 = 1,093$	17,49	$60/62,76 = 0,956$
	C	$(0,945+0,670)/2 = 0,812$	17,26	
	D	$(0,945+1,189)/2 = 1,067$	28,01	
C	A	$(0,678+1,240)/2 = 0,959$	17,50	$70/103,25 = 0,678$
	B	$(0,678+0,945)/2 = 0,812$	21,25	
	D	$(0,678+1,189)/2 = 0,934$	21,25	
D	D	$(1,189+1,240)/2 = 1,215$	64,50	$140/117,75 = 1,189$
	A	$(1,189+0,945)/2 = 1,067$	27,00	
	B	$(1,189+0,678)/2 = 0,934$	26,25	

• 3a. Aproximación

Desde	Hacia	Factor medio de variación	Nº de viajes futuros	Factor final de variación
A	B	$(1,118+0,956)/2 = 1,037$	18,14	$75/71,11 = 1,055$
	C	$(1,118+0,742)/2 = 0,930$	15,61	
	D	$(1,118+1,159)/2 = 1,139$	37,36	
B	A	$(0,956+1,118)/2 = 1,037$	18,14	$60/62,42 = 0,961$
	C	$(0,956+0,742)/2 = 0,849$	14,65	
	D	$(0,956+1,159)/2 = 1,058$	29,63	
C	A	$(0,742+1,118)/2 = 0,930$	15,61	$70/87,55 = 0,811$
	B	$(0,742+0,956)/2 = 0,849$	14,65	
	D	$(0,742+1,159)/2 = 0,951$	57,29	
D	D	$(1,159+1,118)/2 = 1,139$	37,36	$140/124,28 = 1,126$
	A	$(1,159+0,956)/2 = 1,058$	29,63	
	B	$(1,159+0,742)/2 = 0,951$	57,29	

Como se puede observar, en cada aproximación se va obteniendo un factor final de variación (última columna de los cuadros) más próximo a la unidad. En consecuencia el cálculo se suspende cuando el factor indicado se considere suficientemente aceptable.

Modelos iterativos.-

a) **Modelo de Detroit:** Se expresa en la forma siguiente:

$$T_{i-j} = \frac{t_{i-j} \cdot F_i \cdot F_j}{F}$$

donde:

T_{i-j} = número de viajes futuros entre i y j

t_{i-j} = número de viajes actuales entre- 1 y. j

F_i, F_j = factores de variación de zonas i y j

F = factor de variación del área que incluye las zonas i y j

Análogamente al modelo del factor medio, el modelo de Detroit requiere cálculos sucesivos a fin de obtener valores ajustados para el total de viajes interzonales.

b) **Modelo de Fratar:** Este ha sido uno de los modelos iterativos de mayor aplicación.

En efecto, el Ingeniero Thomas Fratar elaboró su modelo basándose en la modificación de] número de viajes entre pares de zonas, al agregar el intercambio que se produce con todas las demás zonas de un área en estudio.

Como se trata de un modelo con factores de variación, éstos sirven de base para el cálculo de proyecciones del número futuro de puntos extremos de viajes, con lo que las proyecciones e viajes interzonales se pueden obtener mediante procesos iterativos de a aproximaciones sucesivas.

El modelo de Fratar tiene por expresión:

$$T_{i-j} = t_{i-j} F_i \cdot F_j \frac{G_i}{\sum (F_k t_{i-k})}$$

donde:

T_{i-j} = número de viajes futuros entre i y j
 t_{i-j} = número de viajes actuales entre i y j
 F_i = factor de variación de la zona i
 F_j = factor de variación de la zona j
 G_i = generación actual de viajes en i

Debe observarse que la aplicación de la fórmula mencionada se hace en ambos sentidos del movimiento entre pares de zonas, en forma separada.

Sea el mismo ejemplo de Fig. 9, para lo cual se comienza por distinguir entre la situación actual de generación de viajes y el cálculo anticipado de distribución de viajes de acuerdo con los factores de variación zonales. La disposición del cálculo es la que se indica:

Situación Actual					
Zonas	A	B	C	D	Factor de variación
A	-	8	10	12	2,5
B	8	-	17	15	1,5
C	10	17	-	43	1,0
D	12	15	43	-	2,0
	30	40	70	70	

Distribución Anticipalda

A	B	C	D
-	12,0	10,0	24,0
12,0	-	17,0	30,0
25,0	25,5	-	86,0
30,0	22,5	43,0	-
67,0	60,0	70,0	140,0

Con esto se procede a efectuar la primera. aproximación. En esta forma, por ejemplo, los viajes entre A y B son:

$$\frac{67 \times 8 \times 1,5}{8 \times 1,5 + 10 \times 1,0 + 12 \times 2,0} = \frac{804}{46} = 17,48$$

y los viajes desde B hacia A son:

$$\frac{60 \times 8 \times 2,5}{8 \times 2,5 + 17 \times 1,0 + 15 \times 2,0} = \frac{1200}{67} = 17,91$$

Se tiene la siguiente disposición:

1ª Aproximación

Zona	A	B	C	D	A	B	C	D	Factor resultante
A	-	17,48	14,57	34,95	-	17,70	13,70	39,48	67 / 70,88 = 0,945
B	17,91	-	10,14	26,87	17,70	-	14,15	29,93	60 / 61,78 = 0,971
C	12,82	13,08	-	42,54	13,70	11,61	-	53,57	70 / 81,78 = 0,860
D	43,98	32,98	63,04	-	39,48	29,93	53,57	-	140/122,98 = 1,138
					70,88	61,78	81,42	122,98	

La 2ª. Aproximación indica ya factores resultantes más próximos a la unidad, los que se obtienen en la forma siguiente:

Para los viajes de A hacia B:

$$T_{A-B} = \frac{67 \times 17,70 \times 0,971}{17,70 \times 0,97 + 13,79 \times 0,86 + 39,48 \times 1,138}$$

Para los viajes de B hacia A:

$$T_{B-A} = \frac{60 \times 17,70 \times 0,945}{17,70 \times 0,945 + 14,15 \times 0,86 + 29,93 \times 1,138}$$

2ª Aproximación

Zona	A	B	C	D	A	B	C	D	Factor resultante
A	-	15,57	10,68	40,73	-	15,76	10,51	43,60	67 / 69,87 = 0,959
B	15,94	-	11,60	32,46	15,76	-	11,28	35,43	60 / 62,47 = 0,960
C	10,34	10,97	-	48,69	10,51	11,28	-	53,04	70 / 74,83 = 0,935
D	46,47	38,39	57,38	-	43,60	35,43	53,04	-	140/132,07 = 1,060
					69,87	62,47	74,83	132,07	

- c) **Modelo de Furness:** Finalmente, este modelo de naturaleza iterativa es similar a los anteriores, salvo que como función de la separación interzonal emplea la expresión exponencial indicada al final de pág.39.

MODELOS ANALITICOS: Dentro de los modelos analíticos se encuentran principalmente los modelos de las Oportunidades y aquellos relacionados con analogías electrostáticas.

Modelo de las Oportunidades.-

De acuerdo con la clasificación de modelos de distribución de viajes, existen modelos de oportunidades interpuestas y de oportunidades competitivas, los cuales se tratan separadamente.

- a) Oportunidades interpuestas: Esta clase de modelo tuvo su primera aplicación importante, hace más de 25 años, en los estudios de transporte para la ciudad de Chicago, EE. UU. de Norte América, conocidos por la sigla "CATS" (Chicago Area Transportation Studtes), en los que el Profesor Morton Schneider tuvo destacada participación. Se empleó también el modelo en estudios realizados en Pittsburgh.

El modelo de las Oportunidades interpuestas, desarrollado por Stouffer, en 1940, se basa en que la magnitud del intercambio entre dos zonas urbanas a una distancia determinada, varía directamente con las oportunidades de interacción que se produzcan entre ellas, específicamente con el número de oportunidades en la zona de destinos, e inversamente con el número de oportunidades interpuestas que ofrezcan otros lugares del área urbana, cada uno de los cuales se caracteriza también por ofrecer una "resistencia"

determinada para la realización de viajes. Sin embargo, una reducción del tiempo de viaje entre dos zonas, incremento el número de viajes entre ellas. A la inversa, un aumento del número de lugares a los cuales una persona tenga la posibilidad de viajar, reduce el número de viajes entre pares de zonas, La forma general del modelo es:

$$T_{i-j} = T_i P(S_j)$$

donde:

T_{i-j} = número de viajes entre i y j

T_i = número de viajes producidos en la zona i

$P(S_j)$ = factor probabilístico o probabilidad de que un viaje originado en i , termine en j .

El término $P(S_j)$, que juega un papel similar al factor de distribución de viajes de la expresión dada en pág.31 representa la atracción ejercida por la zona j sobre viajes originados en la zona i , expresada como destinos de viajes u oportunidades ofrecidas para que ello suceda. En otras palabras, aquel término está estrechamente relacionado con el número de oportunidades disponibles en la zona j y en zonas que se encuentren más cerca de la zona i que de la zona j : son las oportunidades interpuestas propiamente tales.

Para obtener la expresión completa del modelo, se consideran los posibles lugares de destino en un determinado orden según la magnitud del tiempo de viaje desde el origen, mediante la aplicación de la teoría de las probabilidades, con lo cual se llega a la expresión:

$$T_{i-j} = T_i [e^{-LT} - e^{-L(T+T_j)}]$$

donde:

T_{i-j} = número de viajes entre i y j

T_i = número de viajes originados en i

e = base logaritmos naturales

L = factor relacionado con el tipo de viaje

T = número de destinos cuyas distancias a la zona i son menores que a la zona j

T_j = número de oportunidades en la zona j

- b) Oportunidades competitivas: Según este modelo, denominado también de Tomazinis, todos los puntos de destino de una zona, en que los tiempos de viaje desde el respectivo origen sean prácticamente iguales, tienen más o menos igual probabilidad de atraer viajes. Se caracteriza por no depender tan directamente del propósito de los viajes.
-

La expresión del modelo de Tomazinis es entonces:

$$T_{i-j} = O_j \frac{a_{i-j}}{\sum a_{i-j}}$$

Donde:

T_{i-j} = número de viajes entre las zonas i y j

T_i = número de puntos de orígenes de viajes en i

a_{i-j} = factor de atracción de viajes de j sobre i .

Modelo del campo electrostático.-

Este modelo, que se debe a R. T. Howe, se aplica solamente a viajes de personas, independientemente del medio de transporte que éstas empleen.

Su planteamiento se basa en una distribución inicial de unidades con carga negativa correspondientes a áreas de carácter residencial y en la distribución de centros de carga positiva, que representan lugares de empleos. En estas condiciones, la probabilidad de movimiento entre lugares de residencia y de empleos se puede proyectar sobre la base de la teoría de campos electrostáticos: el movimiento de persona se asimila entonces al de los electrones.

La forma de este modelo es:

$$V_{P_i Q_j} = \frac{Q_j P_i}{\sum \frac{Q_j}{d_{i-j}}}$$

si se trata de viajes al trabajo, desde los lugares de residencia. Los términos indicados tienen los siguientes significados:

$V_{P_i Q_j}$ = probabilidad de movimiento desde la zona i hacia j

P_i = número de trabajadores residentes en zona i número de empleos en la zona j

Q_j = número de empleos en la zona j

d_{i-j} = separación interzonal (en línea recta) entre las zonas i y j

Para los viajes en sentido inverso, la forma es similar.

11. REPARTICIÓN MODAL.

Determinado el número de viajes y su localización mediante las subetapas anteriores, corresponde analizar los medios de transporte que los absorben y las rutas que se emplean, antecedentes que se obtienen en las subetapas denominadas Repartición modal y Asignación de tránsito respectivamente. No obstante lo expresado, la subetapa de repartición modal puede ocupar un orden diferente al expresado.

Específicamente, la repartición modal se refiere al uso relativo que se puede hacer de los medios de transporte individual o colectivo de personas, el que se determina en forma separada mediante la repartición directa del número de viajes de personas según cada medio de movilización.

Para su cálculo, se pueden seguir dos caminos:

- Repartición de la totalidad de viajes de personas que se efectúan entre pares de zonas, cuya cantidad se ha obtenido previamente con el empleo de modelos matemáticos, entre los medios de transporte individual y colectivo.

La repartición mencionada se puede hacer sobre la base del ingreso per capita de los usuarios y de las relaciones con el tiempo y costo de viaje en los sistemas de alternativa. Ello se basa en la hipótesis de que la persona que realiza un viaje, en primer lugar lo decide y enseguida determina el medio que empleará.

- Repartición de la totalidad de puntos extremos de viajes de personas de una zona considerada entre los medios de transporte fundamentales antes mencionados. Esta repartición se hace sobre la base del ingreso per capita de los usuarios y de las características de accesibilidad que ofrezcan los diversos medios de transporte. Luego, para determinar las modalidades reales de los viajes que se realizan en cada medio, se emplean modelos de distribución en forma separada.

Según el orden que ocupe el cálculo de la subetapa de repartición modal en relación con las subetapas de generación y de distribución de viajes, se distinguen los casos siguientes:

- a) Cálculo en forma conjunta con la subetapa de generación de viajes, calculando la producción de viajes en forma separada para la movilización individual y colectiva, procediéndose enseguida a su distribución según estos medios de transporte.
 - b) Cálculo en forma intermedia, entre las subetapas de generación y distribución de viajes, en cuyo caso la producción total de viajes en cada zona se reparte según los porcentajes correspondientes en cada uno de los medios de transporte, en forma separada, procediéndose enseguida a la distribución.
-

-
- c) Después de la subetapa de distribución de viajes, lo que significa que los viajes ya distribuidos entre cada par de zonas se reparten directamente según los medios de transporte individual y colectivo.

Como se puede observar, la repartición modal se refiere exclusivamente a viajes. En forma similar, se podría hablar también de "repartición modal de tránsito", que sería la distribución del tránsito entre vehículos destinados al transporte individual y colectivo de personas, cosa que se puede deducir de recuentos de tránsito. Se tendría entonces:

Repartición modal: repartición de viajes de personas según medios de transporte.

Repartición de tránsito: repartición de tipos de vehículos de pasajeros según; transporte individual o colectivo.

11.1 Modelos de Repartición modal.

Los modelos de repartición modal se basan en general en la, probabilidad de que una persona, elegida aleatoriamente desde su universo respectivo, realice un viaje en un medio determinado de transporte influida fundamentalmente por la atracción que éste le ofrezca.

Esta atracción se puede expresar en función del tiempo de viaje o del costo del transporte para la realización de tales viajes, ya que otros intangibles como la comodidad, la conveniencia, etc., son conceptos que, aunque reales e influyentes, son difíciles de cuantificar directamente.

Modelo de Stopher: Este modelo se basa en el tiempo de viaje y en el costo que resulte en los medios respectivos de transporte.

Sean dos medios de transporte A y B. Si la elección de uno de estos medios depende solamente de los costos generalizados, el modelo tiene la forma:

$$P = \alpha + \beta (c_B - c_A) + \lambda (t_B - t_A)$$

donde:

P = probabilidad de viajar en el medio de transporte A

α = constante que indica preferencia o aversión por el medio A, sin considerar costos ni tiempos.

β = coeficiente de costo generalizado

λ = valor atribuido al tiempo, supuesto igual en ambos medios de transporte

c_A, c_B = costos de transporte según medios A y B

t_A, t_B = tiempos de viaje según A y B

Modelo de Gunnarson: Este modelo tiene por expresión:

$$P_i = \frac{A_i}{\sum A_x}$$

donde:

P_i = probabilidad de elegir un medio de transporte i al viajar entre dos zonas

A_i = atracción que ejerce el medio i

n = número de medios de transporte considerados

A_x = atracción que ejerce la zona de orden x

Como medida de la atracción, en este caso se sugiere una función de costo de transporte y de otros factores tales como la seguridad, la comodidad, etc.

12. ASIGNACIÓN DE TRÁNSITO.

Después de haberse completado la repartición de viajes de personas en automóviles y en vehículos de movilización colectiva, corresponde distribuir en la red vial los viajes realizados en cada uno de estos medios motorizados. Así, los viajes efectuados en medios individuales de transporte deben distribuirse por arterias, y aquellos realizados en medios colectivos, deben distribuirse según los recorridos de éstos.

Se trata de la asignación de tránsito, que es la localización de viajes según medios específicos de transporte dentro de la red vial considerada. Ello equivale pues a determinar la forma en que los viajes interzonales actuales son absorbidos según medios de transporte (número de vehículos) o según rutas interzonales. En última instancia, se debe comprobar si el número de vías de tránsito en los arcos de una red puede o no satisfacer las demandas asignadas.

Dicho proceso se puede desarrollar tanto en condiciones actuales como también futuras.

La asignación de tránsito permite, en consecuencia, ver el comportamiento de un sistema de arterias desde el punto de vista de su eficiencia, ya que las interconexiones zonales resultan ser las rutas óptimas para los viajes, entendiéndose así porque presentan recorridos o tiempos de viaje mínimos.

Los volúmenes de tránsito por asignarse, de carácter interzonal, que constituyen el antecedente básico del proceso, se obtienen fundamentalmente:

- De los estudios de O. y D. que presentan la situación actual de los viajes de las personas
 - Del cálculo del tránsito futuro, obtenido de los estudios ya señalados
-

- De la aplicación de modelos matemáticos

Luego, la asignación de tránsito propiamente tal se hace entre pares de zonas, cuyas distancias entre sí se caracterizan por tener tiempos de viaje mínimos, base de la mayor parte de los modelos, o costo de transporte mínimo, etc. La comparación de rutas de alternativa determina entonces la ruta definitiva, lo que luego se hace extensivo a toda una red de arte, rías. Sin embargo, si el proceso se hace durante horas de volumen máximo, se tendrían evidentemente tiempos de viaje mayores, lo que distorsiona los resultados.

Modelos de asignación.-

Los primeros pasos para realizar la asignación de tránsito tuvieron carácter subjetivo, pues consistían en asignarlo a una red sobre la base del conocimiento ocular del lugar, lo que permitía elegir visualmente una ruta directa de interconexión entre pares de zonas suponiéndose luego que contuviera todo el tránsito interzonal. Como es natural, esta forma de proceder ha dejado de emplearse.

Posteriormente, de acuerdo con las investigaciones realizadas por Moore, hace unos 20 años, se analizó el camino más corto entre dos puntos mediante el algoritmo que lleva su nombre. Tal modelo de asignación fue aplicado en los estudios "CATS" (pág.49), en los que Morton Schneider hizo la adaptación correspondiente de las técnicas computacionales.

Requisitos fundamentales son: clasificación de arterias, determinación de la capacidad de la red vial, de volúmenes de tránsito, de tiempos de viajes y velocidades, etc., antecedentes que conducen a la obtención de trayectorias de tiempos mínimos.

En los actuales, modelos de asignación, cuando se trata de pares de zonas, en que se realiza su comparación, entran factor tales como, el tiempo medio de viaje, velocidad media, costo de transporte, etc., mientras que cuando se trata de redes viales, se puede considerar o no la capacidad de arterias.

Los centroides, puntos donde se suponen concentrados los viajes interzonales, representan también, para estos efectos, lugares de concentración de actividades específicas, los que deben unirse mediante trayectorias rectas ideales, cuyos conjuntos constituyen los denominados "árboles".

Los elementos constitutivos, arcos y nodos, deben codificarse, después de lo cual se eligen trayectorias de tiempos mínimos. Con ello se pueden asignar los viajes a dichas trayectorias. En otras palabras, se las "carga" con los viajes interzonales, de modo que cada arco tendrá cierta cantidad de viajes. Técnicas iterativas, como la restricción de capacidad entre otras, permiten llegar a la asignación final en los arcos y por lo tanto en las redes viales.

Entre los modelos de aplicación más frecuente se pueden indicar los siguientes:

Modelo del todo o nada: Consiste en asignar o "cargar" la totalidad de un volumen de tránsito interzonal entre orígenes y destinos determinados, a la ruta que ofrezca mínima resistencia, esto es, un recorrido o un costo de transporte mínimo. Esta asignación se puede hacer en dos formas: sin restricción de capacidad o bien aplicando esta forma de tratamiento.

De las curvas resistencia/uso: Estas curvas, que se relacionan con los factores de resistencia a los viajes (distancias, tiempos de viaje, costos de transporte, etc.), tomados en forma directa o en combinación, resultan al comparar las resistencias con el uso que se hace de las arterias o rutas de alternativa, lo que constituye un fundamento para juzgar la asignación.

Los modelos correspondientes sirven esencialmente para la asignación de tránsito futuro. Entre éstos se señala especialmente el modelo de California, según el cual se obtuvieron haces de curvas indicativas del porcentaje de uso de auto pistas en función de tiempos y distancias recorridas.

De asignación jerarquizado: Según esta forma de asignación los viajes se clasifican en cortos, medios y largos. Luego, se supone que dichos viajes se realizan por arterias que cumplan con las características de extensión señaladas.

Otros modelos: Se han elaborado muchos modelos de asignación de tránsito. A modo ilustrativo, se mencionan por sus nombres: de analogías con circuitos eléctricos como los empleados en Chicago, de la "atractividad" (usados en Toronto, Estocolmo, etc.), de iteración de tiempos de viaje, de minimización de éstos, de iguales tiempos de viaje, etc.

DAVID RICARDO (1772-1823)

Economista británico, de origen judío; fue uno de los miembros más importantes de la escuela clásica de economía política. Su lógica rigurosa y la búsqueda de la verdad objetiva han sido la base de las tentativas del neoliberalismo y de los análisis de Marx acerca del capitalismo. Expuso sus teorías en la obra "Principios de Economía Política".

EL PENSAMIENTO DE RICARDO

David Ricardo (1772-1823), hijo de un banquero judío que emigró de Holanda a Inglaterra, fue, ante todo y a plenitud, un inglés de su tiempo. Y no por su

conversión al cuaquerismo al momento de su matrimonio, sino por su profunda compenetración con la realidad inglesa de inicios del nuevo siglo.

A diferencia de Adam Smith, en cuyos trabajos se apoyó, **Ricardo** se preocupó sólo en segunda instancia en averiguar las causas del crecimiento o, si se prefiere el origen de "la riqueza de las naciones". Aunque también se podría decir que sus preocupaciones en torno al crecimiento lo llevaron a interesarse en primer lugar en los factores que explican la distribución de la renta.

Al autor de los "Principios de economía política y tributación" (1817) lo inquietaba especialmente la tendencia de la baja de los beneficios. Tendencia a su entender inevitable en la economía inglesa, pero que podía contrarrestarse con el desarrollo del comercio exterior. No a la manera de Adam Smith, que destacaba el papel de las exportaciones de manufacturas en la profundización de la división del trabajo. Sí a través de las importaciones de cereales baratos que impedirían que suba el salario normal. Y, por ende, facilitarían el aumento de los beneficios y la acumulación necesaria para el crecimiento.

TEORIA DEL VALOR Y DEL REPARTO

En su "Historia del Pensamiento Económico", Henri Denis expone en los siguientes términos el planteamiento de **Ricardo** sobre la distribución del ingreso nacional: *"Si hacemos abstracción de la renta agraria, el beneficio es la diferencia entre el precio de venta y el precio del costo. Y a escala nacional, el precio de costo de la producción neta, es el importe de salarios. Por consiguiente, para explicar los beneficios es preciso conocer:*

- 1) *Las leyes que determinan los salarios;*
- 2) *Las leyes que determinan los precios de venta de los productos."*

Al referirse a los precios de venta de los productos, **Ricardo** al igual que Smith, piensa en los precios de mercado que pueden ser muy variables y estar determinados por su escasez relativa.

Para **Ricardo** el precio "normal" o, si se prefiere, el valor de una mercancía, está determinada por la cantidad de trabajo que contiene. Por tanto, el valor de una mercancía aumenta cuando aumenta la cantidad de trabajo necesaria para su fabricación y disminuye en caso contrario. En términos relativos, puede decirse que los valores de cambio relativos aumentan o disminuyen de acuerdo al mismo principio, inclusive si disminuye la cantidad de trabajo incorporada en todas las mercancías.

No escapa a **Ricardo** que esta es una aproximación general al problema del valor. Tampoco que el trabajo necesario para la producción de una mercancía incluya el

trabajo anterior en la fabricación de "herramientas, máquinas y edificios"; esto es de "trabajo muerto" en la terminología de Marx, en gran medida un ricardiano.

Tampoco dejó de lado **Ricardo** una preocupación que fuera planteada por el mismo Adam Smith: los beneficios del capital están incluidos en los precios de las mercancías. Y ello en proporción al capital movilizadp puesto que hay, teóricamente, una tendencia a la simetría de los beneficios obtenidos en diferentes actividades.

Empero, **Ricardo** considera que el factor sustantivo en la determinación del valor o precio "normal" de una mercancía es la cantidad de trabajo incorporada.

LA DETERMINACION DE LA RENTA

En lo que toca a la determinación de la renta de la tierra, **Ricardo** adoptó los puntos de vista de Malthus, con quien mantuvo una polémica constante a lo largo de su vida.

Afirma que el valor de cambio de un bien (especialmente los agrícolas) está determinado por la mayor cantidad de trabajo necesaria para su producción; ni más ni menos que el costo marginal en términos contemporáneos. Así la incorporación de tierras nuevas en las cuales la producción es cada vez más difícil aumenta el valor de cambio de todos los productos agrícolas, favoreciendo a los antiguos productores. De esta manera, la renta de la tierra - más exactamente la renta diferencial - aumenta a medida que se incorporan nuevas tierras a la producción. Y esto ocurre continuamente en razón del incremento de la población y del consiguiente aumento de la demanda de alimentos.

Cabe notar que esta apreciación de **Ricardo** podía haber sido válida un siglo antes, pero ya no en la época que escribía el autor. El progreso había llegado también a la agricultura y la cantidad de trabajo requerida para la producción de un bien también disminuía. Lo que sí es absolutamente cierto es que la productividad del trabajo aumentaba más rápidamente en las manufacturas. Y que la idea de la determinación del valor por el costo marginal tenía un significado cuando se trataba de incorporar tierras relativamente poco aptas.

En ese sentido, no cabe duda que había una tendencia al aumento de la renta de la tierra.

Una vez deducida la renta de la tierra, sólo queda por determinar la parte correspondiente a los salarios y los beneficios.

Ahora bien, el precio "natural" del trabajo, que considera una mercancía al igual que Smith, es equivalente al que proporciona al obrero los medios de subsistir y perpetuar la especie.

El salario de mercado sería afectado, en opinión de **Ricardo**, por el crecimiento de la población. Y al igual que Malthus, se pronuncia contra las leyes de protección de los pobres y por el control de la natalidad. Probablemente motivado por la dramática disminución de los salarios en Inglaterra de principios del siglo XIX, y la necesidad de encontrar correctivos de largo aliento.

Teóricamente, y dada la participación de los rentistas de la tierra y de los asalariados en el ingreso nacional, los beneficios tenían un carácter residual. En otras palabras, tendían a ser muy pequeños respecto a la masa de capitales movilizados lo que, en principio, afectaba las posibilidades de acumulación y el mismo progreso de la economía.

Los factores que afectaban la distribución del ingreso en el largo plazo eran bastante claros. De un lado, había, una tendencia al aumento de la renta de la tierra y, por ende, del valor de los productos. Esta evolución afectaba directamente el valor de la fuerza de trabajo o su precio "normal" (no el de un momento dado, que podía tender a la baja). Los salarios "normales" tendían a subir relativamente en virtud del incremento de los precios de los productos alimenticios. De esta manera los beneficios bajaban y la participación del capital se reducía constantemente.

Es importante remarcar que los salarios "normales" no aumentaban. Estos eran más o menos equivalentes a una canasta de bienes que proporcionaba los medios de subsistencia a los obreros. Lo que aumentaba era el precio de los productos de la tierra, y concretamente, la renta de la tierra; esto excluye a los salarios de los campesinos del movimiento alcista.

En ese sentido el industrial, a quien **Ricardo** entiende representar, es afectado por el rentista. Es el rentista - aunque aparentemente son los asalariados - quien toma una fracción del ingreso nacional que debería ir al capitalista. Con lo cual se convierte en un obstáculo a la acumulación y, en definitiva al progreso.

EL PAPEL DEL COMERCIO EXTERIOR

En este contexto, todo aquello que contribuya a disminuir el valor de los productos agrícolas es absolutamente favorable para el desarrollo económico. Y es aquí donde **Ricardo** plantea la importación masiva de cereales de países en los cuales la renta de la tierra no sea tan elevada como en Inglaterra. A principios del siglo XIX, esto significa esencialmente Europa, pero muy pronto sería equivalente a América. Allí la renta de la tierra era prácticamente igual a cero por tratarse de tierras nuevas de la mejor calidad.

La lucha de la burguesía inglesa se centró en esta época en la abolición de las leyes del cereal que recién llegó en 1844. Pero en realidad, la lucha fue mucho más profunda que eso, pues buscó rediseñar la economía británica en función de una nueva división internacional del trabajo. Gran Bretaña - de acuerdo a **Ricardo**

- sería un centro productor de manufacturas que cambiaría por alimentos producidos en ultramar.

No está de más indicar que esta división internacional del trabajo fue perdiendo vigencia a medida que los Estados Unidos de Norteamérica desplazó a Gran Bretaña como potencia dominante. Este país, en tanto que exportador de productos agrícolas, hizo lo posible por liquidar las producciones agrícolas alentadas por británicos y, en general, europeos.

La Argentina de postguerra fue afectada por este giro. Pero también lo fueron los pequeños productores africanos de oleaginosas. Sin embargo, eso es otra historia.
