

**SEGUNDO DIPLOMADO INTERNACIONAL DE TRANSPORTE  
(1997)**

**MÓDULO II PLANIFICACION DEL TRANSPORTE URBANO**

Coordinador de Módulo: ARQ SONIA LIST MENDOZA

Del 28 de abril al 13 de mayo.

De lunes a viernes de 17:00 a 21:00 y sab. de 9:00 a 14:00 h

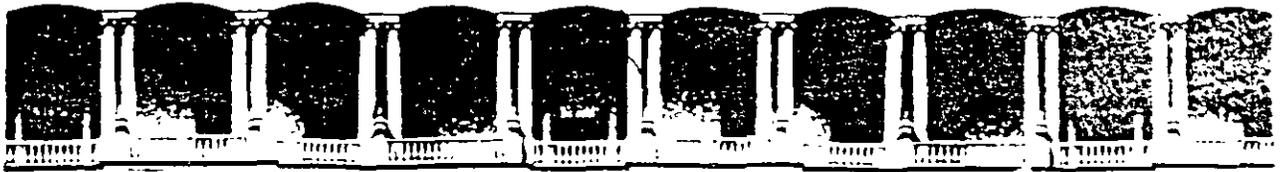
Duración: 50 horas.

**PROGRAMA**

DIA	FECHA	HORARIO	TEMA	EXPOSITOR
LUNES	28/04/97	17.00-18:00 18:00-18:15 18:15-21:00	CONFERENCIA MAGISTRAL: "La Ingeniería y el Transporte Urbano". RECESO. EL URBANISMO Y LA SOCIEDAD	ING FRANCISCO NORENA CASADO M EN ARQ. ESTHER MAYA PEREZ
MARTES	29/04/97	17.00-18:50 18:50-19:00 19.00-21:00	INTRODUCCION AL PROCESO DE PLANIFICACION DEL TRANSPORTE URBANO Componente urbanística y uso de suelo. Contexto socio-económico-urbano. Organización. Metas y objetivos. Recopilación, manejo de datos e información. RECESO. INTRODUCCION AL PROCESO DE PLANIFICACION DEL TRANSPORTE URBANO ( Continuación ). Análisis y calibración de modelos. Evaluación de modelos. Pronóstico de viajes futuros. Desarrollo de redes alternas. de transportación futura. Evaluación y selección del mejor plan. Continuidad de la Planificación	ARQ. SONIA LIST MENDOZA  ING. ROMAN VAZQUEZ BERBER.
MIÉRCOLES	30/04/97	17:00-18:15 18:15-18:30 18:30-21:00	CONFERENCIA MAGISTRAL: "La Planeación en las Obras Urbanas de Ingeniería para la construcción del Metro." RECESO ESTUDIOS DE ORIGEN Y DESTINO. Introducción. Diversos tipos de encuesta. Como diseñar una encuesta	ING SERVANDO DELGADO, GAMBOA, DGCOSTO, DDF ARQ SONIA LIST MENDOZA.
VIERNES.	2/05/97	17:00-18.50 18:50-19:00 19:00-21:00	EJEMPLOS DE UN ESTUDIO DE ORIGEN Y DESTINO. Ubicación de una terminal de pasajeros interurbano. Localización de un puente en zona urbana. Entrevistas a un lado del camino. RECESO ANALISIS DEL DESARROLLO URBANO EN RELACION CON EL TRANSPORTE.	ING ROMAN VAZQUEZ BERBER.  ING FERNANDO AUDIFFRED NARVAEZ.



SABADO.	3/05/97	9.00-10.50  10.50-11:00 11:00-15:00	MODELOS PARA GENERACION DE VIAJES. Antecedentes Clasificación de los viajes. Factores que afectan la producción de viajes. Tres procedimientos para el análisis de generación de viajes. Aplicación matricial a la regresión múltiple Prueba de hipótesis RECESO. MODELOS PARA DISTRIBUCION DE VIAJES	ING ROMAN VAZQUEZ BERBER.       ING RITA BUSTAMANTE ALCANTARA
LUNES	5/05/97	17:00-18.50.  18:50-19:00 19:00-21.00	CONFERENCIA MAGISTRAL: "Plan Maestro del Metro de la Ciudad de México." RECESO MODOS DE TRANSPORTE URBANO Y SU CAPACIDAD	ING JUAN MANUEL RAMIREZ CARAZA. STC-DDF  ARQ SONIA LIST MENDOZA
MARTES	6/05/97	17:00-18:50 18:50-19:00 19:00-21:00	MODELOS DE REPARTICION MODAL. RECESO. MODELOS DE ASIGNACION DE TRANSITO. Generalidades y antecedentes históricos. Tipos de modelos de asignación.	ING ANGEL ALCEDA HERNANDEZ.  ING ANGEL ALCEDA HERNANDEZ
MIERCOLES	7/05/97	17.00-18:50.  18:50-19:00. 19:00-21:00.	UN MODELO DE ASIGNACION DOMESTICO: EL MOSART. RECESO. UN MODELO DE ASIGNACION DOMESTICO: EL MOSART (Continuación).	ING ANGEL ALCEDA HERNANDEZ.  ING ANGEL ALCEDA HERNANDEZ
JUEVES	8/05/97	17:00-18.30.  18:30-18:45 18.45-21:00	CONFERENCIA MAGISTRAL: " Sistema Corporativo de Información Geográfica y Aplicaciones al Transporte". RECESO. MODELOS DE IMPACTO	ARQ MARGARITA JORDA LOZANO. SICORI-PEMEX  ING ENRIQUE SALCEDO MARTINEZ
VIERNES	9/05/97	17:00-18:50.  18:50-19:00 19:00-21:00	CONFERENCIA MAGISTRAL: "Impactos del Transporte Urbano en los Usos de Suelo." RECESO Continuación de la Conferencia Magistral	DR ROBERTO CERVERO UNIVERSIDAD DE CALIFORNIA EN BERKELEY.
SABADO	10/05/97		SIN LABORES POR SER DIA FESTIVO.	
LUNES	12/05/97	17:00-18.50.  18:50-19:00 19 00-21:00	USO DEL PAQUETE EMME/2 PARA EL TRANSPORTE URBANO RECESO USO DEL PAQUETE EMME/2 PARA EL TRANSPORTE URBANO. ( Continuación ).	ING. MARCOS NOGUERON ING ADRIANA DE ALMEIDA LOBO. ING. MARCOS NOGUERON. ING ADRIANA DE ALMEIDA LOBO.
MARTES	13/05/97	17:00-18:50.  18:50-19:00 19:00-21:00	USO DEL PAQUETE STAN PARA TRANSPORTE DE CARGA. RECESO. USO DEL PAQUETE STAN PARA TRANSPORTE DE CARGA ( Continuación ).	ING HECTOR DURAN LOPEZ  ING HECTOR DURAN LOPEZ.



**FACULTAD DE INGENIERIA U.N.A.M.  
DIVISION DE EDUCACION CONTINUA**

## **SEGUNDO DIPLOMADO INTERNACIONAL DE TRANSPORTE**

### **MODULO II: PLANIFICACION DEL TRANSPORTE URBANO**

**COORDINADOR GENERAL: ING. ROMAN VAZQUEZ BERBER**

**COORDINADORA MODULO II: ARQ. SONIA LIZT MENDOZA**

**PRIMAVERA 1997**

# **PRESENTACION GENERAL DEL SEGUNDO DIPLOMADO INTERNACIONAL DE TRANSPORTE (1997)**

## **OBJETIVO DEL DIPLOMADO:**

El objetivo de este Segundo Diplomado Internacional de Transporte es el de proporcionar a los participantes una actualización de conocimientos en las áreas de planificación del transporte regional, urbano y de carga con el objeto de adquirir un esquema macro del transporte y una actualización en especialidades vinculadas como son la ingeniería de transporte, la ingeniería de tránsito y el transporte internacional de carga, para tener un enfoque integral tanto en el ámbito urbano, interurbano e internacional.

## **ANTECEDENTES**

El transporte tal como se le conoce actualmente es el resultado de los cambios experimentados de tipo socioeconómico, políticos y tecnológicos en los países más desarrollados y más recientemente en los países en proceso de desarrollo.

El proceso de planificación del transporte se inició a principios del siglo XX. Hasta los años "treintas" las decisiones sobre planificación del transporte se basaron en estrategias políticas (tal como se realiza actualmente en los países en proceso de desarrollo) y aún en consideraciones intuitivas de algunas personas. Durante los siguientes veinticinco años se dió el primer paso para mejorar la estimación de la demanda futura para el transporte, cuando fueron obtenidos los volúmenes de tránsito en las vialidades existentes y utilizados para elaborar algunas técnicas de pronóstico incipientes.

Después, en los años "cincuentas" surgieron enfoques con un carácter más científico cuando la demanda de recorridos se relacionó con factores socioeconómicos, tales como uso de suelo y el estudio de los viajeros de elección modal. Estos nuevos métodos fueron iniciados en Norteamérica y fueron adoptados en muchas ciudades Europeas.

Solo a principio de los "sesentas" comenzó una nueva era en la planificación del transporte. Se inició en los países desarrollados un enfoque de modelación del transporte a largo plazo y con carácter integral. Las técnicas partieron de modelos matemáticos que intentaban reproducir la interacción existente entre el uso de suelo y el sistema de transportación. Los niveles de

empleo, los ingresos y la posesión de automóviles fueron utilizados para modelar las condiciones existentes y algunas consideraciones con respecto al crecimiento de éstos factores fueron analizados para definir pronósticos futuros.

A mitad de la década de los "Setentas" los propósitos, precisión y complejidad de los modelos para la planificación del transporte fueron severamente criticados (Atkins'). Se demostraron las fallas de los modelos para el pronóstico del tránsito con observaciones directas en el tiempo (Machinder y Evans' ).

A pesar de las múltiples críticas, los modelos de transporte han sido utilizados ampliamente en los esquemas de planeación y proyectos de los países desarrollados. Estas mismas técnicas han sido adoptadas por los países menos desarrollados.

Durante los "ochentas" y los "noventas", el desarrollo de nuevas técnicas, conjuntamente con las mejoras en la capacidad y potencia de las computadoras ha proporcionado una gran confianza en la modelación con respecto a la que se les dispensaba en las dos décadas anteriores.

Aunque no hay una definición universalmente aceptada de lo que se conoce como "países en proceso de desarrollo o países del tercer mundo", pueden ser considerados según Dimitriou', bajo los siguientes rubros:

- Dependencia del mundo industrializado.
- Fenómeno de crecimiento rápido en las principales tendencias socioeconómicas.
- Una economía dura con múltiples desigualdades.
- Un papel dominante del sector público en el desarrollo nacional.

Estos rubros imprimen al transporte una característica peculiar muy diferente al del transporte en el mundo desarrollado. Las principales diferencias pueden dividirse en dos grupos:

**1) Características socioeconómicas y políticas:**

- a.- Recursos económicos escasos.
- b.- Infraestructura deficiente que da como consecuencia altos costos de operación y un elevado índice de accidentes.

c.- Altos niveles de emigración de las zonas rurales a las zonas urbanas, las cuales crecen en forma rápida demográficamente y en especial, agravados por controles de natalidad inadecuados.

d.- Crecimiento rápido del parque de automóviles, aunque solo para algunos grupos sociales.

e.- Bajos y desiguales niveles de ingresos con una diferencia muy marcada entre la riqueza y la pobreza, la cual en muchos casos es una consecuencia de las implicaciones sociales del poscolonialismo.

f.- Escaso entrenamiento apropiado de los profesionales dedicados al transporte.

g.- Alta dependencia del transporte colectivo.

h.- Ausencia de estructuras institucionales para la planeación del transporte o las que existen no cumplen cabalmente con sus atribuciones o funciones.

i.- Altos niveles de analfabetismo que dan por resultado bajos niveles de educación de los conductores.

j.- Carencia de control y reglamentación ineficiente o inexistente en el uso de suelo.

k.- Insuficiente investigación relacionada con el transporte urbano y rural y por consecuencia una vigorosa dependencia de la tecnología desarrollada en países industrializados.

## 2) Características relativas al tránsito:

a.-Carencia de datos confiables y de métodos estandarizados para su recopilación.

b.- Deficiente señalamiento informativo, iluminación y marcas de pavimento como elementos complementarios de la vialidad, tanto en el ámbito carretero como en la vialidad urbana.

c.-Pobre comportamiento de los conductores.

d.-Estacionamiento en la calle sin control.

e.- Carencia de una vigilancia de tránsito adecuada.

f.- Composición del tránsito muy diversificada con altos niveles de vehículos de transporte público (tanto informal como formal).

g.- Un número importante de viajes realizados a pie.

h.- Proliferación de vendedores ambulantes.

i.- Elevados índices de accidentes de tránsito y cuantiosas pérdidas humanas (muertos y heridos) y considerables pérdidas materiales.

Todas éstas características no necesariamente pueden ser atribuidas a un país en proceso de desarrollo, pero es un fenómeno común en ellos. Al mismo tiempo la intensidad de una característica puede variar de un país a otro.

## **CONTENIDO GENERAL DEL DIPLOMADO.**

Es importante mencionar que el enfoque de este Segundo Diplomado Internacional de Transporte tiene un enfoque teórico-práctico, proporcionando a los asistentes una actualización de conocimientos en las áreas de planificación del transporte regional y urbano y en especialidades vinculadas como son la ingeniería de transporte, la ingeniería de tránsito y el transporte internacional de carga con el fin de obtener un enfoque integral en los ámbitos urbano y rural.

Nos apoyaremos asimismo, con conferencias magistrales en cada módulo, que complementarán las exposiciones de los maestros y que además serán dictadas por especialistas que están participando en diferentes procesos de la modernización del transporte en Brasil, Canadá, Centro América y el Caribe España, Estados Unidos, México y América del Sur.

El diplomado está dividido en cinco módulos:

**Módulo I. Planificación del Transporte Regional, coordinado por el M. en I. Reyes Juárez del Angel.**

**Módulo II. Planificación del Transporte Urbano, Coordinado por la Arq. Sonia Lizt Mendoza.**

**Módulo III. Ingeniería de Transporte, Coordinado por el Ing. Angel Alceda Hernández.**

**Módulo IV. Ingeniería de Tránsito, Coordinado por el Dr. Guido Radelat Egües.**

## **PALABRAS FINALES Y AGRADECIMIENTOS:**

Las características peculiares de los países del tercer mundo tales como la carencia de un número relevante de profesionales calificados para atender el proceso de planificación, proyecto y operación del transporte, una inadecuada o inexistente estructura institucional, muy rápida urbanización, una inapropiada mezcla de vehículos utilizados para el transporte colectivo y desigualdad en los niveles socioeconómicos, han sido enarboladas como las razones importantes para que las técnicas utilizadas por los países occidentales sean inapropiadas para ser usadas en los países en proceso de desarrollo.

La transferencia de tecnología deberá estar acompañada de un conocimiento profundo del medio al cual será aplicada y comparando cuidadosamente el medio donde se originó esa tecnología. Una vez que se hayan obtenido las modificaciones y agentes de la tecnología entonces deberá aplicarse; o, en su caso, deberán prepararse nuevas técnicas más adecuadas al medio—o—contexto en estudio.

Sin lugar a dudas, la investigación es necesaria para elaborar o adecuar la transferencia de técnicas occidentales para países del tercer mundo. Sin embargo ésta investigación no deberá ser una simple calibración de los modelos existentes con objeto de obtener un entendimiento claro de las ventajas y debilidades de las técnicas existentes.

Deseamos agradecer muy cumplidamente:

A la División de Educación Continua de la Facultad de Ingeniería de la UNAM, por la oportunidad de reunir a un conjunto de expertos sobresalientes en el transporte.

Al Jefe de la División de Educación Continua, Maestro Alberto Moreno Bonett, por su incondicional apoyo y entusiasmo para la realización de éste Segundo Diplomado Internacional de Transporte.

A los Coordinadores de los Módulos por su profesionalismo y entrega.

A los conferencista magistrales y profesores, por su deferencia y generosidad para transmitirnos sus conocimientos.

Al Instituto Mexicano del Transporte, como siempre, por su permanente participación.

A los alumnos y asistentes, por su interés y ambición para incursionar en nuevas experiencias del conocimiento.

A todos los organismos, públicos y privados, que nos han brindado su apoyo de diversas maneras.

¡¡ Muchas gracias a todos ellos por su institucionalidad !!

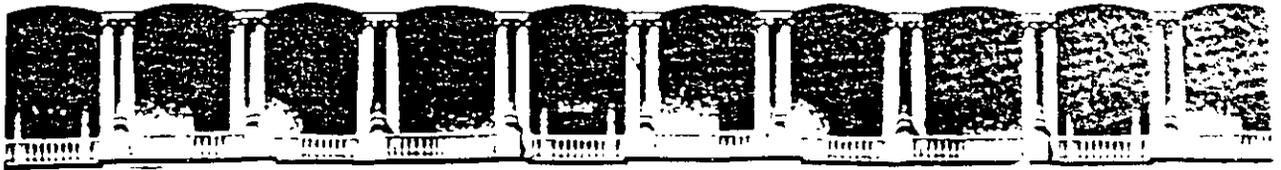
Ing. Román Vázquez Berber.  
Coordinador General del Segundo  
Diplomado Internacional de Transporte.  
División de Educación Continua, Facultad de Ingeniería. UNAM.

Ciudad de México, D.F., a 14 de abril de 1997.

---

**REFERENCIAS:**

- (1).- ATKIN, S. T. Transportation Planning is there a road ahead? Traffic & Control, pp. 58-62, 1977.
- (2).- MACKINDER, I. H. and S.E. EVANS. The predictive accuracy of British transport studies in urban areas. TRRL. Supplementary Report ST. 699. Transport and Road Research Laboratory. Crowthorne. 1981.
- (3).- DIMITRIOU, H.T. Transport Planning for Third World Cities. (Chapter 4. Transport and Third World city development). Routledge. London. 1990.



**FACULTAD DE INGENIERIA U.N.A.M.  
DIVISION DE EDUCACION CONTINUA**

**DIPLOMADO INTERNACIONAL DE TRANSPORTE**

**MODULO II: PLANIFICACION DEL TRANSPORTE URBANO**

**TEMA: URBANISMO Y SOCIEDAD**

**PRESENTA: M. EN ARQ. ESTHER MAYA**

**PRIMAVERA 1997**

**URBANISMO Y SOCIEDAD.  
MTRA. ESTHER MAYA**

**PONENCIA PRESENTADA EN EL MÓDULO II. PLANIFICACIÓN DEL  
TRANSPORTE URBANO.**

**DIPLOMADO INTERNACIONAL DE TRANSPORTE URBANO.  
DIVISIÓN DE EDUCACIÓN CONTINUA, FACULTAD DE INGENIERÍA.**

**ABRIL, 1997.**

**INTRODUCCIÓN.**

Quizás para muchos de ustedes, esta ocasión constituya la primera vez que establecen contacto con las llamadas ciencias sociales (o ciencias blandas) y, se pregunten cuál es el motivo de mi intervención en este foro, que tiene por objeto la planeación del transporte en todas sus modalidades en las sociedades contemporáneas.

Pues bien, creo que el término que justifica mi presencia está en la palabra sociedad. Si admitimos que cualquier acción o práctica que se lleve a cabo para una colectividad debe ser a partir de ésta y en función de la misma. El tema del transporte urbano obviamente no escapa a éste propósito.

Dada las características de este evento, en donde el tiempo es nuestro principal enemigo, no nos detendremos definiendo al conjunto de las ciencias sociales. Nos abocaremos a la sociología y, en particular a la sociología urbana y su relación con el urbanismo, destacando aquellos conceptos que se acercan más a la planeación urbana.

Empezaremos por precisar lo que se entiende por "sociedad urbana", entendida como un conjunto de individuos que comparten un mismo territorio -la ciudad<sup>1</sup>- en donde el tamaño y la densidad demográfica son dos rasgos dominantes; rasgos que las convierte en sociedades heterogéneas, con escasos contactos íntimos entre los individuos y en donde las relaciones sociales, son reemplazadas por formas diferentes de interacción social: más anónimas, impersonales y pasajeras. El individuo tiende a aislarse y es sometido a

<sup>1</sup>El origen de las ciudades data de unos cinco o seis mil años.(o sea 3000-4000 A.C.). El empleo actual del concepto de "ciudad", se vincula con las formas de organización social derivadas de cambios en la tecnología y en los modos de producción.

presiones económicas que buscan mantener un nivel económico y en consecuencia "status social".

La sociología urbana nos remite a una sociología del ordenamiento espacial de las ciudades. La ciudad no es sólo una suma de cosas materiales, tangibles, como edificios y calles. Es una reunión de hombres que mantienen relaciones diversas que se establecen por medio de la espacialidad, es decir a través de objetos que conforman el marco contruido. En este sentido, el espacio sólo tiene sentido en función de la vida colectiva de los individuos (Ledrut:1968).

Si bien es cierto que la organización del espacio en sus distintos aspectos (económicos, social, físico, cultural), requiere de una adecuada administración política del territorio, no se puede dejar de reconocer que existen vecindarios, barrios, zonas urbanas, etc., que difieren unos de otros por el tamaño y la densidad de su población, por el tipo de suelo y la habitación y, por la cantidad y calidad de los servicios urbanos disponibles.

Por lo tanto, para conocer el funcionamiento y el orden urbano de las ciudades, es imprescindible conocer las necesidades colectivas que reclaman los distintos grupos sociales que residen en ellas.

El fenómeno espacial ha sido estudiado a través de importantes corrientes y, cada una por su cuenta, ha definido el concepto de ciudad surgida a partir de la Revolución Industrial, que sentó las bases para el cambio de las estructuras económicas, políticas y sociales encaminadas hacia la construcción de una sociedad industrial.

Así, la la Revolución Industrial, dio nacimiento a un capitalismo que empieza a dominar no solamente en Europa sino en el mundo entero, pero en condiciones de desigualdad de la distribución social y de la riqueza material y cultural, para el conjunto de las sociedades que estaban en proceso de gestación.

El siglo XIX estableció un nuevo modelo de ciudad que permitió la organización de importantes ciudades europeas (empezando por París) y, la fundación de ciudades coloniales en todo el mundo (Benévolo:1979).

Durante ésta época, las principales ciudades de algunos países como Inglaterra, Bélgica, Francia, Italia, Alemania, empezaron a transformarse a partir de su núcleo central, que se vio amenazado por un inevitable deterioro. La densidad de población iba en

constante aumento,<sup>2</sup> las viviendas eran insuficientes lo mismo que los servicios. Poco a poco las clases acomodadas que residían en estas zonas centrales de la ciudad, se fueron desplazando hacia la periferia en busca de nuevas y mejores construcciones. Mientras que las viviendas y edificios que quedaban vacíos eran ocupados por los pobres, habitados en condiciones de hacinamiento e insalubridad. Incluso, muchos edificios fueron utilizados como bodegas o bien como sitios para el almacenamiento de mercancías. La ciudad que emerge de la Revolución Industrial es una ciudad territorial y socialmente diferente que agrava el deterioro de vida en general de la población (Lezama:lb.).

Conforme el proceso de industrialización iba en ascenso en las naciones de Europa, la urbanización ocurría de manera paralela. La planeación urbana de las ciudades exigía un nuevo desafío: no era posible seguir construyendo ciudades divididas, marcadas por una desigualdad social que se expresa de muchas maneras, pero particularmente en la forma de construir las viviendas y la conformación de barrios heterogéneos desde el punto de vista social.

En este contexto de ideas, en las primeras décadas del siglo XX, surge un movimiento que propugna un nuevo estilo de diseñar las ciudades en Europa<sup>3</sup>.

Entre los años de 1925 y 1935, la arquitectura, de ese entonces, definió las tesis fundamentales de lo que sería la Escuela Funcionalista apoyada en la obra de Le Corbusier, representante de un nuevo estilo técnico en la forma del diseño de las ciudades (García Ramos:1974).

De esta forma, la arquitectura adopta un modelo funcionalista que rige la planeación urbana de muchas ciudades en Europa.

La nueva fisonomía que va adoptando la ciudad moderna -la ciudad del siglo XX-, se enmarca dentro de una arquitectura funcionalista: la ciudad es un parque preparado para las distintas funciones de la vida cotidiana. (Le Corbusier); en donde habitar se convierte en

---

<sup>2</sup>El importante crecimiento demográfico de algunas ciudades europeas durante este período, se ejemplifica con el caso de Manchester: en 1780 tenía 50,000 habitantes; en 1800 contaba con 95,000; en 1850 sumaba 400,000 y en 1910 llegó a tener 710,000.(cfr.Lezama,1993.)

<sup>3</sup>Se trata de la doctrina urbanística denominada como "Carta de Atenas", que propone principios rectores de la organización de la ciudad. (Cfr. García Ramos, Domingo: p113.)

la función principal y por lo tanto, es el elemento fundamental de la nueva ciudad. Pero vivienda no debe edificarse en forma aislada; debe formar parte de un agrupamiento mayor y estar conectada con todos aquellos servicios indispensables para el desarrollo de la vida cotidiana: escuelas, hospitales, mercados, calles, etc., y posteriormente, constituir barrios que es la estructura principal de la ciudad moderna. (LeCourboisier).

Así, la ciudad moderna trata de superar las discriminaciones impuestas por los tipos anteriores de ciudades, buscando crear un ambiente que beneficie a la mayor parte de los individuos.

En general, el movimiento de la arquitectura moderna que se desarrolló en Europa para planificar ciudades más habitables, logra conciliar todos los intereses puestos en el desarrollo urbano, con viviendas a precios asequibles y servicios urbanos suficientes.

En el caso de los países subdesarrollados, el ritmo de crecimiento de las ciudades ha sido fuerte y acelerado, llegando a sobrepoblar las principales capitales de estos países. En ellas los planes urbanos y los servicios públicos sólo satisfacen la necesidad de una parte minoritaria de su población. Para el resto (la mayoría) los servicios no son proporcionados y, por lo regular, el terreno que ocupan carece de un título jurídico; las casas se construyen con materiales de mala calidad donde, posteriormente, se introducen los servicios urbanos fuera de los reglamentos que son válidos para el resto de la ciudad.

Podemos decir que, en éstos países, de la arquitectura y del urbanismo modernos han nacido dos tipos de ciudades: una regularizada y otra irregular. La ciudad irregular crece en forma concomitante con la ciudad regular y ésta última impone un modelo urbano a seguir por la primera, pero la mayoría de las veces es inalcanzable. Se aceptan como insalubres las viviendas habitadas, sin servicios, normalmente localizadas fuera de los límites urbanos de la ciudad, pero posteriormente se corrige esta situación dotando de servicios y reconociendo oficialmente las viviendas y los barrios, acciones que finalmente justifican la coexistencia de dos tipos diferentes de asentamientos urbanos.

Pero, además, de las aportaciones propias de la arquitectura y del urbanismo, la sociología urbana encara sus propias perspectivas en el estudio de las ciudades. Las más recientes se inician a partir de la "Escuela de Chicago", propuesta de análisis que dio origen

al interés que muchos sociólogos urbanos contemporáneos, han manifestado por el estudio de los fenómenos sociales que se liberan dentro del llamado proceso urbano.

Surgida la Escuela precisamente en la ciudad de Chicago, en el año de 1925, bajo la dirección de Park, Burgess y Mackenzie, sociólogos de la Universidad de Chicago, seleccionaron esta ciudad como un laboratorio social por constituir una metrópoli importante en un período significativo de su crecimiento.

En líneas generales, Burgess propone un modelo de estructura urbana basado en anillos o círculos concéntricos que describe el crecimiento de las ciudades modernas (principalmente las norteamericanas).

El modelo representa las tendencias de crecimiento de una ciudad que se expande radialmente a partir de un centro comercial central (I). Alrededor de este centro se localiza por lo general una "área de transición" ocupada por centros comerciales, oficinas e industrias de menor importancia (II). La tercera zona (III) es ocupada por trabajadores de la industria (obreros), que abandonaron la zona deteriorada (II) pero que deciden vivir cerca de la zona de trabajo. En la cuarta zona (IV) se localizan edificios con departamentos de lujo y barrios privilegiados que son ocupados por las clases medias y altas. La quinta zona ubicada en los límites de la ciudad (la periferia), habitada por trabajadores independientes, comprende áreas suburbanas y ciudades satélites, pero dependientes de la vida económica que se desarrolla en la zona central.

En el diagrama (anexo) se observa la tendencia de cada zona interna a extender su propia superficie en los límites sucesivos inmediatos. A este aspecto de la expansión Burgess lo denominó "sucesión" y tiene que ver con el cambio de uso del suelo de habitación a comercio.

La propuesta de Burgess y en general de la propia Escuela de Chicago, responden más a factores como el ascenso social (el status) y las funciones especializadas

de cada zona que ubican espacialmente a los sujetos sociales. Lo anterior significa que una movilidad vertical (cambio de status en dirección ascendente-descendente), corresponde una movilidad horizontal o sea un cambio de lugar de residencia.

## **POBLACIÓN Y TERRITORIO. EL CASO DE LA ZONA METROPOLITANA DE LA CIUDAD DE MÉXICO (ZMCM).**

México se considera hoy día un país predominantemente urbano. Proceso que está ligado a una dinámica demográfica acompañada por cambios significativos en la vida de la población.

Al inicio del presente siglo, en el país habían solamente 33 localidades urbanas en las que habitaba el 10.5% de la población nacional. Para 1990 en el país sumaban 275 ciudades que concentraban el 57.4% de la población. (Sobrino:1993).

Actualmente más de 30 millones de mexicanos viven en alguna de las zonas metropolitanas que existen en el país. Si las mismas continúan creciendo y surgen además nuevos centros metropolitanos, se espera que en la presente década la urbanización se siga extendiendo por todo el territorio para llegar al siglo XXI como un país eminentemente urbano. Evidentemente los desafíos en el próximo siglo serán en un México mucho más urbano.

La configuración del espacio en México continúa acentuando las disparidades regionales y la concentración económica y demográfica de algunas ciudades como los casos de Guadalajara y Monterrey, ciudades que presentan un acelerado proceso de metropolización en relación con el comportamiento de su ciudad central (Sobrino:ib.), que en parte se manifiesta en la pérdida de funciones y de población y su relocalización en los municipios periféricos. En el caso de la zona metropolitana de la ciudad de México, su excesiva expansión está sentando las bases para el surgimiento de un conglomerado de

corte megalopolitano debido a que las ciudades de Toluca, Cuernavaca, Cuautla, Pachuca y en menor medida Puebla y Tlaxcala muestran avances importantes en su integración funcional con la ZMCM. (Garza, G.:1986).

La urbanización no ha ocurrido en forma similar a lo largo del territorio mexicano; más bien ha provocado graves contradicciones y desigualdades regionales. Pues si bien en algunas regiones ha generado riqueza y acumulación, en otras ha provocado atraso y marginalidad social. (Luna y Gómez: 1992).

Este desequilibrio regional marcó diferencias sobretudo entre los ámbitos rural y urbano motivando, entre otras cosas, que el campesino abandone su lugar de origen (el campo) y se traslade a las principales ciudades.

Por las características de desarrollo económico dependiente, México como el resto de las naciones latinoamericanas, su escasa industrialización impidió la incorporación de mano de obra suficiente en la industria; razón por la cual la mayoría de la población económicamente activa tuvo que incorporarse al sector terciario de la producción.<sup>4</sup>

La urbanización ha provocado cambios en muchas dimensiones: desequilibrio regional, expansión física excesiva de las ciudades y creación de metrópolis, concentración de población motivada por migraciones interestatales, segregación socio-espacial, contaminación, inseguridad pública, falta de vivienda y servicios urbanos suficientes (agua, drenaje, luz, transporte, etc.), que satisfagan las necesidades de una población que va en constante aumento.

Hoy día, la ZMCM constituye el asentamiento más poblado del territorio mexicano. Su dinámica de poblamiento se vincula con un modelo de ocupación del espacio necesario

---

<sup>4</sup>Además de otros factores como el excesivo crecimiento de la población, los bajos niveles educativos y de salarios percibidos en el empleo formal.

para la producción de vivienda, particularmente la vivienda que reclaman los sectores de menos recursos económicos que residen en la metrópoli.

El crecimiento explosivo de la ZMCM a su vez es producto de un modelo de desarrollo económico dependiente, caracterizado por la sustitución de importaciones que rigió la economía mexicana a partir de la década de los años cuarenta. Modelo que favoreció la concentración de capital y de población en la ciudad de México y su zona conurbada.

El estudio del crecimiento metropolitano de la ciudad de México, ha seguido el modelo de crecimiento por contornos (propuesto por la Escuela de Chicago), el cual permite estimar la incorporación de nuevos municipios, calcular tamaños de población, necesidades de espacio (sobretudo de uso habitacional) y demanda de servicios, lo cual ayuda a orientar adecuadamente el crecimiento urbano esperado.

El modelo de crecimiento por contornos fue resumido por Villavicencio y Dur (1993) de la siguiente forma:

1) Ciudad central o zona céntrica. Corresponde actualmente al territorio que abarca la ciudad de México hacia 1930. Inicialmente dividida en cuarteles, ahora se encuentra configurada por cuatro delegaciones centrales: Cuauhtémoc, B. Juárez, V. Carranza y M. Hidalgo, con una superficie de 14.200 Ha.

Esta etapa denominada también como "etapa del crecimiento del núcleo central" (Garza:1992), la ciudad de México apenas rebasaba al millón de habitantes. La concentración de actividades y de funciones en el área, ocasiona la primera conurbación con relación al Distrito Federal sobre Tacuba, Tacubaya, San Angel, La Villa e Iztacalco, modificando los límites administrativos originales (Delgado:1988).

**2) El primer contorno.** Surge por el crecimiento que la ciudad experimentó entre 1930 y 1950. Está formado por siete delegaciones del DF y dos municipios del Estado de México.

El ritmo de crecimiento industrial que se dio durante estos años, sobretodo en el norte del Distrito Federal, amplió el área central propiciando la conurbación hacia las delegaciones de Azcapotzalco, Gustavo A. Madero, Álvaro Obregón, Coyoacán, Iztapalapa e Ixtacalco, llegando incluso a los límites con el Estado de México.

**3) El segundo contorno.** Coincide aproximadamente con el crecimiento urbano entre 1950 y 1970 e incluye cuatro delegaciones del DF (Magdalena Contreras, Tlalpan, Tiáhuac y Xochimilco) y 10 municipios del Estado de México.

Este contorno es consecuencia de la implantación industrial en el norte hacia Tlanepantla y Ecatepec (Garza:1987); de la llegada de población migrante que junto con la población expulsada de las áreas centrales de la ciudad , ocuparon la periferia.

**4) El tercer contorno.** Formado a partir de 1970 mediante la incorporación a la ZMCM de una delegación y 15 nuevos municipios. En realidad más que un contorno a la Ciudad Central, esta zona se concentra en el norte y oriente del área urbana.

Durante esta etapa, se dio un acelerado proceso de expansión metropolitana. La prohibición de fraccionamientos en el Distrito Federal en las décadas anteriores,<sup>5</sup> propició la conurbación de nuevos municipios situando en proceso de conurbación a 21 municipios más (Delgado:1990).

<sup>5</sup>Fue durante la regencia de Ernesto P. Uruchurtú (1953-1966) cuando ésta prohibición motivó el crecimiento expansivo de mos municipios cercanos al Estado de México. Posteriormente, durante el periodo de Carlos Hank G. como Jefe del DDF (1977-1982), quizo imponer restricciones para detener el crecimiento irregular de la ciudad de México, aprovechando el crecimiento económico de las áreas urbanizadas más centricas (Connolly:1988).

En total la población aumenta a 18.5 millones de personas (en 1987), cifra superior a la que se tenía al inicio del período que era de ocho y medio millones de habitantes. (Delgado:ib).

El crecimiento de población que registra la ciudad de México, sobretudo a partir de 1950, modifica sustancialmente las características de su crecimiento urbano. Es a partir de ésta década que intensifica el crecimiento explosivo de su área urbana a través de la incorporación de terrenos ejidales, muchos de los cuales (las 2/3 partes), fueron expropiados para la instalación de industrias, pero también sirvieron para llevar a cabo procesos de invasión ilegal por parte de los sectores de menores ingresos económicos.

Así en 1953, el 6.4% de la superficie del área urbana se encontraba sobre tierras ejidales y, entre 1940-1982 el 27.3% de la expansión territorial de la ciudad de México se efectuó también sobre terrenos destinados a la agricultura.<sup>6</sup>

Fue durante los años de 1950-1970, época durante la cual la ciudad de México creció a una tasa del 5.5% anual. Ritmo de crecimiento que ha ido en descenso desde 1970. Es decir, a partir de este año y hasta 1980 las tasas de crecimiento poblacional disminuyeron en un 3.9% y entre 1980-1990 se redujeron al 2%. (Camposortega: 1992).

El complejo crecimiento demográfico y urbano que se inicia a partir de 1970 tiene que ver, además, con otros dos aspectos importantes: un despoblamiento de la ciudad central motivado por cambios en el uso del suelo, sobretudo de habitación a usos comerciales, y su correlato crecimiento expansivo de la periferia metropolitana. (Delgado:1988). Esto es, el poblamiento periférico tiene que ver con los movimientos intraurbanos que se dieron desde la capital hacia los municipios conurbados. Particularmente, la parte que corresponde a la Ciudad Central inició, desde los años cincuenta, un importante proceso de pérdida de

---

<sup>6</sup>Valery:1985, citado por Coulomb (ib.).

población que se intensificó durante las dos décadas siguientes, como consecuencia de la escasez de vivienda barata, la mejora de las vías de comunicación y de transportes entre otras cosas.

Así, durante el período 1950-1970, el mercado ilegal del suelo, permitió la expansión rápida de la ZMCM, motivada a su vez, por la construcción de obras viales. Las direcciones de este crecimiento se dieron inicialmente hacia el norte, siguiendo las vialidades a Pachuca por la autopista, la carretera federal y la zona de las Pirámides, facilitando la incorporación a la ilegalidad zonas de los municipios de Ecatepec, Tecamac, Acolman, Atenco, Tizayuca y San Juan Teotihuacán. Después, los municipios de Cuatitlán Izcalli, Tultitlán, Melchor Ocampo, Zumpango y Tepotzotlán se incorporaron a través de las vialidades que conducen a Tlalnepantla y Naucalpan hacia Querétaro y Zumpango. Hacia el sur y poniente las vialidades a Cuernavaca, Cuautla y Toluca; y por el Ajusco y las autopistas federales y estatales permitieron la urbanización ilegal de parte de las delegaciones de Tlalpan, Xochimilco y Magdalena Contreras. Finalmente, la carretera federal a Puebla que comprende parte de Iztapalapa, Los Reyes, Ixtapaluca y Chicoloapan y casi la totalidad de Chalco y Chimalhuacán. (Legorreta:1992).

Si bien las obras viales facilitaron la expansión física y territorial de la ciudad de México sobre los municipios del Estado de México, el poblamiento de estos municipios ha sido consecuencia por un lado, de la migración de población del campo hacia la ciudad, fenómeno particularmente importante a partir de la década de los años cincuenta.

Estudios al respecto demuestran la importancia que tuvieron las constantes oleadas de población que emigraron al Distrito Federal proveniente del Estado de México, y de algunos otros del centro del país como Morelos, Hidalgo, Tlaxcala, Puebla, Querétaro. Fue en la década de 1960 período durante el cual se mantuvieron constantes estos desplazamientos de población hacia el Distrito Federal. Durante estos años, la población

migrante que llegó a la ciudad de México, ocupó en algunos casos las zonas centrales de la ciudad y en otros, los asentamientos de la periferia. Según los estudios de Gilbert y Ward (1982), el 45% de la población recién llegada alquiló una vivienda en las afueras del centro de la ciudad (primer anillo o contorno), ubicándose en un primer momento en el norte y oriente y, posteriormente, en los asentamientos irregulares surgidos a partir de los años sesenta en el municipio de Netzahualcóyotl, y durante los setenta en Chalco y Chimalhuacán y, por otro, de la reubicación de la población desalojada del área central de la ciudad de México. Así, mientras las delegaciones centrales pierden población, las periféricas (Tlalpan, Cuajimalpa, Tláhuac), siguen incrementando su población residente. Lo mismo sucede con algunos municipios como Chalco, Chimalhuacán, Coacalco, y otros más alejados como Acolman, Teoloyucan, (Negrete Salas, 1995); municipios en donde la disponibilidad de terrenos y las posibilidades de invadirlos, facilitaron el traslado de la población y su ocupación ilegal.

La mayor parte de la población económicamente activa residente de estos municipios se ha integrado al empleo informal generado principalmente en las áreas centrales de la ciudad, situación que los obliga a desplazarse diariamente al Distrito Federal. Según cálculos elaborados con base a la Encuesta Nacional de Empleo Urbano, el porcentaje de trabajadores empleados en el sector informal, se incrementó del 34% en 1981 a cerca de 40% en 1987. (Camposortega:1992).

Evidentemente, el traslado al Distrito Federal representa un gasto importante del ingreso total de la familia, considerando que se traslada más de un miembro por familia. Al respecto, los datos censales indican que para 1990, el 20% de la población económicamente activa del área metropolitana, ganaba menos de un salario mínimo; el 54% entre uno y dos salarios mínimos y, sólo 6% más de cinco salarios mínimos (Camposortega:ib.)

Pero además del gasto, debemos tomar en cuenta el tiempo que se ocupa en el traslado. Se calcula que la duración de los viajes por motivos como ir al trabajo, a la escuela, realizar compras, recreación, etc., tienen una duración de 46 minutos. Para el D.F., la duración promedio de cada viaje es de aproximadamente 40 minutos, mientras que para los municipios conurbados es de casi una hora,<sup>7</sup> considerando que algunos viajes duran más de una hora y media.

Según los datos obtenidos por la Encuesta Origen-Destino, el traslado diario por motivos de trabajo entre los habitantes de la zona metropolitana de la ciudad de México, representa un 22.5%, seguido de motivos como el ir a la escuela (13.9%), ir de compras (4.3%) y otras actividades que, en conjunto y sumadas con las tres anteriores significa que un 45.6% de la población realice el viaje de regreso al hogar.<sup>8</sup>

Los medios de transporte más utilizados son las combis o microbuses, los cuales en su mayoría, llegan a las colonias de la periferia urbana y se conectan con alguna terminal del metro o de autobuses. (Legorreta:1994).

En términos generales, los movimientos de población hacia la periferia metropolitana, han ocurrido a través de la ocupación ilegal de suelo periférico por parte de los sectores más pobres dentro la ZMCM, en sitios que carecen de servicios como agua, drenaje, energía eléctrica y transporte, y en donde llevan a cabo la autoproducción de su vivienda. Estos movimientos intraurbanos al interior del área, son el resultado tanto de la escasez de vivienda en el Distrito Federal, como de la disponibilidad de suelo periférico que, se tomó accesible, gracias a la ampliación de las vialidades y mejora de los sistemas de transporte urbano permitiendo la comunicación hacia los municipios metropolitanos. Lo anterior

---

<sup>7</sup>INEGI. Encuesta de origen y destino de los viajes de los residentes de la zona metropolitana de la ciudad de México, 1994.

<sup>8</sup>Ibid.

propició que, entre 1985-1990, cambiaran de residencia 510,050 habitantes del DF a los municipios conurbados. (Corona y Luque:1992:21).

De este modo, para 1990, la ZMCM se expande espacialmente quedando integrada por el Distrito Federal y 34 municipios del Estado de México (cuatro de ellos en transición metropolitana) y uno de Hidalgo (Negrete Salas:ib.).

La expansión del territorio sobre la periferia metropolitana, ha dado lugar al surgimiento de asentamientos ilegales, con población que habita en malas condiciones por los costos que representan el acceso al suelo, a la vivienda y a los servicios.

### **La segregación socioespacial.**

La configuración espacial de la ZMCM es segregada con una clara dispersión de la población hacia la periferia. El crecimiento urbano expansivo, la segregación de actividades económicas y de la misma población que se fue ubicando en diferentes áreas accesibles en términos de los distintos tipos de suelo destinados al uso habitacional, trajo consigo creación de grandes zonas diferenciadas al interior de la ciudad, mostrando una clara diferenciación de la población según sus niveles de ingreso. Así, mientras los sectores de menos recursos se orientaron hacia el norte y el oriente, los sectores medios y altos se localizaron en el poniente y sur de la ciudad. <sup>9</sup>.

La diferenciación socioespacial que caracteriza la estructura urbana de la ZMCM, está determinada por el carácter mercantil de las construcciones y las diferentes

---

<sup>9</sup>Dispersión que ocurre de dos maneras muy diferentes: la que se da en forma voluntaria entre los sectores de altos recursos económicos, que deciden habitar en zonas con terrenos de alto valor económico, bien equipados y con todos los servicios urbanos. La dispersión o segregación involuntaria ocurre entre las clases populares, que por diversos motivos (como cambios en el uso del suelo para fines más rentables), se trasladan a la periferia de la ciudad, ocupando terrenos de mala calidad (inundables y con altas pendientes), sin servicios y en zonas agrícolas o de reserva con el consiguiente deterioro del medio ambiente.

condiciones socioeconómicas de la población urbana.(Villavicencio y Durán, ib). Fenómeno que ha estado muy presente a lo largo del proceso de metropolización de la ZMCM y que siguiendo a Villavicencio y Durán en las últimas décadas se ha relacionado con la oferta insuficiente de suelo.

Así, en aquellos terrenos caros se desarrollaron fraccionamientos de tipo residencial medio y alto, mientras que los de menor valor (por lo general tierras ejidales) fueron ocupados por los sectores más pobres de la población.

De esta forma el poblamiento de la ZMCM ha tomado diferentes direcciones, pero tal y como lo mencionan la autoras, atiende a un patrón de segregación socioespacial con marcadas diferencias entre el oriente y el poniente en términos de calidad de vida. Diferencias que se han hecho más notorias gracias a la presencia de empresas inmobiliarias que han promovido desarrollos espectaculares en ciertas zonas de la ciudad (como el caso de Santa Fé, en el poniente de la ciudad). Frente a esta dinámica segregacionista, el Estado mexicano ha intervenido proporcionando a la zona oriente equipamiento y servicios urbanos especialmente transporte (metro), agua, luz y drenaje.

En resumen, podemos afirmar que la ciudad de México, durante este siglo, ha pasado por importantes procesos urbanos, sobretodo a partir de la década de los años cuarenta, época que fue concebida como una ciudad cuya actividad fundamental era la industria, función que ha ido perdiendo, sobretodo a partir de 1980.

A partir de este año ha ido en aumento la importancia de los servicios, de tal suerte que según el Censo de 1990, el 1.1% de los ocupados se dedica a actividades del sector primario; el 33% al secundario y el 65.5% está en el terciario (Camposortega:lb).

Junto a esta pérdida de la actividad industrial, la ciudad de México disminuye su importancia como sitio receptor de movimientos de población que emigra desde otras entidades (incluyendo el Estado de México).

A ambos procesos, cabe añadir la importante pérdida de vivienda que experimenta la ciudad capital, fundamentalmente en las zonas centrales, y que básicamente se encontraba habitada por sectores de población de bajos recursos económicos; circunstancia que propicia la disminución de su población residente y una terciarización de su economía por el cambio de uso del suelo de habitación a otros usos diferentes. Al respecto, Javier Delgado (1991) indica que, entre 1970 y 1987 se registró un incremento en el DF. de unas 7,400 hectáreas destinadas al comercio formal y casi tres mil que brindaban algún servicio público. Este aumento se concentró en un 27% en las cuatro delegaciones centrales, extendiéndose hacia Gustavo Madero con el 23%, y a Iztapalapa con el 11% del total. De esta forma apunta, la Ciudad Central perdió unas 4,800 hectáreas dedicadas a la habitación en el período considerado.

Sucede entonces que con la importante pérdida de vivienda que sufren sobretodo la Ciudad Central y el primer contorno, se propició la expansión urbana de la ciudad capital hacia los municipios periféricos; los cuales, paulatinamente se fueron poblando por sectores de población expulsados de las áreas centrales, favoreciendo su dispersión geográfica en zonas de crecimiento irregular que por lo general carecen de servicios urbanos.

De este modo, va tomando forma el proceso de expansión metropolitana que incluye también zonas de habitación destinadas a la población de medianos y elevados ingresos económicos en fraccionamientos regulares promovidos tanto por el Estado como por el mercado inmobiliario haciendo aún más evidente la diferenciación espacial que como se indicó es característica de la ZMCM.

Finalmente, debemos insistir en la necesidad de promover la integración espacial de los principales elementos de la estructura urbana: vivienda, transporte y servicios urbanos, a lo que cabe añadir el empleo; lo que permitirá reducir los largos y

costosos trayectos que, particularmente, tiene que realizar la población de menores recursos económicos. Situación que beneficiaría también a los sectores de mayores ingresos, entre otros, por problemas derivados de los congestionamientos viales.

Lo anterior, evidentemente, repercutirá en una disminución de tiempo, de dinero, contribuyendo a reducir los niveles de contaminación y el "stress" ciudadano que tantos problemas de salud está causando a la población.

## BIBLIOGRAFÍA.

Delgado, Javier (1988) "El patrón de ocupación territorial de la ciudad de México al año 2000", en: Terrazas, O. y Preciat, E. (comp.) *Estructura territorial de la ciudad de México*. México, D.F.: Plaza y Valdes.

————— (1990) "De los anillos a la segregación. La ciudad de México, 1950-1987", en: *Estudios demográficos y urbanos*, vol. 5, núm.2, mayo-agosto. México, D.F.

————— (1991) "Centro y periferia en la estructura socioespacial de la ciudad de México", en: Schteingart, Martha (coord.) *Espacio y vivienda en la ciudad de México*. México, D.F.: El Colegio de México.

—————(comp.) (1989). *Una década de planeación urbano-regional en México, 1978-1988*. México, D.F. Centro de Estudios Demográficos y de Desarrollo Urbano, El Colegio de México.

Luna Pichardo, M.Antonio y Gómez Olvera, Rolando (1992) "Límites al crecimiento de la zona metropolitana de la ciudad de México", en: Consejo Nacional de Población. *La zona metropolitana de la ciudad de México. Problemática actual y perspectivas demográficas urbanas*.

Benévolo, Leonardo (1979). *Diseño de la ciudad-5. El arte y la ciudad contemporánea*. México, D.F: Gustavo Gili.

Camposortega, Sergio (1992) "Evolución y tendencias demográficas de la zona metropolitana de la ciudad de México", en: Consejo Nacional de Población. *La zona metropolitana de la ciudad de México. Problemática actual y perspectivas demográficas urbanas*. México, D.F.

García Ramos, Domingo (1974). *Iniciación al urbanismo*. México, D.F: ENA-UNAM, 417p.

Garrocho, Carlos (1995). "El centro de la zona metropolitana de la ciudad de México: ¿auge o decadencia?", en: "Evolución de las zonas metropolitanas en México", en: Garrocho, Carlos y Sobrino Jaime (coord.). *Sistemas metropolitanos. Nuevos enfoques y prospectiva*. México, D.F.: Sedesol y El Colegio Mexiquense, A.C. 574p.

Garza, Gustavo (1986) "Ciudad de México: Dinámica industrial y perspectivas de descentralización después del terremoto", en: B.Torres (comp.) *Descentralización y democracia*. México, D.F., El Colegio de México.

Gilbert, A. y Ward, P. (1982). "Residential movement among the poor: the constraints on housing choice in Latin American cities". *Transactions of the Institute of British Geographers, New Series*, 7, pp.129-149.

Ledrut, Raymond (1974). *El espacio social de la ciudad*. Buenos Aires: Amorortu.

Legorreta, Jorge (1992) "El medio ambiente en los asentamientos ilegales y su impacto en la calidad de vida", en: Consejo Nacional de Población. *La zona metropolitana de la ciudad de México. Problemática actual y perspectivas demográficas urbanas*.

Legorreta, Jorge (1992) "El medio ambiente en los asentamientos ilegales y su impacto en la calidad de vida", en: Consejo Nacional de Población. *La zona metropolitana de la ciudad de México. Problemática actual y perspectivas demográficas urbanas*.

————— (1994). *Efectos ambientales de la expansión urbana de la ciudad de México*. México, D.F: Centro de Ecología y Desarrollo

Lezama, José Luis (1993). *Teoría social espacio y ciudad*. México, D.F Centro de Estudios Demográficos y de Desarrollo Urbano. El Colegio de México. 400p.

Maya, Esther (1989). *Sociología urbana para planificadores físicos*. México, D.F: Facultad de Arquitectura, UNAM.

Negrete Salas, Ma. Eugenia (1995) "Evolución de las zonas metropolitanas en México", en: Garrocho, Carlos y Sobrino Jaime (coord.) *Sistemas metropolitanos. Nuevos enfoques y prospectiva*. México, D.F.: Sedesol y El Colegio Mexiquense, A.C.

Villavicencio, y Durán (1993,) "La vivienda en la Zona Metropolitana de la Ciudad de México", en: *Dinámica urbana y procesos socio-políticos*. CENVI.



**FACULTAD DE INGENIERIA U.N.A.M.  
DIVISION DE EDUCACION CONTINUA**

**DIPLOMADO INTERNACIONAL DE TRANSPORTE**

**MODULO II: PLANIFICACION DEL TRANSPORTE URBANO**

**TEMA: INTRODUCCION A LA PLANIFICACION DEL TRANSPORTE  
Y REDES VIALES**

**PRESENTAN**

**ARQ. SONIA LIZT MENDOZA**

**ING. ROMAN VAZQUEZ BERBER**

**PRIMAVERA 1997**

**INTRODUCCION A LA**

**'PLANIFICACION DEL TRANSPORTE Y REDES  
VIALES'**

**PRESENTAN**

**ARQ. SONIA LIZT MENDOZA**

**ING. ROMAN VAZQUEZ BERBER**

**PRIMAVERA 1997**

# INDICE

## **I) ANTECEDENTES**

## **II) PROCESO PARA LA PLANIFICACION DEL TRANSPORTE Y VIALIDAD**

1. Organización
2. Metas y objetivos
3. Recopilación de datos
4. Análisis y calibración de modelos
5. Pronóstico de viajes futuros
6. Desarrollo de redes alternas de transportación futura
7. Evaluación y selección del mejor plan
8. Continuidad de la planificación.

## **III) MODELOS UTILIZADOS EN LA PLANIFICACION DEL TRANSPORTE Y VIALIDAD**

1. Uso de suelo
2. Generación de viajes
3. Distribución de viajes
4. Usos de los modos de transporte
5. Asignación del tránsito

## **IV) USO DE PROGRAMAS PARA COMPUTADORES EN EL PROCESO DE PLANEACION DEL TRANSPORTE Y VIALIDAD**

1. Primeras aplicaciones
2. Aplicaciones recientes
3. Problemas en la modelación

## **V) ALGUNAS REFLEXIONES FINALES**

# INTRODUCCION A LA PLANIFICACIÓN DEL TRANSPORTE Y REDES VIALES

## I) ANTECEDENTES

Desde la etapa de la planificación regional o urbana se plantean una serie de interrogantes a las cuales es necesario dar una respuesta.

Las etapas sucesivas para el planteamiento de las soluciones, la definición de prioridades, el establecimiento del tipo y categoría de las vías públicas, tipo de entronques e instalaciones complementarias definidas apropiadamente. De tal manera, que las etapas de prefactibilidad, anteproyecto y proyectos definitivos sigan un curso normal con un sustento planificador que permita a los especialistas cumplir sus tareas específicas en forma ordenada y con suficientes elementos para la toma de decisiones.

Dentro de la etapa de planificación del transporte y redes viales se plantean algunas interrogantes:

1. ¿Qué modos de transporte colectivo y qué distribución espacial son necesarios para satisfacer los requerimientos actuales y futuras en una ciudad o en una región?
2. ¿Cuántos kilómetros de nuevas calles, clasificados en colectores, vías principales, vías de acceso controlado parcial, autopistas, libramiento, son necesarios y donde deberán estar localizados?
3. ¿Cuántos carriles para el transporte colectivo y para el tránsito en general y qué tipo de intersecciones requiere cada nueva vía pública?
4. ¿En caso de justificarse las nuevas vías públicas en qué longitud, prioridad y factibilidad por etapas deberán proyectarse y construirse?

En los últimos 35 años han aparecido y evolucionado, en los países desarrollados, métodos y procedimientos, con un sustento conceptual, que auxiliados por modelos matemáticos, con una identificación de variables que aplicados a condiciones urbanas y regionales han permitido obtener elementos de juicio para dar una respuesta a esas y a otras interrogantes planteadas anteriormente.

Esta forma de plantear los problemas de transporte permite disponer de una gama de elementos de juicio poderosos para la toma ordenada y jerarquizada de las decisiones con apoyo en la planificación.

## **II) PROCESO PARA LA PLANEACIÓN DEL TRANSPORTE Y REDES VIALES**

### **1. Organización.**

La primer tarea del proceso para la planeación de sistemas de transportación requiere del establecimiento de un marco de referencia en base al cual puedan realizarse decisiones políticas generales, asegurar la participación de los ciudadanos y la reunión de un cuerpo técnico capaz de encargarse del estudio, análisis, desarrollo y ejecución del plan.

Una acción importante de la planeación de sistemas de transportación regional-urbana es el desarrollar y evaluar continuamente los planes de transportación.

La clara identificación de las metas y objetivos que deberán satisfacer los planes, se realiza mediante los esfuerzos conjuntos de comisiones consultivas de ciudadanos y con la asistencia de personal técnico.

### **2. Metas y Objetivos**

Con objeto de que el proceso de planeación de sistemas de transportación contribuya a tener éxito, se acostumbra determinar las metas y objetivos regionales que deben "maximizarse" para obtener el mejor plan. Por ejemplo, pueden señalarse que para que el plan de transportación pueda aplicarse deberá:

- a) Maximizar la movilidad de personas y bienes
- b) Mejorar el medio ambiente urbano

Los objetivos de la meta número 1), pueden incluir:

- a. Minimizar los tiempos de recorrido
- b. Minimizar los costos de recorrido
- c. Proporcionar una capacidad adecuada del sistema vial
- d. Proporcionar confiabilidad adecuada del sistema

Los objetivos de la meta número 2), pueden incluir:

- a. Proporcionar una distribución equitativa regional para empleo, salud, educación y compras.
- b. Fomentar una ordenación adecuada de usos de suelo vinculados a la infraestructura de transportación.
- c. Minimizar las afectaciones de la comunidad.

d. Minimizar la contaminación del aire y efectos del ruido.

Los objetivos antes mencionados deberán satisfacerse de manera que puedan expresarse correctamente en términos cuantitativos. Los objetivos que contienen este atributo pueden ser denominados objetivos operacionales. Examinándolos detenidamente, se encuentra que son adecuados para propósitos de evaluación del plan

### **3. Recopilación de Datos.**

La naturaleza del proceso de planeación requiere de la recopilación de datos para cumplir sus objetivos.

El propósito de la recopilación de datos es el de proporcionar los elementos necesarios para lograr un entendimiento básico de las características de viaje de la región. Además el tipo de datos recopilados deben basarse en los requerimientos que establecen las metas y objetivos descritos anteriormente.

Los inventarios requeridos para análisis son:

- a. Factores económicos que afectan el desarrollo
- b. Población.
- c. Uso de suelo.
- d. Instalaciones de transportación.
- e. Patrones de viaje.
- f. Terminales y transbordos.
- g. Factores para el control del tránsito.
- h. Reglamentos de zonificación, de zonas especiales, de construcción, etc.
- i. Recursos financieros.
- j. Factores sociales y valores de la comunidad.

El alcance de los inventarios que se obtienen para un área, depende principalmente de las metas y objetivos del estudio. Así es importante que éstos sean identificados claramente, antes de que se proceda a obtenerlos.

El proceso de planificación de sistemas de transportación requiere una gran cantidad de datos. Así, es en extremos provechoso, el estar en contacto con el grupo local que realiza estudios de transportación.

La siguiente lista de información constituye una muestra que puede resultar de utilidad.

#### **A.- Red vial**

- a) Aforo de volúmenes
- b) Anchura de calles
- c) Tiempos de recorrido

#### **B. Usos de Suelo**

- a) Localización y tamaño de los principales generadores de tránsito
- b) Planos indicadores de sitios de empleo, negocios, áreas combinadas de recreo, etc.

#### **C. Socioeconómicos**

- a) Propietarios de automóviles por zonas.
- b) Ingreso por familia, por zonas de tránsito
- c) Población económicamente activa.
- d) tamaño de la familia

#### **D. Características de recorrido**

- a) Número y tipo de viajes en el origen o el destino, en una área.
- b) Factor de la hora de máxima demanda, por tipo de ruta y área
- c) Repartición direccional de viajes, por tipo de ruta y área
- d) Tránsito comercial, por tipos de ruta y área.

### **4. Análisis y Calibración de Modelos.**

Los inventarios constituyen la base a partir de la cual el proceso de planeación puede tomar forma. En la fase de análisis y de calibración, los datos obtenidos para los inventarios son analizados y se desarrollan técnicas de pronóstico (calibración de modelos) para estimar la demanda futura de viajes.

Las tareas que se incluyen usualmente en esta fase son:

- a. Técnicas para estimar la población y actividades económicas
- b. Técnicas para el pronóstico de usos de suelo
- c. Generación de viajes
- d. Distribución de viajes
- e. Proceso del uso de los modos de transporte
- f. Asignación de tránsito.

### **5. Pronóstico de viajes futuros.**

El pronóstico de viajes se realiza utilizando los modelos debidamente calibrados para los escenarios futuros que se hayan contemplado.

## **6. Desarrollo de Redes Alternas de Transportación Futura.**

Se desarrollan y prueban diferentes redes alternas de transportación futura. El propósito de desarrollar varias configuraciones de redes de transportación es el de: (a) proporcionar los esquemas que pueden ser utilizados por los viajes futuros y b) disponer de un rango de redes viales que puedan evaluarse y ser probadas.

## **7. Evaluación y Selección del mejor Plan.**

Cada alternativa de red vial o modo de transporte se sujeta a un proceso de prueba para calificar su bondad de ajuste con las metas y objetivos adoptados. De la comparación de los diversos planes alternativos se deberá obtener el plan óptimo.

## **8. Continuidad de la Planificación.**

La planeación del transporte es un proceso dinámico y permanente. Esto implica que ningún plan futuro realizado en el presente será completamente válido. Por lo tanto, constituye un requisito importante percibir constantemente lo que sucede en el ámbito urbano y regional. Esto comprende tener al día los archivos de datos, con el objeto de detectar cambios significativos entre las condiciones pronosticadas y las condiciones observadas; siempre que se identifiquen desviaciones significativas se deberán hacer los ajustes al plan adoptado para reflejar las modificaciones observadas y reevaluar de acuerdo a las metas asignadas y en su caso, realizar posibles cambios en las metas y en los objetivos iniciales.

Un sólido y sano proceso de planeación de transportación debe ser continuo, de amplia cooperación de las partes involucradas e integral.

Para poder dar continuidad en la planeación del transporte deberán crearse organismos dentro de los gobiernos federales, estatales y municipales que garanticen una labor permanente con programas bien definidos y con un amplio apoyo a la consultoría privada y con un decidido respaldo a las instituciones de educación superior.

### **III) MODELOS UTILIZADOS EN LA PLANIFICACIÓN DEL TRANSPORTE**

Los modelos utilizados en la planificación del transporte son procedimientos que simulan relaciones entre parámetros socioeconómicos de uso de suelo, del sistema vial y del transporte colectivo e individual.

La mayoría de las técnicas existentes para el pronóstico de uso de suelo son procedimientos basados en la experiencia y el conocimientos previo. Los modelos se desarrollan y verifican aplicando datos y parámetros para reproducir los patrones de viaje actuales. Los resultados de la asignación a la red vial son comparados con los aforos actuales para juzgar la validez de los modelos calibrados. En casos especiales el tratamiento individual, de ciertos generadores de viajes importantes, puede requerirse donde el modelo desarrollado generalmente produce valores diferentes o alejados de la realidad.

Si se considera que las relaciones básicas continuarán siendo válidas durante un periodo razonable, el planificador puede usar los modelos para probar alternativas de uso de suelo futuro y sistemas de transportación. El proceso de modelación puede ser descrito brevemente como sigue:

"¿Cuál es la magnitud de las actividades?"

**Población y Estudios Económicos.-** Contestan

**Uso de Suelo.-** Responde "¿Dónde estarán localizadas las diferentes actividades en el región analizada?"

**Generación de Viajes.-** "Contesta". ¿Cuántos viajes se originarán y terminarán en las diferentes zonas de actividades?"

**Distribución de Viajes.-** Responde. ¿Cuántos viajes serán realizados entre las zonas de actividades diferentes?"

**Uso de los Modos de Transporte.-** Contesta "¿Porque modo de transporte individual o colectivo se realizarán los viajes?"

**Asignación de Tránsito.-** Responde. ¿Que rutas serán utilizadas, por los modos de transporte, debido a los viajes entre las diferentes zonas?"

**Análisis de Sistemas.-** Inquieta "¿Cuál es el mejor sistema de transportación y la coordinación más adecuada?"

## 1. Uso de Suelo.

Se denomina uso de suelo a la función que presta éste en virtud de las actividades humanas que tienen lugar en él. De acuerdo con el uso del suelo, las regiones urbanas se pueden dividir a grandes rasgos en secciones comerciales, industriales, residenciales y públicas.

Además de estos cuatro tipos fundamentales de usos de suelo en ciudades, puede haber muchos más según las clasificaciones que se quiera hacer de las actividades humanas de acuerdo con su influencia sobre el tránsito. Cabe también distinguir la intensidad del uso de suelo, que se evalúa por la mayor o menor concentración de las actividades humanas, lo que también afecta la circulación de los vehículos.

La distribución final de los pronósticos económicos de población en áreas pequeñas localizadas dentro de una región, es parte del pronóstico del uso de suelo. Los viajes dependen ampliamente del arreglo espacial, intensidad y carácter del uso de suelo. Esta fase se ha convertido en una componente extremadamente importante en el proceso de planificación del transporte. Hasta fechas muy recientes se ha dedicado, en varios países, bastante atención a esta fase por parte de los planificadores del uso de suelo y de sistemas de transportación.

El desarrollo de modelos de uso del suelo adecuados está todavía en una etapa de evolución. Esto se debe principalmente al desconocimiento de la complejidad de los factores que influyen en las decisiones de ubicación de los habitantes, industria y otras actividades económicas.

De los métodos de pronóstico de uso de suelo actualmente aplicados, el modelo de uso residencial es uno de los más desarrollados.

Han sido elaborados numerosos modelos para el pronóstico de uso de suelo. Algunos de ellos son:

**Análisis de Tendencias o Criterios.-** Este involucra una extrapoblación de datos por visualización simple.

**Método del Gradiente - Saturación.-** Este método fue usado en el Estudio de Transportación para el Área de Chicago (Chicago Area Transportation Study) y consiste en una comparación simple y un enfoque intuitivo.

El área es dividida en zonas de anillos concéntrico. Se contemplan aspectos reglamentarios e históricos y se desarrollan curvas para estimar estos patrones. A continuación se elaboran criterios intuitivos acerca de la naturaleza del desarrollo adicional y se extrapola el uso de suelo futuro sobre la base de patrones históricos.

**Modelo de Accesibilidad.**- A diferencia de los métodos antes mencionados, el modelo de accesibilidad describe, en una forma matemática, algunos de los factores que influyen en el desarrollo del uso de suelo. El modelo general es:

$$G_i = G_t \frac{A_i^a V_i}{\sum_{i=1}^n A_i^a V_i}$$

Donde:

$G_i$  = El pronóstico de crecimiento para la zona i

$G_t$  = Crecimiento regional total =  $\sum G_i$

$A_i$  = Índice de accesibilidad para la zona i

$V_i$  = Terreno vacante disponible para residencias en la zona i

$a$  = Constante determinada empíricamente

El índice de accesibilidad ( $A_i$ ) tiene la forma general:

$$A_i = \sum_{j=1}^n E_j F_{ij}$$

Donde:

$E_j$  = Una medida de la actividad en la zona j (por ejemplo la totalidad de empleos)

$F_{ij}$  = Factor de separación de viaje entre las zonas i y j

El factor de separación puede definirse como:

$$F_{ij} = \frac{1}{t_{ij}^b}$$

Donde:

$t_{ij}$  = Tiempo de viaje de la zona  $i$  a la zona  $j$   
 $b$  = Constante determinada empíricamente

**Modelo de Oportunidad Intermedio.**- Se basa en la hipótesis de que la probabilidad de una oportunidad de residir sea elegida para desarrollarse como una función decreciente monótona del número de oportunidades intermedias entre un punto en el centro de la ciudad y una zona donde un recién llegado podría encontrar un lugar en el cual construir. Este modelo es similar en concepto a su homónimo usado en la distribución de viajes.

La expresión matemática del modelo es:

$$A_j = A(e^{-\lambda\theta} - e^{-\lambda(\theta+\theta_j)})$$

Donde:

$A_j$  = número de viviendas que estarán localizadas en la zona  $j$   
 $A$  = número total de viviendas ubicadas en la región.  
 $l$  = Probabilidad de que una vivienda estará localizada con una oportunidad dada.  
 $q$  = El número de sitios posibles para construir una vivienda, ordenados en forma creciente, pero excluyendo a la zona  $j$   
 $q_j$  = El número de sitios posibles para construir en la zona  $j$

Esta fórmula produce resultados que son consistentes con el objeto de reducir la fricción de viaje, lo cual se comprueba por el hecho, de que la probabilidad de seleccionar un lugar por unidad de suelo disponible es más alta cerca de la zona desde la cual tiene lugar la selección.

**Técnicas de Regresión Lineal Múltiple.-** La idea es obtener una ecuación de la forma.

$$= a_0 + a_1x_1 + a_2x_2 + \dots + a_nx_n$$

Donde:

Y = Una medida del cambio en el número de viviendas que ocurrirá en un intervalo especificado de pronóstico, iniciando desde la fecha del último dato disponible.

$x_1, x_2, \dots, x_n$  = Variables independientes

$a_0, a_1, a_2, a_n$  = Coeficientes de regresión

Las variables independientes pueden ser:

- a) Suelo baldío
- b) Valor del suelo
- c) Accesibilidad a los empleos
- d) Índice de zonificación residencial (Un número el cual igual a 1.0 si todo el suelo pertenece a una zonificación residencial y es igual a 0.0 si el suelo no es una zona residencial)

e) Medidas de:

- Tamaño de la zona
- Población de la zona
- Cantidad de suelo dedicado a usos varios
- Empleos de la zona

A diferencia de los otros modelos, la técnica de regresión permite la inclusión de otras variables importantes que deban tomarse en consideración.

## 2. Generación de Viajes.

En los estudios de transportación se ha encontrado que del 80 al 90 por ciento de la totalidad de los viajes realizados por los habitantes de una área urbana, se originan o terminan en el hogar. Por tanto el uso residencial de suelo es un generador de viajes muy importante. Por esta razón y también debido a que presenta patrones predecibles,

muchas de las investigaciones sobre generación de viajes han sido enfocadas sobre uso de suelo residencial. La generación de usos de suelo no residencial usualmente se estima midiendo simplemente tasas de viajes por unidad de actividad durante el año de estudio y modificada intuitivamente para reflejar las condiciones de cambio que podrán prevalecer durante el periodo de pronóstico.

Resumiendo:

- a) Los pronósticos económicos y de población describen el crecimiento regional en el área de estudio.
- b) Los pronósticos de uso del suelo describen en que parte de la región se localiza el crecimiento.
- c) La generación de viajes describe cuantos viajes serán generados por las actividades antes mencionadas.

De observaciones empíricas, se ha encontrado que los viajes de las personas (excluyendo los viajes a pie) se incrementan proporcionalmente a sus ingresos y al grado de motorización y varía con la ubicación de su residencia. Existen otras variables que pueden influir en las características de viaje de las personas tales como: distribución de edades en la población, porcentaje de trabajadores manuales, grado de urbanización, calidad del servicio de transportación proporcionado, tipo de vivienda, ocupación de los residentes, etc.

**a) Modelo de regresión múltiple.-** Un método típico usado en la estimación de viajes obtenido de una vivienda típica en una área residencial es:

$$Y = a_0 + b_1x_1 + b_2x_2 + b_3x_3 + b_4x_4$$

Donde:

- Y = Viajes por vivienda  
x<sub>1</sub> = Propietarios de automóviles  
x<sub>2</sub> = Ingreso familiar  
x<sub>3</sub> = Logaritmo de la densidad neta residencial  
x<sub>4</sub> = Tamaño de la familia

El modelo anterior es una ecuación de regresión múltiple y los parámetros a<sub>0</sub> y b<sub>i</sub> deberán determinarse a través de procesos de calibración lo que involucra un ajuste del modelo con los datos de viaje observados y obtenidos en la etapa de recopilación de datos. Los parámetros del modelo no son idóneos; sin embargo, son similares de zona a zona. Esto podría ser atribuido no solo a las diferencias básicas en el estilo de

vida de zona a zona, sino también y en cierto grado, a la falta de una teoría unificada de viajes la cual ha sido eludida hasta ahora por los planificadores de sistemas de transportación.

Una vez que la estructura del modelo de generación de viajes ha sido establecida es practica común, usarlo para obtener viajes futuros estimados para algún periodo fijado. Para este propósito se requiere disponer de valores futuros para cada una de las variables independientes. Sin embargo, aun cuando puede ser impresionante construir un modelo de variables múltiples, durante la fase de calibración el incremento hacia la exactitud por la adición de "n" variables independientes podría desaparecer una vez que hayan sido considerados los errores introducidos durante el proceso de proyección de estas mismas variables en el año futuro.

Por consecuencia, debido a la complejidad de los modelos para la planeación de un sistema de transportación, deberán incluir un mínimo de variables independientes, las que estarán sujetas a error cuando sean proyectadas para condiciones futuras.

**b) Modelo para análisis de categorías.-** Las dificultades que se presentan al usar las ecuaciones de regresión durante la fase de generación de viajes han dado lugar a un apoyo considerable al uso de modelos desagregados, esto es, modelos con base en la vivienda o las personas. Utilizan una muestra y el modelo no se refiere a una delimitación zonal, permitiendo una flexibilidad considerable en la selección de sistemas zonales alternativos cuando están siendo pronosticados los viajes futuros.

Este enfoque se conoce como análisis de categorías y fué elaborado ampliamente por Wootton Pick y Gill y ha sido aplicado a un número considerable de estudios de transportación. Los análisis de categorías utilizan la vivienda como la unidad fundamental para la fase de generación y considera que los viajes producidos de las características de la familia y de la ubicación relativa del lugar de trabajo y de la ubicación de los comercios y de otras instalaciones. La generación de viajes se mide como el número promedio de viajes en un sentido producidos por una familia durante un día promedio entre semana.

Las características de la familia que se miden en la realidad y parecen tener influencia en la variación de la generación tanto para condiciones actuales como en el futuro son el ingreso disponible, la posesión de automóvil, así como la estructura y el tamaño de la familia. Las características de ubicación han demostrado tener una mayor dificultad y la característica que se le ha encontrado una mayor aplicación es la accesibilidad al transporte público..

Wootton y Pick clasificaron a las familias de acuerdo con:

- ▣ **Poseción de vehículos:** (1) ninguno.  
(2) un vehículo.  
(3) Mas de un vehículo.
  
- ▣ **Ingreso** Originalmente fueron propuestas seis clases variando de menos de £500 a £2500 o más. Estas clases fueron modificadas en el West Midland Study para obtener una clase hasta de £10 000. Usualmente existen dificultades para obtener observaciones suficientes en el grupo de altos ingresos para condiciones actuales y futuras.

▣ **Estructura de la familia.**

	Adultos empleados	Adultos no empleados
(1)	Ninguno	1
(2)	Ninguno	Más de uno
(3)	1	0, 1
(4)	1	Más de uno
(5)	Más de uno	0, 1
(6)	Más de uno	Menos de uno

Estas categorías producen 108 clases de familias y asociada con cada clase existe una tasa de viaje. Se propuso que cada viaje estuviera clasificado por modo y por propósito. Esto es:

- |           |   |
|-----------|---|
| Modos     | 1. Conductores de automóviles con motor de ciclo.   |
|           | 2. Pasajeros del transporte público.  |
|           | 3. Otro tipo de pasajeros (la mayoría pasajeros en automóvil).                                    |
| Propósito | 1. Trabajo                      2. Negocios                      3. Educación.                    |
|           | 4. Compras                      5. Sociales.                      6. Viajes sin base en el hogar. |

La consideración básica es de que los índices de viaje serán estables en el tiempo y de que el comportamiento futuro de una familia puede ser definida por la categoría en la cual se ubica. El número de familias en cada categoría puede se estimada por medio de una distribución matemática para los valores observados de ingreso, posesión de automóvil y estructura de la familia.

### Distribución del Ingreso.

Pick y Gill han demostrado que la distribución del ingreso puede ser representada por una función de densidad de probabilidad  $Q(x)$  de tal modo que el número de familias que tengan ingresos  $x$ ,  $a < x < b$ , esté dado por:

$$N \int_a^b Q(x) dx$$

Donde  $n$  es el número de familias en la zona.

La siguiente distribución ha sido utilizada para  $Q(x)$ :

$$Q(x) = \frac{\alpha^{n+1}}{n!} x^n e^{-\alpha x}$$

En donde:

$$\alpha = \bar{x} /$$

$$\bar{x} /$$

$\bar{x}$  es el ingreso medio

es la desviación estándar del ingreso.

Los ingresos futuros fueron proyectados con base en:

$$x = x(1 + g)^t$$

Donde  $g$  es la tasa de crecimiento anual del ingreso con relación al costo de la vida.

$t$  es el número de años de proyecto.

$x$  es el ingreso medio.

$x$  es el ingreso presente

### Distribución de los que poseen automóvil.

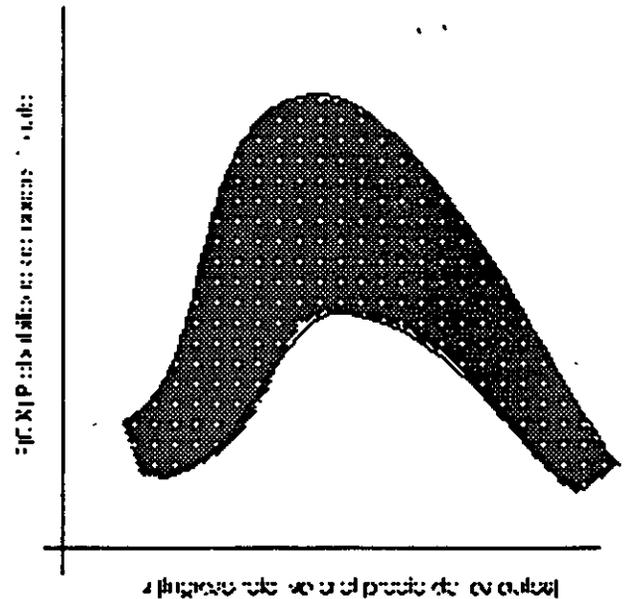
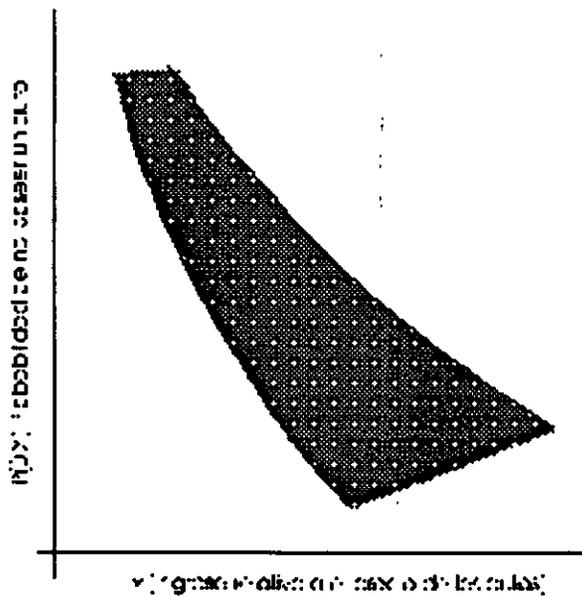
Una función de probabilidad condicional  $P(n/x)$  fue obtenida durante el West Midlands Transportation Study para obtener la probabilidad de que una familia propietaria de  $n$  automóviles, si el ingreso relativo al precio del automóvil es  $x$ . Entonces:

$$P(0/x) = K e^{-\beta x}$$

$$P(1/x) = C e^{-\beta x} x (\beta x)^n$$

Donde  $K$  y  $C$  son constantes y  $\beta$  varía con la accesibilidad al autobús.

La variación de  $P(0/x)$  y  $P(1/x)$  dentro de un área de estudio fue obtenida por Pick y Gill como se muestra en las siguientes figuras a continuación:



Estas variaciones han sido explicadas por medio de los siguientes conceptos:

- Un incremento en la densidad residencial produce una curva  $P(0/x)$  más alta y una curva  $P(1/x)$  más baja. Se ha encontrado que los efectos de una densidad alta y baja están bien definidos pero existe alguna variación en los rangos de densidades medias.

b. Un incremento del índice de accesibilidad al transporte público en un distrito causa un incremento en el valor de  $P(0 / x)$ . Y se define por medio de la expresión:

$$\sum_j \left( \frac{\sqrt{b_j}}{\sqrt{a_i}} \right)$$

Donde:  $a_i$  = área del distrito i (en kilómetros cuadrados).

$b_j$  = Número de autobuses en la ruta j que cruzan el distrito en la unidad de tiempo.

este índice tiene un valor de 0 en un área rural sin servicio de autobuses y un valor de 60 aproximadamente en el centro de Londres.

c. El costo de la vivienda se ha encontrado que tiene influencia en la posesión de automóviles: a mayor costo de la vivienda la curva  $P(0 / x)$  se eleva.

d. La carencia de espacio para estacionar en la vivienda inhibe la posesión de tener varios automóviles e influye en las curvas  $P(0 / x)$  y  $P(1 / x)$ .

e. Debido a que los miembros de mayor edad en la familia son los que disponen generalmente de mayores recursos económicos para comprar un automóvil y los miembros de familias más jóvenes tienen mayores restricciones para ser propietarios de un automóvil, la estructura de edades influye en las curvas de posesión de automóviles.

f. La relación espacial afecta la tenencia de automóviles y cuando la actividades están próximas a las viviendas entonces hay una necesidad menor de comprar automóviles.

#### **Distribución de la estructura familiar.**

Se ha establecido anteriormente que las familias se dividieron en 6 categorías y el número de familias en cada categoría puede ser estimada utilizando el siguiente argumento: considere la probabilidad de que una familia que tiene n miembros sea  $Q(n)$ .

Considere que  $p(n)$  de que un miembro de una familia que consta de  $n$  miembros está empleado. La probabilidad de que  $r$  miembros de una familia de  $n$  miembros esté empleado es:

$$\frac{n!}{r!(n-r)!} p(n)^r (1-p(n))^{n-r}$$

Considerando una distribución binomial. La probabilidad de que una familia tenga  $n$  miembros, de los cuales  $r$  están empleados, será:

$$P(n, r) = \frac{n! Q(n)}{r!(n-r)!} p(n)^r (1-p(n))^{n-r}$$

$$Q(n) = \frac{e^{-x} x^{n-1}}{(n-1)!} \quad n = 1, 2, \dots$$

$x$  = Tamaño promedio de la familia- 1

$$p(n) = \frac{\text{residentes empleados}}{\text{total de familias}}$$

*enta as des enta as de las t ni as para an lisis de ate or as*

Una gran ventaja de las técnicas de análisis de categorías es que hacen posible estimar las categorías de las familias de los Datos de los Censos Generales, utilizando las relaciones obtenidas en los mismos. Las tasas de generación de viajes se obtienen de otras encuestas que son obtenidas de pequeñas muestras para verificar la precisión de las tasas. Cuando se considera el costo que implica de encuestas de gran escala como son las encuestas a base de entrevistas domiciliarias, la ventaja de ésta técnica puede ser apreciada..

Las técnicas de cálculo son muy simples comparadas con aquellas que se requieren para un análisis de regresión de mínimos cuadrados.. El uso de datos desagregados también puede ser utilizado para simular el comportamiento humano en forma más realista para valore zonales.

Sin embargo, una desventaja de las técnicas para análisis de categorías es el de considerar el ingreso y la posesión de vehículos se incrementará en el futuro.. Las categorías con altos ingresos y número de automóviles son quizás. las únicas que representan un mínimo en el año base. demás, ellas son las categorías que

posiblemente sean las que más se utilicen para las estimaciones futuras de la generación de viajes.

### 3. Modelos de Distribución de Viajes.

De igual manera que es necesario determinar cuantos viajes serán generados en cada zona de una región, es igualmente importante obtener valores del sentido del viaje y la longitud del mismo originando en una zona. Esta información se obtiene a través del análisis de datos recopilados en los estudios de origen y destino. Para propósitos de planeación es necesario reproducir estos patrones de viaje observados por medio de un modelo matemático, de tal modo, que el mismo modelo pueda usarse para obtener estimaciones de distribución de viajes para un año de pronóstico seleccionado.

Dos clases de modelos pueden ser usados actualmente. Una clase contiene a los modelos de factores de crecimiento y la otra contiene a los modelos de simulación (También denominados "sintéticos"). De los modelos de factores de crecimiento, el modelo de Fratar es uno de los más atractivos debido a su análisis consistente. Adopta la forma:

#### MODELO DE FRATAR

$$T_{ij}(k+1) = (T_{ijk} F_{jk}) F_{ik} \quad (1)$$

Donde:

$$F_{jk} = \frac{T_j}{\sum_{j=1}^n T_{jk}} \quad (2)$$

$$F_{ik} = \frac{T_i}{\sum_{j=1}^n (T_{jk} F_{jk})} \quad (3)$$

Y donde:

$T_{ijk}$  = Viajes entre  $i$  y  $j$  para la iteración  $k$  (representa los viajes dados cuando  $k = 1$ ).

- $F_{jk}$  = Factor de crecimiento en el destino  $j$  (columna)
- $F_{ik}$  = Factor de crecimiento en el origen  $i$  (fila).
- $T_j$  = Total de viajes deseados para el destino  $j$ .
- $T_i$  = Total de viajes deseados para el origen  $i$ .
- $i$  = Número de la zona de origen,  $i = 1, 2, \dots, n$ .
- $j$  = Número de la zona de destino,  $j = 1, 2, \dots, n$ .
- $n$  = Número de zonas.
- $k$  = Número de interacción,  $k = 1, 2, \dots, m$
- $m$  = Número de interacciones.

Es evidente que el cálculo de:

$$T_{ijk} F_{jk}, \text{ Para } j = 1, 2, \dots, n$$

deberá ocurrir antes de que  $F_{ik}$  pueda ser obtenido. La fórmula (1) representa un proceso programado en dos pasos. La aplicación de este proceso a todas las zonas de origen representa una iteración.

Este método expande los patrones de viaje observados registrados en un estudio de Origen-Destino en un año determinando, en relación al crecimiento de cada porción del área urbana considerada. El método fue desarrollado en 1954, en conexión con el estudio de la ciudad de Cleveland.

El proceso es repetitivo hasta que los viajes generados en cualquier zona igualen a los viajes distribuidos desde una zona hasta todas las demás zonas. Usualmente se requieren tres o cuatro iteraciones.

Aún cuando es atractivo para la persona que lo utiliza debido a su simplicidad, este modelo tiene serias inconsistencias, que lo inhabilitan para el pronóstico de viajes de aquellas áreas de una región sin un desarrollo predominante durante el año de estudio y no permite diferenciar el efecto de los cambios en accesibilidad para varias porciones del área.

Debido a éstas serias limitaciones, este modelo está restringido al pronóstico de viajes que pasan a través del área en estudio sin que se detengan en ella.

**Modelo gravitacional.**- Un enfoque más analítico para estimar la distribución de viajes es el denominado Modelo gravitacional. La representación general de este modelo es:

$$T_{ij} = P_i \frac{A_j / (D_{ij})^x}{\frac{A_1}{(D_{i1})^x} + \frac{A_2}{(D_{i2})^x} + \dots + \frac{A_n}{(D_{in})^x}}$$

Donde:

$T_{ij}$  = Viajes de la zona  $i$  a la zona  $j$ .

$P_i$  = Viajes totales producidos en la zona  $i$ .

$A_j$  = Viajes totales atraídos por la zona  $j$  ( por ejemplo si  $t_{ij}$  son los viajes al trabajo,  $A_j$  podría ser representado por el número de empleos localizados en la zona  $j$ ).

$D_{ij}$  = Impedancia de viaje entre la zona  $i$  y al zona  $j$  ( esto podría ser el tiempo de viaje o el costo de viaje).

$x$  = El exponente de la impedancia de viaje.

Este modelo, relacionado con la ley gravitacional de Newton, considera que los viajes producidos en una zona  $i$ , son atraídos por otra zona  $j$ , proporcionalmente al tamaño de los grupos de poblaciones e inversamente proporcional a alguna potencia de la impedancia de viaje entre las zonas. La superioridad analítica de este modelo sobre el modelo de Fratar se basa en el hecho de que es capaz de pronosticar los viajes para áreas donde la población esta diseminada en el año de la encuesta y toma en cuenta los cambios de accesibilidad entre pares de zonas.

**Modelo gravitacional de Voorhes.**- Investigaciones adicionales de Voorhees mostraron que aun cuando el principio de la ley de gravitación podría ser usado con ventaja en la distribución de viajes, la medida de la atractividad de una zona de atracción y el exponente del factor de distancia ( $D_i-a$ ), variaba con el pronóstico del viaje considerado. De este modo, la fórmula básica obtenida por Casey, fue arreglada para distribuir los viajes al trabajo, tal como se indica a continuación:

### MODELO GRAVITACIONAL DE VOORHEES

$$W_{i-a} = \left[ \frac{\frac{E_a}{\sqrt{D_{i-a}}}}{\frac{E_a}{\sqrt{D_{i-a}}} + \frac{E_b}{\sqrt{D_{i-b}}} + \dots + \frac{E_n}{\sqrt{D_{i-n}}}} \right] \times W_i$$

Donde:

$W_{i-a}$  = Número de viajes de trabajo de la zona residencial  $i$  a la zona de trabajo  $a$ .

$w_i$  = Total del número de trabajadores que habitan la zona residencial  $i$ .

$E_a, E_b, \dots, E_n$  = Total del número de empleos en las zonas  $a, b, \dots, n$ .

$D_{i-a}, \dots, D_{i-n}$  = Tiempo de manejo entre la zona residencial  $i$  y las zonas de empleo  $a, b, \dots, n$ .

Exponente:

$b = 1/2$  para propósito de trabajo.

$b = 3$  para propósito de sociales.

$b = 2$  para propósito de compras.

Voorhees encontró que la medida más satisfactoria de la atracción de las zonas de trabajo fué el número total de personas empleadas; y que el exponente mas apropiado del factor de distancia fue  $1/2$ . De igual manera Voorhees determinó que cuando se distribuyen viajes para actividades sociales, el exponente del factor de distancia fue  $3$ , ( $D^3$ ) y cuando se distribuyen viajes para actividades de compra el exponente fue igual a  $2$ , ( $D^2$ ).

Este modelo gravitacional, relativamente simple, fue una apertura importante en el campo de la distribución de viajes. Lo subraya la importancia de los valores específicos de atracción y resistencia y reconoce la influencia del propósito del viaje sobre los patrones de viaje. Podría ser usado con ventaja sobre los métodos de factores de crecimiento y en el que pueden ser tomados en cuenta los cambios en los patrones de uso de suelo y aquellas mejoras que existan en un sistema de transportación involucrados en el factor de resistencia de viaje.

No obstante estas ventajas, los dos principales defectos asociados con este modelo gravitacional simple fueron:

1. La potencia inversa de la distancia fue una función de resistencia insatisfactoria debido a que no podría cubrir la totalidad de los viajes posibles y fallaría al querer dar valores cuando el factor de distancia sea muy pequeño o muy grande.
2. El proceso de iteración amplio, requerido para calibrar el modelo, unido al número de propósitos de viaje usados como entrada y las variaciones de los viajes con la ubicación zonal que tiene que tomarse en cuenta, complican los problemas de cálculo seriamente.

Consecuentemente, una forma más eficiente de función de resistencia, conocidas como factores de tiempo-viaje ( $F_{ij}$ ) fueron desarrollados para expresar el efecto de la separación sobre los intercambios de viajes zonales. El uso de estos factores simplifica grandemente el proceso de cálculo involucrado al aplicar el modelo y también toma en cuenta el hecho de que el efecto de la separación espacial sobre la realización de los viajes se incrementa en una forma mucho más compleja de lo que puede ser representado por un simple exponente.

**El modelo gravitacional actual.**- Tomando en cuenta a los factores de tiempo-viaje, la fórmula del modelo gravitacional se modifica Por lo tanto:

### EL MODELO GRAVITACIONAL ACTUAL

$$T_{ij} = \frac{P_i A_j F_{ij} K_{ij}}{\sum_{j=1}^n A_j F_{ij} K_{ij}}$$

Donde:

$T_{ij}$  = Número de viajes de la zona i a la zona j.

- $P_i$  = Total del número de viajes producidos en la zona  $i$ .  
 $A_j$  = Total del número de viajes atraídos por la zona  $j$ .  
 $F_{ij}$  = Factor empírico obtenido a partir del tiempo de recorrido y expresa el efecto de la separación espacial en la totalidad del área.  
 $K_{ij}$  = Factor de ajuste específico de zona a zona que toma en cuenta otros factores sociales y económicos que influyen en los patrones de viaje pero que no han sido considerados en el modelo.

En efecto los factores de tiempo de viaje son una medida de la probabilidad de realizar un viaje en cada incremento de tiempo de viaje elegido. Son determinados a través de un proceso de tanteos y el procedimiento usual es iniciar con la adopción de un grupo de factores de tiempo de viaje calculados para una ciudad similar (Una alternativa es considerar que los tiempos de viaje no tienen efecto sobre la distribución de viajes y se adopta el valor de uno como el primer factor de tiempo-viaje). El siguiente paso involucra el cálculo de los intercambios zonales usando el modelo gravitacional, obteniéndose valores que son comparados con los intercambios zonales actuales obtenidos de un estudio de Origen y Destino.

Se continúa el proceso iterativo hasta que hay un acuerdo satisfactorio entre los dos grupos de intercambios zonales. Generalmente se acepta que existe un acuerdo satisfactorio cuando la diferencia entre las longitudes promedio de viaje es de  $\pm 3\%$ , y la curva de frecuencia de longitudes de viaje están "cercanas" cuando se comparan visualmente.

En adición a los factores de tiempo-viaje incorporados en el modelo gravitacional usado actualmente, se prevé también la inclusión de factores de ajuste socioeconómicos de zona a zona ( $K_{ij}$ ), debiendo demostrar que son necesarios para la calibración del modelo.

La experiencia ha demostrado que estos factores no son usualmente necesarios en ciudades pequeñas menores a 100 000 habitantes. Sin embargo, hay ocasiones en que tienen que ser usados en áreas urbanas grandes para producir resultados satisfactorios de distribución de viaje y eliminar cualquier error sistemático que podría ocurrir.

El procedimiento adoptado para calcular los factores de ajuste socioeconómicos consiste en comparar los intercambios de viajes calculados entre grandes generadores de movimiento, usando el modelo gravitacional ( $T_{ij}$ ) con los intercambios observados actualmente ( $t_{ij}$ ). Ambos grupos de movimientos son asignados manualmente a las redes de transporte, para descubrir cualquier discrepancia.

## FACTOR DE TIEMPO DE VIAJE

Matemáticamente, la iteración es obtenida por:

$$F_{ij}^1 = F_{ij} \frac{t_{ij}}{T_{ij}}$$

Donde:

$F_{ij}^1$  = Factor de tiempo de viaje que es usado en el siguiente paso (iteración) del procedimiento.

$F_{ij}$  = Factor de tiempo de viaje adoptado de una población similar (o estimado =1).

$T_{ij}$  = Viajes i-j como un porcentaje del total de viajes calculados de un modelo gravitacional.

$t_{ij}$  = Viajes i-j como un porcentaje del total de viajes diarios actuales obtenidos de un estudio de O-D.

## FACTOR DE AJUSTE ( $k_{ij}$ ).

$$K_{ij} = R_{ij} \frac{1 - X_i}{1 - X_i R_{ij}}$$

Donde:

$R_{ij}$  = Relación de viajes de intercambio ti-j en el estudio de O-D, en el modelo gravitacional.

$X_i$  = Relación de viajes ij de O-D, al total de viajes de O-D que salen de la zona i.

Resumiendo diremos que el modelo gravitacional es fácil de entender y usar. Reconoce que el propósito del viaje tiene una influencia importante en la determinación de los patrones de viaje, y consideran la competencia que existe entre los diferentes usos del suelo. Cualquier cambio en el tiempo de viajes entre las zonas puede ser

tomado en cuenta fácilmente, mientras que, el uso de un factor de ajuste garantiza que los factores socioeconómicos puedan ser acomodados si es necesario.

La dificultad operacional básica asociada con el uso del modelo gravitacional es la de que requiere una cantidad considerable de ajustes y manipulaciones para obtener resultados satisfactorios. Esto puede tomarse como indicación de que el procedimiento del modelo gravitacional admite un número suficiente de ajuste para obtener el modelo, de modo que los patrones de viaje existentes estén reproducidos de tal manera que represente adecuadamente las relaciones fundamentales de estos movimientos. No hay una garantía de que el tiempo de viaje actual y los factores socioeconómicos se conserven constantes hasta el año de proyecto.

***El Método del "campo electrostático.-*** En un intento por evitar la necesidad de estudios de Origen y Destino costosos, R.T. Howe elaboró un modelo para distribuir movimientos de personas, basados en la Ley de Coulomb de la fuerza electrostática. Su modelo: " .... considera al ser humano como corriente electrónica. Dando la carga negativa a la distribución inicial de los centros que representan a los lugares de empleo, con magnitudes que igualen al número de personas empleadas, la probabilidad de movimiento entre lugares de residencia y lugares de empleo pueden ser pronosticados sobre la base de una teoría de campo electrostática".

La primera etapa en el desarrollo del modelo involucra la consideración de los movimientos de viaje al trabajo únicamente bajo ciertas consideraciones.

De la hipótesis original y usando ciertas consideraciones, Howe, en un estudio de viajes que se dirigen a la zona de empleo en el área de ST. Paul, Minneapolis, desarrollo las dos ecuaciones para el movimiento de distribución de personas como sigue:

### **MÉTODO DEL " CAMPO ELECTROSTÁTICO "**

$$P_i Q_j = \frac{\frac{Q_j}{R_{i-j}} P_i}{\sum_{j=1}^n \frac{Q_j}{R_{i-j}}} (i = 1, 2, \dots, n) \text{ Ecuación (1)}$$

$$Q_j P_i = \frac{\frac{P_i}{R_{ij}} Q_j}{\sum_{i=j}^n \frac{P_i}{R_{i-j}}} (j = 1, 2, \dots, n) \text{ Ecuación (2)}$$

Donde:

- $V_{piQj}$  = Probabilidad de movimiento de la zona i a la zona j.
- $P_i$  = Número de trabajadores que viven en la zona i.
- $Q_j$  = Número de empleos disponibles en la zona j.
- $R_{ij}$  = Distancia en línea recta de la zona i a la zona j.
- $V_{QjPi}$  = Probabilidad de movimiento de la zona j a la zona i.

La ecuación (1) asegura que el número correcto de trabajadores es el obtenido para cada zona de residencia. La ecuación (2) asegura que el número correcto de trabajadores es el asignado para cada zona de empleo.

La ecuación (1) garantiza que el número correcto de trabajadores es trasladado de cada zona residencial. La ecuación (2) garantiza que un número correcto de trabajadores es asignado a cada zona de empleo. Sin embargo, las dos ecuaciones producen diferentes grupos de movimientos con el resultado de que evitan asignaciones en exceso o en defecto de personas a las diferentes zonas y deberán ser tomadas en cuenta en un proceso equilibrado utilizando factores de corrección.

Las desventajas asociadas con el método del campo electrostático son: que únicamente trata con un sistema cerrado. No puede simular movimientos a través de un cordón externo. Además la similitud del modelo con los primeros modelos de gravedad implica que tiene los mismos defectos que esos modelos aunque no se ha intentado evitar esos defectos introduciendo factores de ajuste.

**El método de regresión múltiple.-** El método de regresión múltiple es un enfoque empírico para determinar a partir de los datos de origen y destino y uso del suelo, los datos de las variables socioeconómicas para el pronóstico de distribución de viajes. Fue utilizado por primera vez por Sam Osofsky en California, en relación con un proyecto de investigación, para determinar "un método seguro, lógico y práctico para obtener datos que sean usados en el proyecto y localización de autopistas futuras".

### MÉTODO DE REGRESIÓN MÚLTIPLE PARA DISTRIBUCIÓN DE VIAJES.

La ecuación final desarrollada por Osofsky toma la siguiente forma:

$$T_{ij} = a_1 \frac{P^2}{D^{1.5}} + a_2 \frac{E^2}{D^{1.5}} + a_3 \frac{V}{D^{1.5}} + a_4 \frac{L}{D^{1.5}} + a_0$$

Donde:

- P = Población en cada zona de destino.
- E = Personas empleadas en cada zona de destino.
- V = Propietarios de vehículos en cada zona de destino.
- L = Índice de uso de suelo para cada zona de destino.
- D = Distancia.

### MÉTODO DE REGRESIÓN MÚLTIPLE PARA DISTRIBUCIÓN DE VIAJES

$$t_{ij} = a_0 + b_1 x_1 + b_2 x_2 + \dots + b_k x_k$$

El modelo anterior es determinado para cada zona, con objeto de explicar los movimientos diarios actuales, usando el método de los cuadrados mínimos.

En una forma similar se determinan los pronósticos de movimientos futuros, desarrollando una ecuación de la forma:

$$T_{ij} = a_0 + b_1 x_1 + b_2 x_2 + \dots + b_k x_k$$

Donde:

$t_{ij}$  = Movimientos diarios actuales de la zona i-j de un estudio O-D

$x_{ia}-x_k$  = Valores diarios actuales para variables independientes. Ejem: Núm. de habitantes, propietarios de vehículos, etc. obtenidos con encuestas.

$T_{ij}$  = Viajes pronosticados de i a j para el año de proyecto.

$a_0$  = Constante.

$b_i-b_k$  = Coeficientes determinados por el método de los cuadrados de los errores mínimos.

$X_{ia}X_k$  = Valores pronosticados para el año de proyecto de las mismas variables independientes. Ejem: Número de habitantes, propietarios de vehículos, etc.

El procedimiento para el método de regresión múltiple para distribución de viajes fue comparado con el método del modelo gravitacional y se encontró que el error estándar de la estima fue considerablemente menor para el modelo de regresión múltiple.

Como procedimiento para el pronóstico de distribución de viajes futuros, el modelo de regresión múltiple tiene varias ventajas. A diferencia del modelo gravitacional puede incluir en la ecuación cualquier propósito. Un defecto subyacente, sin embargo, es la consideración de que la relación entre los volúmenes de viaje y las variables independientes (por ejemplo: los coeficientes  $a_0, a_1, \dots, a_n$ ) permanecen constantes tanto en la actualidad como en el año de proyecto.

**Los métodos de "oportunidad.-** Existen dos métodos básicos de "oportunidad para distribución de movimientos futuros a.- El modelo de oportunidad intermedio y b.- El

modelo de oportunidad competitivo. Ambos métodos introducen la teoría de probabilidad como fundamentación teórica sobre la cual está basada la distribución de viajes, y fueron preparados como resultado de la investigación emprendida en relación con los estudios de transportación de Chicago, Pittsburgh y Penn-Jersey.

En esencia ambos modelos de oportunidad pueden representarse por la fórmula general siguiente:

**METODOS DE "OPORTUNIDAD"  
(Fórmula General)**

$$T_{ij} = T_{i(G)} \times P_j$$

Donde:

$T_{ij}$  = Número de viajes pronosticados de la zona i a la zona j.  
 $T_{i(G)}$  = Total del número de viajes originados en la zona i.  
 $P_j$  = Probabilidad calculada de que un viaje pare en la zona j.

Existen dos métodos de "oportunidad" básicos para la distribución de movimientos futuros:

- a) El modelo de oportunidad intermedio.
- b) El modelo de oportunidad competitivo.

La diferencia entre los dos métodos de oportunidad es la forma en que es calculada la función de probabilidad  $P_j$ .

### MODELO DE OPORTUNIDAD COMPETITIVO

$$T_{i-j} = T_{i(G)} \times P'_j$$

$T_{ij}$  = Número de viajes en un sentido de la zona i a la zona j.  
 $T_{i(G)}$  = Total del número de viajes originados en la zona i.  
 $P'_j$  = Probabilidad ajustada de detención en un destino j.

Este modelo fue desarrollado de un estudio de origen y destino en el año de 1947 y fue utilizado para analizar los datos recopilados en el Estudio de Transportación de Penn-Jersey.

### MODELO DE OPORTUNIDAD INTERMEDIO

$$T_{ij} = \sum_{L_{min}}^{L_{max}} T_{i(G)} L((1-L)^V - (1-L)^{V+V_j})$$

Donde:

$T_{ij}$  = Número de viajes de la zona i a la zona j.

$T_{ij}(G) L$  = Total del número de viajes generados en la zona i con un valor particular L.

$(1-L)^v$  = Probabilidad de que un viaje dado llegue a un destino establecido.

$(1-L)^{v+v_j}$  = Probabilidad de que un viaje dada no encuentre un destino satisfactorio en j y vaya a la zona siguiente.

$((1-L)^v - (1-L)^{v+v_j})$  = Función de probabilidad  $P_j$ .

## **4.- USO DE LOS MODOS DE TRANSPORTE**

### **4.1 Antecedentes**

El análisis del uso modal, conocido también como selección modal o análisis de distribución modal, es el proceso por medio del cual el analista determina la cantidad de viajes que probablemente se realicen por medio de cada uno de los modos de transporte que existen en el área urbana.<sup>(1)</sup>

El análisis del uso modal es, por supuesto, un paso muy importante dentro del pronóstico de viajes ( la demanda proyectada para cada modo será un factor prioritario en la determinación de la cantidad a servir por cada modo ).

El número de carriles en vías de acceso controlado a añadir o aumentar, el número de líneas de autobuses a instrumentar, pueden depender en alto grado de la demanda proyectada para esas instalaciones ; sin embargo, en estos días de recursos limitados, probablemente no se pueda alcanzar la demanda proyectada. Si el suministro ilimitado de una infraestructura en particular el lineal, tal como una extensa red de vías de acceso controlado en las áreas urbanas, se podrá aplicar un análisis de uso modal para determinar como cambiar la demanda de autos particulares a la de transporte público.

El análisis del uso modal puede efectuarse en diferentes puntos del proceso de pronóstico de viajes. Los puntos más comunes en donde se realiza el análisis son:<sup>(10)</sup>

- Durante la fase de generación de viajes.
- Después de la fase de generación de viajes.
- Después de la fase de distribución de viajes.

La etapa de distribución modal tiene un papel central en el proceso de simulación de la demanda. Históricamente ha sido la fase que presentó la mayor evolución desde el punto de vista teórico y de aplicación práctica. El propio término , distribución modal,

refleja un enfoque adoptado hasta la década de los 70 s , cuando el análisis era realizado de manera agregada. <sup>(19)</sup>

Existen dos tipos de pasajeros que utilizan los servicios del transporte público: los pasajeros cautivos y los pasajeros que pueden elegir entre el transporte público y otro modo , por razones económicas o porque reúne cualidades que los satisfacen. El propósito de la fase de uso modal de pasajeros cautivos es la de establecer relaciones que permitan que los viajes estimados en la fase de generación de viajes se dividan en pasajeros del transporte público cautivo y de elección. Los patrones de origen y destino de estos dos grupos de pasajeros se manejan en forma separada. El propósito de la fase de análisis de uso modal es la de estimar el reparto probable de los pasajeros que pueden elegir entre el transporte publico y los desplazamientos en automóvil, en base a valores del costo generalizado de viajes en los dos modos.

En otros países desarrollados, la relación de pasajeros de elección que usan el sistema de transporte público varia de 9 a 1 en ciudades pequeñas con pobre desarrollo de un transporte público y relaciones altas de 3 a 1 para ciudades muy grandes con sistemas bien establecidos. Muchos estudios del transporte modal de elección han demostrado que los factores determinantes en el transporte público son: <sup>(19)</sup>

- Las características socioeconómicas de los pasajeros .
- El costo relativo y las propiedades del viaje por automóvil y del viaje en transporte público.

Los estudios de transporte han demostrado que los pasajeros que pueden elegir el modo de transporte , consideran un número de características tanto de los automóviles como del transporte público para tomar esa decisión , tales como tiempo de viaje a bordo de vehículos, tiempo de viaje fuera del vehículo, usualmente denominados tiempos de viaje por exceso; el costo de desembolso que incluye costos de operación de los vehículos, cargos por estacionamiento y tarifas en el transporte público así como la confiabilidad, comodidad y conveniencia de los diferentes modos.

## **4.2 factores que afectan al uso modal.**

Antes de que se pueda predecir cómo distribuir los viajes entre los modos disponibles, se deberán analizar los factores que afectan la elección modal. Los dos primeros factores que vienen a la mente son los costos y tiempos relativos de viajes de los modos disponibles ( ciertamente, un modo rápido y barato es más atractivo a los viajeros que uno más caro y lento ). Pero existen otros factores que pueden ser importantes y que deben ser considerados en el análisis del uso modal. Estos factores, incluyen el tiempo y costo, pueden agruparse dentro de tres grandes categorías.

- Características del viajero ( el que hace el viaje)
- Características del viaje; y
- Características del sistema de transporte

### Características del viajero

¿ Qué características tiene el viajero que puedan afectar la elección del modo ? Puede ser importante el número de automóviles en la familia y el número de personas que compiten por el uso de esos automóviles. Pueden afectar al uso modal, la ocupación y el ingreso. las personas con trabajos en los estratos más altos y con mayores ingresos, generalmente están menos dispuestas a usar los autobuses. la edad y sexo de un viajero pueden afectar la decisión de usar un modo en particular . Por lo tanto existen varias características del viajero a considerar; entre las más importantes están:

- El ingreso familiar
- El número de automóviles disponibles
- El nivel de educación
- El tamaño de la familia
- La distribución por edades en las familias
- El tipo de vivienda
- La densidad de población y

- La distancia de la residencia del viajero al distrito central de negocios

Por supuesto, muchas de estas características están interrelacionadas; por ejemplo, las personas que viven en áreas residenciales de altos ingresos generalmente tienen más automóviles y menos miembros por familia que los que viven en los suburbios.

El usar gran número de características para estimar el uso modal puede ser más impráctico, por lo que descubrir las características que explican mejor el comportamiento selectivo es muy importante. El ingreso y la disponibilidad de automóviles han sido ampliamente usados en estudios anteriores para clasificar a los viajeros.

### Características del viaje

Los viajes pueden efectuarse por muchos propósitos: Para ir al trabajo, para ir de compras, para ir a la escuela, por recreación, y otras más. Una persona que toma un autobús para ir al trabajo todos los días, probablemente no quiera tomar el autobús para ir al cine el viernes en la noche.

La distancia, la hora del día, y la orientación del viaje dentro del área urbana sirven también para explicar las razones para escoger un modo en vez de otro.

La característica de viaje más ampliamente usada para desarrollar las relaciones del uso modal es el propósito del viaje.

### Características del Sistema de Transporte

Ciertamente, es de lo más importante el considerar que también cada uno de los sistemas disponibles de transporte resuelve nuestras necesidades de transporte. Si no existen rutas de autobús en el destino deseado, una persona puede escoger otro modo.

Los automóviles tienen ciertas características y los autobuses y tranvías tienen diferentes. ¿ Qué características pueden ser importantes ? El tiempo de viaje y su costo se mencionaron anteriormente. Ahora se verá con mayor detalle el tiempo de viaje.

El tiempo de viaje se divide usualmente en dos grupos:

- Tiempo de recorrido es la cantidad de tiempo de permanencia en el vehículo, y
- Exceso de tiempo es la cantidad de tiempo consumido fuera del vehículo ( caminando, estacionando, esperando, transbordando,etc.)

Esta separación se hace porque a las personas les disgusta mucho más el exceso de tiempo ocupado en el viaje, que el tiempo de recorrido. Esto es, que el exceso de tiempo afecta más a la selección modal que el tiempo de recorrido.

Existen otras características del sistema de transporte que pueden afectar el uso modal. La confiabilidad es importante: ¿ Se puede confiar en llegar a tiempo al destino ? ¿ El uso del sistema es confortable ? el confort puede incluir la disponibilidad de asiento, control apropiado de la temperatura o protecciones para pasajeros de autobús. entender cómo usar el sistema puede ser importante: si los horarios y rutas de los autobuses son confusos, se preferirá tomar taxi. usar un sistema sin temor de sufrir un accidente o con preocupación por la seguridad personal puede afectar las selecciones. algunas personas pueden basar en el prestigio su elección de modo, tomando en cuenta que algunos modos son menos prestigiosos que otros.

Probablemente existen muchas características de los diferentes modos de transporte que afectan las selecciones personales. Sin embargo, el usar nuevamente un gran número de características para estimar el uso modal puede ser impráctico; el tiempo y el costo del viaje son las características más ampliamente usadas para representar la naturaleza del servicio proporcionado por los distintos modos disponibles.

El análisis de cómo las personas seleccionan un modo de las alternativas disponibles, incluye la consideración de las características del viajero, del viaje y de los distintos modos disponibles para usarse. el planificador debe decidir qué características escoger

para representar las decisiones del uso modal. Las selecciones se hacen siguiendo un análisis completo de varias combinaciones de características.<sup>(18)</sup>

Los modelos de uso modal constituyen una fase muy crítica en el proceso de planificación del transporte debido a que los resultados del modelo dan lugar a decisiones que son vitales para el equilibrio modal de la transportación en la región analizada.

La sección 4.3 da una breve descripción de los modelos de reparto modal desarrollados en los primeros estudios de transporte. Estos estiman el reparto modal en una etapa y contienen variables con características socioeconómicas y variables de servicio de los modos involucrados en un modelo agregado. La sección 4.4 de este capítulo describe la estructura de los modelos de reparto modal obtenidos en años más recientes y se basan en ciertas hipótesis considerando el comportamiento individual de elección. La sección 4.5 del capítulo, presenta en forma breve los modelos de reparto modal de dos etapas.

### **4.3 Primeros modelos de uso modal.**

Al principio de este capítulo, se identifican tres tipos de modelos de uso modal, de acuerdo con la posición del análisis en relación al proceso del pronóstico de viajes:

- Análisis durante la fase de generación de viajes;
- Análisis de la fase posterior a la generación de viajes:
- Análisis posterior a la fase de distribución de viajes.

Cuando se efectúa el análisis durante la fase de generación de viajes, los modelos resultantes son llamados **modelos de generación directa**, porque los viajes se generan por modo en un sólo paso. En vez de generar el número total de viajes, como se hizo en la presentación de la generación de viajes, los viajes son generados por modo ( el número de viajes en automóvil, viajes en atobús, etc. )

Los modelos que son usados después de la generación de viajes y antes de la distribución de viajes son llamados " **modelos de uso modal de extremo de viaje** ", porque la fase de generación de viajes suministra los extremos de viajes para el análisis.

Los **modelos de uso de intercambio de viajes** se utiliza después de la fase de distribución de viajes. Los intercambios de viajes fueron obtenidos en la fase de distribución, de tal manera que el análisis de uso modal está basado en los intercambios de viajes entre pares de orígenes y destinos.

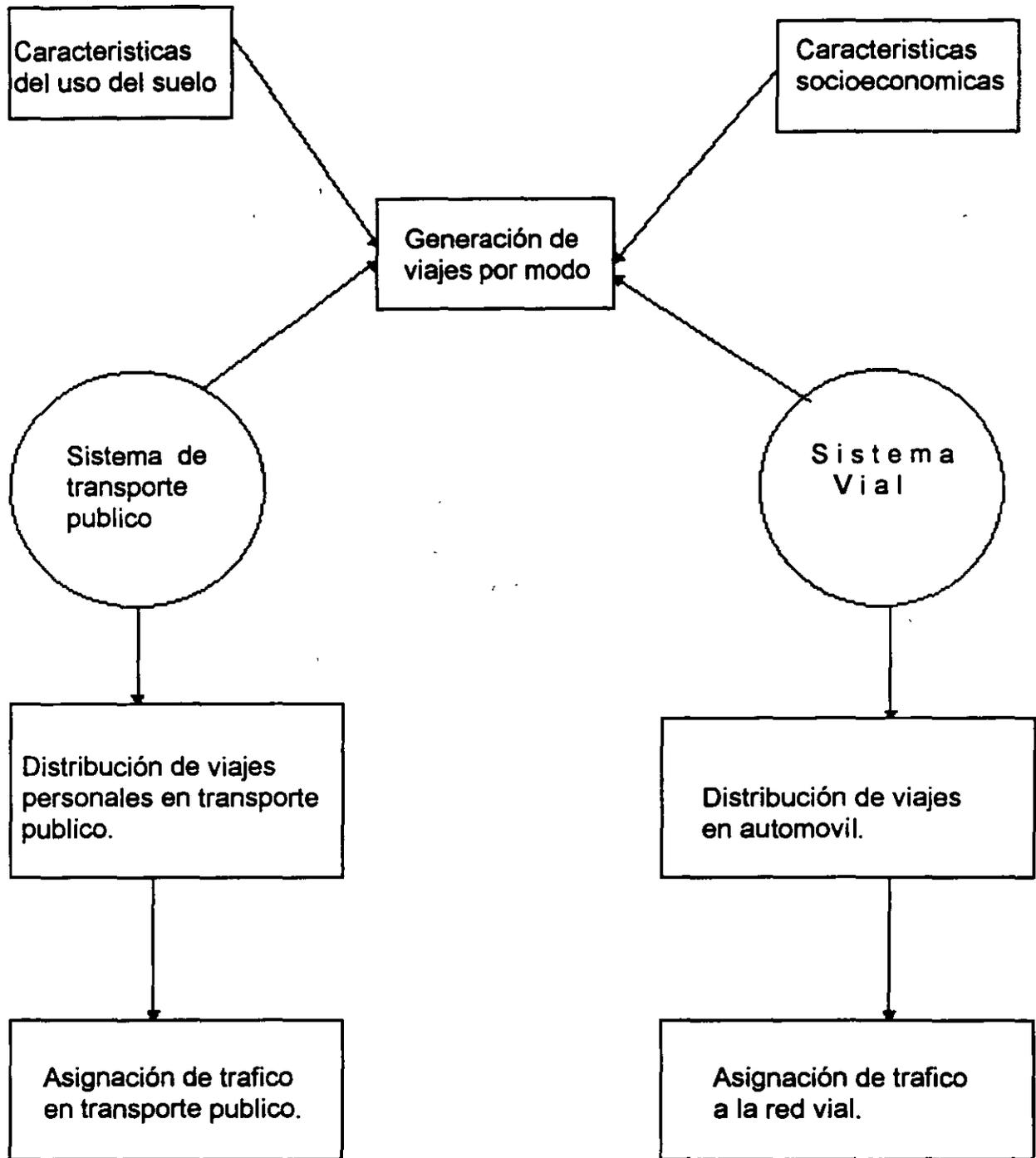
### **Modelos de uso de generación directa.**

La figura 1 muestra cómo la generación directa se emplea en una situación de doble modo: generación de viajes en automóvil y en transporte público. Los viajes generados por modo se distribuyen hacia sus destinos, y se asignan a las redes vial y de transporte público. Este enfoque es apropiado generalmente para pequeñas áreas urbanas sin grandes servicios de transporte público.

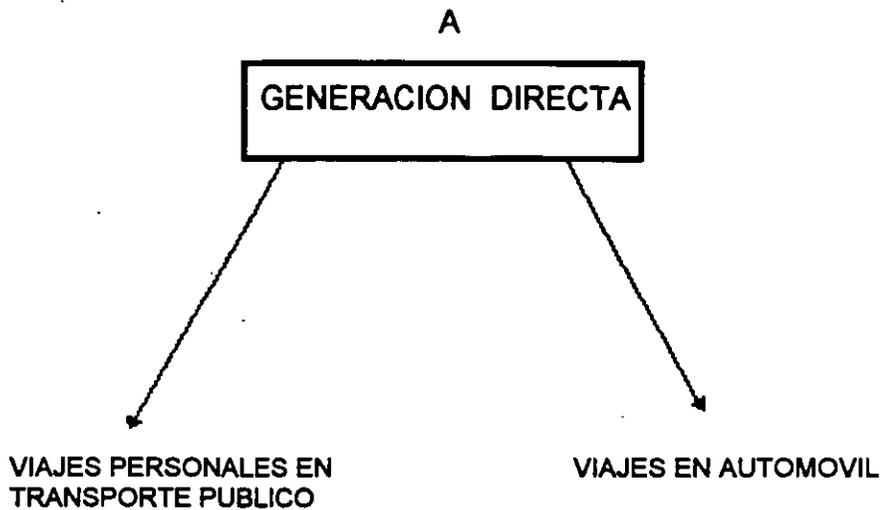
El proceso de generación directa genera viajes para dos o más modos. Se discutirá la generación de viajes en automóvil y en transporte público.

Existen dos maneras de generar los viajes en automóvil y en transporte público. La figura 2A a continuación señala la generación directa de viajes en automóvil usando un paquete de modelos y la generación de viajes de transporte público utiliza otro paquete. La figura 2B muestra la generación directa de viajes de transporte público y el total de viajes personales. Si se usa este procedimiento, los viajes en transporte público deben restarse del total, y un factor de ocupación de automóvil debe aplicarse para obtener el número de viajes en automóvil. Fig 2B

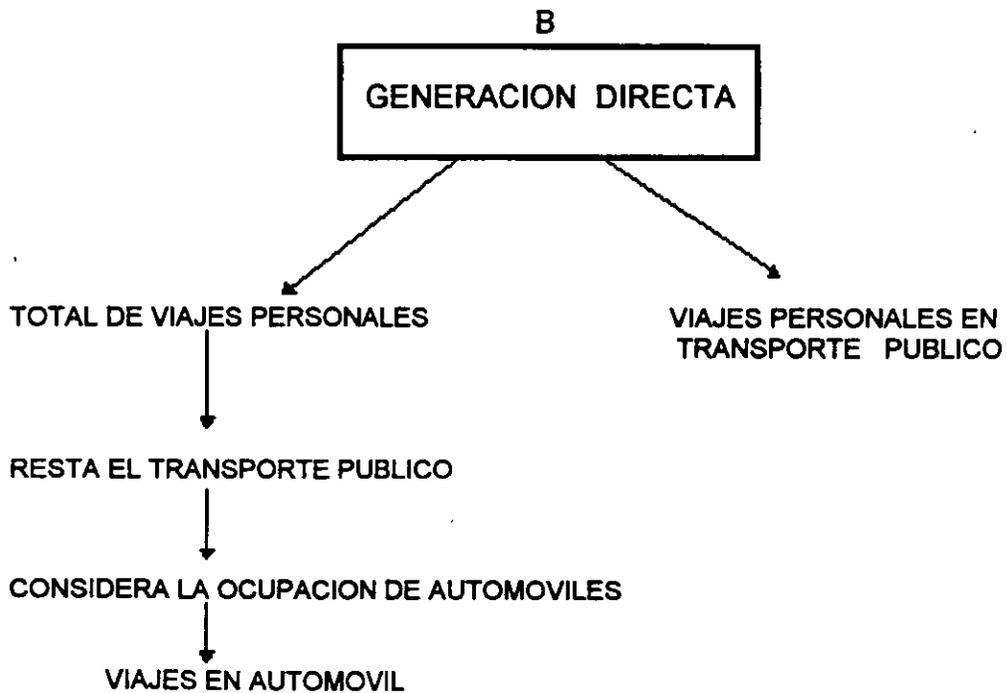
Los procedimientos para desarrollar los modelos de generación directa son básicamente los mismos que los del procedimiento de generación de viajes que se examinó en el capítulo tres. La clasificación cruzada puede aplicarse a la generación directa por modo, tan fácilmente como se aplica a la generación de viajes totales.



**Fig. 1.- Empleo de la generación directa en una situación de doble modo.**



**Fig 2A.- Generación de viajes en automóvil**



**Fig 2B.- Generación de viajes en transporte publico y el total de viajes personales.**

Las tablas de clasificación cruzada pueden desarrollarse de la misma manera como lo fueron para la generación de viajes totales, exceptuando cuando se incluya alguna consideración para la accesibilidad al modo de transporte público ( u otros que no sea el automóvil ).

La accesibilidad puede incluirse en la clasificación cruzada de varias maneras diferentes. el camino mas sencillo es el de usar modelos de generación de viajes que genere los viajes totales, y entonces las tablas de clasificación cruzada se desarrollan para las áreas que están servidas por otro modo distinto al automovil.

Las áreas que estan servidas pueden significar áreas que están a cierta distancia del servicio; es decir, unos 800 metros.

Una de las tablas ( 5A ) de viajes que se mencionan en el capitulo tercero se muestra enseguida:

Una tabla ( 5B ) que calcule los viajes en transporte público puede desarrollarse, utilizando la clasificación cruzada, para las áreas que están servidas por transporte público.

Estas tablas pueden entonces usarse para estimar los viajes en automóvil y en transporte público por un proceso similar al proceso descrito en el capitulo tercero.

Las estimaciones de abordaje al transporte público puede ser usada para la planeación a corto plazo, y contar para tal efecto con una planeación a largo plazo de la red vial.

Recuérdese que la generación directa es usualmente apropiada para pequeñas áreas urbanas con sistemas de transporte público menores. los modelos de uso modal de intercambio son más apropiados para grandes áreas metropolitanas ó urbanas.

**TABLA 5 A) TOTAL DE VIAJES POR PERSONA PRODUCIDOS POR VIVIENDA**

DISPONIBILIDAD DE AUTOMOVILES				
INGRESOS (EN MILES DE DOLARES)		0	1	2 ó más
	≤6	3.0	5.0	-
	6-9	4.0	6.0	9.0
	9-12	5.0	7.5	10.5
	12-15	-	8.5	11.5
	>15	-	8.5	12.7

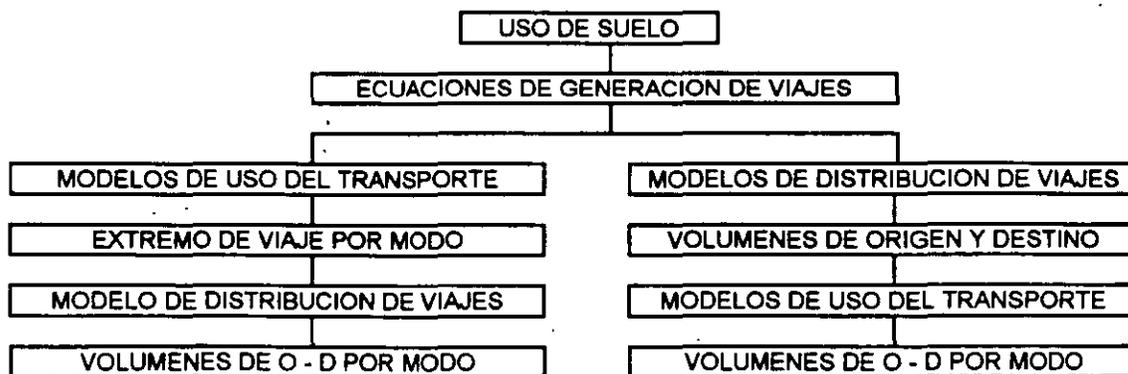
**TABLA 5 B) TOTAL DE VIAJES EN TRANSPORTE PUBLICO PRODUCIDOS POR VIVIENDA EN AREAS CON ESTE SERVICIO.**

		DISPONIBILIDAD DE AUTOMOVILES		
INGRESOS		0	1	2 ó más
(En miles de dólares)	≤6	2.1	0.7	0.4
	6-9	1.3	0.4	0.3
	9-12	0.5	0.2	0.1
	12-15	0.2	0.1	0.0
	>15	0.1	0.0	0.0

**4.3.-Modelos de extremo de viaje y de intercambio de viaje.**

Los primeros modelos de uso de transporte fueron realizados antes y después de la fase de análisis de distribución de viajes durante el proceso de pronostico de la demanda. Los modelos que han sido utilizados antes de la fase de distribución de viajes son conocidos usualmente como "modelos de uso modal de extremo de viaje" ( trip-end modal split models ). Los modelos de uso del transporte que van después de la fase de distribución de viajes normalmente se les conoce como "modelos de uso de intercambio de viaje " ( trp-interchange modal split models ) la figura 3 indica las diferencias significativas de estos dos tipos de modelos.

En varios estudios de planificación del transporte elaborados en ciudades de tamaño medio o pequeño, los modelos de uso modal de extremo de viaje han sido utilizados normalmente. La figura 3 manifiesta que con este tipo de modelo la promocion potencial de cada modo de transporte se determina a continuación de la fase de generación de viaje.



**FIG. 3 Diferencias entre los tipos de modelos de uso del transporte.**

La consideración básica de los modelos de uso modal de extremo de viaje es que el fomento al transporte es relativamente insensible a las características de servicio de los modos de transporte. El apoyo modal está determinado principalmente por las características socioeconómicas de los pasajeros.

Los estudios de transporte elaborados en grandes áreas urbanas, donde el sistema de transporte público está bien desarrollado o donde se contemplan realizar mejoras significativas en el sistema de transporte público, usualmente han utilizado modelos de uso modal del tipo de intercambio de viajes. La mayoría de los modelos de uso del transporte del tipo de intercambio de viajes que han sido elaborados, incorporan medidas de características de modos competitivos, así como medidas de características de los pasajeros.

Ejemplos típicos de éstos dos tipos de modelos se describen a continuación. Estos ejemplos muestran que los "modelos de uso modal de extremo viaje" dan un gran énfasis para identificar pasajeros cautivos del transporte público, mientras que los "modelos del tipo de intercambio de viajes" enfatizan sobre los pasajeros de elección en el transporte público. Se ha visto conforme avanza este capítulo que la dicotomía introducida es de algún modo arbitraria y que los dos tipos de modelos deberán vincularse para producir un modelo de uso de transporte de dos etapas como más adelante se plantea.

Fertal [1] proporciona un excelente resumen de nueve modelos que podrían ser denominados primera generación de modelos de uso del transporte. Estos modelos fueron elaborados antes de 1964. Solo dos de estos modelos se exponen en este documento con objeto de transmitir los conceptos básicos subyacentes. El modelo de uso del transporte elaborado durante el Estudio de Transportación del Sureste de Wisconsin (Southeastern Wisconsin Transportation Study [2] se utiliza con un ejemplo del modelo de uso modal de extremo de viaje. El modelo de uso de transporte elaborado y utilizado en dos estudios importantes en Toronto [3,4] y que se expone a continuación como ejemplo del modelo de uso de transporte del tipo intercambio de viaje. Este modelo también fue utilizado en Washington D.C. [5]

#### • Modelo del Sureste de Wisconsin

El modelo de uso de transporte desarrollado en este estudio consiste de siete niveles que relacionan el porcentaje de extremos de viaje que utilizarán los servicios del transporte público a partir de un análisis de tránsito zonal, considerando las siguientes variables: tipo de viaje, características de los pasajeros y características del sistema de transporte.

Cuatro propósitos de viaje fueron utilizados para estratificar los viajes realizados en los servicios de transporte público y estos fueron: viaje al trabajo con base en el hogar, viajes de compras con base en el hogar, "otros" viajes con base en el hogar, y viajes sin base en el hogar. solo el nivel elaborado para viajes al trabajo con base en el hogar será analizado en el presente documento.

Las características socioeconómicas de los pasajeros fueron definidas sobre una base zonal en terminos del numero promedio de automoviles por familia en una zona. La figura 4 muestra la relación que fue observada entre el porcentaje de uso del transporte público zonal y el numero promedio de automoviles por familia en forma zonal para los desplazamientos al trabajo en la región de Milwaukee.

Las características del sistema de transporte para una zona dada fueron definidas por un indice de accesibilidad calculado por medio de la siguiente ecuación:

$$acc_i = \sum_{j=1}^n a_j f_{ij} \quad \dots\dots 1$$

Donde:

$acc_i$  = indice de accesibilidad de la zona  $i$

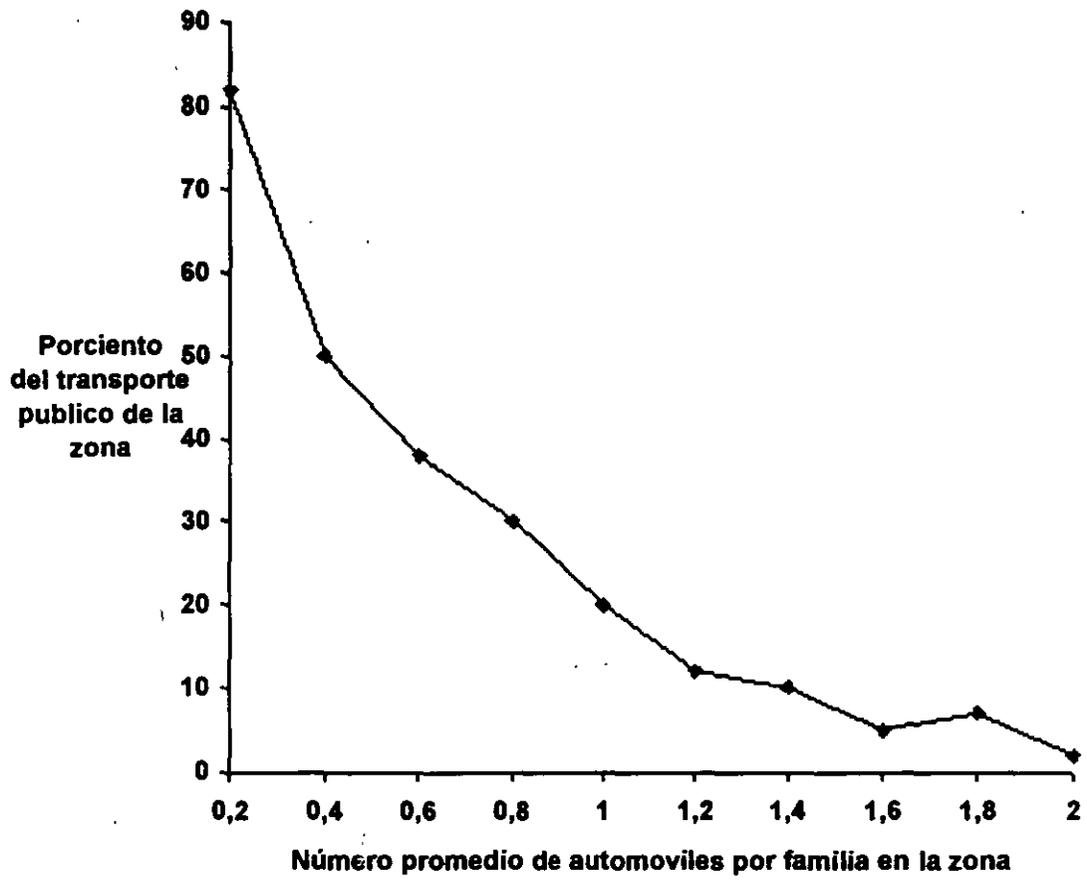
$a_j$  = número de atracciones en la zona  $j$

$f_{ij}$  = factor de tiempo de viaje de la zona  $i$  a la zona  $j$ , para el modo particular que está siendo considerado.

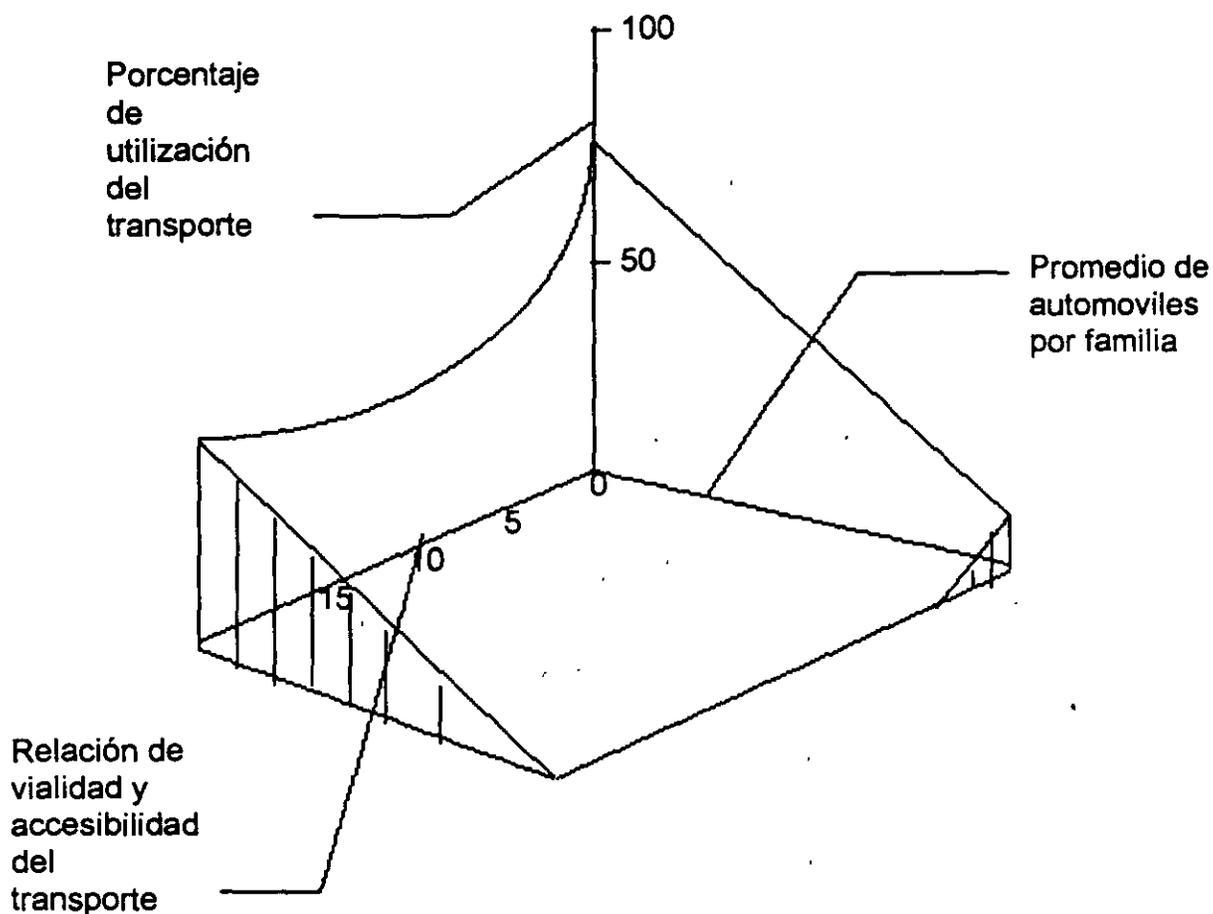
El servicio de transporte proporcionado a una zona en particular por dos modos fue caracterizado por la siguiente relación de accesibilidad.

$$\text{Relación de accesibilidad} = \frac{\text{indice de accesibilidad vial}}{\text{indice de acces. del transp. publico}} \quad \dots 2$$

El nivel de uso de transporte elaborado a partir de los viajes al trabajo en la región de Milwaukee se muestra la figura 5 en la cual el porcentaje del transporte público utilizado en una zona esta graficado contra la relación de accesibilidad y el numero promedio de automóviles por familia en la zona. este nivel de uso modal demuestra claramente la rapida declinación en el uso del transporte publico al disminuir el nivel de servicio del transporte para los grupos de ingresos relativamente altos, insensibles a los cambios del nivel de servicio en el transporte público. En contraste las zonas con un número bajo de automóviles por familia fueron relativamente insensibles a los cambios de niveles de servicio del transporte público.



**Fig. 4.- Porcentaje que utiliza el transporte público vs. número promedio de automóviles por familia en la zona.**



**Fig 5.- Superficie de reparto modal para viajes al trabajo.**

Modelo de uso modal de Toronto ( ejemplo del modelo del tipo de intercambio de viaje). La hipótesis básica subyacente del modelo de uso de transporte elaborado para la zona metropolitana de Toronto ha sido establecida como sigue:

" El número total de personas que se mueven entre un origen a un destino, obtiene una porción del mismo en base a una competencia relativa la cual se expresa en términos de : tiempo de viaje relativo, costo de viaje relativo, servicio de viaje relativo y estatus económico de los viajeros".

El tiempo de viaje relativo (TTR) de los modelos competitivos fue expresado por la relación del tiempo de viaje puerta a puerta para el transporte público y para los automóviles como sigue:

$$TTR = \frac{a+b+c+d+e}{f+g+h}$$

Donde:

TTR = Tiempo de viaje relativo.

a = Tiempo consumido entre el vehículo de transporte público.

b = Tiempo de transferencia entre vehículo de transporte público.

c = Tiempo consumido al esperar el vehículo de transporte público.

d = Tiempo de caminata hacia la parada del transporte público.

e = Tiempo de caminata hacia la parada del transporte público al destino final.

f = Tiempo de manejo en el automóvil.

g = Demora en el estacionamiento del destino final.

h = Tiempo de caminata del estacionamiento hasta el destino final.

El costo de viaje relativo ( CR ) fue definido por la relación de los gastos que desembolsa el usuario ( out - of - pocket travel cost ) del transporte público y el del automóvil, como sigue:

$$CR = \frac{i}{(f + k + 0.5l) / m}$$

Donde:

CR = Costo de viaje relativo.

i = Tarifa en el transporte público.

f = Costo de la gasolina.

k = Costo del cambio de aceites y lubricantes.

$l$  = Costo del estacionamiento en el destino.

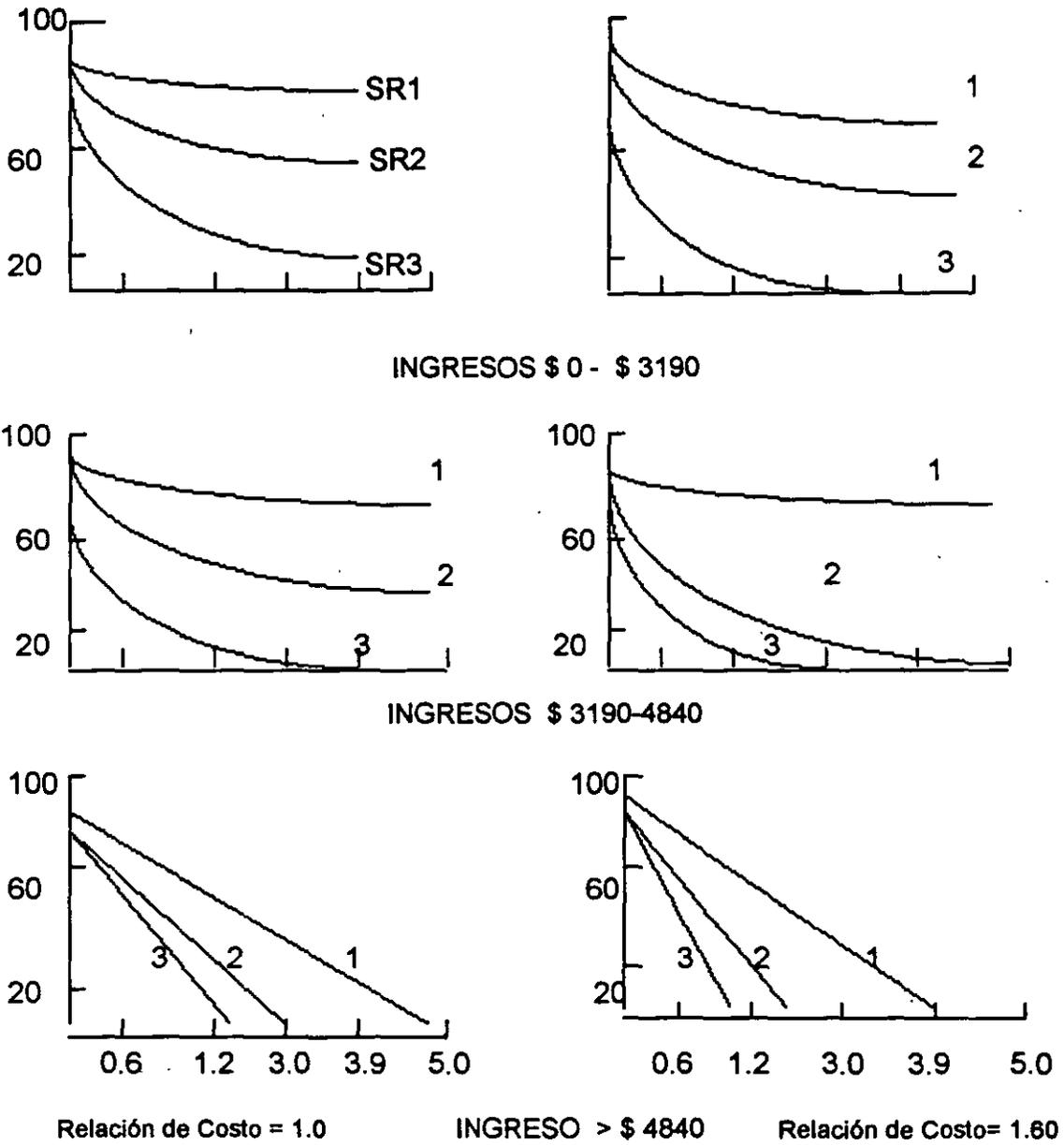
$m$  = Ocupación promedio de los automóviles.

El viaje relativo del servicio ( SR ) fue caracterizado por la relación del tiempo de viaje en exceso del transporte público y del automóvil. El tiempo de viaje en exceso fue definido como la cantidad de tiempo consumido fuera del vehículo durante un viaje. La relación de servicio fue definido como se indica a continuación:

$$SR = \frac{b+c+d+e}{g+h}$$

La figura 6 muestra parte de las causas de un modal elaborados para los desplazamientos del trabajo en el área metropolitana de Toronto. El estatus económico de los viajeros fue caracterizado por cuatro clasificaciones de salarios y los límites de cada uno de estas clases de salarios se indican en el diagrama.

**PORCENTAJE QUE UTILIZA EL TRANSPORTE PUBLICO EN LA ZONA.**



TIEMPO DE VIAJE EN EL TRANSPORTE PUBLICO / TIEMPO DE VIAJE EN AUTOMOVIL.

SR1= 1.2    SR2 = 2.3    SR3 = 5.8

**Fig.6 Curvas de uso de transporte elaboradas para la ciudad de Toronto, Ontario.**

El modelo de uso de transporte fue utilizado como sigue. Los viajes totales de personas para todos los modos fueron pronosticados y distribuidos utilizando el modelo gravitacional para la red vial. El tiempo de viaje y las relaciones de costos y servicios, así como los niveles de ingresos fueron usados para estimar el porcentaje de utilización del transporte público a partir de curvas de desviación. El total de viajes de personas entre un par de origen y destino fueron multiplicados por este porcentaje para obtener los viajes en transporte público. Los viajes de personas en automóvil fueron multiplicados por el factor de ocupación del automóvil para determinar el número de viajes en automóvil para cada par de origen-destino. Entonces cada grupo de viajes fue asignado a la red apropiada.

Cuando los modelos descritos anteriormente han sido asignados a diferentes categorías, la estructura del modelo subyacente muestra muchas similitudes. Ambos contienen una medida de las características socioeconómicas de los viajes así como una medida de los servicios relativos proporcionados por los diferentes modos de transporte. La diferencia esencial radica en la amplitud del dominio de los dos tipos de variable en el modelo. En el Modelo del Sureste de Wisconsin las características del servicio del sistema de transporte son incluidas en forma macroscópica a través de la relación de índices de accesibilidad. En el Modelo de Toronto las características del servicio se introducen muy directamente en la forma de factores como la relación de tiempo de viaje y así sucesivamente.

#### **Algunas limitaciones de los primeros modelos de uso de transporte.**

Quizá la principal limitación de estos modelos es que los pasajeros "cautivos" y de "elección" del transporte público no fueron identificados ni representados en forma separada en los modelos. Por esta razón los modelos no reflejan adecuadamente la forma en la cual reaccionan los pasajeros de elección en el transporte público al cambiar las características del sistema de transporte. El apoyo que brindan el uso de datos del transporte público para calibrar los modelos contienen pasajeros cautivos y de elección mezclados. Además los datos utilizados han sido empleados en forma zonal agregada. Este tratamiento tiende a ocultar diferencias importantes en el comportamiento de los viajeros.

#### **4.4.- Modelos de uso de transporte con base en el comportamiento.**

Han sido propuestos un número de modelos de uso del transporte que incorporan varias hipótesis con respecto al comportamiento de elección modal de los individuos. El

enfoque de estos modelos se basa en el comportamiento individual más que en un comportamiento de elección modal de zona agregada. El concepto central de éstos métodos es el de desutilidad de viaje o costo generalizado de viaje utilizando diferentes modos de transporte.

**4.4.1 COSTO GENERALIZADO DE VIAJE.<sup>1\*</sup>**  
 ( también denominado " desutilidad" )

El concepto de costo generalizado de viaje se obtiene de la noción que tienen los viajeros de un número de características " no agradables " para los viajeros y que la magnitud de la " no agradabilidad " depende de las características socioeconómicas de los viajeros. El costo generalizado o desutilidad de un viaje puede ser estimado de la siguiente manera:

$Z_{i,j}^m = a_n \cdot X_{n,i,j}^m + b_w u_w + C$ <p style="text-align: center; margin: 0;"><math>n=1, \dots, n ; w=1, \dots, w</math></p>	..... ( 6)
--	------------

Donde:

$Z_{i,j}^m$  = el costo generalizado de viaje entre las zonas  $y_i$  y  $y_j$  para el modo  $m$ .

$X_{n,i,j}^m$  = la "enesima" característica del modo  $m$  entre las zonas  $y_i$  y  $y_j$  la cual eleva el costo de viaje para el modo  $m$ .

$U_w$  = la " wesima " característica socioeconómica de un viajero.

$C$  = constante

---

<sup>1\*</sup> Fuente: B.G hutchinson \* Principles of Urban Transport Systems Planning  
 Mc Graw-Hill book Company De. 1974 pag 61-64

$a_n$  ,  $b_w$  = coeficiente que refleja la contribución relativa que el sistema y los viajeros realizan para contribuir al costo generalizado de viaje.

Para una situación de elección modal binaria, la diferencia de costos generalizados pueden ser calculados con la expresión ( 6 ).

$$Z_{i,j}^* = a_n \Delta X_{nij} + b_w \mu_w + C \quad \dots\dots\dots ( 7 )$$

$n=1, \dots, n ; w = 1, \dots, w$

donde:

$Z_{ij}^*$  = la diferencia en costo generalizado de viaje entre la zona i y j.

$\Delta X_{nij}$  = la diferencia en la "enésima" característica del sistema entre los dos modos.

Si los viajeros están estratificados en un determinado número de grupos socioeconómicos, entonces la ecuación ( 7 ) puede ser expresada como:

$Z_{ij}^* = a_n \Delta X_{nij} + C$	$\dots\dots\dots ( 8 )$
-------------------------------------	-------------------------

$n=1, \dots, n$

Si  $Z_{ij}^*$  es la diferencia en costo entre los viajes en autobús del transporte público y en los automóviles, entonces c puede ser despreciada como una penalización modal que refleja la conveniencia y comodidad inferiores de autobuses del transporte público en relación con los automóviles.

Wilson y sus asociados [ 6 ] han reportado los siguientes relaciones de costos generalizados de estudios realizados en Inglaterra.

$$Z_{ij}^m = 0.66 d_{ij}^m + 1.32 e_{ij}^m + a_3 S_{ij}^m \quad \dots\dots\dots ( 9 )$$

Donde:

$Z_{ij}^m$  = el costo generalizado de viaje entre las zonas i y j para el modo m, en peniques ingleses.

$d_{ij}^m$  = tiempo de viaje en el vehículo, en minutos para el modo m entre las zonas i y j.

$e_{i,j}^m$  = el exceso en tiempo de viaje, en minutos para el modo m entre las zonas i y j.

$S_{i,j}^m$  = la distancia en millas para el modo m entre las zonas i y j.

$a_3$  = 2.00 para viajes en automóvil.  
 = 3.18 para viajes en tren, y  
 = 3.06 para viajes en autobús.

Archer y Shortreed [ 7 ] desarrollaron las siguientes funciones de costo generalizado para viajes en Kitchener - Waterloo, Ontario:

$$Z_{i,j}^m = \left\{ f - \frac{1}{CO} (0.5p + mS_2) \right\} + tc \left\{ (e_1 - e_2) + 60 \left( \frac{S_1}{v_1} - \frac{S_2}{v_2} \right) \right\} \dots\dots\dots ( 10 )$$

$Z_{i,j}^m$  = costo generalizado en autobús de transporte público - automóvil, en dólares canadienses ( año de 1971).

CO = ocupación promedio de automóviles.

p = costo del estacionamiento por día ( solo en la zona central = \$ 0.50 )

m = costo de operación del automóvil ( 0.04 / milla )

$S_1, S_2$  = distancia de viaje en millas en autobús de transporte público y en automóvil, respectivamente.

tc = costo del tiempo de viaje ( \$ 0.02 /minuto )

$v_1, v_2$  = velocidades de viaje en la red, en millas / hora para autobuses del transporte público y automóviles, respectivamente.

$e_1, e_2$  = excesos en tiempo de viaje, en minutos, para los autobuses del transporte público y en automóviles, respectivamente.

Se deberá observar de la ecuación (9) que el exceso en el tiempo de viaje se valua al doble con respecto al valor del tiempo de viaje en el vehículo. Un número de estudios de costo generalizado de viajes han advertido este valor elevado del exceso en el tiempo de viaje para los viajeros.

Es útil explorar la importancia relativa de cada uno de los componentes del costo generalizado de los viajes típicos al trabajo dentro de un área urbana. La tabla C muestra el costo de viaje al trabajo con base en el hogar para una localidad suburbana y para la zona central de negocios. El costo ha sido estimado a partir de la siguiente expresión que proporciona el costo generalizado:

$$\text{Costo en autobus del transporte público} = 2 (\text{minutos en el vehículo}) + 5 (\text{exceso de tiempo en minutos}) + 1 (\text{tarifa}) \quad (11)$$

$$\text{Costo en automóvil} = 2 (\text{minutos en el automóvil}) + 5 (\text{exceso de tiempo en minutos}) + 0.5 (\text{cargos por estacionamiento}) \quad (12)$$

**Tabla C.- Costo Generalizado de viaje para dos tipos de viajes al trabajo.**

CONCEPTO	VIAJES SUBURBANOS		VIAJES AL CENTRO DE NEGOCIOS	
	AUTOBUS	AUTOMOVIL	AUTOBUS	AUTOMOVIL
Longitud del viaje (millas)	5	5	5	5
Velocidad promedio (mph)	12	30	10	15
Tiempo de viaje (min)	25	10	30	20
Exceso de tiempo (min)	10	2	10	4
Costo del tiempo	\$1.00	\$0.30	\$1.10	\$0.60
Costo del viaje	\$0.20	\$0.20	\$0.20	\$0.20
Costo de estacionamiento	-	-	-	\$1.00
Costo del confort	\$0.15	-	\$0.15	-
<b>TOTAL</b>	<b>\$1.35</b>	<b>\$0.50</b>	<b>\$1.45</b>	<b>\$1.80</b>

Los 15 centavos de dolar en la ecuación de costo de los autobuses representa una forma de penalización para los autobuses, que refleja la inferioridad en cuanto a características de conveniencia y confort con relación a los automóviles.

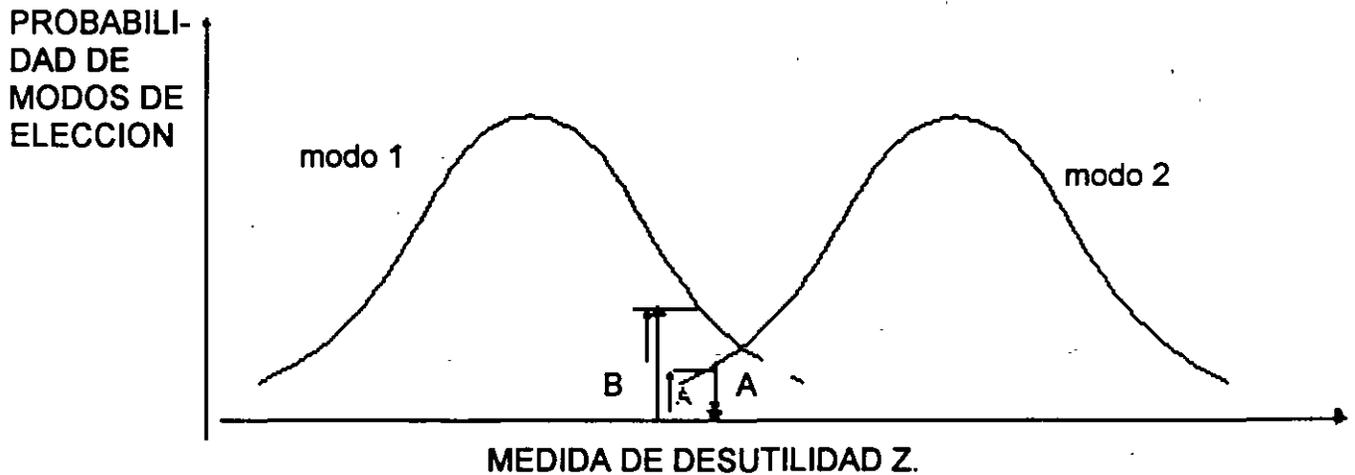
Para los viajes suburbanos al trabajo, el costo generalizado de viaje en autobus es alrededor de 2.5 veces más alto que el costo en automóvil. Uno podría concluir que los usuarios que eligen el autobus podrían no usar el transporte público, característica que ha sido observada en muchas ciudades de los países industrializados. Para los viajes al trabajo en zonas centrales de negocios (CBD) el costo generalizado de viaje en automóvil es más alto que el costo en autobus debido al componente adicional por estacionamiento, incluido en el costo generalizado. Si el costo de viaje por diferentes modos son exhibidos, tal como se muestra en la Tabla C, entonces el planificados del transporte está en una posición de explorar con facilidad la efectividad de las diferentes políticas que contribuyen a mejorar la operación del transporte público.

### **Modelos de repartición modal estocásticos y de elección binaria**

Existen actualmente un número de modelos de repartición modal que estiman la probabilidad de reparto modal en base a los costos generalizados de viaje de los modos en competencia. Han sido utilizados tres tipos de conceptos matemáticos para construir funciones de elección modal estocásticas para comportamiento individual y son: análisis discriminante, análisis probit y análisis logit.

a) **Análisis discriminante.**- La premisa básica del análisis discriminante es que la elección de los viajeros en un área urbana puede ser dividida en dos grupos de acuerdo a los modos de transporte utilizados. El objetivo es encontrar una combinación lineal de variables explicativas (variables independientes  $X_i$ ).

La figura 7 ilustra gráficamente la esencia de éste método. El diagrama muestra la distribución de frecuencias de los valores de  $Z$  (costos generalizados) para los usuarios de dos modos de transporte que están siendo observados. El mejor estimado de la probabilidad de un viaje con una manitud dada  $Z$ , digamos  $Z'$  para el modo elegido 2, es la relación de la ordenada de la distribución del modo 2 en  $Z'$  entre la ordenada del modo 1 con la ordenada del modo 2 en  $Z'$ . La mejor función discriminante es aquella que minimiza el numero de viajeros mal clasificados con respecto a los observados en los modos de transporte.



**FIG 7.- Método de la función discriminante para estimación del uso de transporte por elección.**

Quarmby ( 8 ) ha utilizado la técnica de análisis discriminante para obtener la siguiente relación para estimar la repartición modal automóvil - autobús para viajes al trabajo en el centro de Londres:

$$\Pr ( c | z ) = \frac{2.26e^{1.04(z-0.431)}}{1 + 2.26e^{1.04(z-0.431)}} \dots\dots\dots 13$$

$\Pr ( c | z )$  = Probabilidad de elegir el modo automóvil dado que la desutilidad del viaje es z.

La medida de desutilidad fue obtenida como una función de diferencias en el tiempo total de viaje, tiempo de viaje en exceso, costos e ingresos de las variables involucradas.

Talvitie ( 9 ) ha demostrado que si z está normalmente distribuida, las siguientes expresiones pueden ser obtenidas para estimar la probabilidad de fomentar la modalidad en una situación de elección binaria.

$$\Pr ( m = 1 \mid ij ) = \frac{e^{x+Ln(x/y)}}{1 + e^{x+Ln(x/y)}} \dots\dots\dots 14$$

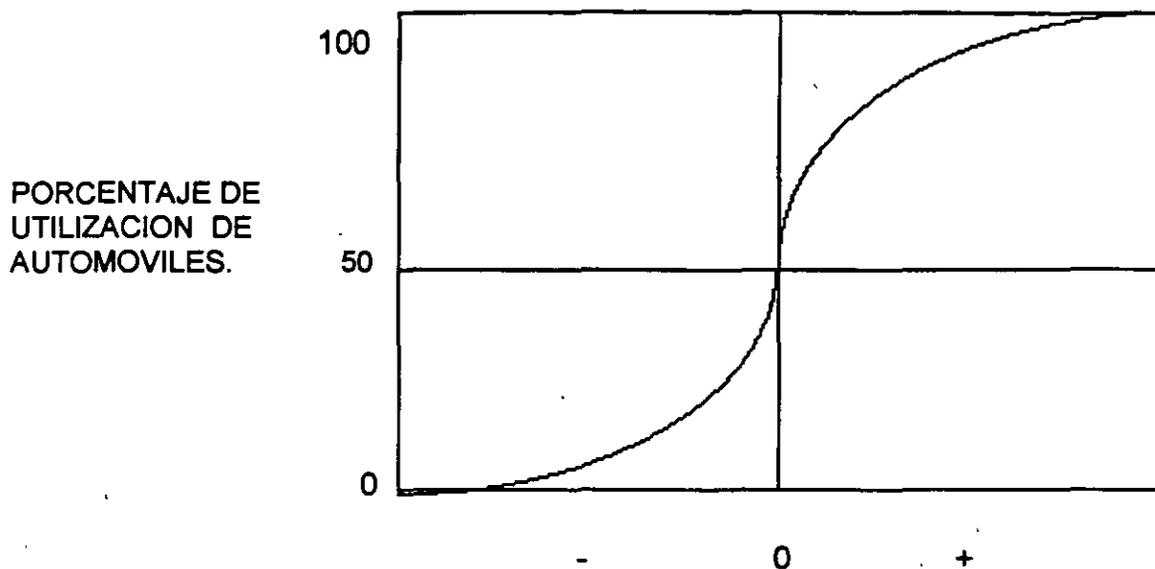
$$\Pr ( m = 2 \mid ij ) = \frac{1}{1 + e^{x+Ln(x/y)}}$$

Donde:

$\Pr ( m \mid ij )$  = Probabilidad de que un individuo usará el modo  $m$  dado que el viaje se realizará entre la zona  $i$  y  $j$ .

$x, y$  = Las probabilidades de prioridad de los miembros de grupo  $m = 1$  y  $m = 2$ , respectivamente.

b) Análisis Probit.- Warner ( 10 ), Lisco ( 11 ) y Lave ( 12 ) han obtenido modelos binarios de elección modal utilizando técnicas de análisis estadístico conocidas como análisis Probit. Este concepto se basa en la premisa de que los viajeros de elección están sujetos a magnitudes cambiantes de corto viaje, proporción de viajero que responden eligiendo un modo en particular de transporte, siguiendo el tipo de relación ilustrada en la figura ( 8 ).



COSTO DEL TRANSPORTE PUBLICO - COSTO DEL AUTOMOVIL

**FIG. 8 - Función de uso de transporte del tipo probit.**

Este diagrama es una representación hipotética de la proporción de viajes que podrían usar los automóviles con base en la diferencia entre el costo generalizado de utilizar el transporte público menos costo generalizado de utilizar el automóvil.

Cave [ 12 ] ha obtenido la siguiente ecuación para estimar la probabilidad de utilizar la modalidad autobús - automóvil de un conjunto de datos de 1956 para el área de Chicago, utilizando el análisis probit.

$$Y = -2.08 + 0.00759 K'W \Delta T + 0.0186 \Delta C - 0.0254 IDC_c + 0.0255 A \dots\dots\dots ( 15 )$$

$$R^2 = 0.379$$

Donde:

Y = variable binaria con magnitudes positivas que significan viajeros en transporte público y magnitudes positivas que significan viajeros en automóvil.

K WΔT = diferencia en tiempo entre los modos por el índice de salarios de los viajeros y su preferencia marginal por tiempos perdidos.

IDC<sub>c</sub> = un binario valuado por la variable de confort multiplicada por ingresos y distancias de viaje.

A = edad del viajero.

C) Análisis logit.- Stopher [ 13 ] a utilizado una técnica conocida como análisis logit para construir una función del modelo de reparto estocástico. El modelo logit tiene la siguiente forma:

$$Pr = ( m = 1 / ij ) = \frac{1}{1 + e^{z_{ij}^*}} \dots\dots\dots ( 16 )$$

$$Pr = ( m = 2 / ij ) = \frac{1}{1 + e^{z_{ij}^*}} \dots\dots\dots ( 17 )$$

Donde:

$Z_{ij}^*$  = alguna función del costo generalizado de viaje para los modos  $m = 1$  y  $m = 2$

En la ecuación :  $Z_{ij}^* = a_n \Delta X_{nij} + b_w \mu_w + C ; \dots\dots\dots ( 18 )$

$$n = 1, \dots\dots\dots, n$$

$$w = 1, \dots\dots\dots, w$$

donde  $Z_{ij}^*$  = diferencia de costos generalizados de viaje entre las zonas i y j.

$\Delta X_{nij}$  = diferencia entre la característica " enésima " del sistema entre dos modos.

Pero también podría ser definida como relaciones de costos generalizados o como logaritmos de relaciones de costos generalizados.

Stopher [ 13 ] ha propuesto un modelo de reparto modal de la siguiente forma:

$$Pr ( m = c ) = a ( c_1 - c_2 ) + b ( t_2 - t_1 ) + d \quad \dots\dots\dots ( 19 )$$

Donde:

$Pr ( m = c )$  = probabilidad de que los viajeros utilicen automóvil.

$c_1 , c_2$  = Costo de recorrido por viajar en automóvil y en transporte público respectivamente

$t_1 , t_2$  = los tiempos de viaje en automóvil y en transporte público, respectivamente.

$a , b$  = parámetros determinados empíricamente con la relación  $b/a$  representando el valor que implica el tiempo de viaje.

Stopher ha reportado las siguientes ecuaciones para viajes en dos localidades de empleo en el centro de Londres.

$$Pr ( m = c ) = 0.0076 ( c_1 - c_2 ) + 0.00529 ( t_2 - t_1 ) + 0.331 \quad \dots\dots\dots ( 20 )$$

$$Pr ( m = c ) = 0.0057 ( c_1 - c_2 ) + 0.00599 ( t_2 - t_1 ) + 0.291 \quad \dots\dots\dots ( 21 )$$

Stopher a puntualizado que el modelo lineal de la ecuación (19) puede obtener probabilidades mayores a 1 ó menores que cero para magnitudes muy grandes del costo y de las diferencias de tiempos. Stopher ha demostrado que la ecuación de la curva logística dada por ( 16 ) puede ser transformada como sigue:

$$\log e \left[ \frac{Pr(m=c)}{1-Pr(m=c)} \right] Z' = a' ( c_1 - c_2 ) + ( t_2 - t_1 ) + d' \quad \dots\dots\dots ( 22 )$$

Si se considera que el valor del tiempo permanece sin cambio en estas transformaciones, esto es  $b'/a' = b/a$ , entonces  $a' = \log e [d/(1-d)]$ . La figura 9 muestra los modelos lineal y logístico elaborados por Stopher para viajes de empleados al Condado Hall en Londres.

Deberá observarse que cada uno de los modelos produce relaciones de forma S del tipo ilustrado en la figura II. Tanto Talvitie [a] como Stopher y Lavender [14] han llevado a cabo estudios comparativos de estos tres métodos.

Talvitie concluyó en un estudio que : " los métodos de estimación, comúnmente utilizados en los modelos de elección modal probabilísticos, análisis probit , logit y discriminante todos tienen resultados comparables. cualquiera de ellos puede ser usado con igual éxito".

Por otro lado, Stopher y Lavender concluyeron en su estudio que: " Se encontró que el análisis discriminante fue claramente inferior que los análisis probit o logit. Sin embargo , no hay una diferencia entre probit y logit con base en los reportes estadísticos. Debido a que en los análisis probit el proceso de calibración consume un mayor tiempo que los análisis logit y da un modelo difícil de manejar, los autores recomiendan que los análisis logit se consideren como la técnica preferida para estos modelos. " Las conclusiones de este análisis comparativo deberán ser calificadas debido a la cantidad limitada de datos disponibles por parte de los investigadores.

#### **4.5 Modelos de uso modal de dos etapas.**

Existe un modelo de uso de transporte el cual reconoce en forma explícita la existencia de pasajeros cautivos y de elección en el transporte público [15] [ 16 ]

El amplio flujo de actividades involucradas en este modelo de uso de transporte se muestra en la figura 10 . El modelo procede primero a identificar tanto la producción como la atracción de viajes de los usuarios cautivos y de elección del transporte público en forma separada. Los dos grupos de usuarios desde sus orígenes a los destinos.

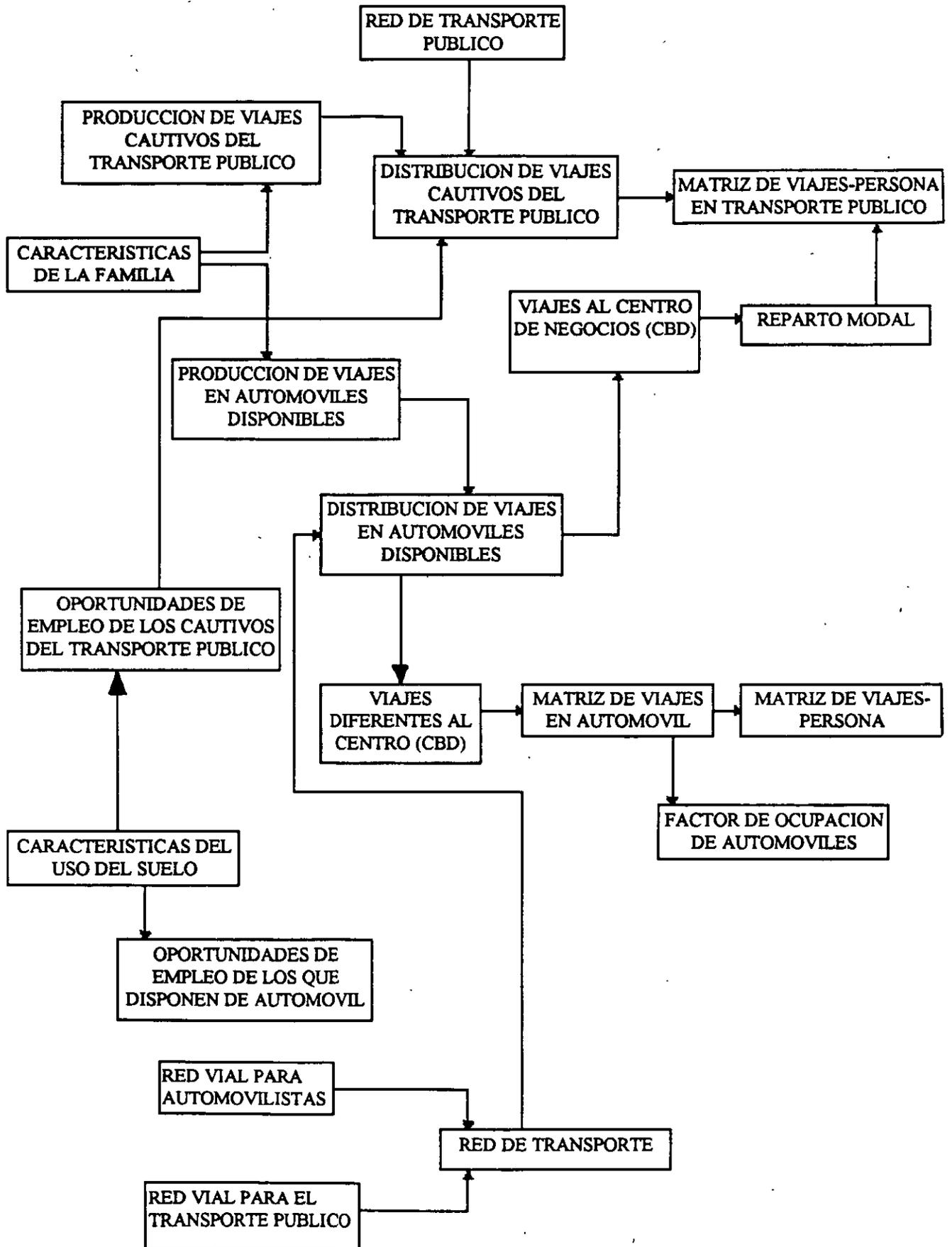


Fig. 10.- Diagrama de flujo para un modelo de reparto modal de dos etapas

Los usuarios de elección del transporte público se reparten entre el transporte público y los automóviles de acuerdo a un modelo de uso de transporte el cual manifiesta las características relativas de el viaje por transporte público y el viaje por automóvil.

La figura 11 muestra una gráfica general que relaciona la proporción de usuarios cautivos y de elección en el transporte público en una área urbana contra la población de la misma [ 17 ]. la razón principal por la cual se incrementan los usuarios de elección en las grandes ciudades es que solo en estas ciudades existe un sistema de transporte público que es eficiente e integral. es interesante advertir de la fig. 11 que aun en ciudades de 1 a 2 millones de habitantes los usuarios cautivos representan del 85 al 95 porciento de los usuarios del transporte público.

En muchas ciudades los usuarios cautivos están severamente restringidos en la elección tanto de vivienda como de empleo. estudios realizados en varias ciudades demuestran que los viajes cautivos tienden a agruparse en zonas que están bien servidas por el transporte público. El reto para los modelos de uso de transporte de dos etapas es el de poder formular una técnica que utiliza información normalmente disponible en áreas urbanas y que puede ser pronosticada fácilmente para años futuros.

Producciones zonales de viajes al trabajo desagregada en usuarios cautivos y de elección del transporte público pueden ser estimados como sigue:

$$P_i^q = h_i \cdot t \cdot P^q$$

Donde:

$P_i^q$  = número de viajes al trabajo producidos en la zona y para el tipo q de usuarios , q = 1 = pasajeros cautivos del transporte público ; q = 2 = pasajeros de elección del transporte público.

$h_i$  = número de familias en la zona y

$t P^q$  = tasa de producción de viajes al trabajo para usuarios del grupo q, la cual es una función del estatus económico de una zona y el número promedio de personas empleadas por familia.

Las zonas pueden ser clasificadas en clases económicas dependiendo del ingreso del jefe de familia dentro de una zona. Para más detalle ver 3.6 Hutchinson " Principles of Urban Transport , Systems planning" Ed 1974 ( pag 70 - 78 )

#### **4.6 Resumen del Uso de los Modos de Transporte.**

Muchos estudios que fomentan los modos de transporte urbano han demostrado que para propósitos de estimación de usuarios de elección modal deberán ser considerados dos grupos separados que en este documento se les denomina como usuarios cautivos y usuarios de elección del transporte público. Los usuarios cautivos se definen como aquellos viajeros que no poseen un automóvil para realizar los viajes que están siendo estudiados. Los usuarios de elección del transporte público se definen como aquellos viajeros que pueden elegir libremente entre el transporte público o un automóvil particular para desplazarse.

El estatus cautivo o de elección está gobernado por el ingreso, sexo y edad de los usuarios. Para tomar la decisión de elección en el transporte modal, los usuarios son influidos por las propiedades del servicio de los modos de transporte que compiten, tales como tiempo de viaje en el vehículo, tiempos de viaje en exceso, costos de desembolso y la conveniencia en términos generales del viaje.

Los primeros modelos de uso del transporte fueron del tipo denominados como modelos de extremo de viaje y modelos de intercambio de viajes. los modelos de extremo de viaje son utilizados entre las fases de generación de viajes y la distribución de viajes mientras que modelos tipo intercambio de viajes se emplean entre las fases de distribución de viajes y la asignación de tránsito. Estos primeros modelos de reparto modal no distinguían claramente la división entre usuarios cautivos y de elección. Los modelos del tipo de extremo de viaje tienden a enfatizar en los usuarios cautivos mientras que los modelos del tipo de intercambio de viaje lo hacen sobre los usuarios de elección.

t  $P^q$  = tasa de producción de viajes al trabajo para usuarios del grupo q, la cual es una función del estatus económico de una zona y el número promedio de personas empleadas por familia.

Las zonas pueden ser clasificadas en clases económicas dependiendo del ingreso del jefe de familia dentro de una zona. Para más detalle ver 3.6 Hutchinson " Principles of Urban Transport , Systems planning" Ed 1974 ( pag 70 - 78 )

#### **4.6 Resumen del Uso de los Modos de Transporte.**

Muchos estudios que fomentan los modos de transporte urbano han demostrado que para propósitos de estimación de usuarios de elección modal deberán ser considerados dos grupos separados que en este documento se les denomina como usuarios cautivos y usuarios de elección del transporte público. Los usuarios cautivos se definen como aquellos viajeros que no poseen un automóvil para realizar los viajes que están siendo estudiados. Los usuarios de elección del transporte público se definen como aquellos viajeros que pueden elegir libremente entre el transporte público o un automóvil particular para desplazarse.

El estatus cautivo o de elección está gobernado por el ingreso, sexo y edad de los usuarios. Para tomar la decisión de elección en el transporte modal, los usuarios son influidos por las propiedades del servicio de los modos de transporte que compiten, tales como tiempo de viaje en el vehículo, tiempos de viaje en exceso, costos de desembolso y la conveniencia en términos generales del viaje.

Los primeros modelos de uso del transporte fueron del tipo denominados como modelos de extremo de viaje y modelos de intercambio de viajes. los modelos de extremo de viaje son utilizados entre las fases de generación de viajes y la distribución de viajes mientras que modelos tipo intercambio de viajes se emplean entre las fases de distribución de viajes y la asignación de tránsito. Estos primeros modelos de reparto modal no distinguían claramente la división entre usuarios cautivos y de elección. Los modelos del tipo de extremo de viaje tienden a enfatizar en los usuarios cautivos mientras que los modelos del tipo de intercambio de viaje lo hacen sobre los usuarios de elección.

Varios observadores han puntualizado sobre la carencia de sensibilidad de los primeros modelos de uso del transporte así como la ausencia de bases en el comportamiento por parte de los modelos.

Una mejora básica es la estimación del uso modal, lo aporta el concepto de costo generalizado de viaje en combinación con un modelo de uso modal de elección estocástica binaria. Los modelos de uso modal mas sensitivos son proporcionados por los modelos de uso modal de dos etapas que reconocen explícitamente la existencia de los usuarios cautivos y de elección.

Las relaciones de costo generalizado de viaje son usualmente preparados a partir de alguna combinación lineal ponderada de los factores que producen desagrado a los usuarios. A la fecha han sido usadas las diferentes técnicas matemáticas para desarrollar modelos estocásticos para el transporte modal de comportamiento de elección, los

## **5.- ASIGNACIÓN DE TRÁNSITO.**

Esta es la etapa final del proceso de planeación de un sistema de transportación. Habiendo dividido la totalidad de los viajes de las personas entre el transporte privado en automóviles y transporte colectivo, estos viajes deberán ser alojados en cada tramo importante.

Se requiere para el proceso de dos archivos de datos básicos. El archivo de la red de archivo de viajes.

El archivo de la red contiene información sobre las características pertinentes de cada tramo de vía , tales como:

- a. Tipo de ruta
- b. Número de carriles
- c. Capacidad
- d. Velocidad de viaje
- e. Ubicación urbana (Centro de negocios, centro comercial, residencial, suburbana, etc.)
- f. Longitud
- g. Otras características

El archivo de viajes contiene:

- a. Viajes de origen y destino
- b. Número de viajes
- c. Tipos de viajes
- d. Otros

El objetivo del proceso de asignación de tránsito es el de simular el flujo de tránsito en cada tramo de la vía pública para el área de estudio. El proceso de asignación es calibrado primero para las condiciones existentes y a continuación es usado en el pronóstico de flujos de tránsito futuro aplicados a la red vial futura.

La exactitud de la asignación de tránsito se considera en términos generados que es elevada para arterias con altos volúmenes (TPDA de 30 000 vehículos/día o más) y baja para TPDA de 5000 a 10000 veh/día. El error estándar de la estima más bajo para calles con volúmenes altos es al rededor de 20% del volumen promedio asignado y para calles con volúmenes bajos puede ser tan alto como 100%. El planificador deberá estar consciente de tales variaciones cuando use los resultados de asignación de tránsito en sus volúmenes de proyecto para propósitos de planeación de redes futuras.

La retroalimentación es esencial en la evaluación de planes de transportación alternativos, que han sido propuestas. El propósito de esta retroalimentación es permitir una evaluación del plan la cual considera no solo el nivel de servicio de la red de transportación que se espera proporcionar, sino también que el plan este de acuerdo con las metas que desea la comunidad especificadas en el grupo de directrices iniciales. A través de este último proceso, los planes deberán ser realizados y ejecutados finalmente a través de programas específicos.

Han sido elaborados varios procedimientos para asignar el tránsito futuro al sistema de transportación considerado.

- a. Asignación de trayectoria mínima única. ("Todo o Nada")
- b. Asignación por curvas de desviación
- c. Asignación estocastica o de rutas múltiples
- d. Asignación por capacidad restringida
- e. Asignación por medio de programación lineal

#### **IV) USO DE PROGRAMAS PARA COMPUTADORA EN EL PROCESO DE PLANEACIÓN DE TRANSPORTE.**

Las aplicaciones de las computadoras forman una parte integral del proceso de planificación del transporte y redes viales y los avances en los últimos 35 años en este campo en varios países, han ido invariablemente paralelos con la evolución de la tecnología de las computadoras. Sin el auxilio de la computadora el análisis de grandes cantidades de datos se convertiría en una tarea laboriosa y requeriría de una gran cantidad de tiempo que, en algunos casos, podría impedir su realización en plazos razonables. La solución de los diferentes modelos en los procesos de simulación pueden ser calibrados, completa y satisfactoriamente, solo con el uso de computadoras.

##### **1.- PRIMERAS APLICACIONES.**

La primera aplicación de las computadoras al proceso de planificación de un sistema de transporte, fue la relativa a la tabulación de la información recopilada en estudio de campo. Sin embargo, al aumentar la capacidad de almacenamiento fueron reducidas las dificultades de programación y la computadora fue utilizada para resolver los primeros modelos de distribución de viajes tales como el de Fratar, Detroit y modelos de los factores de crecimiento, de regresión múltiple, electrostático y de oportunidad.

Para el año de 1962 el proceso de planeación disponía de un paquete completo de programas aplicados a modelos de distribución y asignación, así como para los análisis de datos completos. Estos programas están archivados, documentados y disponibles para usuarios potenciales de los mismos.

En las etapas iniciales la fabricación de grandes computadoras permitió llevar a cabo cálculos y manejo de datos a altas velocidades, lo cual ha tenido un efecto muy marcado en el campo de la planeación. El desarrollo reciente de lenguajes de programación más poderosos permiten al planificador escribir sus propios programas. La gran capacidad de almacenamiento asegura que las redes viales complejas, puedan ser estudiadas con relativa facilidad.

El proceso de planeación utilizando computadoras no solo incluye el análisis de datos de estudios de campo y la estimación de la demanda para la realización de viajes, sino que pueden realizarse evaluaciones de sistemas de transporte alternativos, con el propósito de jerarquizar los diferentes proyectos.

No se pretende en esta breve exposición describir en detalle las técnicas de computación y lenguajes. Existe una bibliografía amplia a este respecto. El entendimiento de las relaciones entre las técnicas de cómputo y la planeación de sistemas de transporte es necesario así como el conocimiento de los elementos básicos de una computadora y el procedimiento para proporcionar las instrucciones a la máquina. Pero jamás deberá soslayarse el entendimiento y comprensión cabal de los conceptos, teoría y principios del proceso de planificación de los sistemas de transporte que constituye el enfoque medular del fenómeno de la movilidad urbana y regional.

**Programas para análisis de datos de campo.-** Antes del advenimientos de los computadores, estos datos eran procesados manualmente o usando tabuladores de tarjetas perforadas. Por consecuencia existían limitaciones severas en los estudios para que pudieran ser realizados. Actualmente la aplicación de las computadoras ha venido a simplificar las labores del planificador.

**Programas para generación de viajes.-** Dos métodos básicos están actualmente en uso para el pronóstico de generación de viajes los que se basan en el análisis de regresión lineal múltiple y los que se apoyan en el análisis por categorías (también llamados análisis cruzado). Los programas para regresión múltiple se obtienen generalmente de paquetes estadísticos.

**Programas para distribución de viajes.-** El problema de estimar el flujo de tránsito interzonal es de gran importancia en el proceso de planeación y han sido elaborados

un grupo numeroso de modelos para distribuir los movimientos entre las diferentes zonas.

Sin embargo, los modelos básicos usados ampliamente son el modelo gravitacional, los modelos de factores de crecimiento (Fratrar o Furness), de programación lineal y de oportunidad que tiene una base probabilística.

**Programas para repartición de viajes en los modos de transporte.**- Tres tipos de conceptos matemáticos han sido usados para construir modelos estocásticos utilizados en la repartición modal y son: análisis discriminante, análisis probity y análisis logit. De un estudio realizado por Stopher y Lavender se concluye que el análisis discriminante fue inferior al análisis probit o logit, sin embargo no encontraron una distinción señalada entre el probit y el logit. El análisis probit consume un mayor tiempo para su proceso de calibración que el análisis logit, por lo que los autores recomiendan el análisis logit como la técnica preferida para estos modelos.

**Programas para asignación de tránsito.**- La asignación de tránsito intenta predecir como será repartida un volumen de tránsito, clasificado en individual y colectivo en un sistema vial de una zona urbana o región. Actualmente se disponen de los siguientes procedimientos con sus correspondientes programas de computadora: Modelo absoluto (All or Nothing), Modelo a base de curvas de desviación, modelo de capacidad restringida, modelo de asignación de rutas múltiples y modelos de programación lineal.

## **2.- APLICACIONES RECIENTES.**

Las aplicaciones recientes para el modelaje en la planeación del transporte urbano con base en computadoras personales incluye:

- a.- Trabajos nuevos o revisiones minuciosas sobre enfoques para análisis de impacto local.
- b.- Evaluaciones de estrategias para administración de demanda de viajes.
- c.- Integración de modelos de planeación de transporte con los sistemas de información geográfica.
- d.- Modelación de interacciones simultáneas de transportación - uso de suelo.
- e.- Introducción de interfases gráficas, uso más accesible de los programas, manejo más versátil y una mayor integración de los mismos.

Las microcomputadoras personales constituyen actualmente una excelente herramienta para el análisis de impacto local, los cuales se aplican en escalas geográficas limitadas y frecuentemente requieren ser concluidos rápidamente. Los modelos de hojas para cálculo electrónico tales como los que se usan en el modelo SITE (Institute for Transportation Research and Education 1987) permiten al analista introducir datos de uso de suelo directamente. Los programas THE, QRS y SYSTEM II están especialmente diseñados para ser usados en escalas pequeñas para análisis.

Los modelos de pronóstico para la demanda de viajes regionales a gran escala también pueden ser usados para análisis de impacto local dividiendo las zonas grandes en zonas más pequeñas y agregando más arcos a la red en la vecindad inmediata al lugar en estudio.

Una comparación de varios programas para planeación de transporte han detectado que las fronteras en las áreas estudiadas tienen una gran influencia sobre los resultados del modelo en general que sobre los programas de modelación particular (Swindler 1991). Los resultados de los modelos fueron más confiables en el centro del área en estudio que cerca de las fronteras. Por consecuencia es crucial localizar el lugar de estudio en el centro del área de modelación para reducir estos efectos de frontera. En términos generales los paquetes de programas para planeación del transporte tienden a incrementarse indeseablemente cuando el tamaño de los desarrollos disminuye.

---

Actualmente existen pocas combinaciones de modelos de transportación con sistema de información geográfica.

Los japoneses (Aoyama 1989) y los Europeos (Webster, Bly, y Paniltey 1988) han advertido que realizan mayores avances en los modelos de interacción transporte - uso de suelo que los Estados Unidos. Estos modelos pueden ser de un gran uso para los países en proceso de desarrollo que experimentan rápidas urbanizaciones donde los recursos financieros son escasos y las inversiones para utilidad pública y transporte colectivo pueden conducir a expansiones urbanas inapropiadas a lo largo de rutas (de la Barra 1989).

### **3.- PAQUETES DE PROGRAMAS PARA PLANIFICACIÓN DEL TRANSPORTE EN MICROCOMPUTADORAS PERSONALES.**

Se mencionan a continuación en forma breve once paquetes en uso para microcomputadoras personales.

a.- **EL EMULADOR VIAL (THE):** Es un programa que no proporciona ni gráficos ni entrenamiento y muy poco apoyo técnico. Sin embargo, debido a su simplicidad el

programa requiere poco entrenamiento. El programa está disponible solicitándolo al personal que lo elaboró sin cargo alguno. Se usa principalmente para análisis de impacto local, aplicándose a desarrollos regionales y en áreas urbanas pequeñas o en áreas suburbanas de grandes ciudades. Este paquete es uno de los pocos que pueden ser usados para preparar tablas de viajes de origen y destino con base en aforos de tránsito.

- b.- **QUICK RESPONSE SYSTEM (QRS):** El QRSII se obtiene del Reporte 187 de la National Cooperative Highway Research Program, en donde se describe el sistema de respuesta rápida preparado por la Federal Highway Administration para un proceso de planeación esquemática y análisis de impacto local en áreas rurales y urbanas pequeñas. A pesar de que el QRSII ha sido muy ampliado desde su introducción es todavía una herramienta principalmente para aplicaciones de la planificación del transporte en áreas pequeñas. Debido a que el QRSII utiliza valores supuestos (Default) durante todas las etapas del modelaje, es quizá el paquete más sencillo de aprender y usar.
- c.- **TRIPS:** TRIPS es un producto Británico utilizado ampliamente en Europa. El paquete TRIPS se distingue por su algoritmo de asignación de rutas dinámico y muy poderoso, el cual considera explícitamente cambios temporales en el tránsito congestionado y en las intersecciones. Esto hace que TRIPS sea particularmente útil para modelación de redes altamente congestionadas o flujos muy saturados. TRIPS incluye muchas características las cuales pueden obtenerse con un costo adicional.
- d.- **TransCAD:** TransCAD fue el primer programa para planeación del Transporte en microcomputadoras personales que combinan un sistema de información geográfica (GIS) con un modelo totalmente integrado de planeación. TransCAD fue también el primero que ofreció un conjunto de visualizaciones en pantalla (menú) totalmente integrado. La construcción de redes en TransCAD puede constituir un gran reto aún para los expertos.
- e.- **MINUTP:** MINUTP se basa en una variedad de programas sobre planificación del transporte elaborado a través de varios años, como una respuesta a las necesidades de diversos clientes. Por ejemplo fue desarrollado recientemente un programa para evaluación administrativa de demanda de viajes (travel demand management) para ser usado conjuntamente con MINUTP). Existen varias versiones del paquete de cómputo MINUTP con diferentes capacidades de análisis, desde 50 hasta 2000 zonas. El desarrollo del MINUTP se basa en los modelos del paquete de cómputo conocido como UTPS, que anteriormente solo podía ser utilizado en grandes computadoras ("mainframe"). En la última versión del MINUTP se ha hecho énfasis en la orientación hacia el usuario, ya que ésta era una de las

mayores deficiencias del UTPS original. Este paquete solamente es compatible con el sistema operativo MS-DOS.

F.- **TMODEL2:** TMODEL2 es uno de los programas más antiguos para la planeación del transporte utilizado en microcomputadoras personales. El programa trata las redes para diferentes modos de transporte en forma separada, asignando la repartición modal antes de la distribución de viajes. El programa calcula demoras en las intersecciones con fórmulas con variables internas, en lugar de utilizar demoras fijas como constantes internas.

g.- **TRANPLAN:** TRANPLAN es uno de los paquetes más utilizados en microcomputadores personales. Aunque no es un paquete que ofrezca las diversas versiones de procedimientos de asignación para ruta, permite todas las opciones normales asociadas con el proceso tradicional de cuatro pasos para la planificación del transporte. TRANPLAN se ve favorecido en áreas donde la estimación de viajes y la asignación tienen implicaciones legales o cuando los organismos de planificación requieren respuestas de modelos estandarizados.

h.- **SYSTEM II:** Una empresa consultora norteamericana desarrolló la versión comercial de SYSTEM II recientemente. Esto lo coloca como el modelo más reciente en el mercado. Sin embargo, JHK lo ha desarrollado durante varios años. SYSTEM II incluye algunos elementos de sistemas de información geográfica así como una gran variedad de nuevas características diseñadas especialmente para ser utilizadas en los análisis de impacto local.

i.- **EMME/2:** "El paquete EMME/2 es un producto canadiense y es el primero de su tipo que desde su origen incluyó un modelo gráfico para construir, modificar y actualizar, directamente en el monitor, las redes vial y de transporte público. Existen varias versiones del EMME/2 para seis equipos de cómputo diferentes y para diez capacidades de análisis, desde 200 hasta 2000 zonas.

De una manera general se puede afirmar que el paquete de cómputo EMME/2 cumple ampliamente con todos los criterios de evaluación estipulados para el análisis de la demanda del transporte". EMME/2 proporciona la mejor documentación como paquete para la planificación del transporte. EMME/2 no incluye valores supuestos (default) considerando que el usuario tendrá la habilidad para conformar un modelo apropiadamente y deberá ser cuidadoso y reconocer las limitaciones potenciales. El paquete EMME/2 no está diseñado para principiantes y es muy apreciado por las modalidades más avanzadas. EMME/2 y TRANPLAN son paquetes que pueden ser utilizados con el sistema operativo UNIX. el paquete EMME/2 es completamente interactivo y su capacidad gráfica es

mucho mayor a los paquetes mencionados en este resumen. Las fases de Uso de Suelo y Generación, se realizan fuera del paquete.

- j.- **MOTORS:** El paquete MOTORS está disponible en dos versiones dependiendo de la configuración de la computadora, en relación, con la existencia de un disco duro. La capacidad máxima de análisis del MOTORS es de solamente 400 zonas. El paquete solo puede ser utilizado con el sistema operativo MS-DOS. Existen varias restricciones en la utilización de éste paquete, en relación con otros. En términos muy generales puede decirse que este paquete puede aplicarse para ciudades de tamaño intermedio o pequeño.
- k.- **MICROTRIPS:** La capacidad máxima de análisis del paquete de cómputo es de 2000 zonas. En el modelo de generación de viajes se pueden utilizar un número máximo de 3 propósitos de viaje en cada "corrida". Aunque MICROTRIPS cuenta con un módulo gráfico, es difícil compararlo a este con los módulos gráficos de otros paquetes. MICROTRIPS solo funciona con el Sistema Operativo MS-DOS. Este paquete no dispone de menús para facilitar su utilización.

### 3.- PROBLEMAS EN LA MODELACIÓN.

Coor, Lewis y Mine (1989) han sugerido que los problemas más importantes para la utilización de los modelos para la planeación del transporte son de orden práctico y no teórico. Esto puede constituir una consideración importante para la evaluación de la efectividad de los modelos utilizados en microcomputadoras personales. Los problemas prácticos abundan.

- a) **Capacitación insuficiente.** Los investigadores reclaman frecuentemente al personal práctico ser poco receptivos para las nuevas ideas y para los modelos mejorados para el pronóstico de demandas de viajes. Aun se ignora mucho a pesar de las investigaciones que se ha realizado en los últimos veinte años. Los educadores continúan impartiendo solo las instrucciones básicas y tradicionales a estudiantes en el uso de programas. Son escasos los organismos que requieren o utilizan los modelos de planificación del transporte y a nivel académico es necesario un mayor esfuerzo para difundir el conocimiento en este campo.
- b) **Datos inadecuados.** Existe una carencia general de datos detallados, actualizados o aun datos relevantes para el modelaje en la planificación. El desconocimiento del proceso y de las variables relevantes que intervienen en el mismo conforman una barrera para la utilización de los modelos. La carencia de bases de datos constituyen el lugar común de los organismos que intentan realizar este proceso de planificación.

- c) **Calibración impropia de los modelos.** Frecuentemente se realizan esfuerzos insuficientes para calibrar con precisión los modelos. Esto se debe probablemente a que existen escasa normatividad en este campo profesional para determinar si la calibración de un modelo en particular es adecuado para propósitos de planificación. En el mejor de los casos, el criterio es la norma para evaluación más común y los análisis retrospectivos son una rareza en nuestro medio.
- d) **Aplicación inapropiada de los modelos.** Los planificadores usan, algunas veces, los modelos de una manera inapropiada para las escalas de análisis, tanto grandes como las pequeñas. Ninguno de los paquetes está conformado para análisis de impacto local a escalas muy pequeñas; por ejemplo, para intersecciones simples. Los primeros dos paquetes antes mencionados, son inapropiados para modelación regional detallada en zonas urbanas pequeñas, o para un proceso de planeación esquemática a nivel regional o para ciudades grandes.
- d) **El Síndrome de la Caja Negra.** Las estructuras de los modelos cerrados pueden ocultar problemas debido a los datos o errores debidos a la programación. Sin embargo, las estructuras de los modelos abiertos para programas complejos son escasamente la solución para el síndrome de la caja negra que continua invadiendo los esfuerzos en la modelación. Los nuevos procesos que facilitan el uso de modelos, manejo de, interfases interactivas, popularización de programas de microcomputadoras, muestran ser una mezcla ventajosa si contribuyen a facilitar al usuario a evitar errores en el complejo proceso de la modelación.

## V. ALGUNAS REFLEXIONES FINALES

La planificación del transporte, tal como se le conoce actualmente (1997) es el resultado de los cambios experimentados de tipo socioeconómicos, políticos y, tecnológicos en los países más desarrollados y más recientemente en los países en proceso de desarrollo.

Este proceso se inició a principios del siglo XX. Hasta los años "treintas" las decisiones sobre planificación del transporte se basaron en estrategias políticas (tal como se realiza actualmente en los países en proceso de desarrollo) y aun en consideraciones intuitivas de algunas personas. Durante los siguientes veinticinco años se dio el primer paso para mejorar la estimación de la demanda futura para el transporte, cuando fueron obtenidos los volúmenes de tránsito en las vialidades existentes y utilizados para elaborar algunas técnicas de pronóstico incipientes.

Después, en los años "cincuentas" surgieron enfoques con un carácter más científico cuando la demanda de recorridos se relacionó con factores socioeconómicos, tales como uso de suelo y el estudio de los viajeros de elección modal. Estos nuevos

métodos fueron iniciados en Norteamérica y fueron adoptados en muchas ciudades Europeas.

Solo a principios de los "sesentas" comenzó una nueva era en la planificación del transporte: Se inició en los países desarrollados un enfoque de modelación del transporte a largo plazo y con carácter integral. Las técnicas partieron de modelos matemáticos que intentaban reproducir la interacción existente entre el uso de suelo y el sistema de transportación. Los niveles de empleo, los ingresos y la posesión de automóviles fueron utilizados para modelar las condiciones existentes y algunas consideraciones con respecto al crecimiento de estos factores fueron analizados para definir pronósticos futuros.

A mitad de la década de los "setentas" los propósitos, precisión y complejidad de los modelos para la planificación del transporte fueron severamente criticados (Atkins<sup>1</sup>). Se demostraron las fallas de los modelos para el pronóstico de tránsito con observaciones directas en el tiempo (Mchinder y Evans<sup>2</sup>).

A pesar de las múltiples críticas, los modelos de transporte han sido utilizados ampliamente en los esquemas de planeación y proyectos de los países desarrollados. Estas mismas técnicas han sido adoptadas por los países menos desarrollados.

Durante los "ochentas" y los "noventas", el desarrollo de nuevas técnicas, conjuntamente con las mejoras en la capacidad y potencia de los computadores ha proporcionado una gran confianza en la modelación con respecto a la que se les dispersaba en las dos décadas anteriores.

Aunque no hay una definición universalmente aceptada de los que se conoce como "países en proceso de desarrollo o países del tercer mundo" pueden ser considerados, según Dimitriou<sup>3</sup>, bajo los siguientes rubros:

- Dependencia del mundo industrializado.
- Fenómeno de crecimiento rápido en las principales tendencias socioeconómicas.
- Una economía dura con múltiples desigualdades.
- Un papel dominante del sector público en el desarrollo nacional.

---

<sup>1</sup> ATKINS. S.T. Transportation planning-Is there a road ahead? Traff. Engng Control, 18. 1977 58-62.

<sup>2</sup> MACKINDER. I. H. and S.E. Evans. The predictive accuracy of British transport studies in urban areas. TRRL Supplementary Report ST 699. Transport and Road Research Laboratory. Crowthorne. 1981.

<sup>3</sup> DIMITRIOU. H.T. (Ed.) Transport Planning for Third World Cities (Chapter 4. Transport and Third World city development). Routledge. London. 1990.

Estos rubros imprimen al transporte una característica peculiar muy diferente al del transporte en el mundo desarrollado. Las principales diferencias pueden dividirse en dos grupos:

**1) Características socioeconómicas y políticas:**

- a.- Recursos económicos escasos.
- b.- Infraestructura deficiente que da como consecuencia altos costos de operación y un elevado índice de accidentes.
- c.- Altos niveles de emigración de las zonas rurales a las zonas urbanas, las cuales crecen en forma rápida demográfica y especialmente, agravados por controles de natalidad inadecuados.
- d.- Crecimiento rápido del parque de automóviles; aunque solo para algunos grupos sociales.
- e.- Bajos y desiguales niveles de ingresos con una diferencia muy marcada entre la riqueza y la pobreza, la cual en muchos casos es una consecuencia de las implicaciones sociales del poscolonialismo y de la fuerte dependencia y endeudamiento con los países industrializados.
- f.- Escaso entrenamiento apropiado de los profesionales dedicados al transporte.
- g.- Alta dependencia del transporte colectivo.
- h.- Ausencia de estructuras institucionales para la planeación del transporte o las que existen no cumplen cabalmente con sus atribuciones.
- i.- Altos niveles de analfabetismo que dan por resultado bajos niveles de educación de los conductores.
- j.- Carencia de control y reglamentación en el uso de suelo.
- k.- Insuficiente investigación relacionada con el transporte urbano y rural y por consecuencia una vigorosa dependencia de la tecnología desarrollada en países industrializados.

**2) Características relativas al tránsito.**

- a.- Carencia de datos confiables y de métodos estandarizados para su recopilación

- b.- Deficiente señalamiento informativo, iluminación y marcas de pavimento como elementos complementarios de la vialidad, tanto en el ámbito carretero como en la vialidad urbana.
- c.- Pobre comportamiento de los conductores.
- d.- Estacionamiento en la calle sin control.
- e.- Carencia de una vigilancia de tránsito adecuada
- f.- Composición del tránsito muy diversificada con altos niveles de vehículos de transporte público (tanto informal como formal).
- g.- Un número importante de viajes realizados a pie.
- h.- Proliferación de vendedores ambulantes.
- i.- Elevados índices de accidentes y cuantiosas pérdidas humanas (muertos y heridos) y considerables pérdidas materiales.

Todas éstas características no necesariamente puedan ser atribuidas a un país en proceso de desarrollo, pero es un fenómeno común en ellos. Al mismo tiempo la intensidad de una característica puede variar de un país a otro.

Una revisión de las técnicas para análisis de la demanda de viajes (Bastes y D Dasgupta<sup>4</sup>) ha revelado muchas debilidades de los modelos convencionales de cuatro etapas. Su revisión concluye que: "Los modelos son calibrados con base en datos que en términos generales no son adecuados para simular cambios en el tiempo: las dos formas de interacción entre el transporte y el uso de suelo no están representadas en el proceso de modelación; solo un rango limitado de las determinantes de largo plazo de los viajes (tales como la población y el empleo) son introducidos en forma exógena, haciendo que los modelos sean excesivamente dependientes de elementos externos para el pronóstico.

Las redes de transporte público y privado se representan en forma separada de tal manera que no existe interacción entre el congestionamiento y la operación de los autobuses.

La modelación omite con frecuencia los viajes a pie que tienen una relevancia mayor en los países en proceso de desarrollo.

Cuando se ve el lado matemático de los modelos, las condiciones prevalecientes del tránsito en los países del tercer mundo hacen que los modelos sean absolutos o no utilizables sin realizar previamente ajustes significativos en los principios básicos. Por ejemplo los modelos de asignación más avanzados consideran, cuando se modelan movimientos en las intersecciones de circulación, lo cual no siempre se cumple en los países en proceso de desarrollo.

<sup>4</sup> BATES J.J. and M. DSGUPTA. Review of techniques of travel demand analysis. TRRL Contractor Report 186. Transport and Road research Laboratory. Crowthorne. 1990..

### 3CONCLUSIONES

Las características peculiares de los países del tercer mundo tales como la carencia de un número relevante de profesionales calificados para atender el proceso de planificación del transporte, una inadecuada estructura institucional, muy rápida urbanización, una inapropiada mezcla de vehículos utilizados para el transporte colectivo y desigualdad en los niveles socioeconómicos, han sido enarbolados como las razones importantes para que las técnicas utilizadas por países occidentales sean inapropiados para ser usadas en los países en proceso de desarrollo.

La transferencia de tecnología deberá estar acompañada de un conocimiento profundo del medio al cual será aplicada y comparando cuidadosamente el medio donde se originó esa tecnología. Una vez que se hayan obtenido las modificaciones y agentes de la tecnología entonces deberá aplicarse; o, en su caso, deberán prepararse nuevas técnicas más adecuadas al medio o contexto en estudio.

Sin lugar a dudas, la investigación es necesaria para elaborar o adecuar la transferencia de técnicas occidentales para países del tercer mundo. Sin embargo esta investigación no deberá ser una simple calibración de los modelos existentes con objeto de obtener un entendimiento claro de las ventajas y debilidades de las técnicas existentes.

## BIBLIOGRAFIA

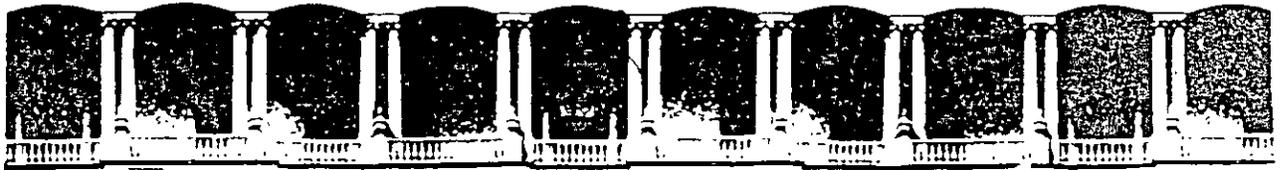
- Archer, E., and J.H. Shortreed.  
Potencial Demands for Demand Scheduled Buses  
Highway Research Record N° 367, Highway Research Board  
Washington, Dic. 1971.
- Talvitie, A.  
Comparison of Probabilistic Modal choice Models:  
Estimation Methods and System Inputs, Highway Research Record N° 392,  
Highway Research Board  
Washington, D.C., 1972
- Vandertol, A.,  
Transit Usage Estimates from an Urban Travel Demand Model,  
M.A. Sc. thesis. Department of Civil Engineering, University of Waterloo,  
Ontario, 1971
- Stopher, P.R., and J.O. Lavender  
Disaggregate, Behavioral Travel Demand Models:  
Empirical Tests of Three Hypotheses, Proceedings, Transportation Research Forum,  
Oxford,  
Indiana, pp. 321 - 336, 1972.
- Vandertol, A., B.G. Hutchinson, and J.H. Shortreed  
Two Stage Modal Split Models, papers submitted to American Society of Civil  
Engineers,  
New York, March, 1973.
- Manual de Operación del Sistema de Planeación del Transporte Urbano UTPS  
Traducción de la Comisión de Vialidad y Transporte Urbano.  
COVITUR, 1987, D.D.F.

Manual Normativo, Tomo II.

Conceptos y Lineamientos para la Planeación del Transporte Urbano.

Programa de Asistencia Técnica en Transporte Urbano para las Ciudades Medias Mexicanas

Secretaría de Desarrollo Social con apoyo del Banco Mundial, Banobras, Secretaría de Hacienda y Crédito Público y Booz - Allen & Hamilton, 1995.



**FACULTAD DE INGENIERIA U.N.A.M.  
DIVISION DE EDUCACION CONTINUA**

**DIPLOMADO INTERNACIONAL DE TRANSPORTE**

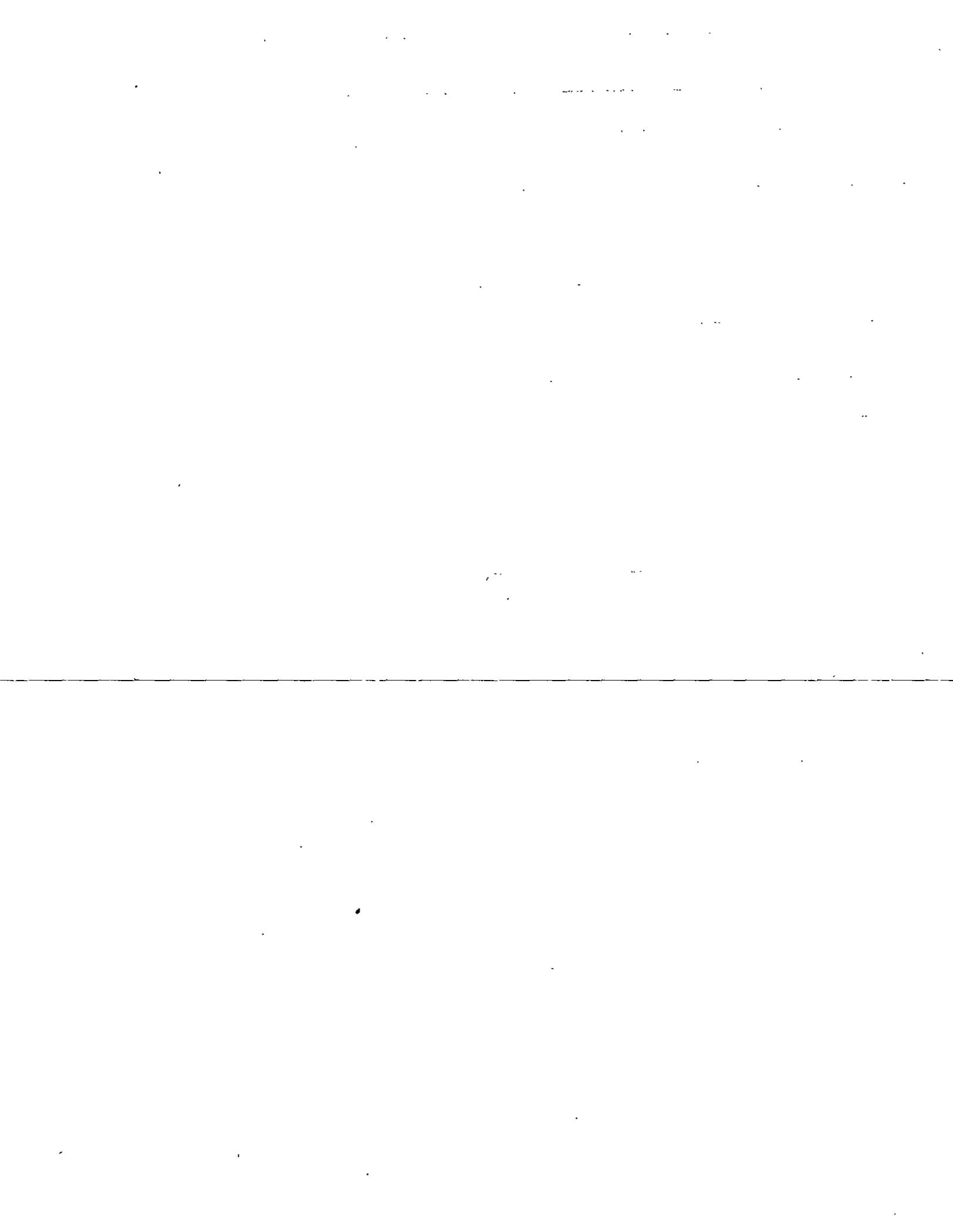
**MODULO II: PLANIFICACION DEL TRANSPORTE URBANO**

**TEMA: PROCESO DE PLANIFICACION DEL TRANSPORTE  
ENCUESTAS DE ORIGEN - DESTINO**

**PRESENTAN**

**ARQ. SONIA LIZT MENDOZA**

**ING. ROMAN VAZQUEZ BERBER**



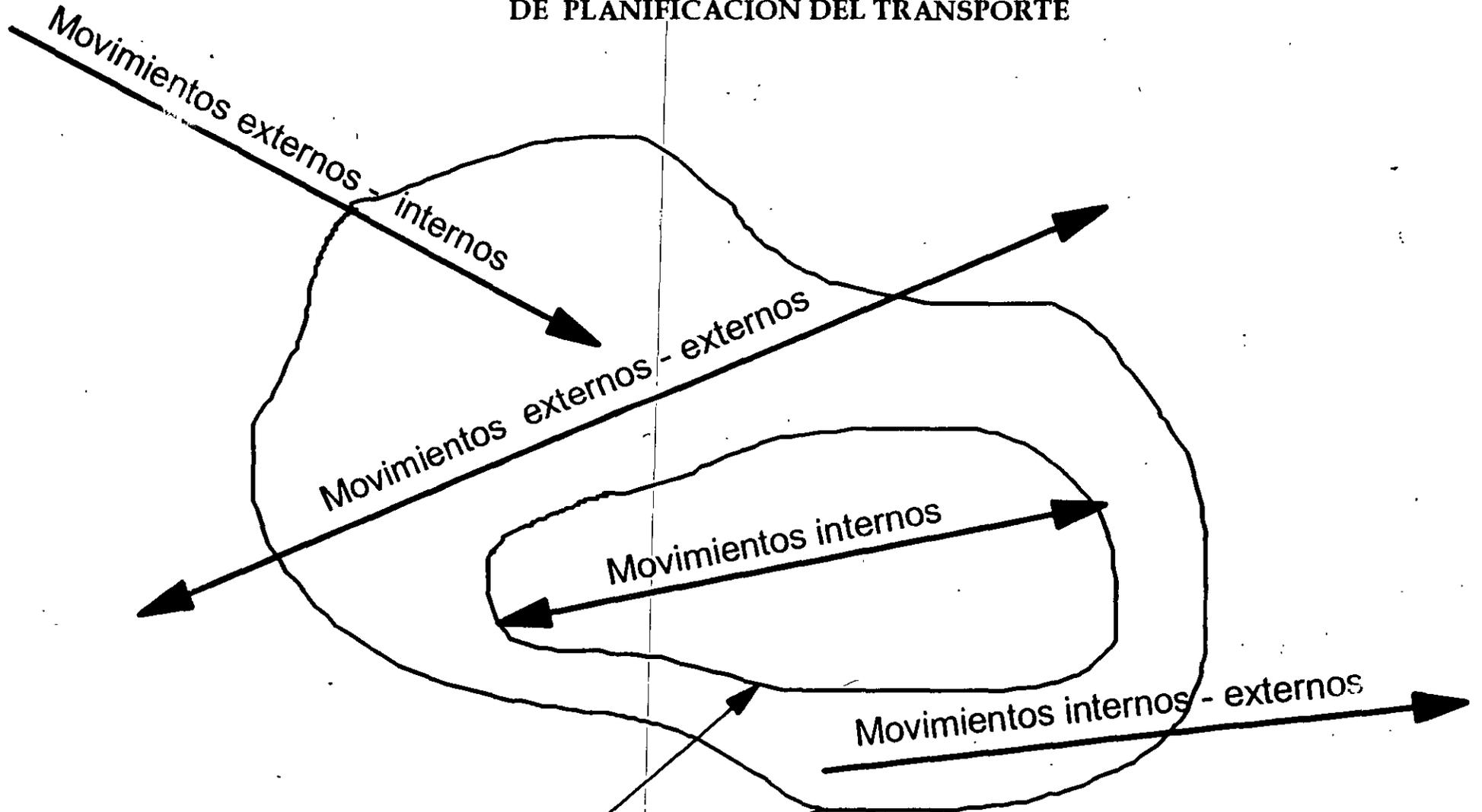
# **PROCESO DE PLANIFICACION DEL TRANSPORTE ENCUESTAS DE ORIGEN Y DESTINO**

## **C O N T E N I D O**

- I. GENERALIDADES**
- II. METODOS PARA REALIZAR ENCUESTAS DE ORIGEN Y DESTINO.**
- III. UTILIZACION DE LOS DATOS DE ORIGEN Y DESTINO.**
- IV. ENCUESTAS DE ORIGEN Y DESTINO DOMICILIARIA**
  - A. OBJETIVOS**
  - B. CONSIDERACIONES GENERALES**
  - C. METODOLOGIA**
  - D. CRITERIOS DE ZONIFICACION**
  - E. CONCEPTOS BASICOS DE MUESTREO**
  - F. CORRECCION DE LA INFORMACION**
  - G. EXPANSION DE LA MUESTRA**
  - H. VALIDACION DE RESULTADOS**
- V. EL MODELO DE TRANSPORTE CLASICO**

# I. GENERALIDADES

## REPRESENTACION DIAGRAMATICA DE LOS MOVIMIENTOS BASICOS PARA LOS QUE SE RECOPILAN DATOS EN EL PROCESO DE PLANIFICACION DEL TRANSPORTE

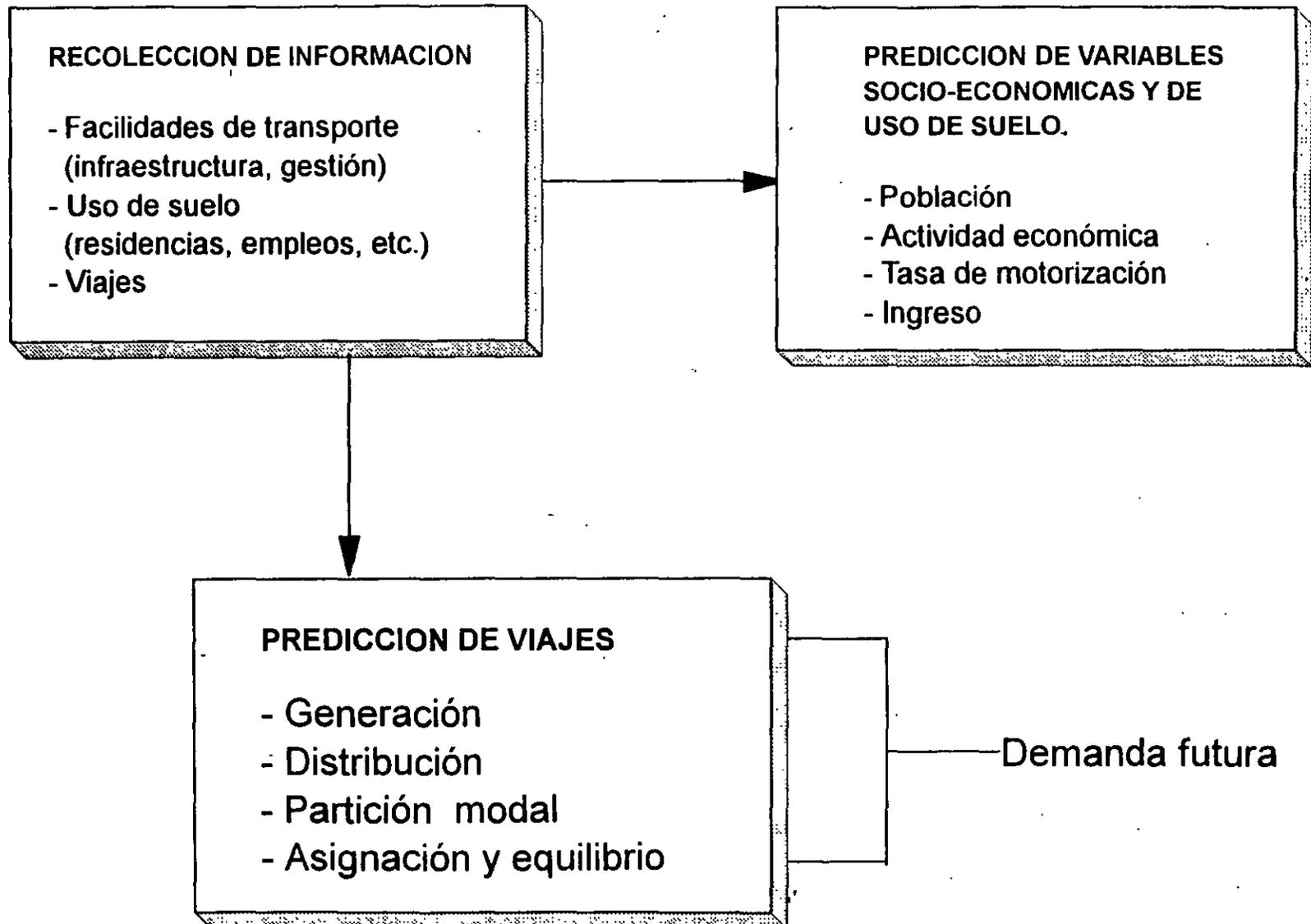


Cordón interno

Cordón externo

# I. GENERALIDADES

## ESTRUCTURA GENERAL DE MODELO DE TRANSPORTE



## **II. METODOS PARA REALIZAR ENCUESTAS DE ORIGEN - DESTINO**

- 1) Encuesta a conductores en el camino
- 2) Tarjetas postales a conductores
- 3) Lectura de placas de vehículos en movimiento
- 4) Etiqueta sobre el vehículo
- 5) Encuestas domiciliarias
- 6) Cuestionario postal a propietarios de vehículos
- 7) Cuestionario de empleado
- 8) Cuestionario para terminal de transporte público
- 9) Cuestionario de pasajeros del transporte público
- 10) Estudio integral de origen y destino.

### **OTRAS ENCUESTAS IMPORTANTES**

- ◆ Encuestas en cordón
- ◆ Encuestas en líneas plantalla
- ◆ Encuesta Diario de Viaje

### **III. UTILIZACION DE LOS DATOS DE ORIGEN Y DESTINO**

Los estudio de Origen - Destino permiten determinar:

- 1.- Las demandas de viaje sobre los sistemas de transportación existentes o futuros.
- 2.- Sistemas adecuados de transportación masiva existentes.
- 3.- La ubicación más conveniente de nuevos puentes e instalaciones terminales.
- 4.- La posibilidad de rutas de libramiento.
- 5.- La información necesaria para planificación, ubicación y proyecto de sistemas de calles, vías rápidas, autopistas nuevas y mejoradas.

### **III. UTILIZACION DE LOS DATOS DE ORIGEN Y DESTINO**

Los estudio de Origen - Destino permiten determinar:

- 1.- Las demandas de viaje sobre los sistemas de transportación existentes o futuros.
- 2.- Sistemas adecuados de transportación masiva existentes.
- 3.- La ubicación más conveniente de nuevos puentes e instalaciones terminales.
- 4.- La posibilidad de rutas de libramiento.
- 5.- La información necesaria para planificación, ubicación y proyecto de sistemas de calles, vías rápidas, autopistas nuevas y mejoradas.

### **III. UTILIZACIÓN DE LOS DATOS DE ORIGEN Y DESTINO (Continuación)**

- 6.- La información necesaria para la planificación, urbanización y proyecto de sistemas de transportación masiva, nuevos o mejorados.
- 7.- Rutas para tránsito de paso y rutas de camiones.
- 8.- Estimación del uso probable de rutas, líneas de autobuses y terminales nuevas o mejoradas.
- 9.- Características de viaje para diferentes tipos de uso de terreno.
- 10.- Los medios para estimación de patrones de viaje futuros y demandas de transportes.
- 11.- Fijar prioridades de construcción y establecer soluciones económicas para programas de mejoramiento vial.

## IV. ENCUESTAS DE ORIGEN Y DESTINO DOMICILIARIA

### A. OBJETIVOS

#### ➤ OBJETIVO FUNDAMENTAL

- ✓ *Conocer de dónde parten y a dónde van los viajes diarios de los usuarios*

#### ➤ OBJETIVOS SECUNDARIOS

- ✓ *Obtener información sobre diversas características de los usuarios y sus hábitos de transporte, entre los cuales destacan.*

- Número de usuarios
- Densidad demográfica
- Uso de suelo
- Nivel socio-económico de los usuarios
- Edad de los usuarios
- Origen y destino de cada viaje, en un día
- Medio de transporte utilizado
- Propósito de cada viaje
- Tiempo empleado por viaje
- Demanda y tipo de estacionamiento utilizado

## IV. ENCUESTAS DE ORIGEN Y DESTINO DOMICILIARIA (Continuación)

### B. CONSIDERACIONES GENERALES

- ➔ ÉPOCA DE REALIZACIÓN DE LA ENCUESTA
- ➔ DÍAS Y HORAS DE REALIZACIÓN DE LA ENCUESTA
- ➔ PERIODO DE REALIZACIÓN DE LA ENCUESTA
- ➔ CRITERIOS GENERALES PARA EL DISEÑO DEL FORMULARIO DE ENCUESTA

✓ *Críticas frecuentes a las encuestas origen-destino*

- Miden el comportamiento promedio y no el real respecto a los viajes.
- Solo logra investigar parte de las rutas de las personas.
- La información suele estar mal estimada por el entrevistado (p.e. tiempo de viaje)

➔ **CRITERIOS GENERALES PARA EL DISEÑO DEL FORMULARIO DE ENCUESTA (Continuación)**

✓ *Consecuencias del análisis crítico*

- Mejoramiento del procedimiento de medición asociado a encuestas O/D.
- Desarrollo de métodos de recolección alternativos o complementarios.
- Mejoramiento del formulario de encuesta.
- Orden
- Preguntas simples y directas
- Disminución del número de preguntas abiertas o no precodificadas
- Entrevista personal a cada miembro mayor 14 años (entre 4 y 14 puede ser indirectamente)
- La información respecto a los viajes debe consultarse haciendo referencia a las actividades realizadas.

## ➤ INFORMACIÓN SOLICITADA EN EL FORMULARIO

### ✓ *Identificación de personas (mayor de 5 años)*

- Ubicación dentro del grupo familiar
- Sexo
- Edad
- Posesión de licencia de conducir
- Nivel educacional
- Actividad (mediante una clasificación lo más completa posible).

➤ **INFORMACIÓN SOLICITADA EN EL FORMULARIO**  
(Continuación)

✓ *Identificación de los viajes*  
(viaje=desplazamiento mayor a 300 metros)

- Origen (expresado como la intersección de calles más cercanas)
- Destino (expresada en igual forma que el origen)
- Tipo de viaje
- Propósito de viaje
- Horas de inicio y término del viaje

---

- Medio de transporte utilizado
- Registro de líneas de locomoción colectiva.
- Cuadras caminadas (distinguiendo transbordos)
- Lugares de transbordo

➔ **INFORMACIÓN SOLICITADA EN EL FORMULARIO**  
(Continuación)

✓ *Características socioeconómicas*

- Características de la vivienda
- Identificación de los vehículos del lugar (incluyendo un código para identificar al usuario habitual de cada uno).
- Pertenencia de la vivienda
- Ingreso líquido mensual por hogar (por rangos)

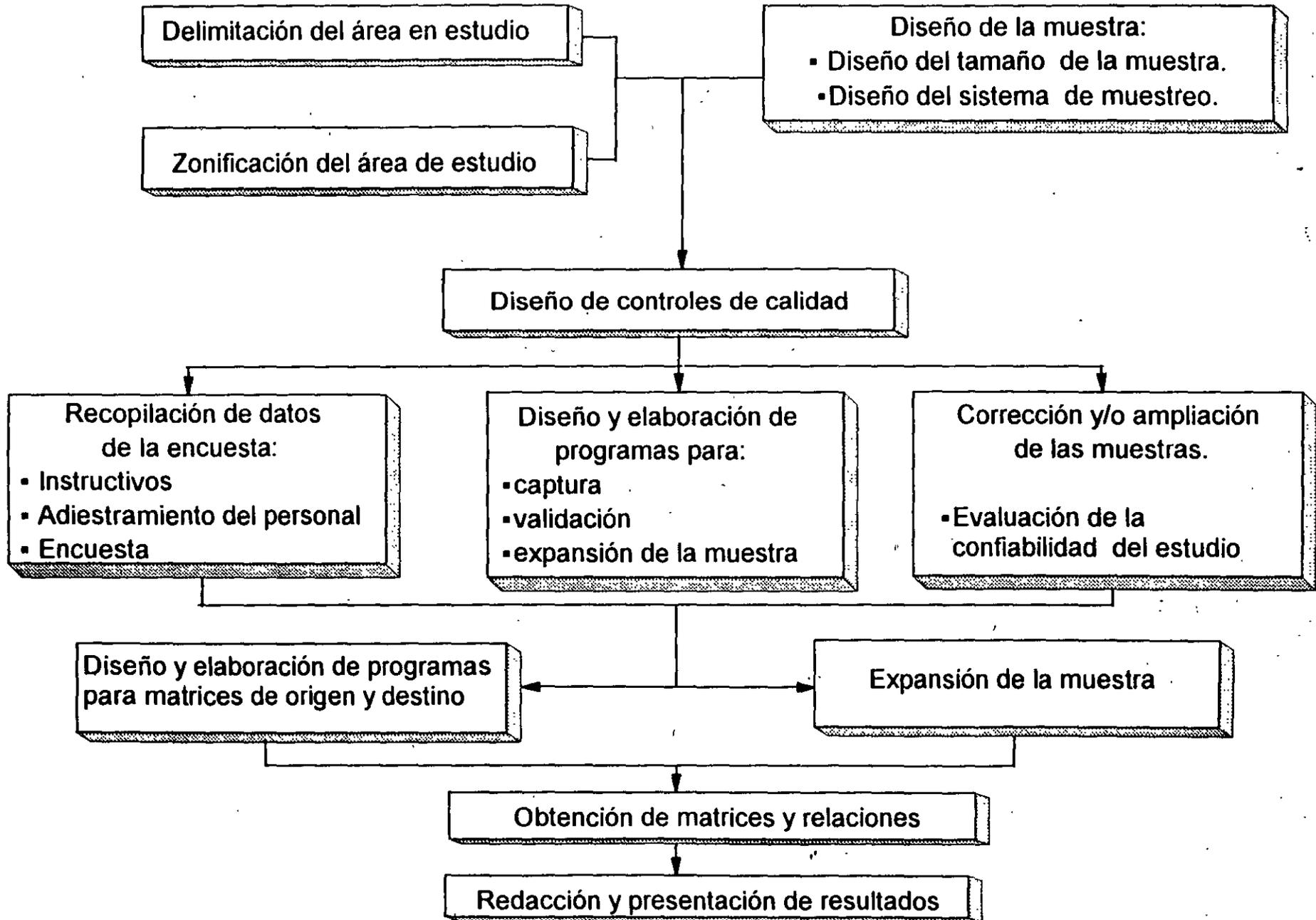
## **IV. ENCUESTAS DE ORIGEN Y DESTINO**

(Continuación)

### **C. METODOLOGÍA**

- a) Delimitación del área de estudio
- b) Zonificación del área de estudio
- c) Diseño de la muestra
- d) Diseño de controles de calidad
- e) Recopilación de datos de la encuesta
- f) Diseño y elaboración de programas para captura, validación y expansión de la muestra
- g) Corrección y/o ampliación de las muestras.
- h) Diseño y elaboración de programas para matrices de origen y destino.
- i) Expansión de la muestra
- j) Obtención de matrices de origen y destino
- k) Redacción y presentación de resultados.

# METODOLOGIA DEL ESTUDIO DE ORIGEN Y DESTINO



## **IV. ENCUESTAS DE ORIGEN Y DESTINO**

(Continuación)

### **D. CRITERIOS DE ZONIFICACION**

#### **1. Número de zonas**

- ◆ **Función del carácter del estudio**
- ◆ **Función de los recursos disponibles**

---

#### **2. Tamaño de las zonas**

- ◆ **La superposición de todas las actividades que se concentran en el centroide no debe producir un error muy grande.**
- ◆ **No es necesario dividir el área de estudio en zonas de igual tamaño.**

## **D. CRITERIOS DE ZONIFICACION (Continuación)**

### **3. Compatibilidad con otras divisiones administrativas**

- ◆ Zonas censales
- ◆ Límites administrativos

### **4. Homogeneidad de las zonas**

- ◆ Uso del suelo
- ◆ Composición de la población

### **5. Definición de límites de las zonas**

- ◆ Cordones internos y líneas de pantalla
- ◆ Zonificaciones de estudios anteriores
- ◆ Arterias importantes de la red vial primaria
- ◆ Barreras físicas y/o naturales

## **D. CRITERIOS DE ZONIFICACION (Continuación)**

### **6. Formas de las zonas**

- ◆ Permitir fácil determinación de centroides
- ◆ Localizar centroide en el centro ponderado de necesidades poblacionales y no en su centro geográfico.

7. No emplear sólo criterios geográficos, sino tomar en cuenta el verdadero uso que se le dará a la encuesta.

Cualquiera que sea la zonificación efectuada, es necesario finalmente poder estimar en forma aceptable la población en cada zona de encuesta.

El tamaño no podrá ser tan pequeño como para que los datos recogidos no sean estadísticamente significativos, pero tampoco podrán ser tan grandes como para producir una pobre síntesis de los viajes.

## **IV. ENCUESTAS DE ORIGEN Y DESTINO**

(Continuación)

### **E. CONCEPTOS BÁSICOS DE MUESTREO.**

#### **1. CONSIDERACIONES EN EL DISEÑO MUESTRAL.**

- \* El problema básico del muestreo consiste por una parte, en cómo tomar la mayor cantidad de información útil al menor costo, y por otra parte, en cómo utilizar los datos recopilados para tomar decisiones confiables, es decir, cómo hacer inferencias correctas acerca de la población de interés, a partir de una pequeña muestra.
  
- \* Por lo tanto, se identifican dos dificultades: (i) cómo asegurar que la muestra sea representativa; y (ii) cómo extraer conclusiones correctas a partir de una muestra que satisfaga la condición anterior.
  
- \* Desde luego que ninguna sería una dificultad si no existiera variabilidad en la población. La primera dificultad generalmente resulta mucho más seria que la segunda.

## **E. CONCEPTOS BÁSICOS DE MUESTREO** (Continuación)

### **2. DEFINICIONES Y CONCEPTOS BÁSICOS ELACIONADOS CON EL MUESTREO.**

#### **2.1. MUESTRA.**

Se define como una colección de unidades que constituye una proporción de una población mayor y que es especialmente seleccionada para representar a la población total.

#### **2.2. POBLACIÓN DE INTERÉS.**

Es el grupo completo para el que se desea recolectar la información. En muchos casos su definición se desprende en forma directa de los objetivos del estudio.

#### **2.3. MÉTODOS DE MUESTREO.**

La mayoría de los métodos aceptables se basan en alguna forma de muestreo aleatorio. Lo fundamental en estos casos es que la selección de cada unidad se realice en forma independiente y que cada unidad en la población tenga la misma probabilidad de ser muestreada. Los dos métodos más utilizados son:

### 2.3.1 Muestreo Aleatorio Simple:

- \* Es el método más sencillo y constituye la base de los restantes. Consiste en asociar un número identificador a cada unidad en la población y luego estos números se seleccionan al azar para obtener la muestra.
- \* Teóricamente la probabilidad de ser seleccionado es la misma para cada miembro de la población. El problema es que para garantizar esto pueden requerirse muestras muy grandes, y en caso de no ser posible esta condición, se corre el riesgo que alternativas muy poco utilizadas (pero de interés) no aparezcan nunca seleccionadas.

### 2.3.2. Muestreo Aleatorio Estratificado.

- \* Utiliza información a-priori para subdividir la población en estratos de forma que las unidades al interior de cada uno sean tan homogéneas como sea posible respecto a la variable estratificadora, y luego se muestrea aleatoriamente en cada estrato ocupando la misma fracción muestral.

- \* Este método en general permite asegurar la obtención de las proporciones correctas de cada estrato en la muestra. Esto puede ser muy importante en aquellos casos en que existan grupos relativamente pequeños en la población que sean de interés para el estudio, ya que se garantiza su participación.

#### 2.4. ERROR MUESTRAL Y SESGO MUESTRAL.

- \* El error muestral surge simplemente porque se está tratando con una muestra y no con la población total; esto es, va a estar siempre presente debido a factores aleatorios.
- \* El error muestral no afecta los valores esperados de los promedios de los parámetros estimados. Solo afecta la variabilidad alrededor suyo y determina el grado de confianza que se puede asociar a estos promedios. Este tipo de error es fundamentalmente una función del tamaño de la muestra y de la variabilidad inherente al parámetro investigado.
- \* El sesgo muestral surge debido a equivocaciones cometidas al definir la población de interés, al seleccionar el método de muestreo, la técnica de recolección o en muchas otras fases del proceso.

- \* El sesgo muestral afecta no solamente la variabilidad de los promedios de los parámetros estimados, sino los valores mismos de éstos, por lo que implica una distorsión más severa de los resultados del muestreo.
- \* Mientras que el error muestral no puede evitarse (se disminuye aumentando el tamaño de la muestra), el sesgo muestral puede ser virtualmente eliminado si se tiene cuidado en las diversas etapas del diseño muestral.

## 2.5. TAMAÑO MUESTRAL.

- \* No existen reglas claras para el cálculo del tamaño de la muestra. Aún cuando los cálculos se basen en formas estadísticas precisas, muchas de sus variables de entrada son realmente inciertas y subjetivas.
- \* El problema de determinación del tamaño muestral es en esencia un problema de equilibrio:
  - Una muestra muy grande puede ser muy costosa para los objetivos del estudio y para el grado de precisión requerido por el mismo.
  - Una muestra muy pequeña puede producir resultados sujetos a un grado de variabilidad inaceptablemente alto, que incluso llegue a invalidar todo el esfuerzo llevado a cabo.

## 2.6. TAMAÑO DE MUESTRA PARA ESTIMAR PARÁMETROS POBLACIONALES.

\* Depende de tres factores principales:

- i.- Definición de los parámetros que se desean estimar.
- ii.- La variabilidad en la población de los parámetros a medir. Se conoce como coeficiente de variación, y a pesar de que antiguamente era desconocido, hoy es posible estimar (con la gran cantidad de O-D que se han hecho).
- iii.- El grado de exactitud (% de error aceptable para el analista) con que se desea medir el parámetro, y el nivel de confianza asociado a la medición. Debe ser propuesto con base al criterio y experiencia del especialista.

Una vez conocidos estos tres factores, es posible determinar el tamaño muestral mediante la siguiente fórmula (Smith, 1979):

CÁLCULO DEL TAMAÑO DE LA MUESTRA:

$$n = \frac{C_v^2 * Z_\alpha^2}{E^2}$$

En donde:

$C_v$  = Coeficiente de variación.

$E$  = Nivel de exactitud, expresado como proporción.

$Z_\alpha$  = Valor de la variable normal estándar (0,1) para el nivel de confianza requerido.

iv.- **El tamaño de la población.** Este factor es el menos importante, ya que a pesar de que intuitivamente parece necesario tomar muestras mayores en poblaciones más grandes, estadísticamente se demuestra que salvo en poblaciones muy pequeñas, el tamaño de las mismas no afecta en forma significativa al tamaño de muestra requerido.

## 2.7. OBTENCIÓN DE LA MUESTRA.

- \* Se debe hacer con un proceso aleatorio. Sin embargo, los únicos procesos realmente aleatorios son de tipo físico, generalmente demasiado consumidores de tiempo: lanzar una moneda al aire o un dado sobre una mesa.
  
- \* Generalmente se recurre a un proceso pseudo-aleatorio que genere de forma rápida y fácil un conjunto de números aleatorios a ser utilizados en el muestreo.

## **IV. ENCUESTAS DE ORIGEN Y DESTINO**

(Continuación)

### **F. CORRECCION DE LA INFORMACION**

Dado que los resultados de la encuesta origen y destino de viajes se obtienen mediante entrevistas a una muestra de la población, es necesario ajustarlos a fin de representar a la población total.

- 1.- Corrección por tamaño familiar, ya que la muestra será elegida a partir de un listado de hogares (pero la unidad de análisis es el individuo y no el hogar.
  
- 2.- Corrección socio-demográfica, debido a posibles desigualdades de esta naturaleza entre la población (Censo) y la muestra; interesa que la distribución de las variables edad y sexo sea la misma en ambos casos.

3.- Corrección por "no respuesta", debido particularmente a posibles variaciones en el comportamiento respecto a viajes entre los que responden y los que no responden (por ejemplo, la gente que viaja más es más difícil de entrevistar).

4.- Corrección por viajes no reportados por el encuestado, debido a que el tipo de entrevista realizada normalmente se traduce en una subestimación de los viajes (especialmente de aquellos que no son habituales).

Interesa ajustar el número de viajes con propósito "al trabajo", "al estudio" y "otros" a la ocurrencia real de ellos; para esto se contará con la información de los Diarios de Viaje en los que se recoge información mas detallada que en la encuesta, sobre todos los desplazamientos de las personas.

## IV. ENCUESTAS DE ORIGEN Y DESTINO (Continuación)

### G. EXPANSION DE LA MUESTRA

Una vez corregidos los datos, éstos deben expandirse a fin de representar el total de la población; esto se consigue definiendo factores de expansión para cada zona del estudio (ver Bruton, 1970):

$$F_i = \frac{A - \frac{A}{B} \left( C + \frac{C}{B} D \right)}{B - C - D}$$

**en que:**

$F_i$  = factor de expansión para la zona  $i$

$A$  = número total de direcciones en la lista original

$B$  = número total de direcciones seleccionadas como muestra original.

$C$  = número de direcciones muestreadas que resultaron no-elegibles (ejemplo: demolidas, no-residenciales)

$D$  = número de direcciones muestreadas donde no se consiguió respuesta (ejemplo: no contesta, no hay nadie en la casa).

## **IV. ENCUESTAS DE ORIGEN Y DESTINO**

(Continuación)

### **H. VALIDACION DE RESULTADOS**

- \* Normalmente se solicita que la información proveniente de la encuesta a hogares pase por tres procesos de validación.
- \* El primero consiste simplemente en verificar en terreno la completitud y coherencia de los datos, y luego en gabinete la codificación y digitación de los mismos.
- \* En segundo lugar se debe realizar un proceso de validación computacional de rangos y compatibilidad interna de los datos; terminado este proceso, se considera que la información de la muestra está depurada.
- \* Para llevar a cabo el tercer proceso de validación, se deben efectuar conteos en cordones y líneas pantalla en forma simultánea a la realización de la encuesta.

- \* Posteriormente la información corregida y expandida de la encuesta se debe contrastar con la información proveniente de estos conteos de flujo (vehiculares y peatonales) adecuadamente transformada por las tasas de ocupación también medidas en terreno.
  
- \* Esta tercera etapa, que realmente merece el nombre de validación ya que se compara la información de la encuesta con información independiente y de mayor confiabilidad (se cuentan todos los vehículos, no una muestra), suele presentar algunos problemas prácticos; por ejemplo, en el caso de viajes en auto, normalmente no se tiene información de las rutas seguidas y si la asignación se hace de forma aproximada puede conducir a grandes errores.

## V. EL MODELO DE TRANSPORTE CLASICO

El modelo de transporte se ha postulado tradicionalmente como conjunto de cuatro etapas o submodelos:

i. **Generación de viajes.** (¿Cuántos viajes?)

Procura predecir el total de viajes que entran y salen a cada zona.

ii. **Distribución de viajes.** (¿A qué destino?)

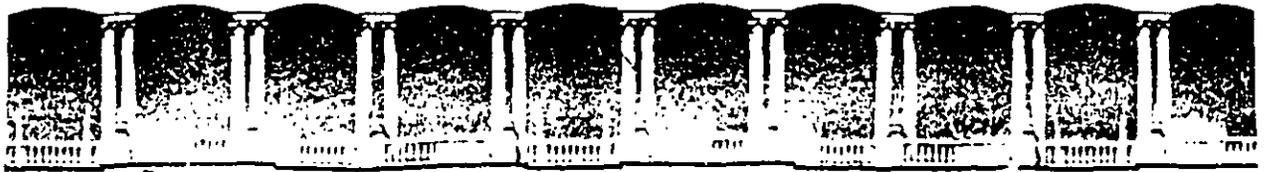
Busca predecir cómo se distribuyen entre las distintas zonas los viajes producidos en cada zona estudiada.

iii. **Partición modal.** (¿En qué modo de transporte?)

Asigna proporciones de cada conjunto de viajes entre pares zonales a los distintos medios de transporte.

iv. **Asignación de viajes.** (¿Por qué ruta?)

Típicamente carga cada conjunto de viajes por cada modo, a redes modales, manteniendo un registro con el total de viajes que se han asignado a cada enlace.



**FACULTAD DE INGENIERIA U.N.A.M.  
DIVISION DE EDUCACION CONTINUA**

**DIPLOMADO INTERNACIONAL DEL TRANSPORTE  
MODULO II : "PLANIFICACION DEL TRANSPORTE URBANO"**

**TEMA :**

**ESTUDIOS ORIGEN - DESTINO**

**INFORMACION PROPORCIONADA POR LA SECRETARIA DE TRANSPORTES Y VIALIDAD  
DEL DEPARTAMENTO DEL DISTRITO FEDERAL**

**AGRADECIMIENTO AL  
ING. LEONARDO LAZO MARGAIN  
DIRECTOR GENERAL DE ESTUDIOS Y PROYECTOS**

**Por autorizar la utilización de la información que generó el INEGI, en la elaboración de esta  
Encuesta Domiciliaria 1994, en el Area Metropolitana del Distrito Federal**

**PRIMAVERA 1997...**

# **PRESENTACION**

**El Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática (INEGI) pone a disposición del Departamento del Distrito Federal y del Gobierno del Estado de México los resultados de la Encuesta de Origen y Destino (EOD-94), mediante el documento Metodología y Resultados, EOD-94.**

La información contenida detalla la metodología empleada durante el desarrollo de la encuesta, que se fundamenta en antecedentes de encuestas similares y sus objetivos, así como en el objetivo que se establece para la EOD-94.

Además de la metodología se incluyen 36 tabulados básicos y 11 tabulados que contienen resultados complementarios, como son porcentajes y promedios, de ciertas variables de interés.

En términos generales este documento ofrece a los usuarios de la información que se presenta, los elementos que contribuyen a una mejor interpretación y análisis de los resultados que se obtuvieron.

**El Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática agradece la participación de la Secretaría General de Transportes del Gobierno del Estado de México y reconoce la colaboración y patrocinio que el Departamento del Distrito Federal aportó en la realización de esta Encuesta.**

**INTRODUCCION**

<b>I. OBJETIVO</b>	<b>1</b>
1. OBJETIVO GENERAL	1
2. OBJETIVOS ESPECIFICOS	1
<b>II. ANTECEDENTES</b>	<b>2</b>
<b>III. AMBITO DE LA EOD-94</b>	<b>3</b>
1. AMBITO GEOGRAFICO	3
2. AMBITO TEMPORAL	4
<b>IV. METODOLOGIA</b>	<b>5</b>
1. DISEÑO CONCEPTUAL	5
1.1 Cobertura Temática	5
2. DISEÑO MUESTRAL	9
2.1 Marco de Muestreo	9
2.2 Tamaño de la Muestra	10
2.3 Procedimiento de Selección	11

2.4 Procedimiento de Estimación	12
<b>3. PRUEBA PILOTO</b>	<b>14</b>
3.1 Desarrollo de la Prueba Piloto	14
3.2 Evaluación de la Prueba Piloto	16
3.3 Tarjeta de Viajes y Cuestionario	17
<b>4. INSTRUMENTOS DE CAPTACION, EOD-94</b>	<b>18</b>
4.1 Cuestionario	18
4.2 Tarjeta de Viajes	20
4.3 Manuales y Formas de Control	21
<b>5. ESTRUCTURA ORGANICA DE LA EOD-94</b>	<b>22</b>
5.1 Perfil del Puesto de Jefe de Area y Jefe de Grupo	23
5.2 Perfil del Puesto de Entrevistador	23
<b>6. CAPACITACION</b>	<b>25</b>
<b>7. OPERATIVO DE CAMPO</b>	<b>27</b>
7.1 Control del Operativo	27
7.2 Consecución de Oficinas	28
7.3 Levantamiento	28

7.4 Calidad de la Información	30
7.5 Resultado de la Entrevista	30
7.6 Diagrama de Flujo del Operativo de Campo	32
7.7 Problemática del Operativo de Campo	33
<b>8. PROCESAMIENTO DE LA INFORMACION</b>	<b>36</b>
8.1 Critica-Codificación	36
8.2 Organización de los Cuestionarios y Listados	36
8.3 Criterios de Critica-Codificación	37
8.4 Tratamiento de la Información	37
8.5 Programación y Control de la Producción	38
8.6 Captura y Proceso	38
8.7 Sistemas	39
<b>9. RESULTADOS DEL LEVANTAMIENTO</b>	<b>42</b>
<b>V. CAMPAÑA DE DIFUSION</b>	<b>44</b>
<b>RESULTADOS</b>	<b>45</b>
<b>ANEXOS</b>	<b>111</b>

# INTRODUCCION

La atención apropiada de las necesidades de transporte de los habitantes de una ciudad requiere, antes que nada, de una base de información confiable que identifique esas necesidades.

Una encuesta de Origen y Destino es la técnica de planeación que se recomienda aplicar cada 10 años para conocer las características de los viajes que se realizan cotidianamente en una gran ciudad.

En el caso del Area Metropolitana de la Ciudad de México (AMCM), la última encuesta de Origen y Destino de Viajes se realizó en 1983, hace más de 10 años.

El Area Metropolitana de la Ciudad de México, por su magnitud e importancia, obliga a estar pendiente de los cambios que su mismo desarrollo genera; de ahí que los requerimientos de transporte de sus residentes deban ser periódicamente monitoreados.

**La Encuesta de Origen y Destino de los Viajes de los Residentes del Area Metropolitana de la Ciudad de México, 1994 (EOD-94), fue diseñada y realizada para satisfacer la demanda de información de los Gobiernos del Estado de México y del Distrito Federal, sobre características del transporte empleado por los habitantes del AMCM.**

Los resultados de la EOD-94 tendrán, entre muchas aplicaciones por parte de diferentes organismos, una inmediata: serán el insumo básico para la elaboración del Programa Maestro de Ferrocarriles Urbano y Suburbano del Area Metropolitana de la Ciudad de México 1994 - 1995, que viene a sustituir y actualizar el Programa Maestro del Metro, de 1985.

El óptimo uso de la información contenida en el documento **"Metodología y Resultados, EOD-94"**, demanda tener pleno conocimiento de sus alcances. Este documento describe inicialmente el objetivo general de la encuesta, así como los objetivos específicos. Los antecedentes se reseñan en un segundo capítulo y el ámbito geográfico y temporal se encuentran en el tercero.

La metodología empleada en la EOD-94 es de vital importancia en la comprensión de los resultados. En ésta, tanto el diseño conceptual como el diseño muestral son fundamentales. El capítulo cuarto detalla cada uno de los elementos metodológicos aplicados, como son: Prueba Piloto, Operativo de Campo y Procesamiento de la Información, entre otros, además de los referidos diseños.

Un quinto capítulo hace referencia a la campaña de difusión instrumentada. Finalmente, se presentan los tabulados básicos y algunos resultados complementarios para ciertas variables consideradas de interés para el usuario, así como 7 anexos.

# **I. OBJETIVO**

## **1. OBJETIVO GENERAL**

Elaborar información estadística que proporcione las características de los viajes que realizan los residentes del AMCM, así como el(los) medio(s) de transportación.

## **2. OBJETIVOS ESPECIFICOS**

- a. Captar información de los viajes que efectúa la población que vive en el AMCM y el(los) transporte(s) que utiliza para desplazarse.
- b. Conocer el propósito de los viajes además del origen y destino de éstos.
- c. Saber el modo de transporte empleado y los transbordos que se requieren para llegar al destino final del viaje.
- d. Detectar las horas de mayor afluencia de viajes.
- e. Conocer el costo global de transportación en un día de viaje.
- f. Generar información sobre las características sociodemográficas de la población del AMCM.

## II. ANTECEDENTES

Los estudios de Origen y Destino revisten singular importancia, dado que a partir de ellos se pueden diseñar e implantar acciones dirigidas a la solución del problema del transporte en el D.F. y Municipios conurbados.

La EOD-94 es consecuencia de una serie de estudios previos, desarrollados por la Coordinación General del Transporte (CGT) del DDF.

En 1983, la Comisión de Vialidad y Transporte Urbano (COVITUR) realizó un "Estudio Origen-Destino" (EOD-83), para conocer el origen y el destino de los viajes que se generan en el AMCM, en cuya cobertura geográfica se consideraron las 16 Delegaciones Políticas del D.F. y 89 localidades mayores de 1,000 habitantes y/o cabeceras de 27 Municipios del Estado de México.

Posteriormente, en 1987, la CGT inició la planeación de otra encuesta y construyó un marco muestral (MM-87) de viviendas, con una cobertura de las 16 Delegaciones Políticas del D. F., más 17 Municipios conurbados del Estado de México; sin embargo, esa encuesta no llegó a realizarse.

Nuevamente en 1990, la CGT intentó aprovechar las experiencias anteriores y el citado MM-87 con una cobertura similar, recurriendo al INEGI, quien planteó la necesidad de elaborar un nuevo marco muestral, debido a lo desactualizado del MM-87. Este requerimiento conllevó la suspensión del proyecto.

En 1992, la CGT suscribe con el INEGI las Bases de Coordinación para realizar la primera etapa de la Encuesta de Origen y Destino de los Viajes de los Residentes del Area Metropolitana de la Ciudad, de México (EOD 91-92); con una cobertura geográfica de las 16 Delegaciones Políticas del D.F. y 28 Municipios conurbados del Estado de México.

De esta etapa se obtuvo:

- Diseño conceptual
- Diseño muestral
- Marco de muestreo
- Instrumento de captación
- Manuales
- Formas de control
- Prueba Piloto

La segunda etapa, programada para ese año, no se efectuó.

En marzo de 1994, COVITUR decide retomar el proyecto y suscribir las Bases de Coordinación con el INEGI para el levantamiento y procesamiento de la segunda etapa de la Encuesta de Origen-Destino (EOD-94). Los resultados de ésta, serán de utilidad en el análisis y generación de otros proyectos que alimentarán la base de datos del Programa Maestro de Ferrocarriles Urbanos y Suburbanos del AMCM, el cual se inició cinco meses después de haber empezado la EOD-94.

### III. AMBITOS DE LA EOD-94

#### 1. AMBITO GEOGRAFICO

El ámbito geográfico de la encuesta se conformó por las 16 Delegaciones Políticas del D.F. y 28 Municipios conurbados del Estado de México; y fue dividido en 135 Distritos<sup>1/</sup>.

#### ZONIFICACION DEL AREA DE ESTUDIO

La zonificación empleada en la encuesta forma parte de un Sistema de Zonificación de 4 niveles de agregación usado por el DDF en la planeación del transporte.

Este Sistema de Zonificación está formado por:

- Unidades Político Administrativas (UPA).
- Distritos.
- Zonas de Análisis de Transporte (ZAT).
- Areas Geoestadísticas Básicas (AGEB).

Las UPA corresponden a los límites de las 16 Delegaciones Políticas del D.F. y de los 28 Municipios conurbados del Estado de México. En la definición de esos límites se utilizó la cartografía digitalizada del INEGI.

<sup>1/</sup>. La CGT definió 135 Distritos aunque para motivos de la muestra sólo se manejaron 134. El restante correspondió al Aeropuerto, donde no existen viviendas

Los Distritos se formaron al agregar AGEB y son aproximadamente homogéneos en cuanto a:

- Uso del suelo
- Nivel de ingreso
- Número de viviendas

En su delimitación se consideró también la ubicación de las redes viales y de transporte público.

En todos los casos se respetaron los límites de las AGEB, las cuales nunca fueron divididas para formar un Distrito o una ZAT.

Los Distritos son una agregación de las ZAT, se formaron 135 para el levantamiento de la información de la EOD-94. La numeración de los Distritos se realizó del Centro a la Periferia.

A nivel Distrito, se agregaron en cuatro áreas 12 Municipios, esto por tener menor número de viviendas que el promedio, de tal manera que fueran homogéneas con los demás Distritos en cuanto al número de viviendas. Los resultados a nivel Distrito y UPA se refieren a ellos como Areas de Municipios Conurbados (AMC) I, II, III, y IV, quedando agrupados como sigue:

## AREAS DE MUNICIPIOS CONURBADOS

NOMBRE	MUNICIPIOS
AMC I	Tepotzollán, Teoloyucan, Cuautitlán.
AMC II	Zumpango, Jaltenco, M. Ocampo, Nextlalpan, Tultepec.
AMC III	Tecamac, Acolman.
AMC IV	Amecameca, Tlalmanalco.

FUENTE: INEGI, Encuesta de Origen y Destino de los Viajes de los Residentes del Area Metropolitana de la Ciudad de México, 1994.

Las ZAT se definieron mediante un proceso similar al anterior, en éste era más fácil garantizar la homogeneidad y uso del suelo. Estas zonas incluyen una o más AGEB. Algunas zonas ocupan una extensión considerable porque incluyen una o varias AGEB rurales, las cuales tienen normalmente un bajo número de viviendas.

La ZAT, es la unidad geográfica utilizada para crear asignaciones de viajes a las líneas de transporte público y vialidades, para los modelos matemáticos de transporte.

El AGEB<sup>17</sup> es la unidad básica del Marco Geoestadístico Nacional, su utilidad es organizar la información estadística. Una AGEB es un conjunto formado, en promedio, por 50 manzanas.

## 2. AMBITO TEMPORAL

- El periodo de levantamiento de la encuesta correspondió a 6 semanas.
- El periodo de referencia de la información es el día anterior a la fecha en que se realiza la segunda entrevista, denominada el día de los viajes; toda la información de los viajes se refiere a ese único día.
- El periodo de referencia de la información sociodemográfica es el día de la primer entrevista.

<sup>17</sup> En el Glosario de Términos se describe ampliamente este concepto.

## **IV. METODOLOGIA**

### **1. DISEÑO CONCEPTUAL**

En el Diseño Conceptual se detallan las definiciones y clasificaciones de las variables que se incluyen en la encuesta, así como los periodos de referencia, la cobertura, la unidad de observación, etc.

#### **1.1 COBERTURA TEMATICA**

La Cobertura Temática define los temas, variables y conceptos que son objeto de la encuesta.

##### **1.1.1 UNIDAD DE OBSERVACION**

La unidad de observación que se definió fue la vivienda particular. Las viviendas colectivas como: cuarteles, hospitales, conventos, hoteles, pensiones, etc. se excluyeron.

Todos los visitantes que no disponen de vivienda particular ubicada en el AMCM no fueron sujetos de encuesta por no formar parte de la población de estudio, es el caso de las personas que llegaron a terminales de autobuses foráneos, al aeropuerto Benito Juárez, accesos carreteros, etc., pernoctando o no en alguna vivienda colectiva.

Los viajes que captó la encuesta corresponden a los residentes del hogar de 6 años y más que utilizaron algún modo de transporte el día establecido para

reportar los viajes, así como los viajes de visitantes el hogar cuya residencia habitual se encontraba fuera del AMCM y que habían llegado al hogar al menos el día anterior al día de los viajes; estos visitantes podían tener o no parentesco con los miembros del hogar.

Los viajes que se consideraron en la encuesta corresponden a aquéllos realizados en algún vehículo de transporte. No se incluyeron viajes a pie. Se captaron el origen y el destino de los viajes, no así de los tramos de viaje, de los cuales sólo se consideró el número de tramos y el modo de transporte. Para el Metro no se consideraron los transbordos de una línea a otra.

##### **1.1.2 INFORMANTE ADECUADO Y RESIDENTES DE INTERES PARA LA ENCUESTA**

- Jefe del hogar, cónyuge o persona de 18 años y más que conoce los datos de los residentes del hogar, tales como:
  - Datos generales
  - Características de los residentes del hogar
- Residentes de 6 años y más que utilizaron algún modo de transporte el día de los viajes y proporcionaron los datos correspondientes a sus viajes.
- Visitantes en el hogar cuya residencia habitual se encontraba fuera del AMCM y que habían llegado al hogar al menos el día anterior al día de los viajes; estos visitantes podían tener o no parentesco con los miembros del hogar.

### 1.1.3 MARCO CONCEPTUAL BASICO

(12)

Para el diseño del cuestionario, se tomaron en cuenta los objetivos de la encuesta y las variables a captar. El Marco Conceptual quedó integrado de la siguiente manera:

POBLACION OBJETO	TEMA	SUBTEMA	PERIODO DE REFERENCIA	VARIABLES <sup>1/</sup>	UNIDAD DE MEDIDA
VIVIENDA          HOGAR	DATOS GENERALES	DATOS DE LA VIVIENDA	MOMENTO DE LA PRIMERA ENTREVISTA	- VIVIENDA OMITIDA FUERA DEL PREDIO	- NUMERO
				- VIVIENDA OMITIDA DENTRO DEL PREDIO	- NUMERO
				- VIVIENDA SELECCIONADA	- NUMERO
				- TIPO DE VIVIENDA	- NUMERO
		HOGARES DE LA VIVIENDA	MOMENTO DE LA PRIMERA ENTREVISTA	- HOGARES AL INTERIOR DE LA VIVIENDA	- NUMERO
				- CUARTOS	- NUMERO
				- CUARTOS DORMITORIOS	- NUMERO
				- TAMAÑO DEL HOGAR	- NUMERO DE PERSONAS
				- RESIDENTES DE 6 AÑOS Y MAS	- NUMERO
				- VEHICULOS	- NUMERO DE UNIDADES
		VEHICULOS			

Continúa...

<sup>1/</sup> Ver Glosario de Términos para la definición de las variables.

POBLACION OBJETO	TEMA	SUBTEMA	PERIODO DE REFERENCIA	VARIABLES <sup>1/</sup>	UNIDAD DE MEDIDA
RESIDENTES HABITUALES Y VISITANTES DEL HOGAR DE 6 AÑOS Y MAS QUE UTILIZARON ALGUN MODO DE TRANSPORTE	HOJA DE VIAJES		DIA MARCADO PARA EL REGISTRO DE VIAJES (EL DIA ANTERIOR AL MOMENTO DE LA SEGUNDA ENTREVISTA)	- NUMERO DE VIAJE - ORIGEN - DESTINO - TIPO DE LUGAR - PROPOSITO DE VIAJE - INICIO DEL VIAJE - TERMINACION DEL VIAJE - ORDEN DE MODO DE TRANSPORTE - COSTO EN TRANSPORTE PUBLICO	- NUMERO - AGEB, DISTRITO - AGEB, DISTRITO - NUMERO - NUMERO - HORAS YMINUTOS - HORAS YMINUTOS - NUMERO - NUEVOS PESOS - ABONO
		TRANSPORTE PRIVADO	DIA MARCADO PARA EL REGISTRO DE VIAJES (EL DIA ANTERIOR AL MOMENTO DE LA SEGUNDA ENTREVISTA)	- PERSONAS QUE IBAN EN EL VEHICULO - TIPO DE ESTACIONAMIENTO - COSTO Y TIEMPO DE PERMANENCIA EN EL ESTACIONAMIENTO - DISTANCIA EN CUADRAS HASTA DESTINO FINAL	- NUMERO - NUMERO - NUEVOS PESOS - HORAS YMINUTOS - NUMERO

Continúa...

<sup>1/</sup> Ver Glosario de Términos para la definición de las variables.

POBLACION OBJETO	TEMA	PERIODO DE REFERENCIA	VARIABLES <sup>1/</sup>	UNIDAD DE MEDIDA
RESIDENTES HABITUALES DEL HOGAR	CARACTERISTICAS DE LOS RESIDENTES DEL HOGAR	MOMENTO DE LA PRIMERA ENTREVISTA	<ul style="list-style-type: none"> <li>- IDENTIFICACION</li> <li>- PARENTESCO</li> <li>- SEXO</li> <li>- EDAD</li> <li>- POSICION EN EL TRABAJO</li> <li>- RAMA DE ACTIVIDAD</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- AÑOS CUMPLIDOS</li> <li>- NUMERO</li> <li>- NUMERO</li> </ul>
HOGARES		SEMANAL, QUINCENAL, MENSUAL, ANUAL.	<ul style="list-style-type: none"> <li>- INGRESO</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- NUEVOS PESOS</li> </ul>
RESIDENTES HABITUALES MAYORES DE 12 AÑOS QUE TRABAJAN Y VISITANTES DEL HOGAR		DIA MARCADO PARA EL REGISTRO DE LOS VIAJES (EL DIA ANTERIOR AL MOMENTO DE LA SEGUNDA ENTREVISTA)	<ul style="list-style-type: none"> <li>- TIPO DE VIAJE</li> <li>- VISITANTES</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- NUMERO</li> <li>- NUMERO</li> </ul>
HOGAR			<ul style="list-style-type: none"> <li>- AUTOMOVILES QUE SE UTILIZARON EL DIA DE LOS VIAJES</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- NUMERO DE UNIDADES</li> </ul>

Concluye

<sup>1/</sup> Glosario de Términos para la definición de las variables.

## **2. DISEÑO MUESTRAL**

La EOD-94 se diseñó para generar datos a nivel de AMCM, Distrito Federal, Municipios Conurbados del Estado de México y por Distrito.

Cada Distrito fue considerado como un dominio de estudio en el cual se aplicó el esquema de muestreo de manera independiente.

### **2.1 MARCO DE MUESTREO**

El marco de muestreo se construyó durante marzo y abril de 1992 (EOD 91-92). El procedimiento general consistió en la subdivisión del territorio de estudio en áreas geográficas pequeñas y en la selección mediante métodos probabilísticos de algunas de ellas.

En las áreas seleccionadas se elaboró un listado de viviendas particulares así como un croquis para la identificación de cada una de ellas. Las normas y criterios a seguir se establecieron en el **Manual para la Elaboración y Actualización de Listados de Viviendas**.

La mayor parte de las AGEB que conforman el Área Metropolitana de la Ciudad de México es de tipo urbano; sin embargo, algunos Distritos comprenden AGEB rurales, que por su naturaleza fue necesario trabajar de manera diferente.

### **2.1.1 ZONA URBANA**

Se utilizó la cartografía digitalizada escala 1:5000 y la información del número de viviendas particulares del XI Censo General de Población y Vivienda, 1990; a nivel de manzana. Con estos elementos se formaron las Unidades Primarias de Muestreo (UPM), definidas como una manzana o un conjunto de manzanas geográficamente contiguas, con un mínimo de 20 viviendas.

Si alguna de las UPM seleccionadas tenía más de 40 viviendas, se procedió al conteo de toda el área y a la formación de subáreas de 20 viviendas aproximadamente, éstas constituyeron las Unidades Secundarias de Muestreo (USM).

En las USM o UPM sin subáreas en la muestra, se elaboró un listado de cada una de las viviendas, las cuales fueron consideradas como Unidades Terciarias de Muestreo (UTM).

### **2.1.2 ZONA RURAL**

Se utilizó la cartografía escala 1:50000 y la información del XI Censo General de Población y Vivienda, 1990.

En las UPM de la muestra se procedió al conteo de viviendas y a la formación de subáreas con aproximadamente 40 viviendas, las cuales formaron las USM.

En las USM de la muestra se efectuó el listado de viviendas (UTM), de manera similar al caso urbano.

## 2.2 TAMAÑO DE MUESTRA

La siguiente expresión se utilizó para obtener el tamaño de muestra de viviendas para el Distrito.

$$n = \frac{Z^2 \cdot (1-p)}{r^2} \cdot \frac{DEFF \cdot 1}{1-Tnr} \cdot \frac{1}{VV}$$

donde:

- Z: Valor de las tablas de la distribución normal con media 0 y varianza 1; permite asignar la confianza deseada en las estimaciones que se lleven a cabo.
- r: Error relativo máximo aceptable para las diferentes estimaciones que se lleven a cabo.
- p: Es el valor porcentual de la característica que se desea estimar.

DEFF: Efecto de diseño; este factor corrige el tamaño de la muestra que se genera con las expresiones del muestreo aleatorio simple. 16

Tnr : Tasa de no respuesta esperada.

VV : Promedio de viajes por vivienda en el Distrito.

Conviene mencionar que los alcances definidos en la EOD 91-92 eran más amplios, que los de la EOD-94, de aquí que el tamaño de la muestra resultó ser de 500 viviendas por Distrito. Para satisfacer ese requerimiento fue necesario elaborar listados de viviendas en 16,750 UPM y seleccionar 4 viviendas en las zonas urbanas y 8 en las rurales.

En la EOD-94 se redefinió el tamaño de muestra a 248 viviendas por Distrito, debido a que se restringieron los alcances. De cada uno de los 126 Distritos que tenían sólo muestra urbana, se seleccionaron 62 UPM, 1 USM por UPM y 4 UTM por USM; en los 9 restantes\*, la muestra por estrato urbano, rural y etapa de muestreo se presentan en el siguiente cuadro.

\* Anteriormente se mencionó la exclusión de un Distrito.

## DISTRIBUCION DE LA MUESTRA POR ESTRATO URBANO Y RURAL

MUNICIPIO O DELEGACION POLITICA	NUMERO DEL DISTRITO	NUMERO DE UNIDADES EN MUESTRA					
		URBANAS			RURALES		
		UPM	USM	UTM	UPM	USM	UTM
<b>ESTADO DE MEXICO</b>							
AMECAMECA, TLALMANALCO	131	50	50	200	3	6	48
HUIXQUILUCAN	79	52	52	208	2	5	40
TULTITLAN, JALTENCO, MOCAMPO, NEXTLALPAN, ZUMPANGO	134	54	54	216	2	4	32
NAUCALPAN	82	58	58	232	1	2	16
N. ROMERO,	132	54	54	216	2	4	32
CUAUTITLAN, TELOYUCAN, TEPOTZOTLAN,	133	54	54	216	2	4	32
TEXCOCO	130	50	50	200	3	6	48
<b>DISTRITO FEDERAL</b>							
CUAJIMALPA	69	58	58	232	1	2	16

FUENTE: INEGI, Encuesta de Origen y Destino de los Viajes de los Residentes del Area Metropolitana de la Ciudad de México, 1994.

## 2.3 PROCEDIMIENTO DE SELECCION

### 2.3.1 ESTRATO URBANO

En cada Distrito las UPM se seleccionaron en forma sistemática con probabilidad proporcional al número censal de viviendas.

Por UPM se seleccionó una subárea con igual probabilidad cuando el número de viviendas excedía el límite de 40. Este procedimiento se llevó a cabo en campo posterior al conteo de viviendas de la UPM, con el fin de agilizar el trabajo y proceder a la elaboración del listado de viviendas.

Las viviendas se seleccionaron mediante un muestreo sistemático con igual probabilidad.

### 2.3.2 ESTRATO RURAL

La selección de UPM se realizó en forma sistemática, con probabilidad proporcional al número de viviendas.

En cada UPM se formaron las subáreas con base en la información de los conteos y se seleccionaron dos con igual probabilidad para proceder a la elaboración del listado de viviendas.

Posteriormente se seleccionó un conjunto de 8 viviendas contiguas en cada subárea con igual probabilidad.

## 2.4 PROCEDIMIENTO DE ESTIMACION

De acuerdo al procedimiento de selección antes descrito, se construyeron los estimadores necesarios para expandir los datos muestrales y obtener los totales, medias y proporciones requeridos.

Notación:

$X_{dlijk}$ : Valor de la variable  $X$  en la vivienda  $k$ , de la subárea  $j$ , de la UPM  $i$ , del estrato  $l$ , del distrito  $d$ .

$U_{dlij}$ : Número total de viviendas en la subárea  $j$ , de la UPM  $i$ , del estrato  $l$ , del distrito  $d$ .

$u_{dlij}$ : Número de viviendas en muestra en la subárea  $j$ , de la UPM  $i$ , del estrato  $l$ , del distrito  $d$ .

$p_{dlij}$ : Probabilidad de selección de la subárea  $j$ , de la UPM  $i$ , del estrato  $l$ , del distrito  $d$ .

$m_{dli}$ : Número de subáreas en muestra de la UPM  $i$ , del estrato  $l$ , del distrito  $d$ .

$p_{dli}$ : Probabilidad de selección de la UPM  $i$ , del estrato  $l$ , del distrito  $d$ .

$n_{dl}$ : Número de UPM en la muestra del estrato  $l$ , del distrito  $d$ .

## 2.4.1 ESTIMADORES DE TOTALES

78

### ZONA URBANA ( $l = 1$ ) o ZONA RURAL ( $l = 2$ )

$$\hat{X}_{dl} = \frac{1}{n_{dl}} \sum_{i=1}^{n_{dl}} \frac{1}{p_{dli}} \frac{1}{m_{dli}} \sum_{j=1}^{m_{dli}} \frac{1}{p_{dlij}} \frac{U_{dlij}}{u_{dlij}} \sum_{k=1}^{u_{dlij}} X_{dlijk}$$

### Total en el Distrito

$$\hat{X}_d = \hat{X}_{d1} + \hat{X}_{d2}$$

### Total en el Area Metropolitana de la Ciudad de México

$$\hat{X} = \sum_{d=1}^{134} \hat{X}_d$$

## 2.4.2 ESTIMADORES DE MEDIAS

### Media por persona en el Distrito

$$\hat{\bar{X}}_d = \frac{\sum_{l=1}^2 \hat{X}_{dl}}{\sum_{l=1}^2 \hat{M}_{dl}}$$

en donde  $\hat{M}_{dl}$  es el estimador del total de personas en el grupo de interés.

### Media por vivienda en el Distrito

$$\hat{X}_d = \frac{\sum_{l=1}^2 \hat{X}_{dl}}{\sum_{l=1}^2 \hat{N}_{dl}}$$

en donde  $\hat{N}_{dl}$  es el estimador del total de viviendas en el grupo de interés.

### Media por persona en el AMCM

$$\hat{X} = \frac{\sum_{d=1}^{134} \sum_{l=1}^2 \hat{X}_{dl}}{\sum_{d=1}^{134} \sum_{l=1}^2 \hat{M}_{dl}}$$

### Media por vivienda en el AMCM

$$\hat{X} = \frac{\sum_{d=1}^{134} \sum_{l=1}^2 \hat{X}_{dl}}{\sum_{d=1}^{134} \sum_{l=1}^2 \hat{N}_{dl}}$$

### 2.4.3 ESTIMADORES DE PROPORCIONES

Se aplican los mismos estimadores del inciso 2.4.2 correspondientes a medias.

En este caso la variable  $X_{dijk}$  se define de la siguiente manera:

$$X_{dijk} = \begin{cases} 1 & \text{si la persona posee la característica} \\ 0 & \text{si no la posee} \end{cases}$$

Esta variable se define de manera similar para las viviendas.

### 2.4.4 ESTIMADOR DE UNA RAZON

#### Razón para el Distrito

$$\hat{R}_d = \frac{\hat{X}_d}{\hat{Z}_d}$$

en donde  $\hat{Z}$  es la variable auxiliar y se obtiene de manera similar a  $\hat{X}$ .

## Razón para el AMCM

$$\hat{R} = \frac{\sum_{d=1}^{134} \hat{X}_d}{\sum_{d=1}^{134} \hat{Z}_d}$$

En donde  $\hat{Z}$  es la variable auxiliar y se obtiene de manera similar a  $\hat{X}$ .

### 3. PRUEBA PILOTO

La Prueba Piloto realizada en la EOD 91-92 tuvo como objetivo verificar y evaluar en campo los instrumentos y procedimientos que se diseñaron específicamente para el levantamiento de la encuesta.

Para tal efecto, se requirió de un ámbito de aplicación que contara con las mismas características, pero de menor tamaño al que se manejó en la EOD-94.

La Prueba Piloto tuvo una duración de 12 semanas. La distribución de la muestra por Delegación Política del Distrito Federal o Municipio conurbado se detalla en el siguiente cuadro.

## DISTRIBUCION DE LA MUESTRA DE LA PRUEBA PILOTO EOD 91-92

20

DELEGACION POLITICA O MUNICIPIO	ESTRATO	MANZANAS	VIVIENDAS
BENITO JUAREZ	I	8	40
VENUSTIANO CARRANZA	II	8	40
AZCAPOTZALCO	III	8	40
MAGDALENA CONTRERAS	IV	8	40
CUAUTITLAN	V	8	40
TECAMAC	VI	8	40
TLAHUAC	VII	8	40
NICOLAS ROMERO	VIII	8	40
MILPA ALTA	IX	8	40
CHALCO	X	8	40

FUENTE: INEGI, Encuesta de Origen y Destino de los Viajes de los Residentes del Area Metropolitana de la Ciudad de México, 91-92.

### 3.1 DESARROLLO DE LA PRUEBA PILOTO

La Prueba Piloto siguió el esquema que a continuación se presenta:

- Programación de la Prueba Piloto
- Selección del personal
- Capacitación
- Preparación de las cargas de trabajo
- Trabajo de campo
- Crítica-codificación
- Captura y validación

### 3.1.1 PROGRAMACION DE LA PRUEBA PILOTO

Se diseñó la calendarización del trabajo y se asignaron las actividades a los responsables de cada una de ellas.

3 SEMANAS	ELABORACION DE LISTADOS
1 SEMANA	SELECCION DE ENTREVISTADORES
1 SEMANA	CAPACITACION
2 SEMANAS	LEVANTAMIENTO Y CRITICA CODIFICACION
2 SEMANAS	CAPTURA
3 SEMANAS	OBTENCION DE RESULTADOS

FUENTE: INEGI, Encuesta de Origen y Destino de los Viajes de los Residentes del Area Metropolitana de la Ciudad de México, 1994.

### 3.1.2 SELECCION DE PERSONAL

De un total de 45 candidatos se seleccionaron 31 de acuerdo a los perfiles de puestos requeridos.

PUESTO	CANTIDAD
ENTREVISTADOR	18
JEFE DE OFICINA	1
JEFE DE GRUPO	3
CRITICO	4
CAPTURISTA	2
SUPERVISOR	2
COORDINADOR DEL TRABAJO DE CAMPO	1

### 3.1.3 CAPACITACION

Se realizaron 24 sesiones de trabajo en aula y 4 sesiones de prácticas de campo.

El programa de capacitación incluyó:

- Marco Muestral
- Marco Conceptual
- Manuales y formatos de captación
- Listados de vivienda
- Formación general
- Conocimiento y manejo de la Tarjeta de Viajes
- El cuestionario y su uso
- Procedimiento y técnicas de trabajo

Al finalizar el curso se aplicó una evaluación para medir el aprendizaje de los participantes.

### 3.1.4 PREPARACION DE LAS CARGAS DE TRABAJO

La Carga de Trabajo para esta Prueba Piloto fue de 400 cuestionarios, distribuidos de la siguiente manera:

EQUIPO	NUMERO DE CUESTIONARIOS
I	140
II	140
III	120

FUENTE: INEGI, Encuesta de Origen y Destino de los Viajes de los Residentes del Area Metropolitana de la Ciudad de México, 1994.

Cada Entrevistador aplicó 4 cuestionarios diarios en la primer visita y 4 en la segunda, únicamente en los tres primeros días se realizó primera visita.

De los cuestionarios que originalmente fueron asignados se observó un aumento de 17 debido al registro de hogares adicionales.

### **3.1.5 TRABAJO DE CAMPO**

El trabajo de campo estuvo a cargo de los Entrevistadores, Jefes de Grupo, Supervisores, y Jefes de Oficina. Las actividades de oficina las realizaron los Críticos-Codificadores y el Coordinador.

El personal de oficina fue el encargado de preparar las cargas de trabajo, de criticar y codificar los cuestionarios para su posterior captura y análisis; esta función la realizaron el Jefe de Oficina, el Coordinador y 3 Críticos-Codificadores.

Durante la Prueba se llevó un control del proceso, anotando todos los incidentes, midiendo los flujos y tiempos de cada fase.

### **3.1.6 CRITICA-CODIFICACION**

Los cuestionarios que fueron enviados al área de Crítica-Codificación, fueron digitalizados en microcomputadoras una vez que se ordenó y validó la información que se captó en campo.

### **3.1.7 CAPTURA Y VALIDACION**

(22)

Una semana después de iniciado el levantamiento de la Prueba Piloto se comenzó la captura de los cuestionarios, utilizando un programa a través de pantallas, que simultáneamente generó los siguientes archivos:

1. Viviendas
2. Personas
3. Viajes 1
4. Viajes 2
5. Resultados

El programa de captura desarrollado permitió filtrar la información y detectar los errores, lógicos y de captura.

### **3.2 EVALUACION DE LA PRUEBA PILOTO (Problemas y soluciones)**

Al evaluar la logística empleada durante la Prueba Piloto, se detectaron problemas tanto en el trabajo de campo como en la crítica-codificación y captura de cuestionarios, éstos se presentan en los cuadros siguientes.

## TRABAJO DE CAMPO

PROBLEMA	SOLUCION
DIFICULTAD PARA UBICARSE EN LAS ZONAS DE TRABAJO Y EN LA INTERPRETACION DE LISTADOS Y CROQUIS.	CAPACITACION DEL PERSONAL TANTO EN LOCALIZACION DE VIVIENDAS SELECCIONADAS COMO EN LA INTERPRETACION DE CROQUIS Y LISTADOS.
MANEJO DEL CUESTIONARIO.	CAPACITACION Y REDISEÑO DEL CUESTIONARIO.
RECHAZO A LA ENTREVISTA.	REFORZAMIENTO INTENSO DE CAPACITACION.

FUENTE: Prueba Piloto, EOD 91-92.

## CRITICA-CODIFICACION

PROBLEMA	SOLUCION
PRACTICA Y PROCEDIMIENTO.	MEJORAR EL MANUAL. REALIZAR UNA CAPACITACION EXHAUSTIVA DIRIGIDA A ANALIZAR EL CUESTIONARIO DE LA ENCUESTA.
LOCALIZACION DE PUNTOS DE ORIGEN Y DESTINO POR AGEB.	PROFUNDIZAR EN EL CONOCIMIENTO DE DISTRITOS, ZONAS, AGEB Y CALLES DEL AMCM.

FUENTE: Prueba Piloto, EOD 91-92.

## CAPTURA Y VALIDACION

PROBLEMA	SOLUCION
LAS PANTALLAS PARA DAR DE ALTA LA INFORMACION FUERON MUY RIGIDAS, YA QUE NO PERMITIERON NINGUNA MODIFICACION DURANTE LA CAPTURA DIRECTA.	REGRESAR A LA IMAGEN DEL ARCHIVO PARA PODER REALIZAR LAS CORRECCIONES.
CUANDO EL ORIGEN DEL VIAJE ERA EL HOGAR, A VECES NO SE ASIGNABA AUTOMATICAMENTE LA IDENTIFICACION DE LA VIVIENDA.	REPASAR EL ARCHIVO PARA QUE SE HICIERA LA ASIGNACION.
CAPTURA DE INFORMACION DEL RESIDENTE NUMERO 11.	CAPTURAR LA INFORMACION COMO SI FUERA RESIDENTE NUMERO 1 DE LA FORMA 2 DE 2 CON EL MISMO FOLIO.

FUENTE: Prueba Piloto, EOD 91-92.

### 3.3 TARJETA DE VIAJES Y CUESTIONARIO

Para la Prueba Piloto se diseñó una tarjeta de viajes y el cuestionario, siendo los instrumentos de captación básicos.

Las variables contempladas para la encuesta de Origen y Destino fueron consideradas durante el diseño de

dichos instrumentos, mismos que al realizarse la Prueba Piloto fueron evaluados en cuanto a operatividad en campo, claridad, precisión en las preguntas, etc..

En los cuadros siguientes se desglosan los problemas encontrados en campo con mayor frecuencia y la solución aplicada para cada instrumento.

#### a) Tarjeta de viajes

PROBLEMA	SOLUCION
USO DE LA TARJETA	CAMBIO DE FORMATO DE HORIZONTAL A VERTICAL
CONFUSION EN LAS TARJETAS	INCLUIR CARATULA CON LOS DATOS DE IDENTIFICACION, NUMERO DE RENGLON, FOLIO, ETC.
POCA CLARIDAD EN LOS LOGOTIPOS	SE MODIFICARON LOS LOGOTIPOS PARA QUE FUERAN MAS COMPRENSIBLES
REGISTRO DE OTROS MODOS DE TRANSPORTE NO INCLUIDOS	SE ADICIONARON LOS RECUADROS CORRESPONDIENTES A TRANSPORTE ALTERNO CONCESIONADO (TRAC), BICICLETA, MOTO, AUTOBUS SUBURBANO

FUENTE: Prueba Piloto, EOD 91-92.

#### b) El cuestionario

24

PROBLEMA	SOLUCION
PREGUNTAS DE MAS	ELIMINACION DE PREGUNTAS
CONFUSION ENTRE PREGUNTAS	CAMBIO DE ORDEN EN LA PRESENTACION
REDACCION CONFUSA	MODIFICAR LA REDACCION
PROBLEMAS DE CAPTACION DE LA INFORMACION	REFORZAMIENTO EN CAPACITACION

FUENTE: Prueba Piloto, EOD 91-92.

Como resultado de la Prueba Piloto se generaron tabulados relacionados con los archivos mencionados. La Prueba proporcionó elementos para modificar tanto el cuestionario como la tarjeta de viajes.

### 4. INSTRUMENTOS DE CAPTACION, EOD-94

Al igual que en la Prueba Piloto, para la EOD-94 se utilizó el cuestionario y la tarjeta de viajes.

#### 4.1 CUESTIONARIO

El Cuestionario como instrumento de captación de la EOD-94, sufrió modificaciones de acuerdo a los resultados obtenidos de la Prueba Piloto. Para llevar a cabo dichos cambios fueron considerados tanto los aspectos conceptuales como los del manejo del cuestionario por parte de los Entrevistadores (Anexo III). La estructura del cuestionario se describe a continuación.

#### 4.1.1 PORTADA

Está compuesta de las siguientes partes:

- a) Escudo Nacional y logotipo del INEGI.
- b) Espacio para el número de folio y número de forma... de forma...
- c) Título de la encuesta y leyenda: **Confidencial**.
- d) Etiqueta de identificación con los datos de ubicación geográfica:
  - Entidad Federativa
  - Municipio o Delegación Política
  - Distrito
  - No. de Control
  - Area de Listado
  - AGEB
  - Manzana
  - Vivienda
  - Distribución semana
  - Día de viajes
- e) Logotipo de la EOD-94 y breve descripción del apoyo legal de la misma...

#### 4.1.2 DATOS GENERALES

Este capítulo contiene los datos generales de la vivienda, que fueron anotados por el Entrevistador.

La sección incluye:

- Clase de hogar
- Tipo de vivienda
- Número de cuartos
- Número de dormitorios
- Número de residentes habituales
- Número de minusválidos en el hogar
- Vehículos existentes en la vivienda

#### 4.1.3 CARACTERISTICAS DE LOS RESIDENTES DEL HOGAR

En este capítulo se obtuvieron las características sociodemográficas de los residentes del hogar. Los datos solicitados fueron:

- Residentes habituales
- Parentesco
- Sexo
- Edad
- Condición de actividad
- Actividad económica

#### 4.1.4 DATOS DE LOS VIAJES

El llenado de este capítulo se realizó durante la segunda entrevista y permitió conocer el tipo de viajes que realizaron los residentes de los hogares seleccionados.

Además recopiló información sobre:

- Vehículos disponibles en la vivienda no utilizados en virtud del programa "Hoy No Circula".
- Visitantes en la vivienda.

#### 4.1.5 HOJA DE VIAJES

El cuestionario constó de 5 hojas de viajes, una por residente, con 5 bloques de viajes cada hoja.

Esta sección se captó con apoyo de la tarjeta de viajes.

Incluyó:

- Origen de los viajes
- Número de viajes
- Destino de los viajes
- Motivo de los viajes
- Duración de los viajes
- Modos de transporte
- Número de viajeros por vehículo particular
- Tipo de estacionamiento
- Tiempo de estacionamiento
- Costo de estacionamiento
- Número de cuadras caminadas al destino
- Hora de inicio y término del viaje

#### 4.1.6 INGRESOS

La información de este capítulo permitió conocer las características económicas de los residentes del hogar.

- Total de ingreso
- Periodicidad de pago
- Rangos de ingreso

#### 4.1.7 RESULTADO DE LA ENTREVISTA

La función principal de este apartado fue de llevar un registro de las entrevistas efectuadas. El uso fue exclusivo del Entrevistador, Jefe de Grupo, Supervisor y Crítico-Codificador.

- Número de visitas efectuadas
- Duración de la entrevista
- Número de personas entrevistadas
- Resultado preliminar de la entrevista
- Resultado final de la entrevista

#### 4.2 TARJETA DE VIAJES

Fue el instrumento que registró y captó la información de los viajes que realizaron los residentes de una vivienda. (Anexo III).

Como resultado de la Prueba Piloto se efectuaron modificaciones, que dieron lugar a la tarjeta de viajes empleada en la EOD-94. Estas modificaciones fueron:

- Cambiar posición de formato (de vertical a horizontal).
- Incluir en la carátula datos de identificación de las personas, es decir: nombre, número de renglón, folio, forma y día de viajes, e instrucciones de llenado.
- Cada bloque representó un viaje.
- La tarjeta de viajes captó el registro de siete viajes.
- En cada bloque se adicionaron los datos relativos a las direcciones del lugar de origen y destino: Nombre del Lugar, Calle, Colonia, Municipio o Delegación Política y entre que calles se encuentra.
- En el renglón referente a modo de transporte utilizado se adicionaron los recuadros correspondientes a los logotipos de Transporte Alterno Concesionado (Trac), Bicicleta, Moto, Autobús Suburbano y Otro, para que coincidieran con las opciones existentes en el cuestionario.

#### **4.3 MANUALES Y FORMAS DE CONTROL**

Los manuales y formas de control elaborados fueron utilizados en la capacitación del personal y el operativo de campo.

##### **4.3.1 MANUALES**

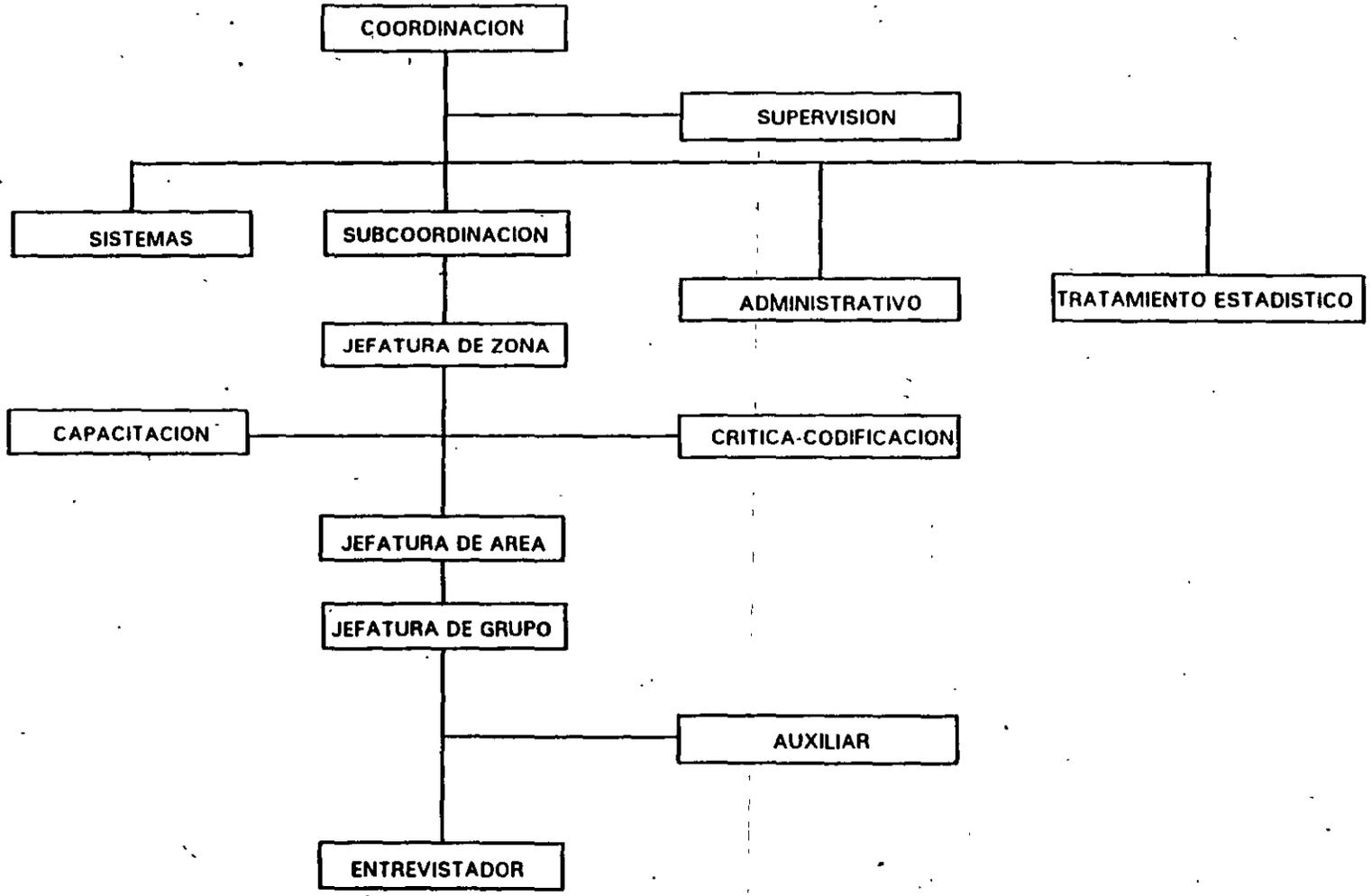
- a) Manual del Entrevistador
- b) Manual del Jefe de Grupo
- c) Manual del Critico-Codificador
- d) Manual del Supervisor
- e) Manual del Jefe de Zona y del Jefe de Area

##### **4.3.2 FORMAS DE CONTROL**

- a) Hoja de no entrevista
- b) Forma única de proceso
- c) Asignación de cargas de trabajo
- d) Listado para supervisión
- e) Resultados preliminares de trabajo en campo
- f) Reporte semanal de observación
- g) Reporte de reentrevistas
- h) Reporte diario de verificación de No Entrevista
- i) Hoja de comunicación
- j) Resultados de Critica-Codificación

### 5. ESTRUCTURA ORGANICA DE LA EOD-94

Para llevar a cabo las actividades de la EOD-94 se contó con la siguiente estructura:



68  
La estructura orgánica implicó 1,023 plazas.

#### DISTRIBUCION DE PLAZAS POR AREA DE TRABAJO

AREA	NUMERO DE PLAZAS
TOTAL	1,023
CONTROL DE LA EOD-94	29
OPERATIVO DE CAMPO	752
TRATAMIENTO ESTADISTICO	13
TRATAMIENTO DE LA INFORMACION	179
SISTEMAS AUTOMATIZADOS	25
CONTROL ADMINISTRATIVO	25

FUENTE: INEGI, Encuesta de Origen y Destino de los Viajes de los Residentes del Area Metropolitana de la Ciudad de México, 1994.

Los puestos de Coordinador, Subcoordinador, Jefe de Zona, Jefe de Area, Jefe de Grupo, Instructor, Entrevistador y Secretaria de Jefe de Zona, fueron cubiertos por personal con experiencia.

#### 5.1 PERFIL DEL PUESTO DE JEFE DE AREA Y JEFE DE GRUPO

- Amplia experiencia en levantamiento de Censos y Encuestas.
- Conocimiento de los Municipios y Delegaciones en aspectos geográficos.
- Experiencia en el manejo de grupo.

- Capacidad en la organización de actividades de trabajo.
- Capacidad para establecer comunicación interpersonal.
- Contar con carrera universitaria o estar cursándola.

#### 5.2 PERFIL DEL PUESTO DE ENTREVISTADOR

- Experiencia en Censos y Encuestas.
- Conocimiento de los Distritos, en aspectos geográficos.
- Experiencia en actividades de campo.
- Capacidad para establecer comunicación interpersonal.
- Estar cursando un carrera universitaria o tener preparatoria o equivalente concluida.

El reclutamiento y selección del personal operativo fue llevado a cabo por la Subcoordinación y los Jefes de Zona de acuerdo a su experiencia y evaluación de curriculum.

Se cuidó que el personal seleccionado fuera ubicado en la Jefatura de Zona más cercana a su domicilio, lo cual garantizaba que el recorrido de la zona fuera más ágil y rápido.

La Coordinación de la encuesta tuvo como funciones principales: Planificar, Organizar y Administrar las actividades de la EOD-94.

Se formaron dos grupos de Supervisores, uno fue el encargado de llevar el control de calidad de la información, mediante la verificación de la no respuesta y elaboración del programa de reentrevistas. Así también, se encargó de aclarar las dudas que surgieron durante el levantamiento, tanto de los Entrevistadores como de los Críticos-Codificadores.

El segundo grupo fue responsable de la supervisión del trabajo de campo, tanto a encuestadores como a Jefes de Grupo y en su caso Jefes de Area; asimismo, recuperó entrevistas difíciles y verificó la no respuesta; nuevamente realizó reentrevista y elaboró reportes.

Los Subcoordinadores funcionaron como enlace entre la Coordinación y el personal de campo, además de ser los encargados de Planificar, Organizar y Evaluar el trabajo de cada una de las jefaturas de zona.

El Jefe de Zona tenía a su cargo el Control y Administración de los recursos, tanto humanos como materiales y era el responsable de asignar el trabajo en las diferentes jefaturas.

El Jefe de Area apoyó directamente al Jefe de Zona y estableció un vínculo entre Jefe de Grupo, Entrevistadores y Críticos.

Los instructores fueron los encargados de impartir los cursos de capacitación desde los Jefes de Grupo, Entrevistadores hasta Críticos-Codificadores.

El área de Crítica-Codificación fue la encargada de revisar la congruencia lógica de la información captada

en los cuestionarios, siguiendo los criterios y lineamientos definidos en el manual del puesto.

Los Críticos-Geográficos fueron los encargados de codificar el origen y destino de los diferentes viajes registrados para cada uno de los residentes del hogar anotados en el cuestionario, para ello contaron con la cartografía del AMCM. Este grupo se constituyó con personal que contaba con amplia experiencia en estos aspectos.

Las actividades de los Jefes de Grupo y de sus Auxiliares tuvieron como finalidad Organizar, Distribuir, Asignar y Controlar el trabajo, así como realizar observaciones directas al desempeño de los Entrevistadores, asegurándose que el trabajo se realizara dentro de los tiempos y lineamientos establecidos, esto con el fin de reducir la no respuesta.

La actividad de los Entrevistadores estuvo determinada por la recepción de su carga de trabajo, la verificación de su material de acuerdo al día de viajes, primera y segunda visita.

DIAS DE VIAJE			
ENTREGA DE CARGAS	PRIMERA VISITA	DIA DE VIAJE	SEGUNDA VISITA
JUEVES	VIERNES SABADO LUNES	MARTES MIERCOLES	MARTES MIERCOLES JUEVES
LUNES	MARTES MIERCOLES	JUEVES VIERNES	SABADO

FUENTE: INEGI, Encuesta de Origen y Destino de los Viajes de los Residentes del Area Metropolitana de la Ciudad de México, 1994.

## 6. CAPACITACION

El objetivo fundamental de los cursos de capacitación de la EOD-94, fue el de proporcionar las herramientas básicas para realizar óptimamente las actividades asignadas a la estructura operativa.

La etapa de capacitación se organizó de acuerdo a la siguiente calendarización.

CURSOS	PERIODO
JEFE DE ZONA E INSTRUCTOR	2a. QUINCENA DE ABRIL
ENTREVISTADOR	3 AL 11 DE MAYO
JEFE DE GRUPO JEFE DE AREA SUPERVISOR	11 DE MAYO
CRITICO-CODIFICADOR	16 AL 20 DE MAYO

FUENTE: INEGI, Encuesta de Origen y Destino de los Viajes de los Residentes del Area Metropolitana de la Ciudad de México, 1994.

Se incluyeron para todos los cursos, además de la parte conceptual-teórica, actividades prácticas, en donde se aplicó el cuestionario, la tarjeta de viajes; así como también, las formas de control.

Los cursos impartidos para todos los puestos abarcaron los siguientes temas comunes:

- Marco Muestral

• Diseño Conceptual

• Secuencia de campo

• Manejo de Instrumentos de Captación

• Tarjeta de viajes

• Cuestionario

• Llenado de formas de control

• Actualización y manejo de listados

Los temas para cada uno de los puestos considerados en la encuesta se presentan al final de este capítulo.

### AULAS DE CAPACITACION

Se concertaron un total de 26 aulas de capacitación, de las cuales 3 fueron a través de COVITUR. La concertación de aulas se realizó considerando el tamaño del grupo, la disponibilidad de aulas, horario preestablecido y ubicación dentro de las áreas de trabajo.

### MANUALES

Los manuales utilizados para la capacitación reflejaron los criterios y lineamientos específicos para cada uno de los puestos.

TEMATICA DE CAPACITACION POR PUESTO

ENTREVISTADORES	JEFE DE GRUPO Y AUXILIARES	JEFE DE ZONA JEFE DE AREA	SUPERVISORES	CRITICOS-CODIFICADORES
<p>1 ENFASIS EN LA APLICACION DE:</p> <p>a. CUESTIONARIO</p> <p>b. TARJETA DE VIAJES</p> <p>c. FORMA DE CONTROL</p> <p>d. USO DE LISTADO</p>	<p>1. OBJETIVOS DE LA ENCUESTA</p> <p>2. UBICACION DEL PUESTO</p> <p>3. ACTIVIDADES Y FUNCIONES DE CAMPO</p>	<p>1. ACTIVIDADES DE OFICINA</p> <p>2. ORGANIZACION Y CONTROL DE DOCUMENTOS</p> <p>3. MANEJO DE FORMAS AUXILIARES</p> <p>4. EVALUACION DEL RENDIMIENTO DEL PERSONAL</p> <p>5. COORDINACION DE ACTIVIDADES DE CAMPO</p> <p>6. ACTIVIDADES CON:</p> <p>a. JEFE DE GRUPO</p> <p>b. SUPERVISORES</p> <p>c. CRITICOS - CODIFICADORES</p>	<p>1. ACTIVIDADES DE CAMPO</p> <p>2. LA REENTREVISTA</p> <p>3. SUPERVISION DEL LEVANTAMIENTO</p> <p>4. PREGUNTAS DE REENTREVISTA</p>	<p>1. ACTIVIDADES DE CRITICA - CODIFICACION</p> <p>2. INSTRUCCIONES GENERALES</p> <p>3. REVISION DE DATOS DE IDENTIFICACION COMUNES A:</p> <p>a. CUESTIONARIO</p> <p>b. FORMA UNICA DE PROCESO</p> <p>c. HOJA DE NO ENTREVISTA</p> <p>4. REVISION DE:</p> <p>a. LISTADO DE VIVIENDA</p> <p>b. HOJA DE NO ENTREVISTA</p> <p>c. FORMA UNICA DE PROCESO</p>

FUENTE: INEGI, Encuesta de Origen y Destino de los Viajes de los Residentes del Area Metropolitana de la Ciudad de México, 1994

709

## 7 OPERATIVO DE CAMPO

La Encuesta de Origen-Destino de los Viajes de los Residentes del AMCM se llevó a cabo en dos etapas, mencionadas anteriormente, EOD91-92 y EOD-94, la primera de éstas sentó las bases para efectuar la planeación y organización de las cargas de trabajo del operativo de campo que se desarrolló en la EOD-94.

### CALENDARIZACION DEL OPERATIVO DE CAMPO

ACTIVIDAD	PERIODO
1. RECLUTAMIENTO Y SELECCION DE PERSONAL	DEL 15 AL 30 DE ABRIL, 1994.
2. CAPACITACION	DEL 30 DE ABRIL AL 20 DE MAYO, 1994.
3. LEVANTAMIENTO	DEL 12 DE MAYO AL 30 DE JUNIO, 1994.
4. REZAGOS	DEL 1 AL 15 DE JULIO, 1994.

FUENTE: INEGI, Encuesta de Origen y Destino de los Viajes de los Residentes del Area Metropolitana de la Ciudad de México, 1994.

### 7.1 CONTROL DEL OPERATIVO

A fin de garantizar la calidad de la información así como la cobertura de la EOD-94, previo a iniciar el operativo de campo, se definieron áreas de control.

La Coordinación de la encuesta se dividió en dos subcoordinaciones operativas: la Norte, cuya área de control se conformó por 21 municipios del Estado de México y 5 Delegaciones del D.F., ubicados al norte del AMCM; asimismo, la Subcoordinación Sur, que controló 11 Delegaciones del D.F. y 7 Municipios del Estado de

México. A su vez cada Subcoordinación se subdividió en Jefaturas de Zona.

Con la distribución geográfica de la muestra, se definieron 8 zonas, en cada una de éstas se estableció una Jefatura de Zona.

### UBICACION DE LA JEFATURA DE ZONA POR COBERTURA GEOGRAFICA, SEGUN NUMERO DE ZONA SUBCOORDINACION NORTE

Nº DE ZONA	JEFATURA DE ZONA	COBERTURA GEOGRAFICA	
		ENTIDAD	MUNICIPIO O DELEGACION
1	ECATEPEC	MEXICO	ECATEPEC ZUMPANGO, NEXTLALPAN ACOLMAN, TECAMAC CHICULOAPAN TLALNEPANTLA OTE. CHIMALHUACAN TULTEPEC-JALTENCO MELCHOR OCAMPO
2	TLALNEPANTLA	MEXICO	TLALNEPANTLA PTE. COACALCO CUAUTITLAN TEPOTZOTLAN TEOLOYUCAN CUAUTITLAN IZCALLI ATIZAPAN DE ZARAGOZA NICOLAS ROMERO
3	AZCAPOTZALCO	DISTRITO FEDERAL, MEXICO	MIGUEL HIDALGO AZCAPOTZALCO CUAJIMALPA NAUCALPAN HUIXQUILUCAN
4	GUSTAVO A. MADERO	DISTRITO FEDERAL	GUSTAVO A. MADERO VENUSTIANO CARRANZA

FUENTE: INEGI, Encuesta de Origen y Destino de los Viajes de los Residentes del Area Metropolitana de la Ciudad de México, 1994.

**UBICACION DE LA JEFATURA DE ZONA POR COBERTURA GEOGRAFICA, SEGUN NUMERO DE ZONA SUBCOORDINACION SUR**

Nº DE ZONA	JEFATURA DE ZONA	COBERTURA GEOGRAFICA	
		ENTIDAD	MUNICIPIO O DELEGACION
5	CUAUHTEMOC	DISTRITO FEDERAL	CUAUHTEMOC BENITO JUAREZ IZTACALCO
6	ALVARO OBREGON	DISTRITO FEDERAL	ALVARO OBREGON COYOACAN TLALPAN MAGDALENA CONTRERAS
7	IZTAPALAPA	DISTRITO FEDERAL	IZTAPALAPA TLAHUAC XOCHIMILCO MILPA ALTA
8	NEZAHUALCOYOTL	MEXICO	LOS REYES LA PAZ TEXCOCO IXTAPALUCA CHALCO TLALMANALCO AMECAMECA NEZAHUALCOYOTL

FUENTE: INEGI, Encuesta de Origen y Destino de los Viajes de los Residentes del Area Metropolitana de la Ciudad de México, 1994.

En cada una de las 8 zonas se conformaron áreas geográficas de trabajo y al interior de éstas, grupos; tanto en las áreas como en los grupos se establecieron Jefaturas de Area y Jefaturas de Grupo. Estos últimos, geográficamente controlaron un número determinado de AGEB y operativamente fueron responsables de asignar las cargas de trabajo a los Entrevistadores que dependieron de cada Jefe de Grupo, así como de llevar las formas de control correspondientes.

**2 CONSECUION DE OFICINAS**

La definición del control del operativo de campo, conllevó la consecución de oficinas ubicadas estratégicamente en función a la distribución geográfica de la muestra.

Los Jefes de Zona y Jefes de Area llevaron a cabo concertaciones con diversos organismos e instituciones con la finalidad de obtener oficinas en préstamo.

Con la actividad de concertación se lograron acondicionar o adaptar los inmuebles en oficinas, así el operativo no enfrentó problemas de espacio en las actividades del levantamiento.

**7.3 LEVANTAMIENTO**

En la calendarización del operativo de campo el levantamiento de información o aplicación de cuestionarios se programó para realizarse en 6 semanas; antes de iniciar esta actividad, a cada vivienda de la muestra se asignó la semana de visita y día de viajes. La asignación se llevó a cabo aleatoriamente; asimismo, para cada vivienda se generó una etiqueta que se adhirió en los listados de viviendas que se habían elaborado durante la EOD91-92.

b.e

El control de cuestionarios se llevó a través del número de folio, compuesto por cinco dígitos. El primer dígito se asoció al número de Jefatura de Zona, los cuatro restantes fueron números consecutivos del 0001 al 5000, de esta manera cada folio utilizado fue único y exclusivo de cada Jefatura de Zona.

JEFATURA DE ZONA	RANGO
1. ECATEPEC	10001 - 15000
2. TLALNEPANTLA	20001 - 25000
3. AZCAPOTZALCO	30001 - 35000
4. GUSTAVO A. MADERO	40001 - 45000
5. CUAUHTEMOC	50001 - 55000
6. ALVARO OBREGON	60001 - 65000
7. IZTAPALAPA	70001 - 75000
8. NEZAHUALCOYOTL	80001 - 85000

FUENTE: INEGI, Encuesta de Origen y Destino de los Viajes de los Residentes del Area Metropolitana de la Ciudad de México, 1994.

El procedimiento empleado en la aplicación de cuestionarios a la población de estudio fue la doble visita domiciliaria de los Entrevistadores y del personal de campo. Para cada día de la semana se tuvo un color de cuestionario, esto facilitó la organización de cargas de trabajo así como su distribución.

DIA DE VIAJE	COLOR DE CUESTIONARIO
LUNES	BLANCO
MARTES	AMARILLO
MIERCOLES	ROSA
JUEVES	VERDE
VIERNES	AZUL

FUENTE: INEGI, Encuesta de Origen y Destino de los Viajes de los Residentes del Area Metropolitana de la Ciudad de México, 1994.

La distribución de materiales y cargas de trabajo e... a cargo de los Jefes de Zona y Jefes de Area, éstos asignaron a los Jefes de Grupo los recorridos de cada Entrevistador así como la carga de trabajo diaria y los materiales requeridos para llevar a cabo el levantamiento de la información.

A cada Entrevistador se le proporcionó el material siguiente:

- Credencial
- Listados de viviendas
- Croquis de AGEB
- Oficios de presentación y colaboración
- Manual del Entrevistador
- Cuestionarios (blanco, azul, rosa, amarillo y verde)
- Tarjetas de viaje
- Claves de Estaciones del Metro
- Claves de Delegaciones Políticas y Municipios
- Formatos de control
- Lápices y Bicolores
- Gorras
- Mochilas
- Tripticos

A cada Jefatura de Grupo se le dio la cartografía de su ámbito de competencia, en ésta los Entrevistadores ubicaban su manzana o manzanas seleccionadas previo a salir a campo.

Una semana antes de iniciar el levantamiento los Entrevistadores recorrieron cada AGEB que les fue asignada, repartieron trípticos y oficios de presentación en las viviendas seleccionadas; así los informantes se enteraron de la EOD-94.

El levantamiento inició el 12 de mayo, la primer visita de los Entrevistadores a cada vivienda en muestra consistió en captar la información del cuestionario referido en los capítulos de Datos Generales y Características Sociodemográficas, así como instruir al informante en el llenado de las tarjetas de viajes y el día de la semana que le correspondió registrar; finalmente se programó la segunda visita.

Diariamente el Entrevistador entregaba al Jefe de Grupo la información captada de las viviendas visitadas, misma que se revisaba de acuerdo a los Manuales del Entrevistador y del Jefe de Grupo. Estas revisiones arrojaron las entrevistas correctas y completas, las no entrevistas y las pendientes; para cada caso se definió un procedimiento.

En el punto 7.6 se presenta el diagrama de flujo del operativo de campo.

#### **7.4 CALIDAD DE LA INFORMACION**

La información proveniente del levantamiento se sometió al procedimiento de control de calidad, cuya responsabilidad recayó en los Supervisores. Mediante el uso de formas de control, los Supervisores programaron reentrevistas con el fin de verificar aquellas respuestas que presentaban ciertas inconsistencias.

Adicionalmente se aplicó a la información una serie de filtros que fueron desde la revisión efectuada por el personal de campo hasta llegar a la crítica-codificación.

## **RESULTADO DE LA ENTREVISTA**

La recopilación de información implicó una serie de visitas antes de lograr la entrevista. Para controlar el registro de estas situaciones se consideraron 12 códigos de no entrevista y 7 códigos de entrevista.

### **7.5.1 CUESTIONARIO SIN ENTREVISTA**

#### **1. Ausencia Temporal**

Este código se utilizó después de realizar varias visitas y no encontrar al informante adecuado.

#### **2. Se negó a dar información**

En este caso los miembros del hogar no están dispuestos a dar información.

#### **3. El Informante no podía dar información**

En este código se consideraron las viviendas donde los informantes desconocían o no estaban capacitados para dar información.

#### **4. Hogar con 4 o más abonados**

El cuestionario en este caso no es aplicable y se consideró no objeto de encuesta.

### **VIVIENDAS NO OBJETO DE ENCUESTA**

En esta categoría cayeron las viviendas seleccionadas en las que no era aplicable el cuestionario; para estos casos se asignaron los códigos siguientes:

- 48 (4)
5. El domicilio no es vivienda (es negocio, taller)
  6. Vivienda desocupada
  7. Vivienda usada temporalmente para negocio
  8. Vivienda demolida
  9. Vivienda en construcción
  10. Vivienda fusionada
  11. Vivienda de uso temporal
  12. Otros. Especifique

Corresponde a la no respuesta que no fue factible clasificar en alguna de las categorías anteriores; tales como: muerte en la familia, inaccesibilidad a la vivienda por inundación, cuarentena, etc..

### 7.5.2 CUESTIONARIO CON ENTREVISTA

13. Entrevista Completa Correcta.

Este código se utilizó cuando se obtuvo la información completa y correcta en el cuestionario.

14. Entrevista Incompleta porque se dio Otra Cita.

En los casos en que el informante por diversos motivos no pudo continuar proporcionando información, se dio cita para otro día.

5. Entrevista Incompleta porque se Negó a contestar proporcionando Información.

En este caso fueron no entrevistas, en las cuales el informante se negó a completar la información.

16. Entrevista Incompleta porque No se Localizó al Informante en la siguiente visita.

La información en este caso quedó incompleta en el cuestionario, debido a que el informante no pudo ser localizado.

17. Entrevista Incompleta por Otros Motivos (Enfermedad, Fenómenos Climatológicos).

Cuando se acudía a la entrevista y por cualquier motivo ajeno al informante, el cuestionario no pudo ser aplicado.

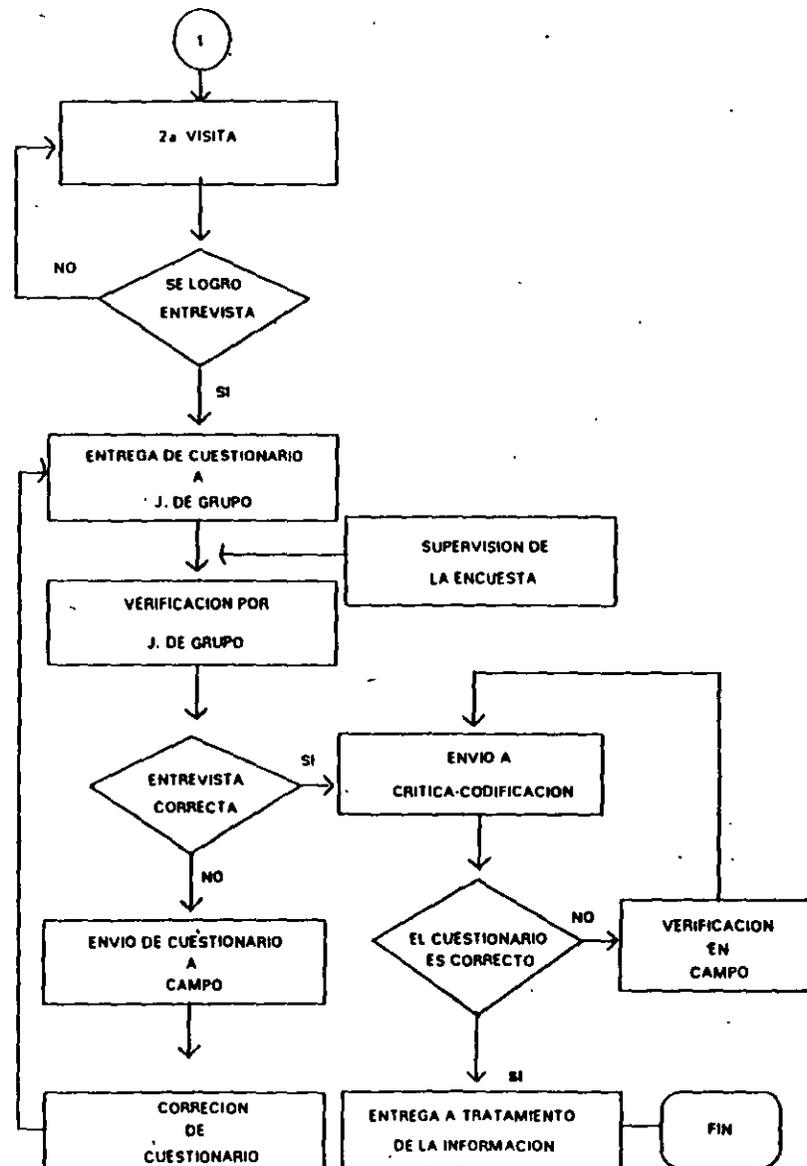
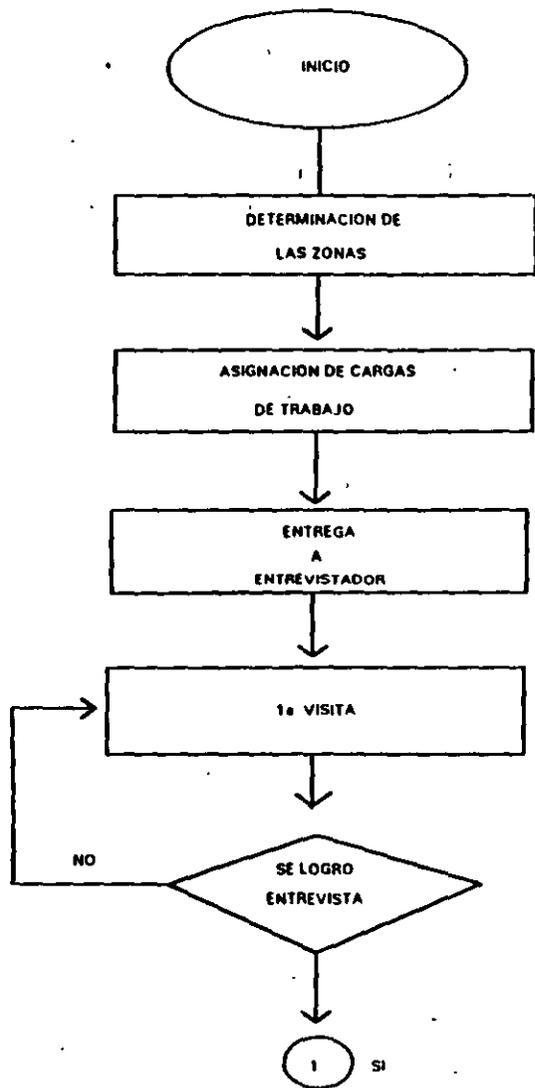
18. Entrevista Completa Levantada en otro Periodo.

Se refirió a los cuestionarios correctos levantados en una semana diferente a la asignada.

19. Entrevista Incompleta Levantada en Otro Periodo.

Este código fue utilizado cuando se encontró al informante adecuado, fuera de la semana asignada; proporcionó parte de la información pero no continuó con la entrevista.

# 7.6 DIAGRAMA DE FLUJO DEL OPERATIVO DE CAMPO



## 7. PROBLEMATICA DEL OPERATIVO DE CAMPO

Durante el operativo, tanto los Entrevistadores como el personal de campo enfrentaron situaciones difíciles; que de ninguna manera demeritaron la calidad del trabajo, sin embargo son aspectos importantes de mencionar en el marco de la EOD-94.

Durante las primeras semanas del operativo, aún con la Campaña de Difusión, algunos Entrevistadores tuvieron problemas para ser atendidos en los hogares seleccionados, debido principalmente a la desconfianza que el público manifestó hacia la encuesta.

Aún cuando el personal de campo iba debidamente acreditado por su credencial, no se le proporcionaba información hasta que el informante se aseguraba de la seriedad de la Encuesta realizando llamadas telefónicas a las oficinas del INEGI.

El tipo de preguntas relacionadas a los viajes realizados, origen, destino, motivo, etc., generaron dudas sobre el uso que se daría a dicha información.

En algunas ocasiones los Entrevistadores ni siquiera fueron atendidos debido a que se les confundió con vendedores ambulantes.

El panorama general descrito fue el ámbito laboral que los Entrevistadores vivieron durante el operativo de campo. A continuación se hace referencia al tipo de zonas de trabajo y los problemas enfrentados.

### ZONAS DE ALTO RIESGO

La estrategia para trabajar en las zonas de alto riesgo fue determinada por los Jefes de Zona con base en la experiencia de los propios Entrevistadores y por el

conocimiento general de las zonas conocidas como conflictivas, debido al alto índice de inseguridad.

Las 8 jefaturas presentaron problemas para trabajar en estas zonas.

### ZONAS DE ALTO RIESGO POR JEFATURA DE ZONA

JEFATURA DE ZONA	COLONIA	PORCENTAJE DE RIESGO
1. ECATEPEC	CD. CUAUHTEMOC VALLE DE ARAGON	4
2. TLALNEPANTLA	SAN PEDRO BARRIENTOS TEQUEXQUINAHUAC SAN LUCAS PATONI CUAUTITLAN IZCALLI U. CTM INFONAVIT NORTE ATIZAPAN	14
3. AZCAPOTZALCO	U. HAB. EL ROSARIO FRANCISCO VILLA CLAVERIA LAS TRANCAS LA REINOSA NUEVA SANTA MARIA ARGENTINA ANTIGUA PENSIL ANAHUAC OBSERVATORIO SAN JUANICO TACUBAYA LOMAS BARRILACO TACUBA	25
4. GUSTAVO A. MADERO	FORESTAL COMPOSITORES ANTORCHA CAMPESINA TOKIO MORELOS MERCED BALBUENA PEÑON DE LOS BAÑOS AERONAUTICA MILITAR ARENAL SEC. 1, 2, 3 Y 4	16

5	CUAUHTEMOC	CAMPAMENTO 2 DE OCT. LA CRUZ PANTITLAN PERALVILLO SAN SIMON TLATELOLCO TEPITO	13
6	ALVARO OBRÉGON	JALALPA JALALPA-TEPITO JALALPA EL GRANDE LA MEXICANA AVE REAL SANTA FE	11
7	IZTAPALAPA	BARRIOS DE IZTAPALAPA EJERCITO DE ORIENTE LA JOYA U VICENTE GUERRERO ALVARO OBREGON SAN MIGUEL TEOTONGO	13
8	NEZAHUALCOYOTL	SOL MEXICO	4

FUENTE: INEGI, Encuesta de Origen y Destino de los Viajes de los Residentes del Area Metropolitana de la Ciudad de México, 1994.

### ZONAS ACCIDENTADAS

En este concepto se consideraron las zonas cuyo acceso fue difícil debido a la falta de transporte urbano, calles sin pavimentar, etc., esto generó problemas para la localización de los hogares seleccionados, así también colonias alejadas ubicadas en cerros o barrancas, que implicó recorridos a pie de hasta una hora de duración.

### MINAS ACCIDENTADAS POR JEFATURA DE ZONA

JEFATURA DE ZONA	COLONIA	PORCENTAJE
1 ECATEPEC	ATZOLCO PANORAMICA GUADALUPE VICTORIA CIUDAD CUAUHTEMOC	18
2 TLALNEPANTLA	NICOLAS ROMERO ATIZAPAN TEOLOYUCAN TEPOZOTLAN TULTITLAN	23
3 AZCAPOTZALCO	HUIXQUILUCAN NAUCALPAN CUAJIMALPA	13
4 A. MADERO	CHALMA DE GPE. FORESTAL ANTORCHA POPULAR TOKIO COMPOSITORES CTM RISCO	24
5 CUAUHTEMOC	NO PRESENTO PROBLEMA	0
6 ALVARO OBREGON	SANTA ROSA XOCHIAC	4
7 IZTAPALAPA	MINAS DE IZTAPALAPA SAN MIGUEL TEOTENGO	9
8 NEZAHUALCOYOTL	VALLE DE CHALCO	9

FUENTE: INEGI, Encuesta de Origen y Destino de los Viajes de los Residentes del Area Metropolitana de la Ciudad de México, 1994.

### ZONAS DE ALTOS INGRESOS

La dificultad más significativa que el operativo encontró en las zonas de alto nivel económico fue la negativa a dar cualquier clase de información, en algunas ocasiones los informantes amenazaban a los Entrevistadores con dar aviso a la policía si no se retiraban.

o/h

**AS DE ALTOS INGRESOS POR  
JEFATURA DE ZONA**

JEFATURA DE ZONA	COLONIA	PORCENTAJE
1. ECATEPEC	NO SE PRESENTO ESTE PROBLEMA	0
2. TLALNEPANTLA	COUNTRY CLUB BELLA VISTA ARBOLEDAS CLUB DE GOLF VALLE ESCONDIDO	19
3. AZCAPOTZALCO	CONDADO DE SAAYAVEDRA CLUB DE GOLF LA HACIENDA	8
4. G. A. MADERO	LINDAVISTA TORRES FRACC. LINDAVISTA MONTEVIDEO JARDIN BALBUENA	19
5. CUAUHTEMOC	NAPOLES DEL VALLE SAN JOSE INSURGENTES VERTIZ NARVARTE	15
6. ALVARO OBREGON	VILLA VERDUN LOMAS AXOMIATLA LOMAS DE TARANGO LOMAS DE PLATEROS TLALPAN CHARROS DEL PEDREGAL	23
7. IZTAPALAPA	PASEO DE CHURUBUSCO PRADOS DE CHURUBUSCO RESIDENCIAL DEL SUR	12
8. NEZAHUALCOYOTL	ZONA NEZAHUALCOYOTL NORTE	4

FUENTE: INEGI, Encuesta de Origen y Destino de los Viajes de los Residentes del Area Metropolitana de la Ciudad de México, 1994.

Las dificultades obedecieron a la desconfianza y desinterés de los informantes por participar en la encuesta.

Frecuentemente, éstos, hacían mención al temor de ser sorprendidos por asaltantes que, aprovechando la oportunidad, pudieran efectuar robos o agresiones físicas. En los casos de edificios de difícil acceso la entrevista se realizó vía interfón.

En las zonas señaladas se realizaron hasta 4 visitas diarias en horarios diurno y/o nocturno.

Ante esta situación se acordó, con COVITUR, establecer contacto con los Jefes de Manzana, Presidentes de Colonia y Representantes Vecinales, para solicitar su apoyo en la realización de la encuesta. Además se intensificó la difusión en estas zonas.

Estas acciones incrementaron el índice de respuesta y permitieron al personal de campo continuar con su labor.

En cuanto a la seguridad de los Entrevistadores y personal de campo se concertó un acuerdo con el Superintendente General de la Secretaría General de Protección y Vialidad (SGPYV) a través del Director General de Operaciones. El acuerdo estipuló brindar una mayor vigilancia y seguridad al personal del INEGI y de COVITUR.

En las zonas y colonias consideradas de alto riesgo, la vigilancia se incrementó para proteger al personal de campo. No obstante, tanto los Entrevistadores como el personal de campo, sufrieron asaltos, robos y en algunos casos accidentes que fueron desde mordidas de perro hasta agresiones en su persona.

El llenado de la tarjeta de viaje también generó dificultades, en algunas ocasiones los informantes olvidaron llenar la tarjeta, o simplemente consideraban peligroso llenarla o la rompían frente a los Entrevistadores.

## MUESTRA RURAL

Correspondió a zonas alejadas de la Ciudad de México, donde las vías de comunicación son brechas, terracería, etc., de difícil acceso.

Cuatro jefaturas contaron con muestra rural:

Ecatepec	- 32	Viviendas
Tlalnepantla	- 64	"
Azcapotzalco	- 72	"
Nezahualcóyotl	- 96	"

## 8. PROCESAMIENTO DE LA INFORMACION

Esta etapa reviste gran importancia, ya que incide directamente en la calidad de los resultados de la EOD-94.

Finalmente, la información captada en campo atravesó por una serie de filtros que van depurando la información hasta liberarla del Area de Crítica-Codificación. Ahí se aplicaron los criterios establecidos para darle validez a la información y dejarla lista para el siguiente proceso.

### 8.1 CRITICA-CODIFICACION

En el Area de Crítica-Codificación la información era recibida por los Críticos-Codificadores, quienes realizaban una revisión de congruencias en el llenado del cuestionario, verificaban los códigos y claves, además de revisar en los listados que las viviendas correspondieran a la muestra y los folios a los controles asignados por jefatura.

Los Críticos-Geográficos realizaban la codificación del origen y destino de los viajes registrados, ubicándolos con la cartografía utilizada durante los censos de población de 1990.

### 8.2 ORGANIZACION DE LOS CUESTIONARIOS Y LISTADOS

Al término de la etapa de crítica, se elaboraron paquetes de cuestionarios correctos, no entrevistas e incompletos, además de realizar paquetes con los listados utilizados ya completos. Los paquetes de cuestionarios fueron enviados al Area de Tratamiento de la Información mientras que los controles se remitían al Departamento de Diseño Estadístico para su revisión y posterior captura.

## CRITERIOS DE CRITICA-CODIFICACION

En los casos en que los cuestionarios no cumplieran con lo mínimo necesario para capturar la información, se retornaban a campo hasta que las incongruencias fueran corregidas.

Eran motivo de retorno a campo:

- La incongruencia entre el listado y el cuestionario.
- Falta de formas únicas de proceso donde se indicara la situación final de los cuestionarios.
- Cuestionarios con clave 13 con información incompleta.
- Falta de claves y códigos en los cuestionarios.
- Carencia de información referente a los orígenes de los viajes.
- No se reportaba el destino, cuando el viaje hubiera finalizado.
- Dudosa ubicación de los viajes según la cartografía utilizada.

## 8.4 TRATAMIENTO DE LA INFORMACION

Fue el área responsable de agilizar y optimizar el procesamiento y captura de información. Es el último filtro antes de que ésta sea utilizada para la obtención de tabulados.

Una vez terminados los trabajos de campo el área de Tratamiento fue la encargada de entregar lotes de captura a programación y control de la producción, además de revisar y en su caso verificar y/o corregir todas las inconsistencias detectadas por el Sistema de validación electrónica de la información, desarrollada por el área de Sistemas.

Se revisaron los cuestionarios en cuanto a:

- Número de cuestionarios enviados.
- Aplicación de criterios de Crítica-Codificación.
- Situación de los cuestionarios (correctos, no entrevista o incompletos).
- El número de control y folio en los inventarios de paquetes de cuestionarios y cada paquete fuera de la misma Delegación Política o Municipio.

Una segunda revisión se llevó a cabo para detectar carencia de:

- Correspondencia con listados.
- Información en cuestionarios.
- Claves.
- Códigos de origen y destino.
- Fecha de visita.

Si la información podía ser corregida en el área de Tratamiento, ésta se efectuaba, en caso contrario el cuestionario era devuelto a campo. Posteriormente se elaboraban lotes de cuestionarios, conjuntando paquetes, primero por Jefatura de Zona y después por

Subcoordinación, para ser enviados a Programación y Control de la Producción (PCP).

### 8.5 PROGRAMACION Y CONTROL DE LA PRODUCCION (PCP)

En PCP se aplicó nuevamente un filtro a la información antes de enviarla a captura. La revisión realizada se apegó tanto a los criterios de Crítica-Codificación como a los de Tratamiento de la Información.

Un lote no era enviado a captura cuando existían errores en la información.

### 8.6 CAPTURA Y PROCESO

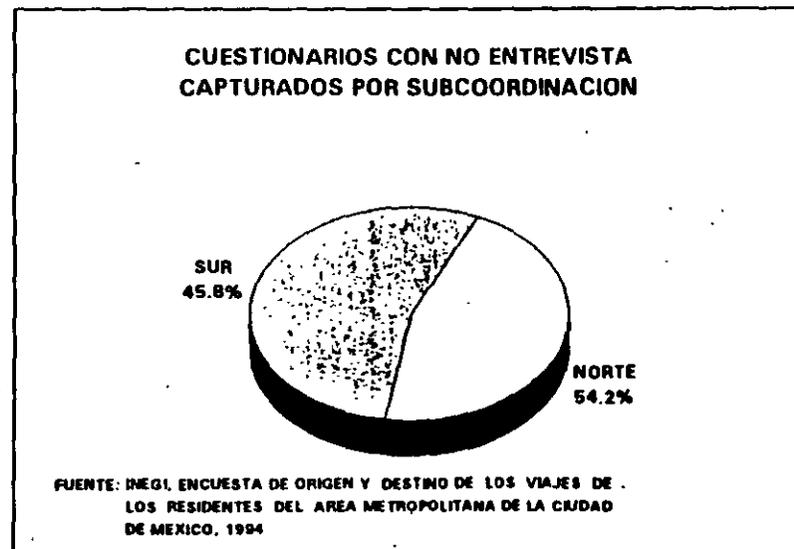
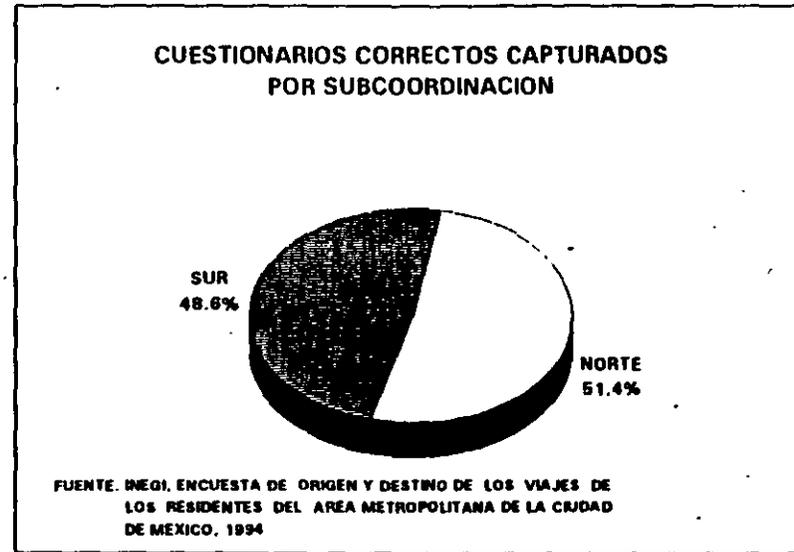
Verificada la información, se turnaba a captura para procesarla, darle el tratamiento necesario y así tener información congruente y confiable.

El programa de captura fue diseñado por el Area de Política Informática Regional.

Al término de la etapa de captura, la información pasó al Area de Procesos donde se analizó y se revisó con la bitácora de Programación y Control de la Producción (PCP). Si la información era correcta se procedía a liberar los lotes de cuestionarios y a generar como producto los listados y discos correspondientes.

En total se capturaron 54 lotes de cuestionarios correctos y 25 lotes de cuestionarios correspondientes a no entrevista.

cuanto a la cantidad de cuestionarios correctos y no entrevista capturados, el total y sus porcentajes por Subcoordinación se pueden observar en las siguientes gráficas.



52

1 el sistema de captura como la captura de éstos se realizó en equipo UNISYS 6000/65 del INEGI. La actividad de captura requirió, en promedio, 40 Capturistas por turno, con un promedio de 25 cuestionarios por Capturista, dando como resultado un total de 1,000 cuestionarios por turno. La verificación de captura se llevó a cabo mediante la recaptura de cada cuestionario.

## 8.7 SISTEMAS

El área de Sistemas recibió la base de datos con la información de los cuestionarios capturados y procedió a aplicar la validación electrónica. Para ello fue necesario el desarrollo de varios programas para detectar posibles errores, utilizando los criterios de validación previamente especificados por el área de Tratamiento. Los programas de validación generaban reportes de posibles errores y la información necesaria para localizar el cuestionario y la o las preguntas que se debían revisar y en su caso corregir.

Tanto Sistemas como Tratamiento de la Información trabajaron conjuntamente en la corrección de la información, para dejarla totalmente "limpia" y lista para la aplicación de los factores de expansión y la generación de tabulados.

La validación y procesamiento de la información se efectuó en el lenguaje de cuarta generación Information Management /Personal.

El desarrollo de estos sistemas se llevó a cabo en diferentes equipos.

MAIN FRAME UNISYS 6000/65: captura.

- b. Cinco microcomputadoras con procesador 486: validación y edición.
- c. Dos microcomputadoras con procesador Pentium 66MHZm y 16 MB en RAM: resultados.

Adicionalmente se utilizaron 2 impresoras de matriz, 3 impresoras láser, 2 impresoras de color, un graficador y 3 microcomputadoras 386 para la obtención de mapas y cartografía.

### 8.7.1 SISTEMA DE VALIDACION Y EDICION

Se conformó de las rutinas siguientes:

Valida 1	Revisa rangos de respuesta.
Valida 2	Revisa consistencia.
Duplicados	Detecta duplicados.
Municipio 999	Busca clave 999 en Municipio.
AGEB	Valida AGEB contra catálogo.
Metro	Valida estaciones contra catálogo.
Ingresos	Revisa consistencia de ingresos contra pregunta 52.
Horas	Verifica consistencia entre hora de inicio y hora final.

P34 Valida consistencias entre AGEB, hogar y viajes.

P40 Revisa consistencia en la pregunta 40.

Cuenta Realiza el conteo de viviendas, hogares, residentes, visitantes, e ingresos por lote.

Colectivo Busca colectivos, suburbanos y taxis que no especifican el costo.

## 8.7.2 SISTEMA DE RESULTADOS

Se integró de las siguientes rutinas:

Cormet Calcula número de tramos y costo de Metro por estaciones de ascenso y descenso.

Sigma Reestructura archivos para acumular, consta de las siguientes aplicaciones:

Opción Propósito

Viviendas Crea el archivo de viviendas.

Hogares Crea el archivo de hogares.

Residentes Crea el archivo de residentes.

Viajes Crea el archivo de viajes.

Entrevistas Crea el archivo de entrevistas.

Sigma1 Genera acumulados por periodo; viajeros; edad y sexo; viajes en Metro, duración de viajes e ingresos por número de auto.

Opción Propósito

Periodos Acumula viajes por periodo.

Viajeros Acumula viajeros por periodo.

Edasex Acumula viajeros por edad y sexo.

M2M Acumula tramos entre estaciones Metro.

Durqaq Acumula viajes por duración y el hogar.

Ingauto Acumula viajes por ingresos, autos y el hogar.

Sigma2 Crea archivos de Distrito a Distrito, modo, viaje y hora de máxima demanda. Crea Archivos de Distrito-origen, Distrito-Destino en hora de máxima demanda y periodo de máxima demanda en el AMCM.

Acuamcm	Acumula viajes por Distritos a AMCM en Maestro periodos.
Demanda1	Calcula la demanda por 1 hora.
Demanda2	Calcula la demanda por 3 horas.
Hmd	Calcula hora de mayor demanda.
Pmd	Calcula periodo de mayor demanda.
Ddmvxmd	Calcular viajes Distrito-origen, Distrito-destino en hora máxima demanda y Periodo de máxima demanda en el AMCM.
Sigma1b	Aplicación que acumula variables por lote.
Opción	Propósito
Dp4	Acumula viviendas por Distrito y pregunta 4.
Dp20	Acumula residentes por Distrito y pregunta 20.
Up1429	Acumula pregunta 14 y pregunta 29 por UPA.
Dlugvatr	Acumula viajes atraídos por Distrito y pregunta 37.
Estadis	Aplicación que genera los archivos para matrices y tabulados.

Opción	Propósito
Dismod	Acumula viajes/modo/Distrito
Upamoda	Acumula viajes/duración/modalidad/UPA
Dispro	Acumula viajes/propósito/Distrito
Upapro	Acumula viajes/propósito/UPA.
Tramod	Acumula tramos por modo.
Estdis	Acumula estacionamiento/Distrito.
Acumula	Menú de acumulados.
Folios	Permite cambiar el número de folio.
Nodav	Verifica datos de viajeros sin información.
Chtrac	Localiza viajes en Trac.
Huerf	Busca:  Residentes de hogares inexistentes.  Viajes de residentes inexistentes.  Datos de viajes de residentes inexistentes.  Ingresos de residentes inexistentes.

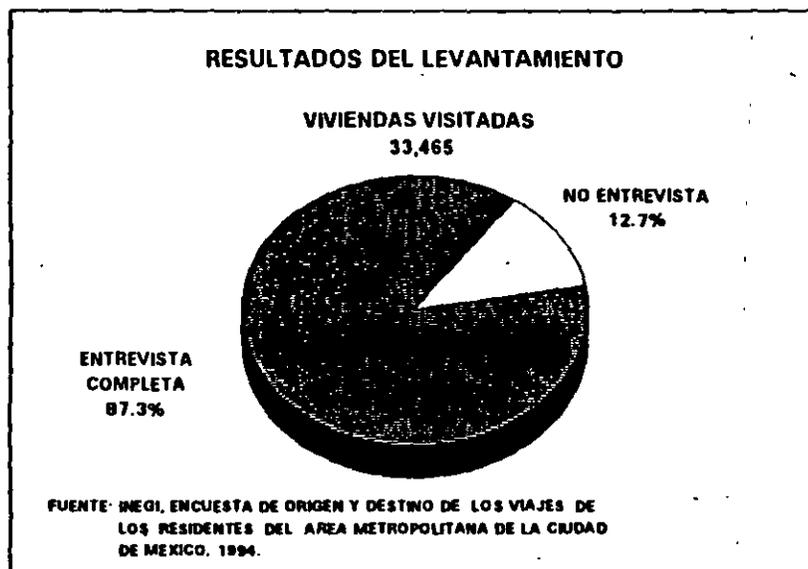
Tonio Lista hogares adicionales.

Tabulado. Aplicación que genera tabulados totales del 1 al 30.

## 9. RESULTADOS DEL LEVANTAMIENTO

El levantamiento se efectuó del 12 de mayo al 30 de junio de 1994. Durante este periodo se visitaron 33,465 viviendas, representando el 100% del universo.

Del total de viviendas visitadas, los cuestionarios levantados con entrevista completa fueron 29,223, para los 4,242 restantes no fue posible obtener las entrevistas debido a diversas causas.



CAUSAS DE NO ENTREVISTA POR AREA GEOGRAFICA

CAUSA	AMCM 12.8%	DISTRITO FEDERAL 7.9%	MUNICIPIO CONURBADO 4.9%
TOTAL	4,242	2,632	1,610
AUSENCIA TEMPORAL	25	22	3
SE NEGÓ A DAR INFORMACION	439	303	136
EL INFORMANTE NO PODIA DAR INFORMACION	22	5	17
HOGAR CON 4 O MAS ABONADOS	10	5	5
EL DOMICILIO NO ES VIVIENDA (ES NEGOCIO, TALLER, ETC.)	542	386	156
VIVIENDA DESOCUPADA	2,059	1,222	837
VIVIENDA USADA TEMPORALMENTE PARA NEGOCIO	42	25	17
VIVIENDA DEMOLIDADA	114	82	32
VIVIENDA EN CONSTRUCCION	198	105	93
VIVIENDA FUSIONADA	37	25	12
VIVIENDA DE USO TEMPORAL	481	217	264
OTROS (ESPECIFIQUE)	109	87	22
ENTREVISTA INCOMPLETA PORQUE SE DIO OTRA CITA	4	4	0
ENTREVISTA INCOMPLETA PORQUE SE NEGÓ A CONTINUAR PROPORCIONANDO INFORMACION	51	39	12
ENTREVISTA INCOMPLETA PORQUE NO SE LOCALIZO AL INFORMANTE EN LA SIGUIENTE VISITA	79	77	2
ENTREVISTA INCOMPLETA POR OTROS MOTIVOS (ENFERMEDAD, FENOMENOS CLIMATOLOGICOS, ETC.)	30	28	2

FUENTE: INEGI, Encuesta de Origen y Destino de los Viajes de los Residentes del Area Metropolitana de la Ciudad de México, 1994.

## V. CAMPAÑA DE DIFUSIÓN

La buena disposición que tuvo la población residente del AMCM al proporcionar la información para la EOD-94, obedeció, en gran medida, a la campaña de difusión que se instrumentó:

La difusión se estructuró en dos etapas: la primera se realizó previo al levantamiento de información, en abril y mayo, fue de carácter informativo; con la segunda se reforzó el periodo de levantamiento y se efectuó durante el operativo de campo, entre mayo y junio.

Para ambas etapas se utilizaron carteles, trípticos, spots en radio y televisión, insertos en revistas y periódicos, así como entrevistas por radio.

Tanto la instrumentación, como el seguimiento a la Campaña lo llevó a cabo el DDF; adicionalmente al uso de medios de comunicación masivos, se efectuaron reuniones informativas con autoridades delegacionales, juntas vecinales y representantes de colonias. Esta estrategia arrojó óptimos resultados, permitió abatir la no respuesta.

LSION EOD- 94

TIPO	CANTIDAD	MEDIO
Carteles 25.5x45.0 cm.	60,000	Vía Pública
Carteles 47.0x70.0 cm.	10,000	Oficinas, Estaciones del Metro
Trípticos	35,000	Viviendas
Spots radio	700	14 Radiodifusoras
Spots TV	700	Televisión
Periódicos	120	25 Periódicos
Revistas	3	3 Revistas
Entrevistas	2	RTC, Hora Nacional

FUENTE: INEGI, Encuesta de Origen y Destino de los Viajes de los Residentes del Area Metropolitana de la Ciudad de México, 1994.



**FACULTAD DE INGENIERIA U.N.A.M.  
DIVISION DE EDUCACION CONTINUA**

**DIPLOMADO INTERNACIONAL DE TRANSPORTE**

**MODULO II: PLANIFICACION DEL TRANSPORTE URBANO**

**TEMA: ARTICULOS AFINES AL TEMA DE ORIGEN - DESTINO**

**PRESENTAN**

**ARQ. SONIA LIZT MENDOZA**

**ING. ROMAN VAZQUEZ BERBER**

**PRIMAVERA 1997**

Palacio de Minería Calle de Tacuba 5 Primer piso Deleg. Cuauhtémoc 06000 México, D.F. APDO. Postal M-2285  
Teléfonos: 512-8955 512-5121 521-7335 521-1987 Fax 510-0573 521-4020 AL 26



**FACULTAD DE INGENIERIA U.N.A.M.  
DIVISION DE EDUCACION CONTINUA**

**DIPLOMADO INTERNACIONAL DEL TRANSPORTE**

**MODULO II : "PLANIFICACION DEL TRANSPORTE URBANO"**

**TEMA :**

**ARTICULOS AFINES AL TEMA DE ORIGEN - DESTINO**

**\* THE 1991 GREAT SANTIAGO ORIGIN - DESTINATION SURVEY :  
METHODOLOGICAL DESIGN AND MAIN RESULTS**

Autores : Juan de Dios Ramirez Ortúzar, Ana Ma. Ivelic, Henry Malbran y Alan Thomas  
Traffic Engineering + Control, July/August 1993

**\* ORIGIN - DESTINATION TRAVEL SURVEYS IN THE 1990s USING  
MICROCOMPUTERS**

Autor : David Muntean Jr.  
ITE Journal, January 1995

**\* ADVANCES IN ESTIMATING O - D TRIP MATRICES**

Autor : Miles Logie  
Traffic Engineering + Control, Vol. 34, No. 9, September 1993

**\* ESTIMATING ORIGIN - DESTINATION MATRICES FROM INCOMPLETE DATA**

Autores : Henry Dijkman y Arnaud Burgess  
Traffic Engineering + Control, Vol. 35, No. 10, October 1994

# The 1991 Great Santiago Origin-Destination Survey: methodological design and main results

by Juan de Dios Ortúzar and Ana María Ivelic  
 Department of Transport Engineering  
 Pontificia Universidad Católica de Chile  
 and by Henry Maibrán and Alan Thomas  
 Comisión de Planificación de Inversiones  
 en Infraestructura de Transporte, Santiago

## 1. INTRODUCTION

This paper summarises the main methodological aspects and presents some results of the 1991 Great Santiago Origin-Destination Survey. The study, which included a battery of surveys briefly described below, was commissioned by the Executive Secretariat of the Transport Infrastructure Investment Planning Commission of the Chilean Government, and was carried out by a consortium formed by the Pontificia Universidad Católica de Chile and CADE Consulting Engineers. The Chilean Ministry of Planning and Co-operation provided the funds for the study (some US\$ 1.3M) which was completed in approximately 18 months.

The general objective of the study was to provide basic information for the detection, design and economic evaluation of urban transport investment projects in Santiago. Another important objective was to provide the data for the future calibration and operation of the city's urban transport model system. Santiago possesses what is arguably the most advanced multi-modal equilibrium model system in the world for a city of its size<sup>1</sup>. However, the model system was estimated and made operational between 1986 and 1989 using a mixture of data, the core of which came from the 1977 Santiago O-D Survey. The study comprised the following tasks:

- A complete Register of Addresses for the metropolitan area. This became necessary because the information available (1982 Census) was judged totally inadequate in this sense.
- Preliminary tasks such as zoning, definition of the strategic network, external cordon and screenlines; sample selection and survey instrument design for the household survey, travel diary survey and cordon surveys; design and programming of a large traffic count programme, including vehicle classification and occupancy.
- Data collection for all the surveys mentioned above, including a lorry census at the external cordon; correction, expansion and validation of the data from the various surveys.
- Coding and calibration of the strategic road network; estimation of origin-destination matrices by mode and period of the day, on the basis of the household survey data and the traffic-count information.

Given the practical impossibility of presenting details of all the above here because of its sheer magnitude (the interested reader may consult DICTUC-CADE<sup>2</sup> for details), we will concentrate on discussing some of the more relevant methodological aspects of the study. Specifically we will consider the problems of sample size selection for the O-D survey and travel diaries, the correction and expansion of the household survey, its subsequent validation using the independent information coming from the traffic-counts programme.

The paper is organised as follows. Section 2 describes the main methodological aspects and its practical results. Section 3 presents some important results of the study and compares them with similar ones obtained during the 1977 O-D survey<sup>3</sup>. Finally, Section 4 summarises our main conclusions.

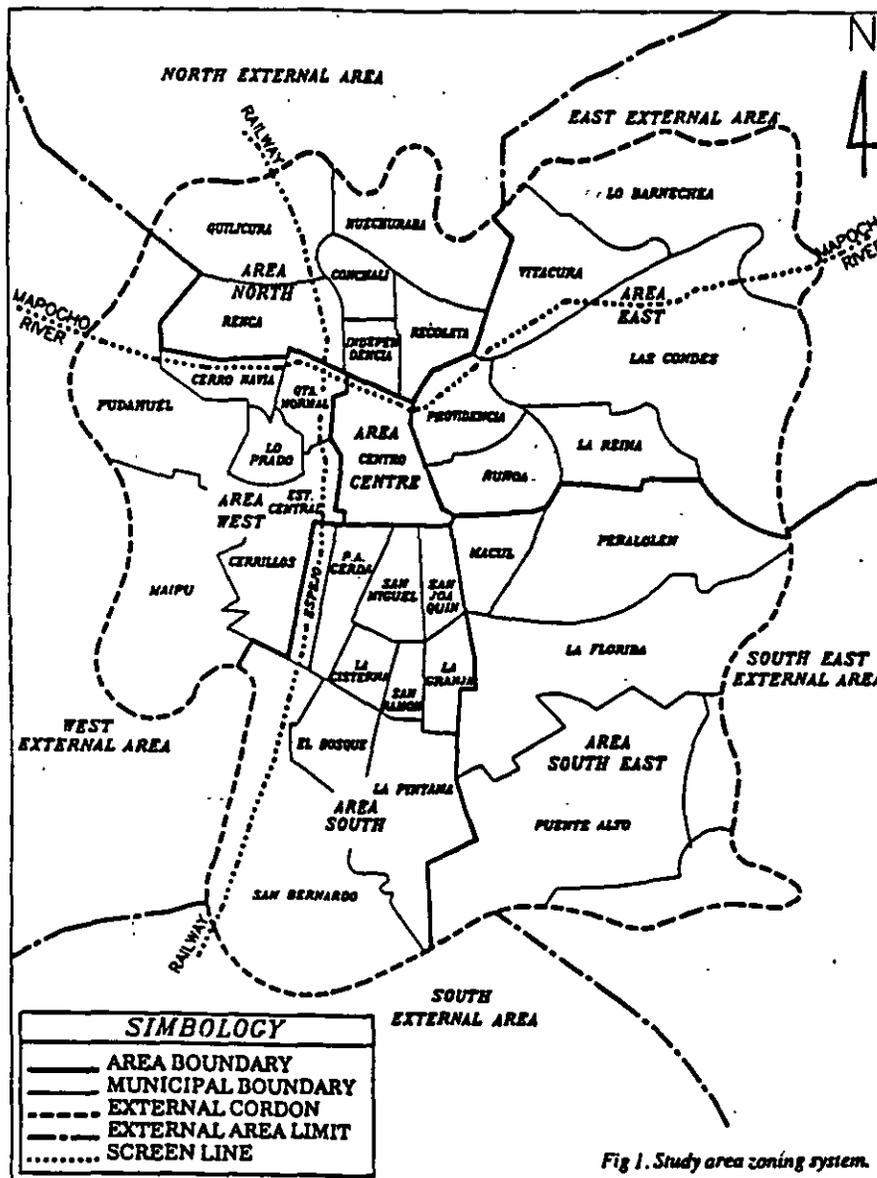


Fig 1. Study area zoning system.

## 2. MAIN METHODOLOGICAL ASPECTS

### 2.1. Household survey design

(a) *Study area zoning system:* The study area, defined as all the municipalities (which are political divisions that may change in time) with spatial continuity in the Great Santiago conurbation, considered three hierarchical levels of detail: areas, municipalities and zones (see Fig 1). The six internal areas (Centre, North, South, South-East, East and West), constitute aggregations of the 34 current municipalities. These were divided in turn into 535 zones (14 of them external), following relatively standard criteria previously defined<sup>4</sup>. The limits of the study area conform to the external cordon.

In order to validate the data using independent information, two natural screenlines were defined: the Mapocho river, which runs from east to west, and the north-south railway line. These divide the study area in four sub-areas which, although clearly defined, are of fairly uneven size (see Fig 1).

(b) *Sample design:* The sample size was determined with the aim of allowing the eventual estimation of travel demand models with a certain degree of confidence. That is, the sample would not attempt to reproduce the complete travel structure of the city because, as we show below, at the level of detail required in this kind of study that would need interviewing the whole population.

We were specifically interested in estimating the following variables: trip generation rates and O-D matrices by purpose, mode and period of the day. Smith<sup>5</sup> has shown that in order to estimate global trip generation rates a sample of just 1 000 households would yield an error of 5 per cent at the 90 per cent level. This figure assumes that the rates have a coefficient of variation of one, a value which has been found in several studies in North America. This author also shows that if trip rates have to be related to socio-economic variables (in order to make predictions, for example), the sample size required varies only marginally. For example, if we assume three income categories and three car ownership levels, the sample size required to estimate trip rates for the nine car ownership-income classes thus formed (with 5 per cent error at the 90 per cent level) is somewhat less than 1 000 households.

Unfortunately, the situation changes dramatically for the estimation of an O-D matrix. Assuming that we need to determine the number of trips in each matrix cell with an acceptable precision level, Smith shows that if a cell contains, say, 1 000 trips a sample of 4.3 per cent would guarantee a maximum error of 25 per cent at the 90 per cent level. However, for volumes less than 50 to 100 trips per cell (a situation which is all too common when the study area is subdivided into many small zones) the same level of precision would require samples of approximately 100 per cent.

In order to get a feeling of the situation in Santiago, we used ESTRAUS's database and 264 zoning system to study the distribution of the total number of trips per cell (i.e. total trips per day by all purposes and modes of transport). We found that 70 per cent of the cells in the matrix contained less than 100

trips (the average number of trips per cell was just 34). If we considered the cells with less than 1 000 trips, we found that 92 per cent of the total were in this category (the average number of trips per cell was 82 in this case). Therefore, in both cases a sample size of approximately 100 per cent would be required to achieve a reasonable level of accuracy (these calculations did not consider the null cells which were 6.5 per cent of the total). These values serve well to illustrate the practical impossibility of estimating an O-D matrix directly from a household survey; for this reason we postulated that the matrix should be estimated using models based on the available data.

Now, previous studies on this subject have recommended sample sizes which vary with the study area population. Ampt<sup>6</sup>, in one of the more serious and complete studies in this line (for the city of Sydney, with approximately 1M households in 1980), decided to interview 2 per cent of the households (this figure was increased to 2.5 per cent to account for losses during the validation process). On the other hand, the U.S. Bureau of Public Roads (see Bruton<sup>7</sup>) recommends sample sizes between 1 and 4 per cent for cities with more than 1M households. For these reasons we postulated that the sample size should be between 2 and 4 per cent in our case; the final decision was taken on the basis of cost versus accuracy considerations, as we explain below.

First we noted that all the values in the previous range were too high (to estimate trip generation rates and mode choice models) on the one hand and too low (to estimate individual values of the O-D matrix) on the other. Then we examined the number of trips per cell for a grouping to 18 macrozones (the municipality level in 1990) of the ESTRAUS information. We found that 84 per cent of the cells contained more than 1000 trips. Now for these orders of magnitude it can be shown that the range of sample sizes considered would allow to estimate the following numbers of inter-zonal trips with 25 per cent error at the 90 per cent level:

Sample size (%)	Number of trips
2	2 200
3	1 400
4	1 100

As can be seen a reduction from 4 to 3 per cent brings in strong savings. We move from a total sample of some 55 000 households (for approximately 1.1M households in 1991 and a 25 per cent excess for losses) to one of just 41 250 households, with a rather modest loss of precision (i.e. we need 1 400 rather than 1 100 trips per cell to achieve 25 per cent error at the 90 per cent level). However, the loss of precision increases more strongly when the sample size is demoted to the lowest level of the range and the savings only increase linearly. For these reasons we decided to aim at a 2.5 per cent effective sample size (i.e. some 27 500 households in 1991). But since the experience in the country was also indicative that a non-eligible proportion of questionnaires is usually rejected during the validation process, we proposed to add a safety coefficient of 25 per cent, thus elevating to 3.125 per cent the sample size to be drawn. It is interesting to mention that after completing the data collection and validation process we

achieved a total sample of 31 267 households, i.e. practically 3 per cent of the total.

It may be convenient to insist at this point that sample sizes of this level do not guarantee the estimation of a 'perfect trip matrix' (a construct which does not probably exist in strict terms anyway). For this reason it was considered vital to:

- complement the household data with information obtained from a complementary survey at the external cordon which was taken in parallel; and
- consider the trip matrix thus formed only as a good *a priori* matrix which, together with data coming from a well-designed system of traffic counts on the strategic network, would allow to estimate (most probable) trip matrices by mode consistent with all available information (see Willumsen<sup>8</sup>).

The method used in practice to select the required random sample (3.125 per cent) of households in each of the basic zones of the study area was as follows. As the Register of Addresses does not contain households, an iterative correction procedure was established. In this the number of households per address in each zone was estimated using the data obtained at the addresses selected beforehand under the assumption of one household per address. Thus if a zone had 2 000 addresses and 1.08 households per address, we would initially sample 63 addresses (i.e. 3.125 per cent of 2 000) and 63 households would be interviewed. Then, after having worked out that the zone really had 2 160 households (i.e.  $1.08 \times 2 000$ ) we would select five more addresses to complete the 68 households required (i.e. 3.125 per cent of 2 160).

### 2.2. Household survey correction and expansion process

As the household survey was applied to a sample of the population it was necessary to adjust the results in order to represent it adequately. The complete adjustment process involved, apart from the sample expansion, the following corrections to the survey results (see Brög and Erl<sup>9</sup>):

- Household size correction
- Socio-demographic correction
- Non-reported trips (both general and Metro journeys) correction

The first two procedures simply involved calculating weighting factors to ensure that the distribution of households by size, and that the distribution of individuals by sex and age, respectively, are the same in the survey and in the population for every zone. The population data were taken from the 1982 Census so we have recommended the process to be repeated when the 1992 Census results become available.

We will describe the third procedure which is rather more involved. It has two stages: the first concerns the total number of trips and the second the trips by Metro only.

(a) *Non-reported trips correction:* This correction is necessary because the type of view used in household surveys, where the interviewees have to recollect their previous day's activities, normally ends up with a self-reporting of trips (particularly those of a discretionary nature).

To calculate the correction factors we

the information gathered in the travel diaries (TD), where more detailed data about each movement are not only required, but are jotted down by the participants while they are making the trip (see Ortúzar and Hutt<sup>10</sup>). For this reason it is expected that the recollection of all kinds of trips should be much better in this case. We were interested in adjusting the trips by three purposes: to work, to study and 'other' trips, and for each we carried out the following procedure:

- Households were grouped into categories defined by income (three levels), car ownership (two levels) and family size (three levels). The number of categories was determined by the condition that each should have at least 30 observations (households) both in the household survey (HS) and in the TD. We only considered motorised trips. The 14 categories generated by this stratification are described in Section 2.2; they are the same that were defined to collect the stratified sample of travel diaries.
- For each category and purpose the average number of trips per person older than five years old was computed in the HS (after applying the two previous correction factors and in that order, see Brog and Erl<sup>9</sup>) and in the TD ( $T_{HS}$  and  $T_{TD}$  respectively); their variances ( $S_{HS}$  and  $S_{TD}$  respectively) were also calculated. Then the difference in the means ( $D = T_{TD} - T_{HS}$ ) was computed and compared with the 'minimum detectable difference'  $d$  (for an 80 per cent probability of finding that  $D$  is significant at the 95 per cent level, see Skelton<sup>11</sup>), defined as:

$$d = 2.8 \left( \frac{S_{HS}}{N_{HS}} + \frac{S_{TD}}{N_{TD}} \right)^{\frac{1}{2}}$$

where  $N$  is the number of observations per category in the HS and TD respectively. The null hypothesis in this procedure is that the HS suffers from under reporting as people do not recall all the trips made the previous day. For this reason if  $D < 0$  or if  $D < d$ , no correction needs to be applied (i.e. the factor is 1); on the other hand if  $D > d$ , the factor is computed as the ratio between  $T_{TD}$  and  $T_{HS}$  and should be applied to the type of trip (to work, to study, 'other') where the difference was observed.

It is interesting to mention that these calculations could vary. For example, in the Great Concepción Origin-Destination Survey (Ortúzar and Malbrán<sup>12</sup>) all trips were considered (and not the trip rates per inhabitants older than five as we did here), ignoring the bias which could be introduced by the fact that categories may group households of different size. We also rejected another possibility which looks attractive in principle: to use trip rates per traveller (rather than by inhabitants) at each household. We abandoned it because we found that the number of travellers in each category was very different in the HS and TD. This means that the TD should allow to correct not only for unreported trips by travellers, but also for people who did not report having travelled at all. This should have been achieved with the present methodology.

Table I. Correction factors for non-reported trips by trip purpose

Category	To work	To study	Other
2	1.302	1.000	2.316
3	1.884	1.000	2.571
6	1.628	1.889	2.449
7	1.000	1.000	2.031
8	1.000	1.000	2.410
9	1.676	1.000	2.744
14	1.779	1.974	2.901

At the start we intended to calculate correction factors by period of the day, but the distortions introduced by the scarce number of observations in many categories led us to postulate one single factor for purpose per day. Table I shows the categories with factor values different from one. As can be seen, the largest values accrue for discretionary trips.

(b) *Correction of non-reported trips by Metro:* Our preliminary processing of the HS data revealed some under-reporting of Metro trips in relation to the statistics produced by the automatic ticket control machines. As the HS considered a sample of just 3 per cent of households, it is fairly natural that it should have problems in replicating the number of trips in modes such as the Underground, with low spatial coverage (we have only two Metro lines in Santiago) and which are relatively little used. This is particularly true if many of these trips are of the discretionary type. In order to correct for this we decided to use the TD data in a manner similar to the above. Factors were calculated for the 'other' purpose at all periods and for all purposes during the 'rest of the day' period (i.e. not including the morning and evening peak periods), under the assumption that compulsory peak-period trips did not need corrections.

(c) *Sample expansion:* This was done on the basis of expansion factors computed as:

$$FEX = \frac{\text{No. of households in Zone } i}{\text{No. of interviews in Zone } i} = \frac{NH_i}{NI_i}$$

On the other hand, the number of households in Zone  $i$  was obtained as follows:

$$NH_i = NA_i \cdot F$$

where  $NA_i$  is the number of addresses in Zone  $i$  according to the Register of Addresses and  $F$  is a transformation factor (from address to households) built from the data on households per address obtained while completing the household survey.

### 2.3. Travel diaries design process

This second household based survey had two specific objectives:

- To produce data with a level of precision that would be appropriate for the future estimation of disaggregate travel demand models.
- To take advantage of the fine level of detail of the information gathered in order to correct the household O-D survey for non-reported trips.

The sample size required by the second

objective is the critical one, as the number of observations required to estimate discrete mode choice models is much lower. In fact, Koppelman *et al.*<sup>13</sup> have shown that samples of up to 1000 individuals are more than enough to estimate disaggregate mode choice models; and, as we will see below, the second objective requires a sample of at least 420 households.

In order to determine the sample size required we first postulated a division of the Great Santiago population into 18 categories defined by the interaction of the following three variables (with levels as shown):

- *Household size:* 1 to 3 members, 4 to 5 members, 6 or more members.
- *Monthly household income:* Low, medium and high.
- *Household car ownership:* 0 and 1 or more.

Households were classified on the basis of data from ESTRAUS and the 1982 Census. As we observed that some categories were not representative (i.e. they had a very low percentage of the population), they were aggregated until we ended up with the 14 categories defined in Table II.

Category 10 is the critical one (only 2.05 per cent of households). To guarantee 30 observations per cell (i.e. the minimum required for the mean to be distributed Normal, which is a condition of the method used to correct for non-reported trips), it is easy to see that a random sample of 1463 (i.e.  $30 \cdot 100 / 2.05$ ) households with complete travel diaries should be sufficient.

Assuming the same performance as in the Great Concepción O-D Survey (see Ortúzar *et al.*<sup>14</sup>), we determined that the sample size needed to produce 1463 households with complete travel diaries was approximately 2340 households (i.e. 60 per cent higher). This sample size was judged excessive, so we decided to aim for a stratified sample of 420 households (30 households per category); this required us to contact 672 households (4 per stratum, i.e. 60 per cent more than required) assuming the aforementioned performance level.

In order to get this sample we started by randomly sampling 2340 addresses from the Register of Address asking only for stratum membership. Once the 48 cases in the smallest categories were located (and obviously interviewed), a random sample of 48 cases from each of the categories with a higher proportion of households was selected until we completed the 672 to be given travel diaries. In order to avoid problems of fatigue we chose different addresses to those of the household survey. It is interesting to mention that the final (validated) sample had 52 households with complete travel diaries (e.g. 5515 trips).

### 2.4. O-D survey validation using independent information

This task basically consists in contrasting the trip information from the O-D survey with analogous data from other sources. Specifically, we compared the (corrected and expanded) household survey data on trip crossing the screenlines with the traffic counts taken on them, suitably transformed by the occupancy rates measured at each control station. We also compared the number

Table II. Distribution of households by category

Category	Income	Car ownership	No. of residents in household	Percentage (%)
1	Low	No	1 to 3	18.86
2	Low	No	4 to 5	17.18
3	Low	No	6 or more	11.16
4	Low-Medium	Yes	1 to 3	6.08
5	Low-Medium	Yes	4 to 5	6.19
6	Low-Medium	Yes	6 or more	4.03
7	Medium	No	1 to 3	7.98
8	Medium	No	4 to 5	8.13
9	Medium-High	No	6 or more	6.64
10	High	No	1 to 3	2.05
11	High	No	4 to 5	2.09
12	High	Yes	1 to 3	4.33
13	High	Yes	4 to 5	4.41
14	High	Yes	6 or more	2.87
<b>Total</b>				<b>100.00</b>

Underground trips according to the household survey with those recorded by the Metro company.

(a) *O-D survey data production method:* We considered the private (car driver, car passenger and taxi) and public (bus and minibus) transport trips separately. In the first case the control point used by those trips crossing a screenline had been asked for in the survey instrument, so that in principle it appeared possible to obtain the data at the control station level. However, we found out that this piece of information was neither complete nor correct in all cases (i.e. many trips which required crossing both screenlines would just declare one).

This made it necessary to focus the study at the screenline (rather than cordon station) level. That is, we considered the origin and destination of each trip stage by the mode of interest: if these implied the crossing of one (or both) of the screenlines, the stage was counted in and the direction of crossing identified. The information about control stations reported in the survey forms was used if it provided additional information (i.e. trips between certain zone pairs can be made either crossing the river or not).

In the case of public transport trips there were no reported data on crossings. Therefore, the search program was based only on the origin and destination of the public transport stages and their location with respect to both screenlines. For interviews containing Metro trips we had information about access and egress station. This allowed us to write an *ad hoc* computer program to estimate the number of passengers at each station in each period (the mean time of each trip was considered for this) for all trips with a Metro stage.

(b) *Production of independent data:* In order to estimate the number of trips crossing each screenline, occupancy rates and classified counts were measured at each control point. These constitute the source of independent data needed to carry out the validation process. The measurements were conducted during a working day at all control points, during the same period in which the household survey was taken (between April and June 1991). The data gathered allowed us

to obtain the total number of people crossing the screenlines in different directions and by different modes for each period of the day.

In the case of Underground trips, the Metro company gave us information (measured at their automatic ticket machines) about the number of passengers arriving at each station. The average number of weekday passengers in May 1991, in each period of analysis, was used as the standard for comparison.

(c) *Comparison methodology:* It is interesting to mention that in the case of Metro trips the data available to carry out the validations were more disaggregated than for the case of screenline trips (i.e. we knew the trips by station rather than by line) and this allowed a deeper analysis. Thus, although we used the percentage error as the basis for comparison in both cases, the measure was applied at different levels of aggregation.

The percentage error ( $E_i$ ) measure used in both cases was defined as follows:

$$E_i = \left( \frac{I.I. \text{ trips} - O.D.S. \text{ trips}}{I.I. \text{ trips}} \right) \cdot 100$$

where *I.I. trips* stands for trips at the screen (or Metro)-line level for a given period according to the independent information (counts in the case of screenline data and ticket-machine measurements in the case of Metro) and *O.D.S. trips* is the same, but for the O-D survey data. As can be seen, the value of  $E_i$  will be positive if the household survey under reports trip crossings and vice versa.

## 2.5. Calibration of the strategic road network

One of the most important prerequisites for the application of urban transport planning models is the computational representation of the transport network of the system under analysis. The first stage in this process is to specify the network topology, defining the structure of relevant links and nodes as close to reality as possible. In general this structure is analytically determined by the so-called 'link-node incidence matrix' (see Steenbrink<sup>15</sup>). However, this stage is basically an art and there are no proven techniques to ensure its success. Therefore the analyst's knowledge, not only of the models that will

eventually use the modelled network but also about the connectivity properties of the real system to be replicated, are extremely relevant. The Great Santiago area strategic network built in this study finally coded up with some 1700 nodes and almost 5000 links.

The second stage of the process is actual network calibration. This consists of determining the specific values that the speed-flow function parameters must take in order to represent adequately the behaviour of each type of link examined. Traditionally, the determination of these parameters has been a difficult task whose results have left a lot to be desired. However, as this task is of a more analytical nature, there are now specialised techniques that allow to tackle it in a systematic fashion.

It is important to recall that the objective of this calibration is to allow the prediction of consistent flow and level-of-service levels, by means of assignment algorithms<sup>16</sup>. However, this result corresponds to the operation of the system as a whole and not to that of independent individual elements (i.e. nodes and links). Notwithstanding, the traditional method of calibration has precisely taken the form of a disaggregate statistical approach at the individual link level, i.e. link flow-speed relations are calibrated independently using empirical observations of flow and level-of-service. This procedure, which has not produced good results in general, is also quite expensive to implement because it requires data about flows on various types of links for different level-of-service values (e.g. travel time).

This study used a novel and more appropriate methodology, known as the 'bilevel approach' (Suh *et al.*<sup>17</sup>), which considers the system from a global perspective and is therefore more consistent with the eventual use of a modelled network. The approach differs from the traditional one in that it uses a bilevel programming algorithm in order to calibrate the speed-flow parameters jointly with the determination of modelled traffic equilibrium flows in the network. As the method was first applied to a real-life network in this study, we had to face some unexpected practical problems. However, the end results were judged adequate. The interested reader can find more details about this important task in Reference 2.

## 2.6. Trip matrix estimation

As mentioned in Section 2.1, the study plan included the estimation of O-D matrices from traffic counts both for private and public transport, in the morning and evening peaks and in the off-peak, using the household survey matrices as *a priori* information. However, the study brief only required the calibration of road networks for the morning and off-peak periods, and did not consider the calibration of a public transport network (which is actually a major task in a city like Santiago with flows of up to 1000 bus/h in certain links during the peak) at all. For these reasons an *ad hoc* methodology was lished. In the case of the public transport (bus/minibus) matrices we were able to estimate morning peak and off-peak networks from ESTRAUS (recently codified using 1991 data). For the evening peak period we

the morning peak network after checking that frequencies did not vary significantly between the two periods. However, as the ESTRAUS zoning system is coarser (only 264 zones) it was necessary to aggregate the household survey data (which are consistent with the 521 internal zone system) in order to obtain *a priori* matrices which are compatible with the ESTRAUS network. The estimated matrices were eventually disaggregated back again to the more detailed zoning system.

In the case of car trips, the networks calibrated as part of the study were used for the morning peak and off-peak periods. These are, of course, wholly compatible with the new zoning system and count data available. The evening peak period required adjusting the morning peak network to take into account the changes in traffic light settings and the change of direction of tidal flow system in one of the major roads leading to the CBD.

All the above means that in some cases the estimated matrices are probably not so good as they should have been. This was compounded by the fact that the *a priori* matrices were very sparse indeed (when considering 521\*521 matrices disaggregated by mode and period, it is not surprising that most matrix cells have zero trips), which meant that they provided little 'structure' to the matrix estimation process. Notwithstanding, in all cases the estimated matrices are endowed with the property of reproducing the independent traffic count information. The differences between the prior and estimated matrices are illustrative of the need to perform this activity in any given study<sup>2</sup>.

### 3. MAIN RESULTS

It is interesting to compare our results with those of the 1977 Great Santiago O-D Survey<sup>3</sup>, in order to examine the evolution of the city and its transportation system in this 14-year period. Now, although the comparison will be performed in very aggregate terms, it is important to note that: (i) the current Great Santiago area is much larger than in 1977; (ii) the Metro was just starting its operation then, with barely half a line; and (iii) the data collection methodology of 14 years ago did not incorporate the sophisticated data correction process applied in this study, i.e. the quality level of the information is rather different.

#### 3.1. Population and car ownership

Table III shows the evolution of the population, number of households and car ownership. As can be seen, the number of cars per household has increased by almost 50 per cent in average during this period. On the other hand, the number of inhabitants has increased by almost 30 per cent while the family size has decreased by almost 20 per cent. Finally, it can be seen that the number of cars has increased significantly (approximately 94 per cent) in the last 14 years.

Table III. Population and car ownership evolution between 1977 and 1991

Year	No. of cars	Households	Inhabitants	Family size	Cars/household	Cars/head
1977	208 263	649 820	3 483 084	5.36	0.320	0.0598
1991	404 769	1 048 615	4 515 859	4.31	0.388	0.0896

Table IV. 1991 modal split figures

Travel mode	No. of trips	%
Car (driver and passenger)	1 320 787	15.79
Bus-Minibus	4 007 251	47.90
Taxi	74 619	0.89
Shared Taxi	144 616	1.73
Metro alone	309 246	3.70
Park-and-Ride and Kiss-and-Ride	14 375	0.17
Bus-Metro	134 088	1.60
Taxi-Metro	4 035	0.05
Shared Taxi-Metro	54 857	0.65
Other-Metro	17 705	0.21
Walking	1 658 247	19.82
Other*	626 705	7.49
<b>Total</b>	<b>8 366 531</b>	<b>100.00</b>

\*Includes trips by motorcycle, moped, bicycle, institutional bus, etc.

#### 3.2. Modal split

Table IV presents the modal split results for 1991, computed over the roughly 8.4M trips produced daily in Santiago.

# Blick® Blick Time Systems Limited Car Parking Division

Blick Time Systems Limited, the UK's leading supplier of Time Management Systems now brings over 60 years' experience to its Car Parking Division.

The Amano range of systems for both ON and OFF-STREET parking control provides a comprehensive range for all requirements.

The TOP-2000 meets all standards that Local Authorities or any other users may require for higher profitability, security and reduced maintenance costs. It also provides detailed reports (cash collection audit and statistic reports) for easy management.

The TOP-2000 is flexible enough to allow the following optional features: pass card, prepaid card or credit card reader, journal printer, full power back-up, network interface and numbered parking spaces.

**Pay-On-Foot : Pay & Display : Pay-At-Exit**

**Nationwide Supply : Installation : Maintenance**

Blick House, Bramble Road,  
Swindon, Wiltshire, SN2 6ER.  
Tel: (0793) 692401  
Fax: (0793) 615848

Graphic House, Moseley Road,  
Manchester, M19 2LH.  
Tel: 061-224-0308  
Fax: 061-257-2488

Unit 69, Balloo Link, Bangor,  
Northern Ireland, BT19 2HJ.  
Tel: (0247) 454328  
Fax: (0247) 460859

Also at: London - Harrogate - Birmingham - Glasgow  
A Blick plc Group Company

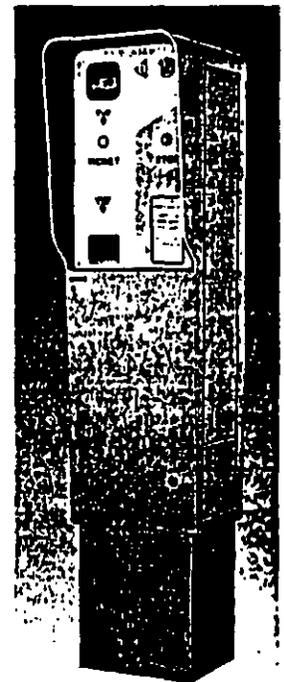


Table V. 1977 modal split figures

Bus-Minibus	Car	Metro	Walking	Other
66.37%	9.76%	3.30%	16.36%	4.21%

As a comparison Table V presents the observed modal split in 1977 estimated over a much smaller universe (roughly 3.6M trips). It must be mentioned that Taxi was included in the Other category that year, and that Metro includes all its combinations (Park 'n' Ride, Kiss 'n' Ride, Bus-Metro, etc.).

Table VI shows a comparison of the motorised modal split figures (i.e. excluding walking journeys) in both years. As can be seen, the private transport trips have almost doubled, but public transport still holds the largest share of the market. Finally, with respect to the Metro and its combinations we can resort to Table VII. As can be seen, the market participation of these modes has also nearly doubled. This is not only due to the completion of Line 1 and the construction of Line 2 in this period, but also to the fact that the Metro has managed to maintain an impressive standard of service which is highly appreciated by its customers.

3.3. Trip generation rates

Table VIII shows the evolution of trip rates, on the basis of all-day trips for persons older than five years of age, between 1977 and 1991. It can clearly be seen that the personal trip generation rates appear to have practically doubled and that the household trip rates have increased by 44 per cent. This result is probably strongly dependent on the fact that in 1977, as mentioned, no corrections were made to the raw survey data.

Finally, Table IX shows the evolution of the motorised trip rates between these years. As can be seen, the personal rates appear to have increased by approximately 79 per cent and the household trip rates by roughly 38 per cent. No doubt these results suffer from the same problems of data comparability mentioned above.

3.4. Trips by purpose

Table X presents trip generations by purpose for the different periods of the day in 1991. It can be seen that although more than 90 per cent of the morning peak-period trips are compulsory, this percentage decreases to approximately 68 per cent for the whole day.

3.5. Validation with independent information

(a) *Screenline trips:* Table XI presents a summary of the comparative results using the percentage error measure defined in Section 2.4. It was found that, in general, the O-D survey under-reported trips by car, as is rather well-known (see, for example, Barnard<sup>10</sup>). The differences were considerably smaller in the morning peak as would be expected, given that most trips are compulsory and thus have a smaller probability of being forgotten. In fact, morning peak differences varied between 3 and 25 per cent only, depending on

Table VI. Aggregate motorised modal split evolution

Year	Private transport*	Public transport**	Other
1977	11.60%	83.38%	5.04%
1991	20.80%	70.01%	9.19%

\*In 1977 Private Transport included only the Car and in 1991 it includes Car and Taxi

\*\*Public Transport includes: Bus, Minibus, Shared Taxi, Metro and all the other combinations of these modes

Table VII. Metro market shares evolution

Year	All trips	Motorised trips
1977	3.30%	3.95%
1991	6.40%	7.96%

Table VIII. Evolution of trip generation rates 1977-1991

Year	Trips	Persons	Households	Trips/person	Trips/household
1977	3 614 195	3 174 584	649 820	1.14	5.56
1991	8 366 531	3 950 939	1 048 615	2.12	7.92

Table IX. Evolution of motorised trip generation rates 1977-1991

Year	Trips	Persons	Households	Trips/person	Trips/household
1977	3 022 913	3 174 584	649 820	0.95	4.65
1991	6 708 284	3 950 939	1 048 615	1.70	6.40

Table X. Analysis of trips per purpose

Period/purpose	To work	To study	Other	Total
Morning peak (%)	839 405 (48.15)	748 228 (42.80)	157 756 (9.05)	1 743 (100.00)
All day (%)	3 046 196 (36.41)	2 633 833 (31.48)	2 688 502 (32.11)	8 366 531 (100.00)

Table XI. Validation of trips crossing screen lines

Period	Cars/Taxis	Bus/Minibus
Morning peak	13.2%	-34.9%
Evening peak	62.7%	7.3%
Off-peak	78.4%	42.0%

Table XII. Validation of Metro trips

Period	Line 1	L 2
Morning peak	-23.1%	-20.3%
Evening peak	7.7%	-8.4%
Off-peak	35.3%	28.4%

the screenline and direction of movement. However, they increased up to 65 per cent in average for the whole day. Public transport trip errors were much lower in general, as can be seen in Table XI. Another difference is that they were over-reported by the O-D survey in the morning peak.

(b) *Trips by Metro:* Table XII presents the percentage errors between O-D survey data and independent information on Metro trips by periods of the day and Metro line. As can be seen, the errors observed in this case are actually very low and once more the differences are even smaller in the peaks.

#### 4. CONCLUSIONS

This paper has summarised the main methodological aspects of the 1991 Great Santiago O-D Survey which ended up, among a series of other tasks, by interviewing 113937 individuals in 31 267 households.

A comparison of some of its main results with those of the last, 1977, survey of this nature conducted in the city shows that the total number of daily trips apparently increased by 133 per cent (from 3.6M to 8.4M trips) between 1977 and 1991, although this could be partly due to differences in the data collection and correction methodology between both surveys, as explained above. Notwithstanding, it is necessary to highlight the dramatic increase in the use of the private car as a means of transport in this 14-year period. In 1977 only some 9.8 per cent of trips were made by car and in 1991 this number shot up to 15.8 per cent. On the other hand, the public transport modes have experienced a strong decline in their market share since 1977, with the exception of the Underground which has practically doubled it, going from 3.3 per cent in 1977 to 6.4 per cent in 1991, mainly because of the expansion of its network (from half a line to two lines) and the good standard of service it has managed to maintain throughout.

These results, and particularly the worrying increase of the private car's participation in the market, are consistent with the empirical evidence available in other parts of the world. It seems clear that as income increases car ownership and its use are practically inevitable if decisive actions are not taken to prevent it. Not acting has a pernicious effect because a higher use of this mode, so inefficient in the utilisation of road infrastructure, also puts more pressure on the Government to invest in infrastructure construction and this vicious circle feeds back. This trend, well manifested in industrialised nations, seems to be impossible to prevent unless cities manage to anticipate it by providing its citizens with a public transport system which really provides a reasonable alternative to the automobile. Otherwise, we will end up with constantly increasing car-oriented transport systems that devour enormous quantities of economic and other resources which are always scarce in developing countries.

To end the paper on a technical note, it is perhaps worth coming back to the problem of obtaining very sparse matrices (i.e. with a high percentage of zero cells) in the household survey. This is apparently an inevitable result which, as mentioned, has the adverse effect of making the matrix estimation process too dependent on the traffic count data losing the 'structural' side provided by the *a priori* matrices. The only practical solution seems to rely on taking more screenline and cordon O-D data (by mode, period and purpose), in order to fill in the household-based matrices; unfortunately, this makes the whole enterprise not only more expensive, but also much more disrupting to travellers, which may be self-defeating in turn. Another problem worth considering is how to prevent, or at least alleviate, the severe under-reporting of discretionary trips in the household survey. Offers are welcome.

#### ACKNOWLEDGMENTS

The authors emphasise that in order to carry out in only 18 months the vast amount of work which is summarised here it was necessary to call upon the good efforts of a number of individuals working in several companies. We are particularly grateful to Enrique Strobl, Luis Vega and Roland Zamora from CADE Consultores Ltd, the firm in charge of the majority of the on-site work required during the study; to Juan Larson of IEC Ltd, the firm in charge of all the data-processing; and to Angela Candia, Juan Enrique Coeymans, Joaquin de Cea, Pablo Valenzuela and Ernesto Vilches of the Pontificia Universidad Católica de Chile, for their support in the study area zoning system, traffic-count data collection programme, road network calibration and matrix estimation from independent information.

The final version of the paper was written during a three-week stay of the main author at the Norwegian Institute of Transport Economics, Oslo, funded by the Norwegian Council for Scientific and Industrial Research (NTNF) and Fundación Andes.

#### REFERENCES

- <sup>1</sup>ESTRAUS. *Estudio Estratégico de Transporte del Gran Santiago*. Final Report to the Secretaría Ejecutiva de la Comisión de Transporte Urbano, Consorcio SIGDO-KOPPERS/CIS, Santiago, 1989 (in Spanish).
- <sup>2</sup>DICTUC-CADE. *Encuesta Origen-Destino de Viajes del Gran Santiago 1991*. Final Report to the Secretaría Ejecutiva de la Comisión de Planificación de Inversiones en Infraestructura de Transporte, Departamento de Investigaciones Científicas y Tecnológicas, Pontificia Universidad Católica de Chile and CADE Consultores Ltda., Santiago, 1992 (in Spanish).
- <sup>3</sup>DICTUC. *Encuesta Origen y Destino de Viajes para el Gran Santiago*. Final Report to the Ministerio de Obras Públicas, Departamento de Ingeniería de Transporte, Universidad Católica de Chile, Santiago, 1978 (in Spanish).
- <sup>4</sup>ORTUZAR, J. de D., and L. G. WILLUMSEN. *Modeling Transport*. John Wiley & Sons, Chichester, 1990.
- <sup>5</sup>SMITH, M. E. Design of small sample home interview surveys. *Transpn Res. Rec.* 701, Transportation Research Board, Washington, DC, 1979, 29-35.
- <sup>6</sup>AMPT, E. Recent advances in large-scale travel surveys. *Proc., 9th PTRC Summer Annual Meeting*, University of Warwick, July 1981.
- <sup>7</sup>BRUTON, M. J. *Introduction to Transportation Planning*. Hutchinson, London, 1985.

- <sup>8</sup>WILLUMSEN, L. G. Estimating time-dependent trip matrices from traffic counts. In: J. Volmuller and R. Hamerslag (Eds.), *Proceedings of the Ninth International Symposium on Transportation and Traffic Theory*. VNU Science Press, Utrecht, 1984.
- <sup>9</sup>BRÖG, W., and E. EARL. Application of correction and weighting factors to obtain a representative data base. *Proc., 10th PTRC Summer Annual Meeting*, University of Warwick, July 1982.
- <sup>10</sup>ORTUZAR, J. de D., and G. A. HUTT. Travel diaries in Chile: the state-of-the-art. *Proc., 16th PTRC Summer Annual Meeting*, University of Bath, September 1988.
- <sup>11</sup>SKELTON, N. Determining appropriate sample sizes when two means are to be compared. *Traff. Engng Control* 23 (1), January 1982, 29-37.
- <sup>12</sup>ORTUZAR, J. de D., and H. MALBRAN. Recolección apropiada de diarios de viaje en países en desarrollo. *Actas VI Congreso Panamericano de Ingeniería de Tránsito y Transporte*, Popayán, Colombia, July 1990 (in Spanish).
- <sup>13</sup>KOPPELMAN, F. S., G.-K. KUAH and C. G. WILMOT. Transfer model updating using disaggregate data. *Transpn Res. Rec.* 1037, Transportation Research Board, Washington, DC, 1985, 102-107.
- <sup>14</sup>ORTUZAR, J. de D., C. FIGUEROA and A. THOMAS. Encuesta origen-destino y modelos de generación de viajes en el Gran Concepción. *Actas V Congreso Chileno de Ingeniería de Transporte*, Universidad de Chile, October 1991, (in Spanish).
- <sup>15</sup>STEENBRINK, P. A. *Optimisation of Transport Networks*. John Wiley & Sons, New York, 1974.
- <sup>16</sup>SHEPPI, Y. *Urban Transportation Networks*. Prentice-Hall, Englewood Cliffs, N. J., 1965.
- <sup>17</sup>SUH, S., C.-H. PARK and T. J. KIM. A highway capacity function in Korea: measurement and calibration. *Transpn Res.*, 24A, 1990, 177-186.
- <sup>18</sup>BARNARD, P. O. Evidence of trip under-reporting in Australian transportation study home interview surveys and its implications for utilisation. In: E. S. Ampt, A. J. Richardson and W. Brög (Eds.), *New Survey Methods in Transport*. VNU Science Press, Utrecht, 1985.

The address of Professor Ortúzar and A. M. Ivelic: Department of Transport Engineering, Pontificia Universidad Católica de Chile, Casilla 306, Cod. 105, Santiago 22, Chile; and of Messrs Malbrán and Thomas: Comisión de Planificación de Inversiones en Infraestructura de Transporte, Ahumada 48, 5º piso, Santiago, Chile.

#### TRL research into parking topics Concluded from page 354

Details of household size, car ownership and where cars were normally parked were collected from residents, and opinions were sought on parking difficulties, possible responses to increasing difficulties, prices people might be prepared to pay for parking permits or to rent parking space, and possible remedial measures available to local authorities.

Difficulties in parking, and distances cars had to be parked from their owners' homes, were found to be correlated with demand density (the ratio of the number of cars in the area to the total number of on- and off-street parking spaces). But even where parking appeared to be saturated (cars/space ratio > 1) people tolerated the conditions, owned as many cars per household as in unsaturated areas, and expected to increase the number of cars they owned.

Estimates are made of how long it will take to reach saturation in each area, and how long saturation could be deferred by converting all potential space to parking. The possibilities of a market in residential off-street parking are also explored.

Magnetic pre-payment parking cards. Rushmoor Borough Council three years ago authorised the installation of Pay. Display equipment which was able to accept the payment of parking fees with a pre-payment magnetic card. The cards, marketed under the name of 'Easypark', could be purchased at a number of outlets within the borough. In October 1990, when the system was introduced, this installation was the largest of its type within the U.K.

TRL was commissioned to undertake an assessment of the Easypark scheme in Rushmoor. The assessment included the administration of two questionnaire surveys to determine the effect of Easypark on parking behaviour, motorists' knowledge of the system together with any difficulties experienced by users. An analysis of card usage and car-park income was undertaken with data provided by the Borough Council. In TRL Project Report 29 Pickett and Gray describe the operation of the Easypark system, present the results obtained and discuss a number of possible enhancements which could be considered for incorporation into subsequent developments of magnetic pre-payment systems when applied to the payment of parking fees.

# Advances in Estimating O-D Trip Matrices

by Miles Logie, Technical Director, MVA Systematica\*

This paper provides both an update to a previous article in this journal describing the approach to matrix estimation implemented in the MVESTM program from the TRIPS package and a general overview of general matrix estimation procedures. The paper describes the latest facilities for estimating O-D matrices which are provided by the MVESTM program. These facilities include the ability to estimate both highway and public transport O-D matrices; to use a new form of data which observes only parts of trips; and to estimate very large matrices through a hierarchic procedure.

## INTRODUCTION

**Background.** Origin-Destination (O-D) trip matrices are a vital element of much transport analysis, but they usually involve considerable survey costs. So, despite the importance of O-D trip pattern information, engineers are often forced to use out-of-date O-D data, which can seriously undermine the basis of their analyses. A recent survey in the U.S.<sup>1</sup> has shown that over half of current transport planning studies are using O-D data which are over 10 years old. As a response to this problem there has been a great interest in economic methods for estimating and updating O-D matrices. The first approaches concentrated on using traffic count data, which are both readily available and cheap to collect. Later procedures used a wider set of information, as there is a limit to what may be achieved by count data alone.

The estimation of O-D matrices is a difficult problem to solve because of the number of matrix cell values which must be estimated. The size of the problem is related to the square of the number of zones in a study area and, even for small study areas, there are always insufficient data relative to the number of cells to be estimated.

Over a two-year period MVA Systematica, supported by the *Rijkswaterstaat*, the Dutch Ministry of Transport, developed a method of updating matrices that limited the needs for surveys. The philosophy of the approach enables the user to exploit a wide variety of sources of data that can contribute to matrix updating. This approach has now been widely used, and has previously been reported in this journal<sup>2</sup>. Following a commission from the CENTRO organisation, the method has recently been extended to accept more types of input data and to estimate very large matrices<sup>3</sup>.

This paper, therefore, provides an update on the earlier one. It begins with an outline of the general approach to estimation and an overview of the mathematical basis for estimation. The paper explains the different data, and the issues that arise, as well as the facilities available for assessing the quality of the estimated matrix. A bibliography covering a variety of estimation techniques is given at the end of this paper.

## The estimation problem

The general approach to matrix estimation is to formulate a mathematical model (equation) whose output is the estimated cell values. Some form of optimisation is then used to adjust (calibrate) the parameters of this equation in such a way that the resulting matrix is consistent with the input data. Different estimation methods may largely be distinguished by differences in these elements, namely:

- The *mathematical model* — this may be more or less complex.
- The form of the *objective function* — this is used to decide whether the estimated matrix is consistent with the input data. One technique used in a number of methods is based on Entropy Maximisation, another uses Information Minimisation.
- The *optimisation method* — this can be analytically-based for simple formulations of the estimation problem, but more complex approaches rely on iterative or search-based methods.

## The MVESTM implementation

The MVESTM implementation conforms to this general pattern, although an unusual feature of the method is the explicit consideration given to this inherent variability of traffic data. This is vital for resolving errors and inconsistencies between the different types and sets of data that may be used. The estimation procedure is formulated statistically and uses the Maximum Likelihood method. The optimiser is based on search procedures, but incorporates mathematically-derived methods for guiding the search for optimum solutions.

Another valuable and distinguishing feature of the approach is the facility for analysing the quality of the updated matrix, which naturally is conditioned by the quality and extent of the input data. This information on matrix quality can guide cost-effective and selective data surveys when required.

The estimation procedure has been implemented as part of the TRIPS package, and is known by the name of the principal program, MVESTM. It has been used successfully for several years on many and varied studies around the world, covering both large and small study areas. The latest developments of MVESTM enable it to estimate matrices for both highways and public transport studies. These are similar problems but with their own characteristics: passenger loading data are less readily obtained than traffic count data, while boarding and alighting surveys are common for public transport. This latter form of data represents an important new class of information, called 'Part-Trip' data, which is further described below. Following from extensive development on a major public transport study, MVESTM now has the capacity to estimate extremely large matrices, with thousands rather than hundreds of zones.

## THE NATURE OF THE ESTIMATION SYSTEM

A framework for handling different data consistently. The matrix estimation system provides a framework for the user to input a variety of sets of data to estimate Origin-Destination (O-D) matrices. The characteristics may be summarised as:

- a range of types of information may be used;
- the system can work with little data, but the accuracy of the estimated matrix is improved as more data are input;
- different information is handled on a consistent basis;
- the variability of data is explicitly accounted for; and
- extensive information is available on the quality and nature of the estimated matrix.

The user is required to input information about how confident they are that each data item is representative of the situation for which the matrix is to be estimated. This information about the variability of data, termed 'Confidence Levels', is used to determine what relative influence each item of data has in the estimation process — it acts algebraically as a 'weighting' value, although it also has a statistical interpretation as a percentage sample value.

The information on updated matrix quality is provided in several ways. A series of tabular and graphic reports provides information about the extent and location of changes arising in the updated matrix, especially with respect to the input data.

A companion program, MVESTM, identifies a number of aspects of the quality of the estimated matrix from a statistical viewpoint and from the performance of the optimiser.

\*The author's address: MVA Systematica, MVA House, Victoria Way, Woking, Surrey GU21 1DD.

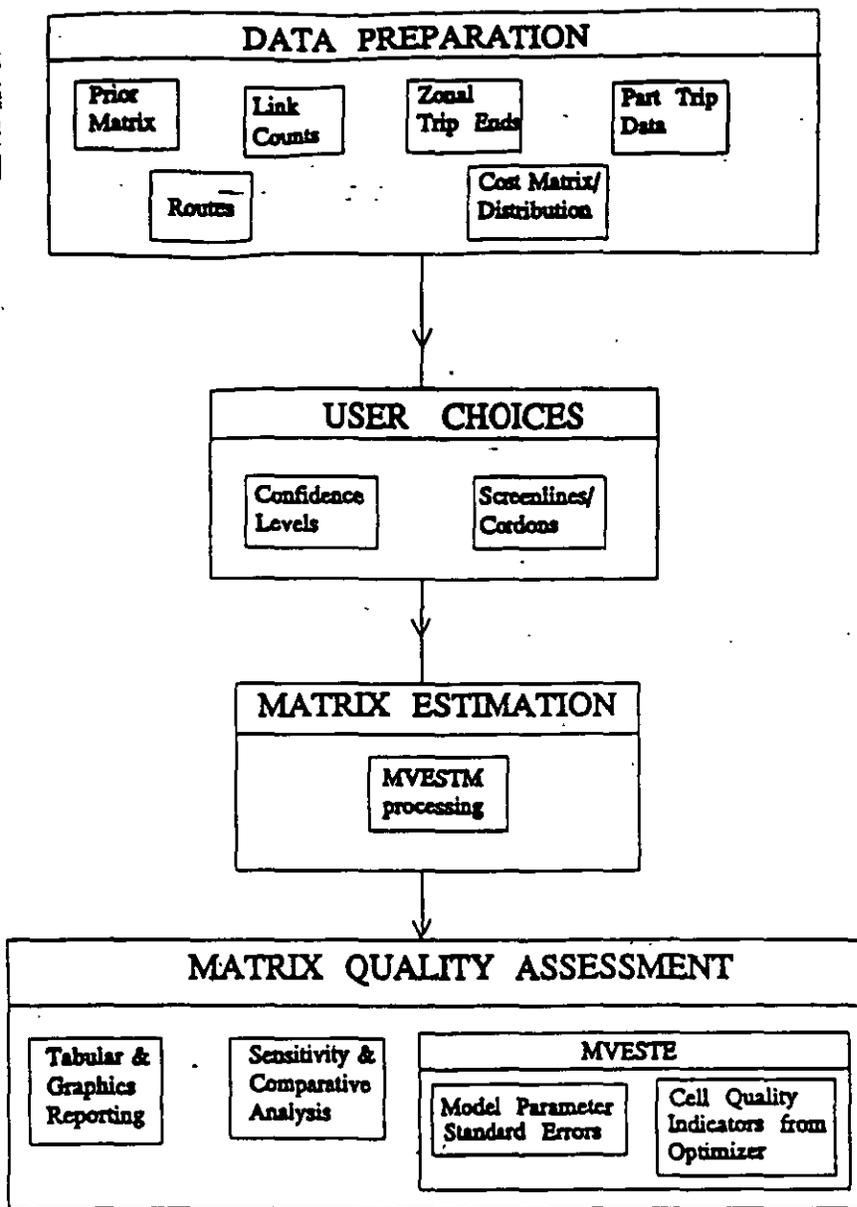
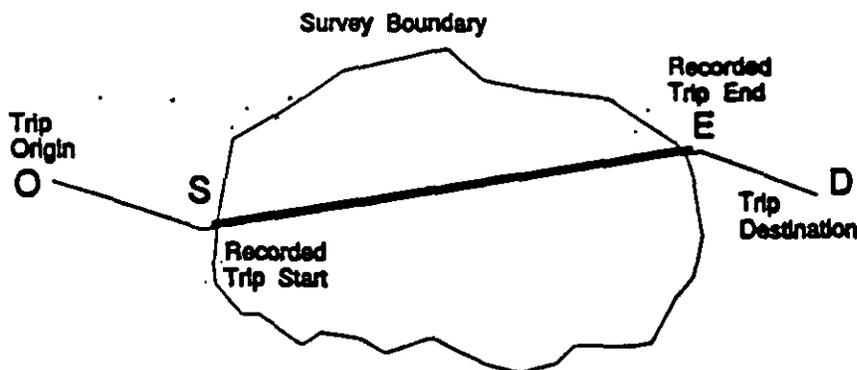


Fig 1. Summary of Matrix Estimation process.

The overall estimation system is summarised in Fig 1 in terms of four main stages. The first stage collates and prepares the data in the required formats. The effort involved in this stage is usually of value to other forms of transportation analysis, such as assignment modelling, so the marginal effort is limited.

Fig 2. Schematic illustration of Part-Trip Data.



Data preparation is largely mechanistic in nature, but the user is required to make decisions defining the quality of the data and how traffic-flow counts are organised into cordons and screenlines. The system provides the user with aids which assist in making choices and understanding the implications of alternatives.

The matrix estimation process itself requires minimal user intervention, although a variety of features are available, for example, for partitioning very large problem sizes in

accordance with available computing resources.

The stage of matrix quality assessment is based on a variety of tools provided for the user to examine whether the resulting matrix is adequate for the required purpose, or whether further data or refinement are needed.

#### POSSIBLE DATA INPUTS

The estimation can operate using some or all of the following data items [a "C" indicates that information is required on confidence levels]:

**Link traffic and passenger counts'** — This information may be surveyed with considerable accuracy, but it may not show the current demand for travel if congestion has constricted flows. Link counts spread randomly across the network contribute little information to the estimation. They are normally best grouped into screenlines.

**Prior trip matrix'** — This matrix might be an out-of-date matrix for the study area, or possibly a previous study 'forecast' for the present day. It is not essential, but in practice a prior matrix is very desirable.

**Trip cost matrix'** — This matrix summarises the (generalised) cost of travel between zones. The trip cost matrix may be used as a substitute when a prior matrix is not available. This matrix is produced using an assignment program. The costs may be based on either modelled or surveyed speed data.

**Partial O-D matrix'** — This is another approach to providing the prior matrix. The user merely identifies a (relatively) high confidence in those cells which have been observed and allows other information to determine values in the remaining cells. This makes the approach useful when surveys have been conducted around 'critical' parts of a study area (e.g. town centres, travel corridors, etc.), but there is a need to estimate the matrix for the rest of the area.

**Trip ends'** — The total number of trips generated from and attracted to zones (G&A) may be obtained either from surveys or from mathematical models. It is possible to use data derived from both methods, with the resulting trip ends distinguished through differing confidence levels.

**Part-trip data'** — A matrix of trips where the definition of the trip start and ends may not correspond to their ultimate origins and destinations. This is a novel form of data for matrix estimation purposes, but it arises in common types of surveys. For highway vehicle trips this information is produced by licence-plate matching surveys that provide O-D matrices for a cordoned area. For public transport, this information is produced by surveys of passengers boarding and alighting at bus-stops, railway or Metro stations, and so on. Recent applications have seen this form of data derived from electronic ticketing machines (ETM) on buses and Metro services. The concept of Part-Trip Data is illustrated in Fig 2.

**Routing information** — It is possible to survey routing data, though this is not frequently done. The modelling of routing is often not a very good replication of actual

(erratic) driving routing and it is not possible to place much reliability on these otherwise important data. MVESTM is therefore designed to use routing information, as far as possible, in circumstances where the precise routing is not needed.

**Cost distribution function** — Many areas which have been the subject of previous studies will have a previously-calibrated mathematical trip cost distribution function, as used in the Gravity model. The method provides its own Maximum Likelihood calibration procedures, but it is possible to fix certain model parameters with reference to a previously-calibrated Gravity model.

### MATHEMATICAL ESTIMATION MODEL

There is no fixed form of the mathematical model for O-D estimation. Most are of the form shown in Equation (1) below, with differences in the numbers and interpretation of the individual model parameters. In MVESTM the estimated trips between zones  $i$  and  $j$ ,  $T_{ij}$ , are calculated by a mathematical estimation model of the form:

$$T_{ij} = a_i b_j t_{ij} \prod X_k^{R_{ijk}} \quad \dots (1)$$

where

$$t_{ij} = c_{ij} e^{\alpha (-\beta c_{ij})} \quad \dots (2)$$

or  $t_{ij} = \text{prior observation} \quad \dots (3)$

and  $\prod$  implies the product of  $X_k$  over the count set  $K$ .

$R_{ijk}$  is the probability of trips between zones  $i$  and  $j$  using screenline  $k$ . The screenlines are organised so that usually  $R_{ijk} = 1$  or 0.

The parameters of the equation, namely,  $a_i$ ,  $b_j$ ,  $X_k$ ,  $\alpha$  and  $\beta$ , are calculated from the data input by the user. The model parameters may be associated with different types of data, shown in Table I. However, this association is not a strict one as all data can potentially affect each parameter.

Table I. Model parameters and data

Model parameter(s)	Associated data
$a_i, b_j$	Trip ends
$t_{ij}$	Either from a prior partial matrix or based on trip cost information ( $c_{ij}$ )
$\alpha, \beta$	Trip cost information ( $c_{ij}$ )
$X_k$	Links counts at site $K$ , or normally the set of sites $K (= k1, k2, \dots)$

The Maximum Likelihood technique is used to define an 'objective function', containing input data and their equivalent estimated values\*. This objective function has the property that the model parameter values which correspond to a minimum for this objective function are the statistically most likely values. The method for finding this minimum value uses a Quasi-Newton optimisation procedure for searching.

The estimation model (Equation (1)) may be observed to be a combination of several types of model and reduces to conventional model types (i.e. 'Furness/Growth Factor' and 'Gravity') when certain parameters are ignored. This can be simply done by MVESTM to restricting parameter values to 1 or 0, as appropriate.

\*For example, the estimated trip ends are the sum of the rows and columns of the estimated matrix. Estimated link counts may be similarly calculated from the matrix using  $R_{ijk}$  routing information.

When deciding the statistically 'most likely' values, the method assumes that input data are subject to variation that may be described by the Poisson probability distribution function. The sampling rates (Confidence Levels) supplied by the user are used to define the parameters (mean/variance) of the Poisson distribution.

### DATA PREPARATION

The data are prepared using programs offering a variety of modes of operation, including batch or interactive. The important operations are as follows:

**Matrices** — Matrix manipulation programs may be used to modify individual cells or ranges of cells. This permits confidence levels to be set easily to global or individual values.

**Trip ends** — Trip ends may be determined either by reference to an existing matrix, surveys (e.g. of parking), or they may be calculated from equations, and suitable programs exist for this.

**Networks and traffic counts** — Graphic network editing is often used for preparing networks. Traffic count information is input into 'volume field' storage areas associated with each link. A command language facility provides a convenient method to input confidence levels.

**Screenline** — Screenlines are defined to minimise the effects of assignment errors. A screenline is a group of traffic counts that form a set which intercepts traffic flows between particular sets of zones. A useful type of screenline is provided by a river or a railway line that has only a few crossing points. In this case all traffic must be routed through known points, so there can be no assignment error associated with the screenline.

The concept of 'partial screenlines' is used. These are 'partial' in the sense that they do not extend between the boundaries of a

study area, but they intercept all trips between, at least, certain defined pairs of zones.

The method for defining such screenlines is based partly on judgment and the availability of count data sites, but graphical aids are provided to assist users. An assignment program is used to generate a set of 'reasonable', multi-route paths between each O-D pair\*\*. This routing information, which may also be viewed graphically, is used to define screenlines and the set of O-D pairs whose routes they intercept.

The graphics facilities allow the user to view which O-D pairs use specified links or sets of links, and which links form routes between specified O-Ds. It also allows the user to define screenline positions on the computer screen.

\*\*Normally three sets of Burrell paths are

**Part-trip data** — Part-trip data are surveyed in terms of travel between sets of points, which may or may not correspond to the actual origin and destination and are therefore, fundamentally a form of trip record, or matrix. However, if processed by a program, MVESTM can be used to produce a matrix form of link flows. Of special relevance to public transport is the capability to distinguish different sets of Part-trip data through groupings called 'Line Groups'. These Line Groups enable account to be taken, for example, of survey differences between buses of different companies.

### THE ESTIMATION PROCESS

Having prepared the data, little further intervention is required of the user to run MVESTM to estimate the matrix. The optimiser has been demonstrated to be especially robust in achieving convergence.

The values of previously-calculated model parameters are saved in a file. These, together with some other output information, may be used as the initial basis for calculating a new matrix on altered data.

### UNDERSTANDING AND INTERPRETING RESULTS

The estimation process provides some summary statistics, and the user may report the contents of the estimated matrix in a variety of ways through:

- sensitivity analysis
- comparison
- statistical information
- indices of cell reliability

The ability to produce text and graphical reports in many different formats and with considerable user control and informed selection provides an important means of gaining confidence and understanding in the results.

#### Sensitivity analysis

The relevant data entry programs allow easy factoring and adjustment of (selective) data, e.g. to investigate assumptions about confidence levels.

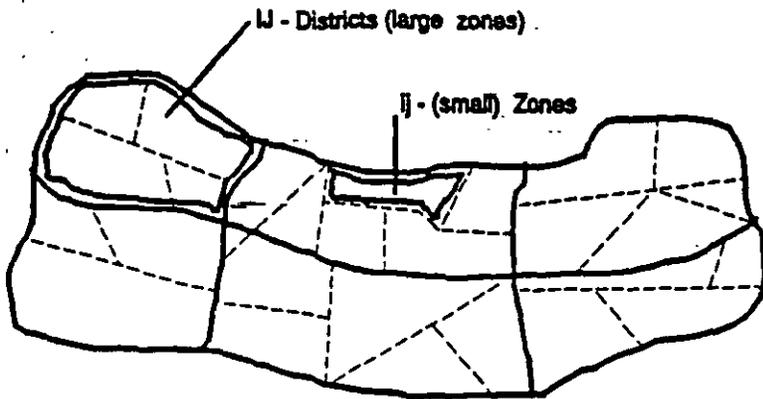
The facilities for 'warm-starting', based on previously-calculated model parameter values and a 'gradient search' matrix determined by the optimiser, considerably speed this process.

#### Comparative analysis

There are extensive facilities for making an assessment of the estimate by comparing it with other information. This may be direct comparison with input information so that the input prior matrix, trip end, count and part-trip information may be directly compared with the resulting output matrix via a variety of reporting programs. Modelling may be used to extend the analysis by assigning the estimated matrix.

#### Statistical analysis

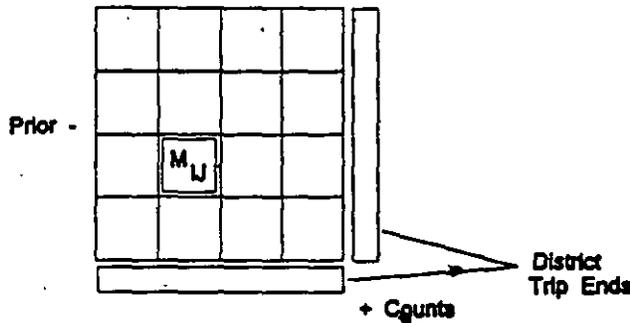
The approach used by the optimiser allows the MVESTM program to calculate confidence errors associated with the estimation of each model parameter. Using the link with data indicated in Table I, it is possible to detect problems with input data, both regarding quality and quantity.



— automatic calculation districts from zones by MVESTZ (using routing data), may be amended by the user

Fig 3. Districts and Zones.

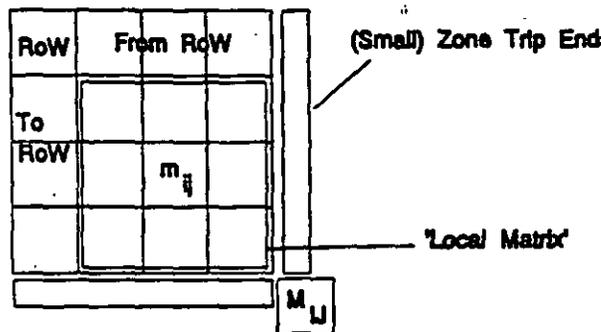
A) Estimate District Matrix



Note: Matrices usually 'non-square'

Fig 4. Estimate District Matrix.

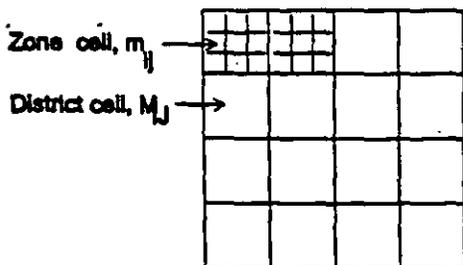
B) Estimate Local Matrix



RoW — 'rest of world' from Local Matrix area

Fig 5. Estimate Local Matrix.

C) Combine Local Matrices



Build up full Detailed Matrix

Fig 6. Combine Local Matrices.

**Indices of cell reliability**  
While MVEST reports on the standard error associated with each model parameter that is calculated, and these parameters directly determine the value of estimated cells, it is not mathematically valid to combine these standard errors directly. Instead, MVEST calculates a Sensitivity Matrix which indicates the 'certainty' with which the optimiser identifies each estimated cell value.

These sets of information can be used to determine quality strengths and weaknesses of an estimated matrix, and to guide the user in improving the estimates.

**HIERARCHIC ESTIMATION**

The estimation of very large matrices uses a hierarchic approach in which a matrix is first estimated based on larger (i.e. fewer) zones, which are then used to control the estimation of detailed travel patterns as a set of very much smaller estimation problems. In this way, detail is progressively added to the initial broad estimate of the study area. The approach is distinguished by the facility for automated grouping of many small zones into fewer large 'districts', based on routing information. It also ensures that any estimation, whether at a small or a large scale of detail, always considers the full set of input data, although the focus changes according to which part of the estimation problem is being solved at the time.

This process is schematically illustrated in Figs 3 to 6. Figure 3 shows a study area divided into many small zones (denoted by  $ij$ ). These are divided into fewer large zones ('Districts' denoted  $IJ$ ) by the MVESTZ program. Figure 4 indicates the estimation of a District Matrix, typically containing 10 to 20 zones. One cell of this matrix is referenced as  $M_{ij}$ . Figure 5 shows a 'Local Matrix' being estimated; the cell(s), referenced as  $m_{ij}$ , correspond to small (detailed) zones, but other elements of the matrix, 'RoW', correspond to information on the 'Rest of the World' as calculated by the District estimation. The total number of trips in this Local Matrix is  $M_{ij}$  from the District estimation. Figure 6 indicates the construction of the full detailed matrix from a set of Local Matrices.

Applications using this set of hierarchic estimation process have included a study area with some 4 500 zones (corresponding to small clusters of bus-stops and individual rail stations) in the Birmingham (West Midlands) area of Britain. The second application was for 630 zones in Singapore.

**ACKNOWLEDGMENTS**

The development of MVESTM has involved a considerable team of specialists. Particular thanks are due to Al Hynd, Stuart Tredinnick and Dr George Skrobanski for their major contributions to the continuing developments.

**REFERENCES**

- <sup>1</sup>ITE TECHNICAL COUNCIL COMMITTEE 6F-42. The age and status of transportation planning databases. *ITE J.* 63(3), March 1993, 42-43.
- <sup>2</sup>LOGIE, M. and A. HYND. MVESTM matrix estimation. *Traff. Engng Control*, 31(9), September 1990, 454-459; and 31(10), October 1990, 534-545.
- <sup>3</sup>SMITH, G. C., and M. LOGIE. Public transport matrix estimation. *Proc., Seminar D, PTRC Summer Annual Meeting, UMIST, September 1993.*

## BIBLIOGRAPHY

- BELL, M.G.H. The estimation of Origin-Destination matrices by constrained Generalised Least Squares. *Transp Res.*, 25B(1), 1991, 13-22.
- BRENNINGER-GÖTHE, M., K.O. JÖRNSTEN and J.T. LUNDGREN. Estimation of Origin-Destination matrices from traffic counts using multi objective programming formulation. *Transp Res.*, 23B(4), 1989, 257-269.
- CASCETTA, E. and S. NGUYEN. A unified framework for estimating or updating Origin-Destination matrices from traffic counts. *Transp Res.*, 22B(6), 1988, 437-455.
- DANECH-PAJOUH, M. Estimation des matrices Origine-Destination par les comptages et la théorie de l'information. INRETS, Fiche Resultat Rapport INRETS No. 125, Nouvelle édition du rapport No. 7), September 1990.
- FISK, C.S. Trip matrix estimation from link traffic counts: the congested network case. *Transp Res.*, 23B(5), 1989, 331-336.
- HAMERSLAG, R. and L.H. IMMERS. The estimation of trip matrices: shortcomings and possibilities for improvement. Transportation Research Board, Paper No 870571, January 1988.
- IRVING, J.M., C.F. OAKLEY and J.B.H. RAMSEY. The use of an O-D matrix: a Maximum Likelihood approach. *Traff. Engng Control*, 7), September 1986, 442-446.
- LORENZ, M. and A. HYND. MVESTM matrix estimation. *Traff. Engng Control*, 31(9), September 1990, 454-459; and 31(10), October 1990, 544, 549.
- NGUYEN, S., E. MORELLO and S. PALLOTTINO. Discrete time dynamic estimation model for passenger Origin/Destination matrices on transit networks. *Transp Res.*, 22B(4), 1988, 251-260.
- SCHAEFER, M. Estimation of intersection turning movements from approach counts. *ITE J.*, October 1988, 41-46.
- SPIESS, H. A Maximum Likelihood model for estimating Origin-Destination matrices. *Transp Res.*, 21B(5), 1987, 395-412.
- SPIESS, H. A gradient approach for the O-D matrix adjustment problem. Centre de Recherche sur les Transports.
- VAN ZUYLEN, H.J. and L.G. WILLUMSEN. The most likely trip matrix estimated from traffic counts. *Transp Res.*, 14B, 1980, 281-293.

**PARKING:** *Concluded from page 419*  
All cameras are linked to a new centralised control room in the Town Hall by cableless microwave transmission equipment manufactured by *Microwave Modules (U.K.) Ltd.* Bournemouth having been one of the first councils to adopt microwave as standard for their surveillance scheme in 1987. Within the control room, pictures from all 55 cameras are monitored 24 hours a day on 12 screens and recorded on video. Microlink 60 and MTV 8000 microwave equipment is used to transmit the pictures from the cameras and control signals (pan/tilt/zoom) in the opposite direction from the control room operators as required to identify, follow or 'home in' on a developing incident.

**News from the parking industry**  
*Universal Parking Systems Ltd of Enterprise House, Cheney Manor, Swindon, Wiltshire SN2 2PG (Tel: 0793-541080; Fax: 0793-495595)* can this month begin delivering production quantities of the PA-2 Pay-and-Display machine under their marketing agreement with *Mannesmann-Kienzle*. The PA-2, say UPS, combines innovative construction with novel features. The aluminium plank construction is tough, rigid and environmentally friendly, being recyclable. If vandalised, components of the casework can be easily replaced. Insulation cavities within its unique build mean that even in the coldest weather a heater is unnecessary. This prolongs battery life and allows the use of solar power units.

All external slots for coins and tickets are covered, giving protection against both the weather and the vandal. As motorists take

**Peek win main sub-contractor rôle in Bangkok's ATC system.** Peek plc, the multinational traffic and field data systems group, have been appointed as a main sub-contractor for the supply and installation of the Bangkok Area Traffic Control system. The contract — awarded by the Bangkok Metropolitan Administration to EB Communications (Thailand) Ltd, and with a total value to Peek of approximately £6M — will provide a SCOOT-based solution to alleviate the city's chronic traffic congestion problems.

Work on the contract is to be undertaken by Peek Limited, the Asia Pacific arm of Peek plc. Project implementation is expected to take 24 months, and Phase One of the computerised traffic control system should be fully operational in the second half of 1995.

According to Reuters, Thailand's King Bhumibol Adulyadej has given Bangkok's Police a £200 000-plus donation, half for traffic management training and half for motorcycle mobility.

## Invaluable Reading from Wiley

### Information Technology on the Move

#### Technical and Behavioural Evaluations

G. UNDERWOOD, University of Nottingham, UK, F. SOMMERVILLE, Castle Rock Consultants, UK, W. HENGVELD, Bakkenist Management Consultants, The Netherlands, and J.D.M. UNDERWOOD, University of Leicester, UK

The widespread availability of information technology now offers us new solutions to solve the problem, of over-crowded, inefficient, environmentally damaging roads. By developing road infrastructures and vehicles that can communicate directly, RTI allows co-operative driving. Covering in-vehicle navigation displays, search techniques, radio messaging and radio data systems, this text describes how IT will improve the road system.

*Wiley Series in Communications and Distributed Systems*  
0471-93850-5 254pp September 1993 £29.95/\$47.95

### Road Vehicle Automation

C.O. NWAGBOSO, Bolton Institute, UK

This volume contains 28 papers presented at the *First International Conference on Road Vehicle Automation*. The field of RVA is making a significant contribution to improving road transport performance and IT and telecommunications offer the potential to provide automated solutions for increasing the performance, safety and reliability of road transport systems.

07273-1806-3 318pp June 1993 £55.00/\$90.95  
Published by Penetech Press, UK, Marketed by Wiley

*Wiley books are available through major booksellers. Alternatively, order direct from Wiley (payment to John Wiley & Sons Ltd). Credit card orders accepted by telephone - (0243) 829121. Prices quoted here apply to UK and Europe only.*

JOHN WILEY & SONS LTD  
BAFFINS LANE, CHICHESTER  
W. SUSSEX, PO19 1UD, UK



## LEGAL SERVICES

### TO THE

## TRAFFIC ENGINEERING INDUSTRY

Hancocks Solicitors offer companies involved in the Road Traffic Engineering, Transport and Road Safety Industry a rare degree of experience and are well placed to meet their legal needs.

Patents, Trademarks, Copyright & Designs

E.C. & U.K. Competition Law

Employment Law

Commercial Contracts & Agreements

Department of Transport Specifications

Mergers, Acquisitions & Joint Ventures

For further information on any of the services we offer contact Andrew Rigby or Kate Teasdale on Oxford (0865) 200345 or by Fax on (0865) 2004

Hancocks Solicitors, 6 Worcester Street, Gloucester Green, Oxford OX1 2BX

# Origin-Destination Travel Surveys in the 1990s Using Microcomputers

BY DAVID MUNTEAN JR.

Traditional methods of collecting and analyzing roadside origin-destination travel survey data are being replaced. New microcomputer technology—a significant enhancement to clipboard; pencil and paper—is now available to conduct roadside interviews. Since June 1991, these new techniques were employed successfully on five major origin-destination projects for 169 roadside survey days in Florida (see Table 1). Collection periods range from four hours to 12 hours on various interstates, expressways, state highways and county roads throughout the state (see Figure 1.). Transportation planners and engineers will benefit greatly from these new microcomputer-based procedures.

This article highlights the use of computer hardware in conducting more than 90,000 roadside interviews with the basic objective of obtaining an adequate sample size of useful data with minimal driver delay. Data accuracy and the corresponding percentage of valid interviews are improved vastly, without compromising the safety of surveyors and traveling motorists. Significant cost savings are realized through introduction of the following five concepts into the origin-destination data collection process:

- **Real Time Data Entry**—Each roadside surveyor is provided with a notebook-size computer (about 7 pounds) to enter and save survey responses and record the time for each interview conducted.
- **On-Site Editing**—Built-in logic checks and manual edits can be per-

formed instantaneously as the interview proceeds and, if needed, after departure of the vehicles. Corrections to survey responses are made at anytime.

- **Automatic Geocoding**—By precoding logical place names (such as residential locations, buildings, landmarks and roadway intersections.) into equivalency table files, with their corresponding traffic analysis zone (TAZ) numbers, automatic geocoding of origins and destinations is accomplished while the interview is in progress.

- **Core Survey Crew**—The same core unit of survey personnel conduct all surveys to improve quality assurance and maintain the desired rate of 25 to 30 interviews per hour per surveyor.

- **Mobile Field Office**—A small motorhome serves as a field office to optimize use of travel time to further edit and geocode survey data.

Extensive preparatory work is necessary to establish the planning, project control and key decisions needed to accomplish new procedures for col-

lecting, surveying and geocoding origin-destination survey information. With the appropriate computer hardware, field equipment and trained survey personnel, data needs can be met with accuracy and efficiency for travel model development in any study area.

## Data Needs

The roadside interview origin-destination survey is a primary data collection procedure for refining urban transportation planning models and providing information on intercity travel. The process of determining existing travel patterns is critical to forecasting choices that drivers will make in the near future. The enactment of the Intermodal Surface Transportation Efficiency Act (ISTEA) for 1991 and the Clean Air Act Amendments (CAAA) of 1990 call for strong regional, multimodal, long-range planning capability for the future. Current accurate data on exter-

Table 1. Roadside Survey Projects Conducted Since June 1991

Project	Client	# Locations	# Survey Days	# Roadside Surveys
Statewide O/D	Florida Dept. of Transportation	60	60	16,260
Traffic and Revenue Study	Bay County	3	10	12,860
Traffic and Revenue Study	Santa Rosa County	3	9	15,560
High-Speed Rail Study	FDOT & KPMG	17	34	24,000
External O/D Study	FDOT	56	56	22,060
		139	169	90,740

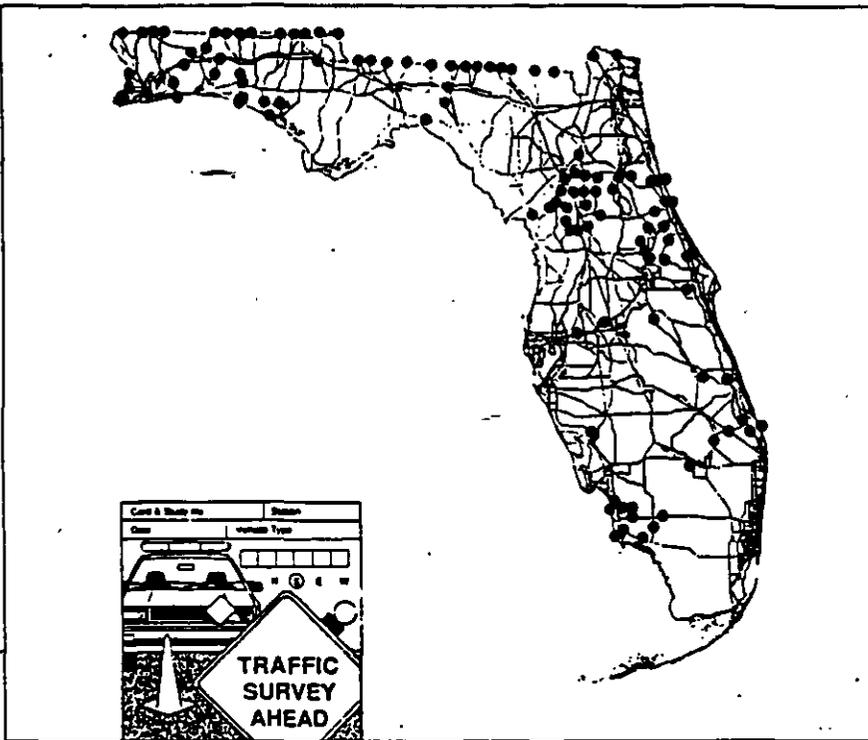


Figure 1. Location of survey sites.

nal trip-making characteristics during normal 24-hour weekdays are needed to produce or update statewide, regional and urban area travel demand models. While some developing urban areas throughout the country will be evaluating trip characteristics for the first time, many jurisdictions are faced with outdated travel information, due to factors such as the following.

- The percentage of households without vehicles dropped from 20.6 percent in 1969 to 9.2 percent in 1990 while the percentage of households with three or more vehicles quadrupled.
- From 1969 to 1990, the percentage of two-adult households with two or more vehicles increased from 30.3 percent to 76 percent.
- From 1983 to 1990, trip rates for women increased 49 percent for week-day travel, primarily due to a substantial number of women seeking professional job opportunities. Women led the growth in tripmaking while men led the growth in trip length.

## Introduction of Microcomputers

With the demand for travel survey information expected to increase dramatically in magnitude during the 1990s, state-of-the-art data processing

technology merits attention by the transportation profession for increasing accuracy and decreasing cost per sample. Keeping abreast of the dynamic changes in travel demand modeling characteristics is essential to being better prepared to serve future demands. With the completion of an extensive data collection effort, five new concepts have been introduced into the origin-destination travel survey process.

### Real Time Data Entry

Each roadside surveyor was provided with a notebook 386 computer weighing about 7 pounds, supported by a harness or belt designed specifically for data collection (see Figures 2 and 3). These microcomputers made real time data entry possible; the magnitude of data collection required on the five recent projects—three of which contained schedules overlapping within the same week or month—made it a necessary tool for survey data management.

Primary benefits resulting from this direct data entry process are:

- Each completed survey is saved automatically to the microcomputer hard drive and entered immediately into summary table format in preparation for further editing and logic checking.

- A built-in clock feature records the time each interview is completed, allowing for surveys conducted per hour to be monitored.
- Data is entered directly into an organized data file, eliminating need to record data onto computer files in the office. This application is augmented by the trend in decreasing computer costs (and increasing computer power), which helps offset constantly rising labor costs.
- The time required to survey each vehicle is reduced. Data entry is shortened after a brief training period, as each interviewer becomes familiar with the computer data entry process.

### On-Site Editing

Quality assurance is the primary reason for introducing the use of microcomputers for collecting roadside survey data. By loading questions from the traditional survey paper form into the dBASE computer program, surveyors can select one of several response options for each specific question. The surveyor selects a single-digit entry for choosing the appropriate vehicle type; other questions are then displayed in succession, requesting travel information such as vehicle occupancy, trip purpose, employ status and out-of-state arrival mode.

For each data entry performed by the surveyor, the computer program instantaneously executes validity checks to accept only those responses included on the computer screen. Should an incorrect data entry occur, a beep signifies data as illogical or out-of-range, and immediate re-entry is required. This data collection tech-



*David Muntean Jr., P.E., is senior project manager with Transportation Consulting Group in Tallahassee, Fla. He received his B.S.*

*in civil engineering from Virginia Polytechnic Institute and State University. He is also directing an origin-destination study for the Kentuckiana Regional Planning and Development Agency in Louisville, Ky. He is a Member of ITE.*

nique allows potential faulty interviews to become useful survey information and eliminates the chance of skipping questions or encountering illegible handwritten data.

To enhance flexibility of the computer program's editing capabilities, input data received for each interview can be revised easily or re-entered at any time. Each interview is assigned a record number and a completion time based on the computer's internal clock. Edits may be performed at the end of the interview by specifying the question number, or after saving the interview on the computer's hard disk by specifying the record number. Editing also can occur any time after leaving the site by displaying the entire file of survey responses in the on-screen edit mode in tabular form. The majority of edits are performed during the brief period between the time vehicles exit the interview area and the next queue of approaching vehicles arrives. These editing procedures result in a program that is very user-friendly.

#### Automatic Geocoding

The most significant cost savings are realized through the implementation of microcomputers to automatically assign TAZs to trip origins and destinations identified in each interview response. For decades, the traditional clipboard, pencil and paper forms have been the primary tools for conducting face-to-face interviews with traveling motorists. The simple aspects of organizing field data, manually processing survey responses and assigning TAZs to origins and destinations one at a time consumed significant project resources. At the office, after data collection is complete, virtually no opportunity exists for saving faulty interviews since the automobile and its driver are no longer available to the interview team.

The initial step for preparing the automatic geocoding process is to develop a place name equivalency table before beginning field data collection activities. By using various maps and conducting some field reconnaissance, the desired level of detail for a specific project can be achieved. Specific types of locations include names of government buildings, residential neighborhoods, commercial establishments, schools and parks. When possible, the equivalency table is



Figure 2. A microcomputer is supported by a harness and attached at the waist.

developed by the roadside interview team leader to maximize familiarity with the table's contents, increase knowledge of the study area and improve overall accuracy. Once the equivalency table is complete, it is incorporated into the computer program.

The dBASE computer program provides a look-up capability for identifying each origin or destination by performing a place name search through the database. By entering the first four letters of the motorist's response, the specific place name is searched and selected and the corresponding TAZ is entered into the appropriate field of the survey record (see Figure 4). In the event a respondent's place name response is not included in the equivalency table, the surveyor enters the place name or detailed description to facilitate traffic zone coding at a later date. Although this automation is not expected to geocode 100 percent of the records, a significant percentage—between 75 percent and 95 percent—is geocoded with a relatively brief application in the field. On three of the five projects mentioned in Table 1, automatic geocoding was accomplished for more than 90 percent of all survey responses. Overall efficiency in the TAZ assignment process is improved greatly since the computer search module of the dBASE program consumes less than two seconds of the total interview time.

After each interview, the surveyor reviews the displayed summary screen

for completeness. As vehicles are exiting the interview area, success of the geocoding process is observed adjacent to each origin-destination response on the computer screen. The database retains the recorded place name and assigned TAZ and instantaneously tabulates the information in fields for further analyses, including survey factoring and expansion.

#### Core Survey Crew

To maximize quality of survey data collection, the concept of a core survey crew is established as the fundamental innovation for all origin-destination field work. Instead of the typical heavy reliance on temporary personnel in the field, and due to the extensive and



Figure 3. A waist belt is an alternate method of supporting microcomputers.

repetitive nature of data collection, use of the core survey crew approach minimizes training time and subsequently increases accuracy and efficiency. This concept takes advantage of the learning curve of a fixed unit of personnel who better understand opportunities and challenges of roadside interview data collection tasks. Based on these recent origin-destination projects, experience gained even after several days of survey work is extremely valuable. The quality of finished surveys increases dramatically when these same people are on the roadside day after day. Supervising the core survey crew is the roadside interview team leader, who is responsible for continuing intense on-site training until core survey crew members achieve the following training goals:

- Ask survey questions to retrieve meaningful responses. Crew members are observed continuously in a controlled manner to maximize data accuracy.

Figure 4. Entering the first four letters produces a pop-up menu for searching origins and destinations. Upon completing the interview, the status of traffic analysis zone assignments is known.

## **POWERFLASH**

### Solar Powered School Speed Zone Signal

- Break Resistant Solar Panel
- Fully Programmable Timer
- Annual Programming
- Leap Year Compensation
- Automatic Daylight Savings Time
- Modular Voltage Regulator
- Heavy Duty Solid State Flasher
- Standard Traffic Signal Heads
- Low Cost Operations
- Minimal Maintenance

**CALL TODAY FOR DETAILS**

## 800-383-0077

Midwest Construction Services, Inc.  
P.O. Box 4185, Bartonville, IL 61607

■ Maintain alertness for personal safety and safety of other crew members. Crew members are instructed and reminded to avoid stepping backward toward traffic and to be aware of truck and bus side view mirrors.

■ Personality traits must be adjusted to be compatible with various driver attitudes. Crew members are to remain courteous and respond positively to unpleasant motorists.

Personnel training also involves discussion of the project's purpose, importance of team effort, safety, equipment set-up, and survey questions. Successful implementation of these training concepts will help to achieve the most accurate survey data.

### Mobile Field Office

During the field survey data collection period, daily travel time to and from survey locations averaged nearly two hours throughout the 22-month data collection period. The mobile field office, a 23-foot motorhome, served the core survey crew as an office for processing survey data and performing administrative duties. Data processing tasks occur immediately upon leaving the survey site, and include reviewing each interview record on-screen to search for uncoded entries and make appropriate revisions. Other advantages of the mobile field office include charging batteries using an electric generator, providing appropriate restroom facilities and providing refuge during adverse weather conditions.

### Conclusion

Innovative computerized methodologies for conducting origin-destination interviews are meeting the challenge to provide more accurate travel models for anticipated studies related to Florida's transportation systems. The initial phase of this project, introducing automated geocoding designed for application to any origin-destination project, has proved successful on several major origin-destination projects in the state of Florida.

Based on the experience of conducting more than 90,000 microcomputer based interviews conducted from June 1991 to March 1993, it is apparent traditional paper surveys will best serve as a backup procedure should computers not be available.

### References

1. Meyer, Michael D. and Miller, Eric J., URBAN TRANSPORTATION PLANNING-A Decision-Oriented Approach, New York: 1984.
2. 1990 NPTS Nationwide Personal Transportation Survey, Summary of Travel Trends, U.S. Department of Transportation, Federal Highway Administration, Washington, D.C.
3. 1990 NPTS Nationwide Personal Transportation Survey, Travel Behavior Issues In the 90's, U.S. Department of Transportation, Federal Highway Administration, Washington, D.C.

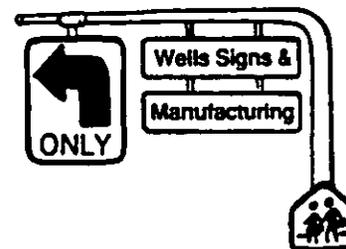
## PUT AFFORDABLE QUALITY IN ALL YOUR INTERSECTIONS with signs from Wells Signs



We design and manufacture high quality signs at affordable prices – to your specifications!

Call (206) 699-1258 today for:

- High quality.
- Fast delivery.
- Competitive prices.
- Custom messages.
- Low operating costs.
- Lasting performance.
- Low maintenance costs.
- Large color & size selection.
- One year product guarantee.



6206 East 18th Street, #4  
Vancouver, WA 98661

Phone (206) 699-1258  
Fax (206) 699-1259

# Estimating origin-destination matrices from incomplete data

by Henri Dijkman, *Transport Research Centre (AVV), Dutch Ministry of Transport, Public Works and Water Management* and Arnaud Burgess, *NEA Institute\**

**Introduction.** In most transportation studies the availability of data on transport flows is of crucial importance. In particular, origin-destination (O-D) data are needed to carry out such studies as cost/benefit analyses of planned infrastructure. In general, within Western European countries, O-D data between administrative regions within a country are available with an acceptable level of accuracy. In the case of freight transport, on which we will focus in this article, there is usually a breakdown by mode or by commodity group.

In contrast to domestic data, the availability of detailed data on international transport flows is usually very poor. Now that the European Union has been established, this lack of data is increasingly felt as a problem in border-crossing studies. This problem becomes eminent in a steadily-growing range of research projects, both in major studies, e.g. the Channel Tunnel project, and in studies on a somewhat smaller scale, e.g. the cost/benefit analysis of the *Twente-Mittellandchannel* between The Netherlands and Germany.

In this paper we will present a methodology to tackle the above data shortage, by converting readily available statistical data from EUROSTAT into a complete region-by-region O-D table for the whole European Union, broken down both by mode and commodity groups. The methodology to be described in the next sections can be very useful in projects in developing countries and in Central and Eastern European countries as well, because here availability of data is the exception rather than the rule. The authors successfully applied (parts of) the methodology in several studies. The validity of our approach has been tested and is reported on in the paper.

It has been our intention to develop algorithms that are simple to understand and easy to implement, so that they can be used by any consultancy firm working on transportation projects that cover only a short time-span. We are well aware of the fact that algorithms have been developed more advanced than the ones described here. However, implementing such algorithms is time-demanding and usually requires specific data.

## European transport data: the EUROSTAT statistics

As mentioned in the Introduction, the only consistent data source on transport available for the whole Community is published by EUROSTAT in their 'Carriage of goods' series<sup>1,2</sup>. In this series the three inland modes of road, rail and inland waterways are treated separately.

From EUROSTAT no complete O-D matrix is available for both international and domestic transport, broken down by commodity and mode. What is available will be clarified in the next sections, in order to understand the argument of this paper.

The sharpest distinction is between domestic and international transport. Therefore, the estimation of the domestic and international parts of the database will be treated separately.

## Estimating domestic transport flows

For domestic flows, basically three distinct tables<sup>3</sup> are available in the EUROSTAT statistics for each mode. These are:

- O-D table between regions, all commodity groups taken together;
- dispatch by region, broken down by commodity; and
- arrival by region, broken down by commodity.

For each mode, the domestic O-D table should contain the dimensions origin-destination-commodity. It can be seen that the available statistics cover pairwise only two dimensions of the total three-dimensional matrix. Graphically one could consider these tables as three planes of a cube that defines the complete O-D table.

So, an algorithm is necessary that decomposes the summarised EUROSTAT tables, and adds the missing dimension to each of the tables. For this purpose, a tri-proportional algorithm has been used, which is based on the statistical concept of Maximum Entropy<sup>4</sup>. For readers unfamiliar with the entropy concept, a brief description of its use will now be given, after which the algorithm will be discussed.

The maximum-entropy (ME) concept relates to statistical distribution. As a simple example, consider the throwing of fair dice. Without prior knowledge, the probability of each surface coming up,  $T_i$ , is 1/6. In fact, without any additional information the probability distribution is uniform, i.e. each surface has the same chance of showing up. In

the case of fair dice, the average value of the numbers thrown is 3.5 ( $6+5+4+3+2+1=21 \cdot 1/6$ ). Now assume that additional information is given saying that the average value is found to be 4 instead of 3.5. This additional information can be seen as a constraint on the probability distribution used to describe the outcome of throwing the dice.

The ME formalisation now states that the distribution, closest to the uniform distribution, can be found by solving the following optimisation problem:

$$\text{MIN } (T_i, T_i \cdot \ln(T_i)) \text{ s.t. } \sum_{i=1}^6 T_i = 4$$

Maximum likelihood descent or dual ascent algorithms can be applied to solve this problem.

The problem described here can be stated as follows: assume that the cell entries of three planes of a cube are given, then find a maximum entropy solution for the cell entries within the cube.

The cell entries within the cube are led  $T_{ijk}$  where the indices refer to the region of origin ( $i$ ), the region of destination ( $j$ ) and the commodity group ( $k$ ).

The maximisation of entropy can be seen as a minimisation problem under a number of constraints:

$$\text{MIN } \sum_{ijk} (T_{ijk} \cdot \ln(T_{ijk}))$$

Such as:

$$\sum_i T_{ik} = O_k, \sum_j T_{jk} = D_k, \sum_k T_{ik} = P_i$$

where  $O_k$  : Origin total from region  $i$  of commodity  $k$

$D_k$  : Destination total to region  $j$  and commodity  $k$

$P_i$  : O-D total from region  $i$  to region  $j$

The tri-proportional algorithm applied to solve the problem is an extension of the well-known Furness algorithm, an iterative procedure which stops when a certain accuracy level is reached.

To find the ME solution of the problem, balancing factors are added to each cell on the planes of the cube described above, and the values of the balancing factors are determined iteratively as:

$$\alpha_{ij} = \frac{P_{ij}}{\sum_k \beta_k \cdot O_k \cdot \gamma_k \cdot D_k}$$

$$\beta_k = \frac{O_k}{\sum_{ij} \alpha_{ij} \cdot P_{ij} \cdot \gamma_k \cdot D_k}$$

$$\gamma_k = \frac{D_k}{\sum_{ij} \alpha_{ij} \cdot P_{ij} \cdot \beta_k \cdot O_k}$$

\*The address of Mr Dijkman: AVV — Adviesdienst Verkeer en Vervoer (Transport Research Centre), Ministry of Transport, Public Works and Water Management, Postbus 1031, 3000 BA Rotterdam, The Netherlands; and of Mr Burgess: NEA Institute, Polakweg 13, 2288 GG Rijswijk, The Netherlands.

<sup>†</sup>Intra-regional traffic by commodity is reported in a separate table.

Until the difference between the observed and calculated totals are under a certain value epsilon.

The value of the cells within the cube are now explicitly given as:

$$T_{ij} = \alpha_{ij} \cdot P_{ij} \cdot \beta_{ij} \cdot O_{ij} \cdot \gamma_{ij} \cdot D_{ij}$$

**Estimating international transport flows**  
As mentioned in the preceding section on European transport data, the international transport flows are available on a country-by-country level only from the EUROSTAT data. An estimation of regional flows is made by combining the domestic flows obtained with the tri-proportional algorithm with the country-by-country data.

As in most transport models, it is assumed that the volume of transport between regions can be described by a gravity model of some functional form. The gravity model states that the interaction between two entities is determined by their relative weights and the distance between them. In geography and transport, the gravity models usually have the following form\*:

$$t_{ij} = p_i \cdot q_j \cdot f(d_{ij})$$

where  $f$  is a function of the distance between  $i$  and  $j$ , which in general has an exponential form like:

$$f(d_{ij}) = e^{-\gamma d_{ij}}$$

The parameter gamma is the deterrence parameter of the gravity model. Sometimes, a term is added to the deterrence function, for instance in modelling short-distance urban transport. In that case the value of  $f(d_{ij})$  first increases, after which a decreasing interaction takes place with an increase of distance.

In our case the simpler distance function given here is sufficient. Once it is accepted that transport between regions can be explained by gravity models, the estimation of the parameters of the gravity model can be derived. Of course, the distance between the centroids of the various regions should be available to make the necessary calculations. These can be obtained by using short-path algorithms and digitised networks. Because such data will not be available in many cases, we simply adopted 'crow-fly' distance as an approximate of the real distance.

Naturally, the observed transport volumes should coincide as well as possible with the model estimates. So the estimated problem can be written as an optimisation problem, which aims at minimising the difference between estimated and observed flows.

As stated above, the model estimates the following flows  $t_{ij}$ :

$$t_{ij} = p_i \cdot q_j \cdot e^{-\gamma d_{ij}}$$

The difference between  $t_{ij}$  and the observed flows  $T_{ij}$  should be minimised. This can be done by using several minimisation criteria, one of which is the minimisation of sum of squares:

$$MIN \Phi = \sum (t_{ij} - T_{ij})^2$$

The minimum of this function is found when the derivatives of the function are zero, i.e.

when the gradient of the function is zero. The derivatives in all directions can be calculated rather easily by applying the chain rule:

$$\frac{d\Phi}{dp_i} = \frac{d\Phi}{dt_{ij}} \cdot \frac{dt_{ij}}{dp_i}, \quad \frac{d\Phi}{dq_j} = \frac{d\Phi}{dt_{ij}} \cdot \frac{dt_{ij}}{dq_j}, \quad \frac{d\Phi}{d\gamma} = \frac{d\Phi}{dt_{ij}} \cdot \frac{dt_{ij}}{d\gamma}$$

The minimum can now be found by applying a simple — but slow — steepest-descent algorithm taking small steps along the gradient in the direction of the minimum:

$$\Phi^{n+1} = \Phi^n - \epsilon \nabla \Phi^n$$

Alternative approaches like quasi-Newton or conjugate algorithms have not been adopted because of their much higher computational complexity. However, as the 'steepest-descent' algorithm was found to converge too slowly, an heuristic acceleration scheme, derived from neural network technology, was introduced. For this, each parameter has been given an individual stepsize epsilon, which is increased by 20 per cent after each iteration as long as the algorithm converges and decreased to 80 per cent of its former value when the algorithm tends to become unstable. In this way, the convergence rate of the algorithm is improved considerable, and appears to be comparable in speed with the more complex quasi-Newton algorithm mentioned above.

The gravity model acts as a distribution criterion for the transport flows between regions, depending on the relative 'weights' of the regions and their respective distance. However, finding the best-fitting gravity model is of little interest when the flows between regions are already given in the data, as is the case with domestic data. The main interest in fitting the gravity model is in finding a regional distribution of flows where no data are available, as in the case of international transport.

As explained in the previous section, the domestic flows within each country are estimated by using the tri-proportional algorithm. The international flows are only available as country totals and not on a region-by-region basis. So, finding the region-by-region distribution of the international transport flows is the aim of the current exercise. This distribution of international flows is determined by using the outcome of the gravity model that best explains the domestic transport flows.

Table I shows the problem of estimating the international region-by-region flows between two countries A and B. As can be seen, within both country A and country B all region-by-region cell values are given, as a11 to a33 and b11 to b33 respectively. The transport volume between A and B is given on country level only, however.

The best fit of domestic transport in the two countries taken together is calculated. In

terms of the gravity model, the  $p_i$ 's and the  $q_j$ 's relate to the pooled data of two countries. However, the best fit can only be estimated on the region-by-region data available within country A and country B. So in the estimation process, the cells from A to B and those from B to A are not taken into account.

Now estimates for all  $p_i$ 's and  $q_j$ 's, as well as the deterrence parameter, are available. However, calculating the international region-by-region flows from the gravity model straight away leads to an overestimation of actual transport flows, because of the fact that domestic volumes are in general higher than international interaction over comparable distances.

Therefore the outcome of the gravity model is used to calculate a probability distribution for the part of the O-D matrix describing the transport between A and B and vice versa. This is done by first normalising the outcome of the gravity model for the international relations. As a last step the observed but aggregated flows between the two countries are decomposed over the regions by multiplying the total flow with the probabilities found from the gravity model. In fact, the gravity model is spatially 'extrapolated' towards the international relationships.

#### Validation of the results

The implementation and validation runs reported here were all carried out on a stand-alone PC using a Pentium 50MHz processor. The programming was carried out in turbo-Pascal.

To test the validity of the tri-proportional algorithm, the French OEST domestic data were taken as a test-case. The OEST data are complete, i.e. all cells of the O-D 'cube' are given in the original source for the year 1990. Starting from the OEST data, tables comparable with the EUROSTAT tables were compiled. Then the tri-proportional algorithm has been applied to estimate or synthesise the original data.

The resulting two databases (the original, true, matrix and the synthetic database) are compared on a commodity group level. On average, the correlation appeared to be higher than 0.9 for all commodity groups except for commodity group 4, ores and metal waste, where a correlation coefficient of 0.87 was obtained. The correlation coefficients are summarised in Table II.

In the case of domestic transport the validation procedure is quite easy when an original source is at hand with a higher level of detail than the EUROSTAT data. However, for international region-by-region no such reference data material is available. Is there, then, any way to validate the outcome of our procedures? In fact there is not. The only data to compare with are available at the

Table I. The partial matrix problem

	a1-q1	a2-q2	a3-q3	b1-q4	b2-q5	b3-q6
a1-p1	a11	a12	a13			
a2-p2	a21	a22	a23		A-B	
a3-p3	a31	a32	a33			
b1-p4				b11	b12	b13
b2-p5		B-A		b21	b22	b23
b3-p6				b31	b32	b33

\*In the context of this study, for each separate commodity group and transport mode included in the model. The index for the commodity groups is left out here for expository reasons.

NEA Institute, which has built a state-of-the-art European freight-flows databank on NUTS-II regional level, distinguishing between some 150 regions within Europe. Highly-detailed data sources from the various statistical bureaux have been used to compile this so-called NEAC database, which has been constructed for the EC. The results of the simplified methodology proposed here have been compared with the NEAC database. The results are shown in Table III.

As could be expected, the correspondence between domestic flows in the NEAC and the optimised EUROSTAT data is higher than in international transport. Furthermore the results are very good on an aggregated level for road and inland waterways transport. Because of the low total volumes of rail transport, the results are very different.

On the level of commodity group, products for final consumption — e.g. foodstuffs and final products (NST/R 9) — show the highest correlation.

#### Concluding remarks

In this paper we have summarised a methodology to build an O-D database by using incomplete data sources. The methodology aimed at simplicity and ease of programming, so that the ideas presented can be used in various studies where similar data problems are encountered.

One of the important aspects of any procedure is the validity of its results. Therefore, the results of the domestic O-D flows have been compared with that of the original data-source. The results were very promising, as high correlation coefficients were found.

In the case of international transport, no data source can be found that has the same level of detail as the one built with our approach. The only available source to compare with is the NEAC database, a state-of-the-art regional European database. Compared with this database, it appeared that on an aggregated level the correlation is quite good for road and inland waterways transport. On a disaggregated level — say, for one commodity group — the results are too unreliable for analytic purposes. We feel, however, that given the modest effort needed to program and implement the algorithms, they can be very useful in analyses where a global indication of international transport flows between regions is needed.

Table II. Pearson correlation coefficient per commodity group between original and estimated French data, using a tri-proportional algorithm, all models

Commodity group	R
Agricultural products	0.955
Foodstuffs	0.983
Solid mineral fuels	0.943
Crude oil	0.910
Ores, metal waste	0.865
Metal products	0.919
Building minerals and materials	0.969
Fertilizers	0.929
Chemicals	0.943
Machines and other manufactured products	0.968
Petroleum products	0.941

#### REFERENCES

- <sup>1</sup>EUROSTAT. *Carriage of goods 1990, rail*. Luxembourg, 1992.  
<sup>2</sup>EUROSTAT. *Carriage of goods 1990, road*. Luxembourg, 1992.  
<sup>3</sup>EUROSTAT. *Carriage of goods: 1990, inland waterways*. Luxembourg, 1992.  
<sup>4</sup>EVANS, S.P., and H.R. KIRBY. A three-dimensional Furness procedure for calibrating gravity models. *Transpn Res.*, 8, 1974, 105-122.  
<sup>5</sup>KIRBY, H.R. Partial matrix techniques. *Transp. Engng Control*, 20(7/8), July/August 1979, 422-428.

- <sup>6</sup>ORTUZAR, J. DE D. *Simplified Transport Demand Modelling*. PTRC Perspectives, London, 1992.  
<sup>7</sup>ORTUZAR, J. DE D., and L.G. WILLUMSEN. *Modeling Transport*. John Wiley & Sons, Chichester, 1990.  
<sup>8</sup>WILLIAMS, I. A comparison of some calibration techniques for doubly-constrained models with an exponential cost function. *Transp. Res.*, 10, 1976, 91-104.  
<sup>9</sup>WILSON, A.G. A statistical theory of spatial distribution models. *Transpn Res.*, 1, 1967, 253-269.  
<sup>10</sup>ZURADA, J.M. *Introduction to Artificial Neural Networks*. West Publishing Company, St Paul, MN, 1992.

Table III. Pearson correlation between the NEAC database and EUROSTAT optimised database 1990

	Road		Rail		Inland waterway	
	International	Domestic	International	Domestic	International	Domestic
Agricultural	0.75	0.91	0.34	0.65	0.52	0.43
Foodstuffs	0.75	0.88	0.50	0.24	0.83	0.40
Solid fuel	0.38	0.55	0.01	0.44	0.65	0.11
Oil	0.48	0.77	0.05	0.62	0.92	0.58
Ores	0.25	0.55	0.01	0.35	0.21	0.78
Metal	0.69	0.90	0.06	0.07	0.57	0.70
Building materials	0.20	0.83	0.18	0.12	0.75	0.94
Fertilizers	0.19	0.84	0.53	0.34	0.87	0.23
Chemicals	0.79	0.91	0.32	0.18	0.95	0.68
Products	0.84	0.93	0.81	0.79	0.67	1.00
Total	0.66	0.87	0.45	0.37	0.96	0.98

## Letter to the Editor

### TRAFFIC FLUCTUATION AND TRANSYT FIXED-TIME PLANS

Sir,

In his article 'Handling traffic fluctuation with fixed-time plans calculated by TRANSYT' (June 1994 issue) Paulo C.M. Ribeiro has been very clever in getting TRANSYT to optimise plans for a range of traffic demand. He does not, however, divulge the type of dispersion he used in his example; it is not, I suppose, the platoon dispersion as defined in TRANSYT. I expect that there will be benefits for all variations, but most if the balance of demand changes at a critical junction during the period of operation of a single plan.

In London, there is a common increase of traffic demand from Monday to Friday of about 10 per cent. This is general, however, and a plan optimised for Friday will give good offsets for the whole week. The only loss will be from an over-long cycle time for the first few days. In the central areas of a conurbation, the traffic demand is controlled by the capacity on the approach roads and does not vary very much, even at midday.

In towns with a market on Friday and 'early closing' on Wednesday, there will be very substantial variations in total demand and in the balance of conflicting flows. Since peak flows tend to be of less than an hour's duration, the delay penalty of oversaturation for a few minutes is not so very high. Ribeiro's compromise plan will share out the queueing to the road with the highest unusual demand. That is as near to 'fair' as one can expect.

Figure 5 (page 364) has a dispersion factor from 1 to 1.5, but no indication of the change of traffic demand. It would be interesting to have a percentage or absolute change for one factor value, or a measure of the variation of balance between conflicting flows. When is a change big enough and predictable enough to have a plan change?

Susan Jourdain  
 160 Pavilion Road  
 London SW1X 0AW

The author replies: The questions raised by Susan Jourdain in her letter are firstly concerned with the 'dispersion factor' presented in the graph (Fig 5) on page 364. That factor measures the degree of variability of traffic flows around the mean value: it is the 'dispersion around the mean'. This is explained in the text on the same page. The values of the dispersion factor (which can also be called 'Variability Index', see Reference 9) figure are equivalent to values of coefficient of variation of the traffic flows from 10 per cent (dispersion factor  $df = 0.25$ ) to 23 per cent ( $df = 1.50$ ). The association with fluctuations in traffic demand is direct and there is no relation with variations in the balance of conflicting flows.

Another question regards the fluctuation of traffic on Fridays or Wednesdays and their influence on the plans for the week. The graphs in Fig 2 (pages 362 and 363) present the traffic flow profile in Park Way (Central London), northbound. The day-to-day variation during a week (Monday to Friday) at that site was calculated to be near 5 per cent (and not 10 per cent). The plans calculated with the technique presented in the article (VITAMYN) are able to handle a wide range of fluctuation of the traffic flows, using a single set of traffic flows, collected on a specific day (e.g. Friday). The performance of such plans is better than the performance of plans calculated with traditional TRANSYT. This is one of the major benefits of the VITAMYN technique.

As was pointed out, the technique calculates timing plans that are able to handle both day-to-day and within-day variations. Within-day variation occurs when, for example, there are changes in the balance of conflicting traffic flows. The normal practice for handling such variations is adopting several specific timing plans. With the technique described in the article it is possible to use a single plan — that is an advantage of VITAMYN.

The traffic demand at an intersection being controlled by the capacity of the approach roads appears to be a case of traffic saturation in the approaches. The timing plans calculated by TRANSYT and VITAMYN are insufficient to resolve, by themselves, such situations.



**FACULTAD DE INGENIERIA U.N.A.M.  
DIVISION DE EDUCACION CONTINUA**

**DIPLOMADO INTERNACIONAL DE TRANSPORTE**

**MODULO II: PLANIFICACION DEL TRANSPORTE URBANO**

**TEMA: ARTICULOS A FINES A LA MODELACION DEL  
TRANSPORTE**

**PRESENTAN**

**ARQ. SONIA LIZT MENDOZA**

**ING. ROMAN VAZQUEZ BERBER**



**FACULTAD DE INGENIERIA U.N.A.M.  
DIVISION DE EDUCACION CONTINUA**

**DIPLOMADO INTERNACIONAL DEL TRANSPORTE**

**MODULO II : "PLANIFICACION DEL TRANSPORTE URBANO"**

**TEMA :**

**ARTICULOS AFINES A LA MODELACION DEL TRANSPORTE**

**\* PC SOFTWARE FOR URBAN TRANSPORTATION PLANNING**

Autores : Erik Ferguson, Catherine Ross y Michael Meyer  
APA JOURNAL, No. 238 Primavera, 1992

**\* THE USE OF U.K. TRANSPORT MODELS IN DEVELOPING COUNTRIES**

Autor : Waldo Yanaguaya  
Traffic Engineering + Control, Vol. 34, No. 10, Octubre 1993

**\* STRUCTURING EXPERT SYSTEMS AND OTHERS COMPUTERIZED MODELS IN TRANSPORTATION**

Autor : Ardeshir Faghri  
Transportation Research Record 1283

**\* MULTI MODAL MODELLING IN CONGESTED NETWORKS : SATURN AND SATCHMO**

Autores : L.G. Willumsen, J. Bolland, M.d. Hall and Y. Arezki  
Traffic Engineering + Control, Vol. 34, No. 6, Junio 1993

**\* POST-CALIBRATION AND ADJUSTMENT OF TRAVEL DEMANDS MODELS**

Autor : Anthony A. Saka  
ITE Journal, Septiembre 1993

**\* EVALUATION OF THREE INEXPENSIVE TRAVEL DEMAND MODELS FOR SMALL URBAN AREAS**

Autores : C.J. Khisty y M.Y. Rahi  
Transportation Research Record 1283

**\* TRAFFIC ASSIGNMENT IN PRACTICE : OVERVIEW AND GUIDELINES FOR USERS**

Autor : Said M. Easa  
Journal of Transportation Engineering, Vol. 117, No. 6, November/December 1991

**\* EXPERT SYSTEM FOR SELECTION OF NETWORK-BASED TRANSPORTATION PLANNING SOFTWARE PACKAGES**

Autores : K. Nabil, A. Safwat y Khaled El-Araby  
Transportation Research Record 1283

# PC Software for Urban Transportation Planning

Erik Ferguson, Catherine Ross,  
and Michael Meyer

This article reviews nine PC-based urban transportation planning (UTP) software packages, all of which are relatively complex and require significant education, training, and experience to use properly. Inappropriate use of UTP modeling software can result from insufficient training or data, improper model calibration, inappropriate model application, or from the black box syndrome, which often plagues complex modeling efforts. Recent UTP modeling innovations include new developments in the areas of subarea focusing, site impact analysis, the evaluation of travel demand management strategies, the integration of UTP models with geographic information systems, and the integration of land use and activity modeling with the traditional four-step UTP process.

Ferguson is assistant professor in the graduate city planning program in the College of Architecture at Georgia Institute of Technology. Ross is a senior research adviser at the Transportation Research Board in Washington, D.C. Meyer is a professor in the School of Civil Engineering and director of the Transportation and Research Education Center at Georgia Institute of Technology.

*Journal of the American Planning Association*, Vol. 58, No. 2, Spring 1992. ©American Planning Association, Chicago, IL.

The long-range, regional travel demand forecasting tools that professionals use in urban transportation planning (UTP) are traditionally based on a four-step process, which describes travel behavior decision making at the individual level in a highly simplified yet reasonably flexible manner. This process typically forecasts future travel demand by employing separate forecasting submodels for trip generation, trip distribution, modal split, and route assignment, usually on a regional basis. The process describes the transportation system in terms of a simplified network of links and nodes. The models employ projected land use patterns, generally defined in terms of the distribution of population and employment by traffic analysis zone, to forecast future transportation demands.

Until quite recently, forecasters used only mainframe computers for these applications because of the relative complexity of these models. Today, most UTP professionals use personal computers (PCs) that are as powerful as the mainframe computers of the past and offer a number of distinct advantages. Their lower cost, smaller size, and increased ease of use make them highly suitable for UTP modeling (Skabardonis 1985). More organizations now have access to these tools, which has contributed somewhat to the development of new analytical capabilities and types of analyses (Roden 1988; Shea and Fleet 1986).

Nevertheless, there are many unresolved issues in using microcomputers in place of mainframes for UTP modeling. The interface between the two is not yet well developed, even though many microcomputer-based UTP programs are adapted directly from older mainframe programs. Security may also be a problem because of the greater accessibility that microcomputers afford to a wide range of users. Portability from one operating environment to another can be a problem for some users (Bower and Abkowitz 1985).

## PC-Based UTP Software

Although other commercial PC-based products are available, the nine UTP software programs reviewed here make up the bulk of this highly specialized product line. All of the programs run on IBM personal computers and compatible systems.

- **The Highway Emulator (THE):** THE is by far the most basic of the programs, providing neither graphics nor training and very little technical support. The program requires relatively little training, however, because of its simplicity. The program is available for free from the developer. Its primary use is for site impact analysis, most often as applied to developments of regional significance in smaller urban areas or in the outlying suburbs of larger cities. This package is one of the few that can be used to develop synthetic origin-destination trip tables, based on existing traffic counts. This approach works best when origin-destination data are

could serve as a model for an improved AHS. Beginning with the 1987 HVS, data on rents, control status, physical condition of the stock, as well as a wealth of demographic and income data, were tabulated for fifty-four subborough areas. As a time-series of this data is built, it will provide an invaluable tool for early identification of problem areas in the city's housing stock. Of course, the enhanced geographic detail is facilitated by a sample size that is larger than that of the AHS by a factor of six.—

Timeliness is another chronic problem. By the time census tract data is available from the 1990 census, some thirteen years will have elapsed from when the 1980 census was conducted. Whole urban neighborhoods have been known to disappear or be rebuilt during the course of thirteen years. Hence the importance of the AHS, at least for the forty-four metropolitan areas covered on a rotating quadrennial basis. Here again, New York's HVS can serve as a standard. The 1987 HVS was released by mid-1988, whereas the 1987 AHS covering the New York metropolitan area was not available until mid-1990.

Ms. Nelson's piece also raises the more general question of the role of the CHAS in fostering sound metropolitan housing strategies. Certainly HUD has a legitimate interest in monitoring how federal dollars are to be spent, and the community participation requirements do tend to encourage open discussion of what a municipality's priorities should be. Nevertheless, the imperatives of litigation and crisis politics may have supplanted long-term planning as the driving force behind urban housing policy.

Housing policy in New York City is now determined more by litigation than by strategy. The city operates its homeless shelter system under a consent decree that binds it to provide shelter to all homeless singles upon demand. The terms upon which the city must house families it admits to its shelter system are also set by a court order.

Just recently, a state supreme court judge held the city is responsible for providing appropriate housing for all released mental patients who do not have a suitable home, even though care for the mentally disabled has traditionally been a state responsibility. Also being litigated in a state court is the appropriate level of the state's shelter allowance for AFDC recipients (of which the city pays a 25 percent share).

In fact, it is almost understandable that city government is increasingly reluctant to promulgate plans. A recent suit brought by a housing advocacy group charged that Ed Koch's vaunted ten-year housing plan was properly subject to the city's intricate community review and environmental review procedures. The city was forced to argue that the ten-year plan was not a plan at all, but merely a budgetary policy statement. A ruling in favor of the plaintiffs, which would have provided a basis for further litigation if the city sought to adjust its housing priorities in the future, was eventually overturned by a state appellate court.

The crisis atmosphere surrounding urban housing problems also undermines the commitment to long-range planning. There is immense political pressure on David Dinkins and other big city mayors to "do something" about the homeless that fill our streets and public spaces. As important as a solution to that problem is, it is not always the most effective strategy to apply resources at the point where problems are most visible.

---

Braconi is research director of the Citizens Housing and Planning Council of New York.

*Journal of the American Planning Association*, Vol. 58, No. 2, Spring 1992. © American Planning Association, Chicago, IL.

lacking and vehicle counts are available for all or most of the key route segments in the study area (a common enough occurrence).

- **Quick Response System (QRS) II:** QRS II is based on the *National Cooperative Highway Research Program Report 187*, which outlines the quick response system developed by the Federal Highway Administration for sketch planning and site impact analysis in small urban and rural areas. While QRS II has been greatly expanded since its introduction, it is still mainly a tool for smaller UTP applications. Because QRS II includes defaults for all model settings based on accepted industry standards, it is perhaps the easiest package to learn and use.
- **TRIPS:** TRIPS is a British product, more widely used in Europe than in the United States. TRIPS's primary distinction is its fairly robust dynamic route assignment algorithm, which explicitly considers intertemporal changes in traffic congestion at specific intersections. This makes TRIPS particularly useful for modeling highly congested or saturated flow networks. TRIPS also includes many additional features, which are available at additional cost.
- **TransCAD:** TransCAD was the first PC-based UTP software program to combine a true geographic information system (GIS) with a fully integrated UTP model. TransCAD was also the first UTP program to offer a fully integrated set of menu screens. The network building facility in TransCAD can be quite challenging to master, even for experts.
- **MINUTP:** MINUTP is based on a variety of UTP utilities developed over the years by the COMSIS Corporation in response to client needs. For example, COMSIS recently developed an elasticity-based TDM (travel demand management) evaluation utility for use in conjunction with MINUTP.
- **TMODEL 2:** TMODEL 2 is one of the older PC-based UTP programs. The program treats networks for different modes separately, assigning mode split prior to trip distribution. The program calculates intersection delays with internal variable formulae, rather than having the delay definitions fixed as constants internally by the modeler.
- **TRANPLAN:** TRANPLAN is one of the most commonly used PC-based UTP software programs in the U.S. TRANPLAN may not be the fanciest program, in terms of offering multiple versions of advanced route assignment procedures, but it does provide all of the options normally associated with the traditional four-step UTP process. TRANPLAN is often favored for areas in which trip estimation and assignment have legal implications or when state planning agencies require standardized model outputs.
- **SYSTEM II:** JHK and Associates developed the commercial version of SYSTEM II quite recently. This is the newest UTP model on the market, although JHK based it largely on utilities it has developed over many years. SYSTEM II includes some elements of a GIS, as well as a variety of fairly new features designed spe-

cifically to accommodate its use for subarea focusing and site impact analysis.

- **EMME/2:** EMME/2 is a Canadian product that is in many respects the Cadillac of UTP software. The price leaves little doubt about this. EMME/2 provides the best documentation of any UTP package, way beyond the usual perfunctory references to the literature. EMME/2 does not include default settings for any procedure, reflecting a philosophy that the user should be able to specify an appropriate model form, understand what the model represents, and be aware of its potential limitations. EMME/2, not designed for beginners, is appreciated by more advanced UTP modelers.

## Consumer Considerations

Factors to consider before buying PC-based UTP modeling software include cost, size, special features, model components, equipment requirements, and documentation (see Table 1).

### Cost

PC-based UTP models are almost always expensive. The direct cost of a single-site, single-machine UTP software license agreement varies from as little as fifty dollars to thousands of dollars or more. The major cost associated with UTP models, however, is generally not the direct licensing cost, but rather the associated expenses of labor, set-up, and peripheral equipment. All of the models require extensive education, training, and experience for proper application. Most commercial vendors provide on-going technical support, individual tutoring and group training, and professional development workshops. These are all highly recommended because none of the programs is designed for off-the-shelf amateur use.

### Size

These programs are generally adequate for most UTP applications. THE and QRS II, however, are fairly restricted in the size of the networks they can handle. Many of the other programs discussed here are available in different configurations for analyzing networks of different sizes; the capacity depends on the price.

### User Interface

Until recently, UTP software offered little in terms of graphics support or menu-based command screens. This has changed dramatically in the last few years. All of the programs offer significant graphics capabilities, with the exception of THE. All offer some form of menu screen interface, with four of the nine now fully menu-driven. Reports may be customized, though often with some difficulty. Most of the programs provide formats for importing and exporting data to a number of standard formats and other UTP software programs.

### Model Components

All of the programs offer network building facilities. Most are limited, however, in terms of the number of

TABLE 1: PC-based UTPM software features

Feature	THE	ORS II	TRIPS	TransCAD	MINUTP	TMODEL 2	TRANPLAN	SYSTEM II	EMME
<b>Minimum cost</b>									
Commercial license <sup>a</sup>	\$50	\$195+	\$2,200+	\$2,995+	\$3,000+	\$3,800	\$3,800+	\$6,000	\$9,000+
Educational license <sup>a</sup>	\$50	\$50	\$220+	\$695	\$500	\$150	\$600+	\$200	\$300
Training/workshops <sup>b</sup>	None	\$200	Available	\$1,000	\$500	\$210	\$250+	\$80/yr	\$300
Technical support <sup>c</sup>	None	\$72/yr	\$330+	\$450+	\$500	\$342+	\$456+	\$1,000	\$1,080+
<b>Maximum size<sup>d</sup></b>									
Links	3,000	4,800+	Unlimited <sup>e</sup>	200,000+	32,760	10,000+	32,000	32,767	32,000+
Nodes	2,000	3,200+	9,999	100,000+	16,380	2,500+	16,000	32,767	10,000+
Zones	300	585	2,000	Unlimited <sup>e</sup>	2,000+	1,000+	3,000	2,000	1,600+
<b>User interface</b>									
Graphics	None	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes
Menu screens	Some	Some	Some	All	Some	All	All	All	Some
Import/export <sup>f</sup>	A	A	A	A, U, O	A, U	A, U, O	A, U	A, U, O	A
<b>Model components</b>									
Networks <sup>g</sup>	H	H, T	H, T	H, T	H, T, O	H, T, O <sup>h</sup>	H, T, O	H, T, O	H, T, O
Trp generation <sup>i</sup>	C	R, C, O	R, C, O	R, C, O	R, C, O	R, C	R, O	R, C	C, O
Trp distribution <sup>j</sup>	G	G, O	G, F	G, F, O	G, F	G, F, O	G, F, O <sup>h</sup>	G, F	G, F, O
Mode split <sup>k</sup>	None	L	D, L	D, L	O	D	D, L, O	D, L, O	D, L, O
Route assignment <sup>l</sup>	I, O	A, S, I, O	A, S, I, O	A, S, I, O	A, S, I, O	A, I, O	A, S, I, O	A, S, I, O	A, I, O
<b>PC equipment<sup>m</sup></b>									
CPU	0286	0286/0386	0286/0486	0386/0486	0286	0286/0486	0286/0486	0286/0386	0386
RAM	512K	512K	540K+	640K/2MB	640K	256K/640K+	640K/4MB	640K/2MB	2MB
Disk storage	1MB	512K	40MB	40MB/100MB	1.5MB/6.5MB	20MB	6MB+	40MB/100MB	60MB
Graphics monitor	None	CGA/VGA	EGA/VGA	VGA/SVGA	EGA/VGA	CGA/VGA	EGA/VGA	EGA/VGA	VGA/SVGA
Mouse	None	Optional	Required	Recommended	Optional	Optional	Required	Required	Opti
Other	None	Windows <sup>n</sup>	Sort utility	None	Plotter	Plotter	Text editor	RAM drive	None

- a. Minimum purchase price for an individual site license agreement. Licensing conditions may vary. Multisite, multiuser licenses generally cost more.
- b. Per day, exclusive of travel costs.
- c. Per year. Normally offered in conjunction with a maintenance contract that includes free upgrades when the software program is substantially revised.
- d. For the highest cost model.
- e. Limited only by available memory and/or table size for different procedures.
- f. A = ASCII, U = UTPS, O = Other.
- g. H = Highway, T = Transit, O = Other.
- h. In preparation for release.
- i. R = Regression, C = Cross-classification, O = Other.
- j. G = Gravity, F = Frater, O = Other.
- k. D = Diversion, L = Logit, O = Other.
- l. A = All-or-nothing, S = Stochastic/probabilistic, I = Incremental/dynamic, O = Other.
- m. Required/recommended.

links and nodes, the types of networks, and the connections they provide between networks serving different travel modes. Most of the programs adequately handle trip generation and trip distribution. Several treat modal split cursorily; THE is suitable only for highway analysis. Most of the programs focus on highly detailed, very accurate route assignment as the primary—if not the only—analytical objective. This emphasis makes sense for modeling travel behavior in a world dominated by private automobiles experiencing large and growing levels of traffic congestion.

**PC Equipment**

Hardware requirements vary widely, mainly as a function of the maximum network size and the graphics interface provided. The minimum required configuration

is generally an 80286 CPU, with 640K RAM, a math coprocessor, a 10MB hard disk, and an EGA graphics monitor. For most applications, however, bigger and faster is definitely much, much better. Highly recommended are an 80486 CPU, at least 4MB of RAM, a 40MB or larger hard disk, enhanced VGA graphics, and a mouse for interactive network building on screen. Several vendors are experimenting with Windows versions of their software. Using UTP software in a Windows environment will facilitate the transfer of data to and from other programs but may degrade computational speeds slightly.

**Documentation**

UTP models are complex. If they provided commercial product documentation, the manuals might be-

come so long that general reader accessibility would still be difficult, if not impossible. This underscores the need for adequate *modeler* preparation, prior to the development of any full-scale UTP application. Fortunately, there are two national centers that assist in selecting UTP software and providing technical aid: the McTRANS Center at the University of Florida and the Transportation Center at the University of Kansas.

## Modeling Problems

Cook, Lewis, and Minc (1989) suggest that the main problems in using existing UTP models are practical, not theoretical. While this may overstate the case for most UTP models, it is an important consideration in evaluating the effectiveness of PC-based UTP models. Practical problems abound.

### Insufficient Training

Researchers often complain that practitioners are unresponsive to new ideas and improved models for travel demand forecasting. Commercial model developers claim to be market driven, yet ignore much of the research that has been conducted over the past twenty years. Educators continue to provide only the most basic instruction to students in the use of UTP modeling programs. Most agencies and firms require little or no prior education and experience with the UTP system, the UTP process, or particular programs as a condition of employment. To address these issues, it is important that improved professional standards be established for using UTP modeling programs, based on adequate levels of training, education, and experience. Many UTP model users do not understand the UTP process, or its inherent limitations. As a result, the range of professional expertise in handling UTP models is uncomfortably wide.

### Inadequate Data

There is a general lack of adequately detailed, current, or even relevant data for UTP modeling. Detailed regional data on travel behavior, needed as UTP model input, are nearly twenty years old for most large urban areas in the U.S. The exception is work-trip data, which continues to be collected as part of the decennial population census in large urban areas. Unfortunately, work trips have been declining in significance for over twenty years, and currently constitute only 20 percent of all urban trips. The effect of using old or irrelevant data is unknown, but presumably detracts from overall UTP model accuracy.

### Improper Model Calibration

Quite often, insufficient effort is made to calibrate UTP models accurately. This is probably because few if any professional standards are available for determining whether a particular model calibration is adequate for planning purposes. Professional judgment is the most common evaluation standard and retrospective analyses are rarely if ever conducted.

### Inappropriate Model Application

Forecasters sometimes use UTP models at inappropriate scales of analysis, either too large or too small. None of these packages is well suited for site impact analysis at a very small scale, e.g., for a single intersection. The first two packages are inappropriate for detailed regional modeling in small urban areas, or even for sketch planning at the regional level in larger urban areas.

### The Black Box Syndrome

Closed model structures may hide general data problems or specific programming errors. However, opening up model structures for complex software programs such as these is hardly the solution to the black box syndrome that continues to plague UTP modeling efforts. In this regard, the new easy-to-use, menu-driven, interactive interfaces, increasingly popular in PC-based UTP programs, may prove to be a mixed blessing if increased user-friendliness contributes to the continued misuse of these complex modeling procedures.

## Recent Innovations

Recent innovations in PC-based UTP modeling software programs include (1) new or substantially revised capabilities for subarea focusing and site impact analysis; (2) the evaluation of travel demand management (TDM) strategies; (3) the integration of UTP models with GIS; (4) simultaneous transportation-land use interaction modeling; and (5) the introduction of user-friendly, menu-driven, fully integrated, graphics interfaces.

Microcomputers are excellent tools for site impact analyses, which focus on a limited geographic scale and must often be completed quickly. Spreadsheet models such as the SITE model (Institute for Transportation Research and Education 1987) allow the analyst to input land use data directly. THE, QRS, and SYSTEM II are specifically designed for use at smaller scales of analysis. Large-scale regional travel demand forecasting models can also be used for site impact analysis by dividing large analysis zones into smaller ones, and adding more network links in the immediate vicinity of the study site.

A comparison of several PC-based UTP software programs found that identifying the boundaries of the study area had a greater influence on overall model results than the particular modeling program (Swindler 1991). Model results were more reliable at the center of the study area than near the boundaries. It is therefore crucial to locate the study site in the center of the modeling area to reduce these boundary effects. In general, PC-based UTP software packages become increasingly unsuitable as the size of the proposed development decreases.

TDM normally attempts to reduce the number of vehicle trips to or from a site at a particular time of day (e.g., rush hour). This is usually achieved by increasing average vehicle occupancy or by spreading vehicle trips around the target time period (Ferguson 1990). The increasing popularity of TDM has created a need for estimating vehicle trip reductions associated with the im-

plementation of different TDM programs, projects, or policies. One approach has been to link software packages that use relative time and cost elasticities to estimate changes in travel demand with more traditional PC-based UTP packages. TDM evaluation capabilities may also be incorporated directly into future UTP models.

Relatively few combined GIS-transportation (GIS-T) models currently exist. However, many state transportation departments are developing GIS-T models, either in-house or in collaboration with GIS vendors (Vonderohe, Travis, and Smith 1991). The use of GIS-T models, when combined with digitized spatial databases like the Census Bureau's TIGER system, will provide additional modeling capabilities for site impact analyses. GIS will also make it much easier to subdivide traffic analysis zones and to integrate small- and large-scale activity and travel demand models into simultaneous transportation-land use interaction models (Ferguson and Drummond 1989; Patterson and Ferguson 1990).

The Japanese (Aoyama 1989) and Europeans (Webster, Bly, and Paulley 1988) seem to be making more progress in developing integrated transportation-land use interaction models than the United States. These models may be of greatest use in developing countries experiencing rapid urbanization where financial resources are in short supply and massive transportation and public utility investments may lead urban expansion along inappropriate paths (de la Barra 1989). Even in the U.S., integrated models may be needed to portray accurately transportation and land use equilibria (Berechman and Gordon 1986).

UTP models used to be slow and cumbersome, producing results that were often quite inscrutable. On balance, this was probably beneficial for maintaining the accuracy and precision of model results, given the limited availability of appropriate data and the simplicity of the methods within these models. Today, slick packaging and easy-to-use menu screens and graphics icons are making UTP models more accessible to an ever-widening audience. Ensuring that these changes improve model performance and provide better information for planning and policy analysis requires equally significant improvements in the underlying data and UTP modeling procedures. Without these, the quality of UTP modeling results will almost inevitably decline, in direct opposition to our hopes and dreams.

#### AUTHORS' NOTE

The authors would like to thank Kevin Olinger, Rod Swindler, and the software vendors for their assistance in preparing this review. The authors are responsible for any errors that remain.

#### THE UTP SOFTWARE REVIEWED

EMME/2; Mail Orders: Barton-Aschman Associates, Inc., 100 Park Center Plaza, Suite 450, San Jose, CA 95113.

Telephone Inquiries: William B. Davidson, 408-280-6600, 408-280-7533 FAX.

MinUTP. Mail Orders: COMSIS Corp., 8737 Colesvil Rd., Suite 1100, Silver Spring, MD 20910. Telephone Inquiries: Victor Siaurusaitis, 301-588-0800, 301-588-5922 FAX.

QRS II (Quick Response System II); Mail Orders: AJH Associates, 4845 N. Newhall, Milwaukee, WI 53217. Telephone Inquiries: Shirley Horowitz, 414-963-8686, 414-964-4417 FAX.

SYSTEM II; Mail Orders: JHK and Associates, 4660 Kenmore Ave., Suite 1100, Alexandria, VA 22309. Telephone Inquiries: David Roden, 703-370-2411.

THE (The Highway Emulator); Mail Orders: Central Transportation Planning Staff, 10 Park Plaza, Room 2150, Boston, MA 02116. Telephone Inquiries: Daniel Beagan, 617-873-7090, 617-973-8855 FAX.

TMODEL 2; Mail Orders: Tmodel Corp., 17520 Vashon Hwy, SW, Suite 221, P.O. Box 1850, Vashon, WA 98070. Telephone Inquiries: Robert Shull, 206-463-3768, 206-463-5055 FAX.

TRANPLAN; Mail Orders: The Urban Analysis Group, 375 Diablo Rd., Suite 110, Danville, CA 94526-3430. Telephone Inquiries: Jim Fennessy, 510-838-1363, 510-838-1372 FAX.

TransCAD; Mail Orders: Caliper Corp., 1172 Beacon St., Newton, MA 02161. Telephone Inquiries: Howard Slavin, 617-527-4700, 617-527-5113 FAX.

TRIPS; Mail Orders: MVA Systematica, MVA House, Victoria Way, Woking, Surrey, ENGLAND, GU1 1DD. Telephone Inquiries: Martin Bach, 44-483-728051, 44-483-755207 FAX.

#### REFERENCES

- Aoyama, Yoshitaka. 1989. A Historical Review of Transport and Land-Use Models in Japan. *Transportation Research* 23A, 1: 53-61.
- Berechman, J., and Peter Gordon. 1986. Linked Models of Land Use-Transportation Interactions: A Review. In *Advances in Urban Systems Modelling*, edited by B. Hutchinson and M. Batty. Amsterdam: North Holland.
- Bower, Dan, and Mark Abkowitz. 1985. Security Issues for Microcomputers. In *Microcomputer Applications Within the Urban Transportation Environment*, edited by Mark D. Abkowitz. New York: American Society of Civil Engineers.
- Cook, Peter, Simon Lewis, and Marcelo Minc. 1989. Comprehensive Transportation Models: Current Developments and Future Trends. *ITE Journal* 59, 6: 33-8.
- de la Barra, Tomás. 1989. *Integrated Land Use and Transport Modeling: Decision Chains and Hierarchies*. Cambridge: Cambridge University Press.
- Ferguson, Erik. 1990. *Transportation Demand Management: Planning, Development, and Implementation*.

- Journal of the American Planning Association* 56, 4: 442-56.
- Ferguson, Erik, and William J. Drummond. 1989. Disaggregate Discrete Choice Behavioral Modeling and GIS: A Transportation Perspective. *Proceedings of the 27th Annual Conference of the Urban and Regional Information Systems Association* 1: 1-12.
- Institute for Transportation Research and Education. 1987. *SITE Impact Evaluation: Methodology and Microcomputer Methods*. Report No. FHWA-HI-88-046. Washington, DC: U.S. Department of Transportation.
- Patterson, Paul, and Erik Ferguson. 1990. A Dynamic Disaggregate Model of Location and Travel Behavior Using GIS. *Proceedings of the 28th Annual Conference of the Urban and Regional Information Systems Association* 1: 186-98.
- Roden, David B. 1988. The Development of a Regional Information System and Subarea Analysis Process. *ITE Journal* 58, 12: 270-31.
- Shea, Carl G., and Christopher R. Fleet. 1986. Downloading Data for Trip Generation Analysis Using Lotus 1-2-3. *ITE Journal* 56, 3: 42-7.
- Skabardonis, Alexander. 1985. Use of Microcomputers in Transportation: Potential Limitations and Future Trends. In *Microcomputer Applications Within the Urban Transportation Environment*, edited by Mark D. Abkowitz. New York: American Society of Civil Engineers.
- Swindler, Rod. 1991. Comparison of transportation planning software as applied to site impact analysis. Master's thesis, School of Civil Engineering, Georgia Institute of Technology, Atlanta.
- Vonderohe, Alan, Larry Travis, and Robert Smith. 1991. Implementation of Geographic Information Systems (GIS) in State DOTs. *NCHRP Research Results Digest* 180: 1-32.
- Webster, F. V., P. H. Bly, and N. J. Paulley, eds. 1988. *Urban Land-Use and Transport Interaction: Policies and Models*. Brookfield, VT: Gower.

---

# G E N D E R E D S P A C E S

---

D A P H N E S P A I N

Daphne Spain looks at how nonindustrial societies have separated or integrated men and women. Focusing on the United States, she examines changes in spatial arrangements that have taken place since the nineteenth century. "An original, challenging and enlightening book . . . [Spain's] broad yet careful comparisons provide a topography of gender inequality and a blueprint for change."—Michael Kimmel

314 pp., 40 illus., \$39.95 cloth, \$14.95 paper

available at bookstores or from

THE UNIVERSITY OF NORTH CAROLINA PRESS

Post Office Box 2288, Chapel Hill, NC 27515-2288

Toll-free orders: 1-800-848-6224

---

## LETTER TO THE EDITORS

### The Commuting Paradox: A Reply

When transportation within a metropolitan area deteriorates a rational response of the market system is to move sources of employment and residence at the fringe of the metropolitan area or outside of the area. "The Commuting Paradox" (Autumn 1991, 57, 4: 416-20) highlights this long-term theme of Peter Gordon. As a description of what actually happens, the analysis is faultless and really obvious to even a casual observer of American cities. Detractors of this phenomenon long ago named it "urban sprawl."

The fact that this has happened is not in dispute. The much more interesting question is what are the costs and benefits of this kind of land development. Nowhere is it more obvious than in Southern California. It was made possible by a tradition of low density residential zoning, mild climate that makes long commutes feasible even in the winter months, and availability of land. Historically the willingness of government to intervene in the transportation system by building an extensive network of roads between cities, and directly into cities, was a major intervention into the free market that was indispensable for this kind of land development. Rather than transportation serving the needs of the region, development of the region and land use adjusted to the paucity of public transportation.

One difficulty with this type of development is that land is one factor of economic production whose stock is fixed. According to our legal system, land is owned by private parties or the government and is sold for use in development. The sale and development of land represents a flow of

land as an input into the production process. The flow of this newly developed land is a substitute for other factors of production, primarily capital in the form of high-rise buildings, and rapid transit systems. Thus, in order to escape congestion you can move your place of business and residence to the edge of development. As more people move in, the area of development continues to increase.

An alternative to unlimited urban sprawl would be to make greater investments in mass transit. This would require more man made capital and a less prolific use of land. Any given population could in principle be spread out to the greatest possible land area, or, with a more efficient mass transportation system be accommodated within a smaller geographical area. Since land is, as the classical economists noted, an original "gift of nature," it was tempting to encourage the greater use of land in lieu of developing a more sophisticated public transportation system within the city. Ultimately, however, urban sprawl aggravates rather than solves the transportation problem.

Land is a gift of nature, but it is not in unlimited supply. As the population of the metropolitan area becomes greater, and occupies a greater and greater land area, costs appear that were not immediately evident at the beginning. Auto congestion rises and automobile travel time increases due to slower traffic and greater distances. The cost of traveling from one part of the metropolitan area to another rises, in terms of time, monetary expense, and environmental degradation. Moving to the edge of development to avoid the congestion still leaves you isolated from the potential benefits of urban living that would have been possible with a

more efficient transportation system and land use.

In Los Angeles many people feel that the most desirable place to live and work is at the western fringe closest to the ocean. The prevailing westerly winds from the Pacific blow the pollution generated by excessive use of the automobile eastward to the neighborhoods of less affluent residents, who cannot afford to pay the extremely high housing costs of the west side of town.

People familiar with cities with more adequate public transportation, are acutely aware of the loss of urban amenities and sense of community due to poor transportation within the city. These negatives result in poor job growth in the downtown, deteriorating real estate values, and economic stagnation. Eventually the whole metropolitan area becomes a less attractive place to live and work than it would have been with adequate transportation. Economic stagnation, urban blight, bad air quality and poor job growth help to relieve the congestion, but this is no "commuting paradox" as the article suggests. It is the economy's rational response to inadequate transportation infrastructure within a major city. If the article's authors are correct in their prediction that congestion is not likely to get any worse, it is for all the wrong economic, social, and environmental reasons. The relaxation of congestion due to the diseconomies of urban sprawl is in no sense a positive development, nor a rational excuse to further neglect public transportation, as the article suggests.

David S. Herskowitz  
Planner, Southern California  
Rapid Transit District  
Los Angeles, California

# The use of U.K. transport models in developing countries

by Waldo Yanaguaya, Frank Graham Transportation\*

Transport models play a key rôle in representing existing as well as future traffic conditions when planning a new road scheme, a traffic management measure or simply a new site development. In the U.K. many transport models have been developed which are used for scheme design and evaluation. Furthermore, the modelling techniques have been adopted in many developing countries without paying much attention to their validity in such different conditions.

This paper considers the appropriateness of these modelling techniques in the Third World, and highlights the main difficulties encountered in this transfer of technology.

**Introduction.** Transport planning, as known in its modern form, is the result of a continuous socio-economic, political and technological change experienced, first, in the developed world and, more recently, in the Third World. This process began in the early years of the century. Until the 1930s transport planning decisions were based on political, strategic and even intuitive considerations of selected people. During the following quarter-century the first step in improving the estimation of the future demand for transport was made when traffic volumes on existing roads were used for developing some early forecasting techniques. Only in the late 1950s did a more scientific approach emerge, when the demand for travel was related to socio-economic factors such as land-use and modal choice of travellers. These new methods, initially pioneered in North America, were soon adopted in many European cities.

It was in the early 1960s that a new era of transport planning began: comprehensive, long-term transport modelling approaches were initiated in the industrialised world. The techniques were based on physio-mathematical models which tried to replicate the interaction between land use and the transportation system. Levels of employment, income and car ownership were used for modelling existing conditions; and assumptions about growth of these factors were made when forecasting future conditions.

In the mid-1970s the accuracy, complexity and purpose of the transport planning models were severely criticised (e.g. Atkins<sup>1</sup>); the failure of model traffic forecasts was demonstrated with observations over time (e.g. Maekinder and Evans<sup>2</sup>). Even one of the most promising U.K. models of the 1970s — the Regional Highway Traffic Model (RHITM)

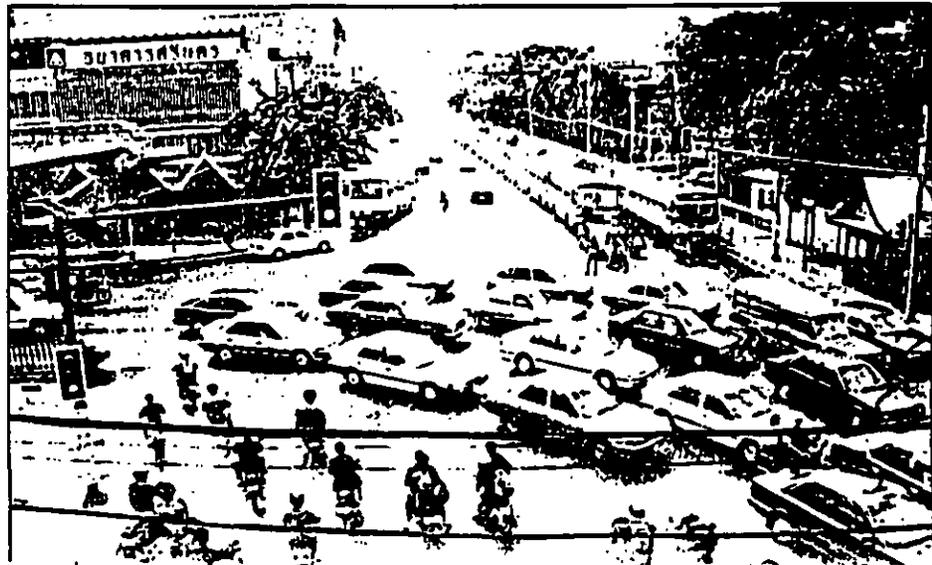
process, namely the base-year model validation (SACTRA<sup>3</sup>).

In spite of the many *critiques*, transport models have extensively been used for scheme planning and design in the developed world. Furthermore, the techniques have been adopted in the less developed world. During the 1980s and 1990s, however, the development of new techniques, coupled with the improvements in computer power, has led to a greater confidence in modelling than in the previous two decades.

The paper analyses the applicability of the U.K.'s transport modelling methods (and

\*The author's address: Frank Graham Transportation Ltd, Elgar House, Shrub Hill, Worcester WR4 9EN.

*Unregulated driver behaviour and a diversity in the traffic composition make the application of Western models in developing countries questionable.*



Western models in general) to Third World cities. The feasibility of this transfer of technology is discussed on the basis of the socio-economic and political differences of both environments. In the first part, the main differences in the transport environment between developed and less developed countries are summarised. In the second part, a review of some selected applications of transport models in Third World cities is made. Finally, technology transfer issues are discussed in the last part.

The author emphasises here that the paper does not intend to denigrate the transport modelling techniques used in the U.K., but only to highlight the main difficulties encountered when adapting these methods to different environments such as those of the Third World. Although the paper considers the applicability of the U.K. transport models, the main concepts should apply to any other Western country. Therefore, terms commonly used to refer to this type of country (e.g. industrialised world, etc.) will be used throughout the discussion.

For purposes of discussion transport models may be divided into two groups:

- (1) *Traffic Engineering Models* which include junction design models and network analysis models such as Area Traffic Control (ATC) techniques; and
- (2) *Transport Planning Models*, e.g. trip generation, trip distribution, modal split assignment, discrete-choice models, etc.

These two groups of models are complemented by a third group: the Road Transport Investment models. However, because the breadth of the subject, this third group would need a separate discussion and therefore will not be referred to further here. Nevertheless, there do exist road transport investment models which have specially been developed for Third World conditions (e.g. Watanatada *et al*) and they are widely used for estimating road maintenance programmes as well as scheme economic assessments. They have been derived with data collected from various developing countries and, consequently, provide good flexibility of adaptation to the different conditions of Third World countries.

### The transport environment

When should we consider a country as part of the Third World? There is no universal definition of the term 'Third World'. However, for the purposes of the paper, the main characteristics of Third World countries can be summarised under four headings (Dimitriou<sup>3</sup>):

- dependence on the industrialised world;
- rapid growth phenomena in major socio-economic trends;
- a dual economy with widespread inequalities; and
- a dominant rôle by the public sector in national development.

These characteristics give rise to a very peculiar transport environment, differentiated from that of the developed world. The main differences may be divided into two groups, although some differences relate to both:

#### (1) Socio-economic and politico-related issues:

- scarcity of economic resources;
- deficient road infrastructure resulting in high accident rates;
- increasing migration from rural to urban areas, resulting in a fast rate of population and spatial growth which is aggravated by inadequate birth control;
- fast growth of car ownership, albeit only amongst localised social groups;

Table 1. Rural and urban population growth

Country group	Average annual percentage increase			
	1950-1980		1980-2000	
	Urban	Rural	Urban	Rural
All developing countries (excluding China)	3.8	1.7	3.5	1.1
Low-income				
— Asia	4.4	2.0	4.2	0.9
— China	2.5	1.8	—	—
— India	3.2	1.8	4.2	1.1
— Africa	7.0	2.5	5.8	1.5
Middle-income				
— East Asia and Pacific	4.1	1.8	3.1	0.9
— Middle East and North Africa	4.4	1.6	4.3	1.6
— Sub-Saharan Africa	3.1	1.0	2.9	1.7
— Latin America and Caribbean	4.1	0.8	2.9	0.4
— Southern Europe	3.8	0.5	2.9	-0.2
Industrial countries*	1.8	-0.7	1.0	-1.1

Notes: — Not available

\* Excludes East European non-market economies

Source: Table 4.3, World Bank, 1984

- low and uneven income levels with a marked difference between affluence and poverty, which, in many cases, is a result of the societal implications of post-colonialism;
- scarcity of appropriately-trained transport professionals;
- high dependence on public transport;
- absence of effective institutional frameworks for transport planning;
- high levels of illiteracy resulting in low standards of driver education;
- lack of land-use control and regulation, etc.

#### (2) Traffic-related issues:

- lack of reliable data together with standardised methods for their collection;
- deficient road furniture with poor road-marking, signing and lighting;
- poor driver behaviour;
- indiscriminate on-street parking;
- lack of adequate traffic enforcement;
- diversity of traffic composition with high levels of public transport vehicles

(both formal and informal public transport) as well as non-motorised vehicles;

— important proportion of trips made on foot;

— proliferation of street vendors, etc.

Not necessarily all of these characteristics will be found in any particular developing country. At the same time, varying intensities of one characteristic or another are to be expected.

Regarding transport demand, the conventional U.K. methods are based on observed relations of socio-economic factors for groups of travellers or on average relations at a zonal level. This approach is likely to be error-prone in developing countries due to the large diversity of socio-economic groups.

A review of the U.K. techniques for travel demand analysis (Bates and Dasgupta<sup>4</sup>) has highlighted many weaknesses of the conventional four-stage models. Their review concludes: "The models are calibrated on cross-sectional data which in general are not suited to simulating change over time; the two-way interactions between transport and land use are not represented in the modelling process; only a limited range of the more general long-term determinants of travel (such as demographic and socio-economic factors) are represented; the planning data for forecasts (such as population and employment) are input exogenously, making the model excessively dependent on externally-determined forecasts; in most cases the models do not represent the full range of mode choice. In particular 'walking' is usually omitted; public and private transport networks are usually represented separately so that there is no interaction between congestion and bus operation; for public transport, the feedback mechanisms between operational service levels and patronage are not represented..."

From a modelling point of view, the weaknesses become critical in Third World cities. The rapid growth of population (see Table 1) and car ownership, coupled with inadequate land-use legislation, make the forecasting of the demand for transport...

Police-controlled junctions are not readily modelled by standard U.K. software.



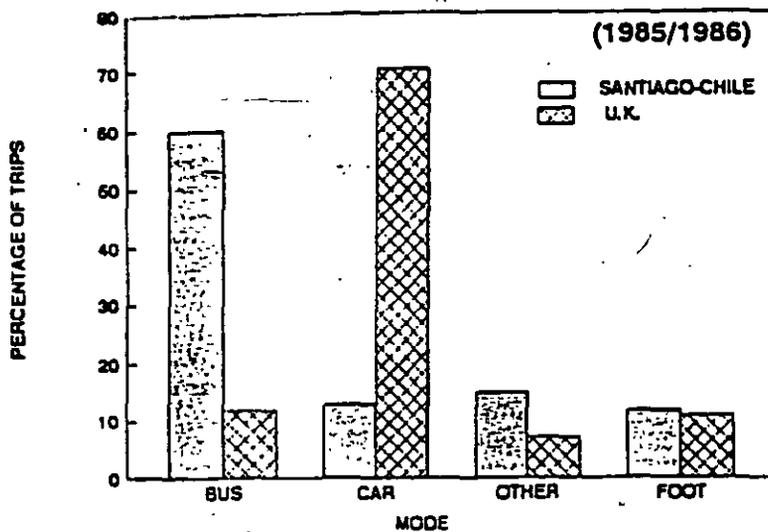


Fig 1. Distribution of trips by mode. (Sources: The U.K. Department of Transport's National Traffic Survey, 1985/86; and 1986 estimates by Willumsen and Coymans (Chile)).

The extreme poverty in which many Third World countries are immersed brings about that a high proportion of trips are made on foot. Conventional modelling usually omits this mode of travel. In addition, the unregulated and largely informal forms of public transport cannot be neglected when, in most of the cases, it is the only motorised mode of transport accessible to the majority of the population (see Fig 1).

When looking at the mathematical side of modelling, the particular traffic environment of Third World cities makes the U.K. models either obsolete or unusable without significant reformulation of basic principles. For instance, the most sophisticated traffic assignment models assume when modelling movements at junctions a 'lane-disciplined' traffic behaviour which is not always true in the traffic environment of the developing world. On the contrary, the rather chaotic traffic behaviour at junctions includes vehicles queuing well ahead of the stop-line at signalised junctions and little priority obedience at roundabouts where the 'first come, first served' rule is applied. In addition, police-controlled junctions are not uncommon in many Third World cities. Indiscriminate on-street parking and the proliferation of street vendors as well as high pedestrian interference diminish considerably the capacity of the road network. These facts are not taken into account by any of the existing computerised models.

The high proportion of public transport vehicles in the urban traffic composition (buses, mini-buses, shared taxis and any other informal public transport vehicles) cannot be modelled by existing methods. This characteristic is aggravated by the unregulated public transport system where no fixed-stop sites exist (bus drivers usually stop anywhere almost on demand).

#### Some of the applications

Whilst the urban transport problem in its modern form was perceived in the developed world well before the 1950s, it was hardly recognised in the developing world until the

problem came to realisation in many Third World cities. However, only a very few governments put forward transport planning proposals for improving the aggravating traffic conditions. The lack of qualified local transport professionals forced them to look for consultants from more experienced countries like the U.S. and the U.K. Methods originated in the developed world were then applied to Third World transport plans with little adjustments by Western pragmatists (and later by the local engineers) pressurised by time and budget constraints. The techniques which were severely criticised in their own place of origin were widely used for planning the transport system of many developing cities.

Travel demand models such as trip generation (e.g. category analysis), trip distribution (e.g. gravity model) and modal choice were calibrated on the basis of observed behaviour of travellers, and assumptions about growth were made for forecasting purposes. As regards route choice models, the well-known 'behaviour-based' methods of drivers' perception of minimum times and costs have been adopted.

A review of the literature reveals, however, that there have been some transport planners who have tried to adapt the Western methods to the peculiar Third World conditions by using somewhat novel approaches. For instance, Mogridge<sup>7</sup> calibrated a model which included trips made by foot and bicycle in the Nairobi Transportation Study; and Timberlake<sup>8</sup> used demographic and socio-economic parameters in calibrating a log-linear direct demand model for the Yemen Arab Republic Master Plan. Still, these studies have extensively been dependent on Western techniques.

In U.K. practice, base-year (existing traffic conditions) models are constructed on the basis of observations of traveller behaviour under existing supply conditions, after which the forecast demand (future traffic) is predicted by applying growth factors estimated from observed growth rates of car ownership and GDP. In the Third World, the

rapidly-changing economy make these methods very unreliable.

The use of Western models, however, appears more hopeful in the field of Traffic Engineering. Area Traffic Control (ATC) techniques have been tested to some degree of success in many Third World cities (e.g. Willumsen and Coymans<sup>9</sup>, Quinn<sup>10</sup>). The inclusion of local saturation flows and modification of TRANSYT platoon dispersion formulae in such a way that the buffer friction effects are better represented can be deemed to be key issues for this relative success.

Bearing in mind the wide diversity of traffic conditions encountered across Third World cities themselves, it would not be advisable to say that if a technique proved to be adequate for a particular city, it should be so for all others. As Tyler<sup>11</sup> argues: "Technology transfer should not be simply the implementation of an existing finished product but it should be the transfer of the knowledge of the relationships between the fundamental principles involved in its design". Tyler defines a 'source environment' where a technology has been developed and a 'target environment' where it is hoped to be applied in the future; an in-depth analysis of both environments is crucial if a successful technology transfer is to be achieved.

#### Technology transfer issues

Transport needs of developing countries encompass a wide range of socio-political as well as technology-related issues (apart from the transport infrastructure needs). On the socio-political side, issues such as driver education and institutional planning frameworks need to be improved. On the technological side issues such as training need for technology development and adaptation are critical. Perhaps one of the most basic technological needs of Third World countries is that of adequately trained transport professionals. This reality hinders the development of in-house techniques.

Over the years, no real attempt has been made by Western organisations to carry out transport modelling research in the Third World. The few research efforts have been limited to recalibrating some basic parameters on existing Western models.

With the advent of new techniques in the developed world, however, the scope of research in the developing world seems certainly much wider. The new behavioural approaches for modelling transport demand and forecasting seem particularly appropriate to the Third World.

A particular type of behavioural model are the so-called disaggregate demand models. These models are based explicitly or implicitly on individual choice theory so they can predict the behaviour of individual travellers (the probability of an individual choosing a given option is a function of the socio-economic characteristics and the relative attractiveness of the option). The small samples of data required for these models make them even more attractive for Third World economies where limited resources are available. Furthermore, the introduction

natives) seems to provide further potential for a behavioural approach.

A good effort for improving the understanding of travellers' behaviour in the U.K. was the HATS study carried out by Oxford University (Jones *et al.*<sup>12</sup>). In that study, travellers were asked to keep a record of their daily activities, including those related to travelling. This activity-travel diary provided a particular representation of everyday behaviour enabling wider methods of analysis to be used. A similar approach may be used for studying the behaviour of travellers in Third World cities and this may give a good basis for model adaptation.

The general approach to technology transfer hitherto has been that of the *deductive* approach, i.e. developing models in the industrialised world and transferring them to the Third World by means of simple calibration with limited observed data. If an effective technology transfer is intended an *inductive* approach would seem more promising, i.e. collecting new data in the Third World traffic environment and then inferring new general rules.

### Summary and conclusions

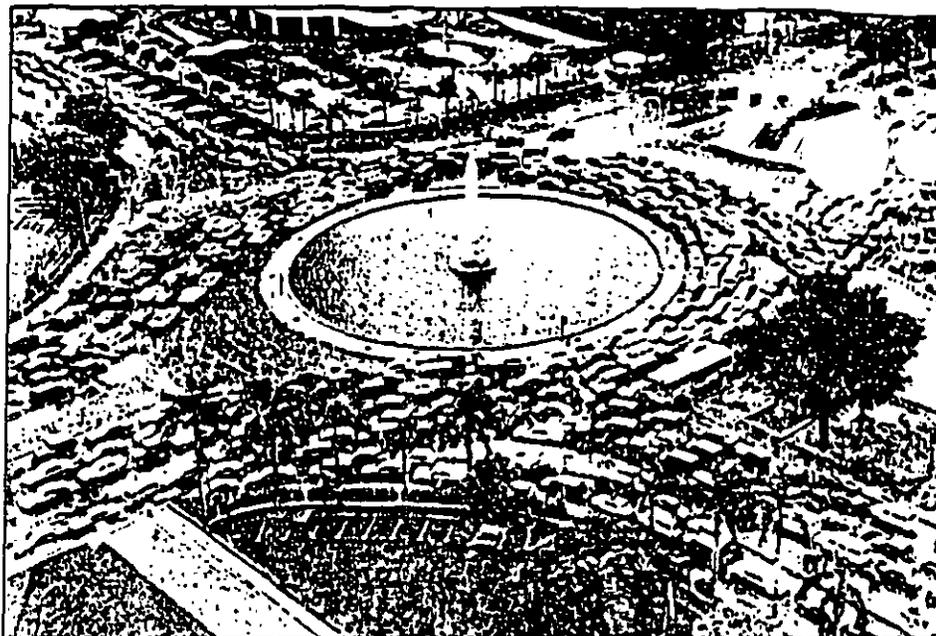
In this paper, the transferability of Western-developed transport models to Third World cities has been discussed. The peculiar characteristics of Third World countries such as the lack of qualified transport professionals, inadequate institutional frameworks, rapid urbanisation, the high proportion of public transport vehicles in the traffic mix, uneven socio-economic levels, etc. have been argued to be the main reason for the inappropriateness of Western techniques.

These Western techniques, however, seem to have been used to varying extents by both local engineers and Western consultants with limited local calibration. These methods are considered to be biased and unreal for the Third World traffic environment.

Real technology transfer should encompass an in-depth understanding of the 'target environment' (where the techniques are to be implemented) as compared to the 'source environment' (where the techniques have been developed). Once this is achieved, appropriate technique modifications should be made. Alternatively, and perhaps more adequately, new techniques should be developed.

Without a doubt, research is needed to investigate the transferability of Western techniques to the Third World. However, this research should not just aim to a simple recalibration of the existing models but should provide a clear understanding of the advantages and weaknesses as well as the appropriateness of the existing techniques. Having done this, further research should be carried out in order to improve and adjust those models which seem to be most appropriate for Third World traffic conditions.

Finally, behavioural techniques appear to be more adequate than conventional methods for the unpredictable Third World conditions. The recent techniques developed in the West (e.g. disaggregate modelling, discrete-choice modelling with SP data and the activity-based approach) seem to provide a



Chaos due to traffic locking in a signal-controlled roundabout, the Air Mancur roundabout in Jakarta, Indonesia. (Source: Jakarta Post, April 1992.)

### REFERENCES

- <sup>1</sup>ATKINS, S.T. Transportation planning — Is there a road ahead? *Traff. Engng Control*, 18, 1977, 58-62.
- <sup>2</sup>MACKINDER, I.H. and S.E. EVANS. The predictive accuracy of British transport studies in urban areas. TRRL Supplementary Report SR 699. Transport and Road Research Laboratory, Crowthorne, 1981.
- <sup>3</sup>STANDING ADVISORY COMMITTEE ON TRUNK ROAD ASSESSMENT (SACTRA). *Forecasting traffic on Trunk Roads: A report on the Regional Highway Traffic Model Project*. HMSO, London, 1979.
- <sup>4</sup>WATANATADA, T., *et al.* The highway design and maintenance standards model; Volume 4a, HDM III Model Description; and Volume 4b, HDM III User's Manual. Transportation Department, World Bank, Washington DC, 1987.
- <sup>5</sup>DIMITRIOU, H.T. (Ed.) *Transport Planning for Third World Cities* (Chapter 4, Transport and Third World city development). Routledge, London, 1990.
- <sup>6</sup>BATES, J.J. and M. DASGUPTA. Review of techniques of travel demand analysis. TRRL Contractor Report 186. Transport and Road Research Laboratory, Crowthorne, 1990.
- <sup>7</sup>MOGRIDGE, M.C. Transport planning in Nairobi. *Traff. Engng Control*, 16, 1975, 40-46.
- <sup>8</sup>TIMBERLAKE, R.S. Traffic modelling techniques for the Developing World: Case-studies. *Transp. Res. Rec.* 1167. Transportation Research Board, Washington, DC, 1987.
- <sup>9</sup>WILLUMSEN, L.G. and J.E. COEYMAN. Research into the value of area traffic control techniques in a developing country. TRRL Contractor Report 99. Transport and Road Research Laboratory, Crowthorne, 1988.
- <sup>10</sup>QUINN, D.J. Problems in the use of TRANSYT in developing countries. EC Workshop on Traffic Engineering Technology, University College London, 1991.
- <sup>11</sup>TYLER, N.A. Technology transfer: High-capacity bus system design. EC Workshop on Traffic Engineering Technology, University College London, 1991.
- <sup>12</sup>JONES, P.M., M.C. DIX, M.J. CLARKE and I.G. HEGGIE. *Understanding Travel Behaviour*. Gower, Aldershot, 1983.
- <sup>13</sup>TURNER, J.M. The applicability of selected traffic engineering software for use in developing countries. TRRL Working Paper WP/OU 270. Transport and Road Research Laboratory, Crowthorne, 1990.

### OTTS celebrates first 21 years

The Organisation of Teachers of Transport Studies, formed at a meeting held at Leicester University in 1972, grew out of an awareness that there were numbers of people engaged in transport education and training, scattered widely among universities and colleges and in training departments in the industry. As well as acting as a forum for developing best practice it has from the first had a social purpose, keeping people in touch who would otherwise find themselves isolated from colleagues in their own speciality.

OTTS has had a distinguished series of Presidents, serving for two years and drawn alternately from management and education. The current chairman of OTTS is Steve Shaw of the University of North London. It holds an annual residential conference in the summer and a seminar each year at the end of November. Occasional meetings are held to discuss issues of immediate concern. Papers presented at all OTTS meetings are subse-

From its foundation OTTS has enjoyed a reciprocal arrangement with the Universities Transport Study Group, which was set up a about the same time, so that members of each organisation can benefit from services provided by the other.

OTTS welcomes people who join from all aspects of training and education in all modes of transport. For further information, contact Mr Shaw, c/o Transport Tutorial Committee, Chartered Institute of Transport, 30 Portland Place, London W1N 4DP.

### Bucharest urban transport project

Consulting engineers Halcrow Fox have associated with Transurb, a firm of Belgian consultants, on a World Bank-funded project on behalf of the Municipality of Bucharest to provide advice on traffic management and highway maintenance procedures and practices which may be employed to improve the

# Structuring Expert Systems and Other Computerized Models in Transportation

ARDESHIR FAGHRI

A thorough analysis is presented of how expert systems and existing simulation, evaluation, and optimization models in traffic and transportation engineering can be combined. The problems and shortcomings of the currently available computerized models are discussed, and potential applications of expert systems in curtailing these shortcomings are analyzed. Different taxonomies and configurations of how expert systems and other computerized models may be combined are shown, and the advantages and disadvantages of each configuration are stated. Finally, an application problem in transportation issues dealing with disaster evacuation and response planning is presented. It is concluded that expert systems and other computerized models work best when combined together to create intelligent computer programs.

For the past 20 years, the U.S. Department of Transportation through the Federal Highway Administration (FHWA) has sponsored a number of computerized models in traffic and transportation engineering (1). These powerful models, though useful, have had significant limitations:

- **User cost**—most models were originally designed for mainframe computers whose costs impaired the effectiveness of these programs.

- **User access**—turnaround times were often lengthy, sharply reducing the productivity of the professional. Furthermore, since traffic and transportation models are data intensive, their use often mandated onerous input-preparation efforts.

- **Interpretation of results**—model output takes the form of extensive statistical tabulations. Skill, insight and considerable knowledge on the part of the user are needed in order to extract those results which can provide a basis for decision-making.

- **Models are evaluators**—these models do not directly offer guidance for the decision maker. It is necessary for the skilled professional to execute these models repetitively, within the context of a well-designed experiment, in order to assess the relative benefits of candidate solutions and to select the best approach.

- **Design models**—models such as TRANSYT (2), MAX-BAND (3), and PASSER (4) do provide results that can be used for improving traffic performance directly. They must be used by the traffic professional, are subject to similar user access difficulties, and are limited to components of a corridor system.

For these reasons, these evaluation and design tools have not fulfilled their potential. There have been some recent

developments, however, which are ameliorating these shortcomings:

- These models have been "ported" to personal computers (PCs), thus providing improved access to the planning community. Moreover, PCs are becoming faster, less costly, and are now equipped with adequate memory.

- **User-interactive input interfaces** have been developed and combined with data base management systems (DBMSs). These greatly ease the input preparation activity, allowing technicians to replace engineers for this effort. Furthermore, the DBMS greatly reduces the extent of this effort.

- **A user output interface** is currently under development for the NETSIM (5) model, using interactive computer graphics (ICG) for PCs and workstations. This "Fifth Generation" technology, which requires no familiarity with computers on the part of the user, will greatly reduce the effort and cost associated with analyzing the model results.

While these recent advances represent significant improvements that enhance the appeal (and, hopefully, usage) of these models, they lack the ability to provide the decision maker with a direct response to his needs. Furthermore, there remains the need for highly skilled professional engineers to interpret the results and translate them into design or policy decisions. Finally, there is presently no organized and readily accessible inventory of current knowledge and experience which can be used to guide the decision-maker.

## POTENTIAL ARTIFICIAL INTELLIGENCE APPLICATIONS

Advances in artificial intelligence (AI) offer the potential for solving or ameliorating these shortcomings and producing a new generation of traffic and transportation management tools. One of the major strengths of AI is that it can process knowledge, judgment, and opinion for application to such areas as game playing, theorem proving, general problem solving, robotics, natural language comprehension, and expert problem solving.

Some potential applications that employ artificial intelligence techniques might improve the limitations of current traffic and transportation management methodologies and evaluation models. These techniques can provide:

- Knowledge bases;
- Intelligence interfaces;

- Knowledge-based traffic and transportation management decision systems; and
- Real-time traffic management tools.

A "knowledge base" contains *facts*, or *rules* that use these facts as a basis for decision making. The core of all expert systems (ESs) is a knowledge base that contains information describing a specified "domain."

An "intelligence interface" can further relieve the user from tedious chores of data preparation, input-output, and model interfacing, and possibly help the user select appropriate analytical models for a given problem. For any particular traffic management strategy, the "intelligence interface" can (1) check the data requirement and data availability, (2) assist with data preparation if necessary, (3) do retrieval and preparation if data from the knowledge base is available, and (4) suggest analytical models appropriate to the problem.

The lack of determinacy (i.e., closed-form solutions) in many traffic management problems is beyond the capabilities of present algorithmic traffic management tools. Knowledge-based ESs offer a new approach for analyzing and solving nondeterministic problems for the highway corridor transportation manager. Such an ES would include an explanation module, knowledge acquisition module, context (also called workspace), knowledge base, and inference machine.

Traffic management experts can store their knowledge about any particular implementation of traffic management strategy to the *knowledge base* using the *knowledge acquisition module*. This information can be divided into two classes: (1) the factual or causal knowledge of the traffic management, and (2) the empirical associations, rules, or experiences. The knowledge base can also contain long-term historical traffic data, as well as network information. All information in the knowledge base is organized so that it may be effectively utilized by the other components of the system.

The *context* contains all the information that describes the problem currently being solved, including both problem data and solution status. The user can get access to the context through the explanation module. The traffic problem data may be divided into facts provided by the user and those derived or implied by the problem. The use of knowledge-based transportation management decision ES begins with the user entering some known facts about the problem (e.g., traffic corridor network configuration, traffic data, and other related information).

The *inference engine* is the knowledge processor. It operates on facts contained in the knowledge base and in the context, utilizing rules in the knowledge base to deduce new facts, which then can be used for subsequent inferences. The objective of the inference engine is to arrive at a global conclusion (goal), and the process continues until either the problem is solved and the context is transformed into the desired goal state, or when there are no more rules remaining to be invoked.

Many ES inference engines can deal with imprecise or incomplete knowledge. Associated with the data may be "certainty measures" indicating a level of confidence in the data. Rules are conditionally invoked, based on the certainty of the premise. The inference mechanism can then propagate certainty about the inferences along with results of the inferences.

The *explanation module* provides the traffic management decision ES with the capability to explain its reasoning as a problem-solving strategy to the user. At any time, the user may interrupt the system and inquire what it is doing. The system can explain how any fact was deduced and how knowledge was applied.

The *knowledge acquisition module* is provided to facilitate the knowledge input process. The information in the knowledge base is in rigid format, and the translation of knowledge obtained from experts to the required internal format may be tedious. Although it is desired that eventually the human expert be able to enter knowledge directly into the system, this goal is currently not achieved.

In addition, a *user interface* can be added. The user accesses the system through a friendly interface, often using a problem-oriented subset of English or computer graphics. The interface provides capabilities for the user to monitor the performance of the system, volunteer information, request explanation, and redirect the problem-solving approach used by the expert system.

With a knowledge-based traffic management decision system, even an inexperienced traffic manager can sit down in front of a terminal and state his goal for a certain traffic highway corridor. The manager will then enter some fact about the highway corridor under consideration, such as peak hour traffic volume, highway arterial configurations, and other relevant information. Then the ES would recommend feasible transportation management strategies and the necessary procedures and additional resources required to implement the suggested management strategies. The solutions suggested by the traffic management decision system are deduced from knowledge obtained from a variety of experts, based on experiences from both successful and ill-fated previous similar projects.

AI techniques may also be useful in real-time traffic control. For example, current computerized urban signal control systems are based on the ideas of either minimizing vehicular delays or queues at signalized intersections or maximizing the progression band width of arterial signals. These ideas work well for an undersaturated network but not for congested networks. Currently, some researchers think that two simple principles—(1) keep intersections clear of spillback vehicles, and (2) give right-of-way to the direction in which traffic can move—might work better for congested networks. The ES type of program is ideal for either this simple system or a decidedly more complex rule-based system. In addition, traffic diversion and simulation capabilities can be added. The traffic manager can then have a real-time traffic management decision tool which will suggest traffic congestion or incident diversion schemes. This type of system can aid the traffic manager in making human decisions that require the exercise of certain models, only much faster. Such an ES was developed recently in France (6).

Finally, there are advantages to developing application programs in ES style. For a good conventional application program, it is a major undertaking to establish all the causal relationships, algorithms, or rules. The rules within a good conventional application program must be complete, precise, and correct. The program developer has the responsibility to

insure that these three criteria are met. Due to the complexity of the transportation congestion problem, it is almost impossible to attain these three criteria. This makes conventional program development expensive. Additional costs are incurred when programs are updated, because major code modifications are generally required in order to accommodate new rules and locate the affected rules. For an ES program, it would be much easier to add more or change existing capabilities. New traffic control measures, such as incident diversion, demand/time-of-day tolls, on-board vehicle guidance system, and roadside two-way communication system, might be more easily incorporated into an existing ES program. The new traffic control measure would be first translated into appropriate rules, and then the new rules would be added to the existing rules. No algorithmic logic would need to be restructured and no existing code would need to be modified.

### EXPERT SYSTEMS AND SIMULATION

Researchers and practitioners in the field of simulation and those in AI have had to face similar problems in creating models of complex and sometimes partially understood systems. To a large extent, solutions have been developed independently in each area, leading to techniques and software tools that differ markedly in terminology but often overlap in terms of concepts. The recent stress on knowledge representation in AI has emphasized a common ground, modeling of reality, but each group maintains a slightly different emphasis: dynamic behavior for simulationists, and logical inference for AI workers.

The purposes of simulation models and of ESs are similar: to provide a computer model that aids decision making. Their methods are similar in that they are both based on modular representations of physical systems and on "inference mechanisms" that drive these representations.

An inference mechanism, as opposed to user-programmed control structure, works with any number of modules, and these modules can (in theory at least) be presented in any order and are entirely independent of other modules. For instance, the inference mechanism of an event-based simulation is independent of the number of events and their order within the simulation. The inference mechanism, for simulation models, includes next-event-scheduling algorithms and interval-scanning procedures. For an ES, the inference mechanisms include backward and/or forward chaining with some form of uncertainty updating.

There are differences between these two disciplines:

- Simulation applications involve an iterative process wherein a model is designed, inputs are specified, an experiment is executed, the results are analyzed, a new run is designed, executed and analyzed, etc., until sufficient insight is gained to render a decision. In ES, on the other hand, the modeler constructs a knowledge base; the user defines the goal and lets the computer work to identify the decision rules.
- In simulation models, the data base is integrated with the program logic. For ES, the knowledge base is distinct from the inference engine that controls the logical flow.
- The data base for simulation models is generally numeric and formally structured. In an ES, the knowledge base is

symbolic and represents facts, rules, judgment, and experience (i.e., heuristic knowledge) about a narrow problem area.

- Simulation employs algorithms; ES employs symbolic inference.
- Simulation languages are procedural or imperative (FORTRAN, GPSS, SIMSCRIPT). ES may use shells (OPSS, ROSIE, Expert-Ease) that, in turn, are usually written in functional or descriptive languages (LISP, PROLOG).

It has been well documented that knowledge acquisition is slow and costly due to the need for large amounts of knowledge. Simulation models, properly applied and integrated with information provided by experts, offer the potential for expanding the traffic engineering and transportation planning knowledge base and affecting important savings in cost and in time. The next section explores approaches that can both exploit the similarities between simulation and ES and accommodate their differences.

### Structuring an Expert System Simulation Environment

Figure 1 shows a taxonomy for combining simulation and expert systems. Perhaps the most obvious way in which the two can be combined is by embedding an expert system within a simulation model as in (a), or vice versa as in (b). It is arguable that many simulation models already use knowledge, as opposed to data. For instance, a queue priority rule is knowledge. It may be pertinent to keep such rules in a knowledge base, rather than embedded in code. It may be necessary to embed a simulation within an ES for two reasons. First, the ES may need to run a simulation to obtain some results for the user. Second, and more important, the ES may use one or more time-dependent variables, and thus needs a simulation to update their values. This situation has occurred in some real-time military applications, where the system needs to know the position of ships, aircraft, etc.

Simulations and ESs that are designed, developed, and implemented as separate software, in parallel, may interact. A simulation model could interrogate an ES, as in (c). This may be useful where a simulation is developed for a complex system, and an ES already exists for part of the decision making within that system. The simulation can then access this, rather than mimic or encode the decision rules. ESs that execute and use the results from simulations, as in (d), are of increasing interest to knowledge engineers. Rather than test an ES on a user or a real environment, the ES can be tested on a simulation. Not only is development time reduced, but also testing can be more comprehensive. Further, if the simulation is a valid model, then an ES that adequately controls or responds to the simulation is, perhaps, valid itself. Application domains where this approach may be useful include real-time control, where an ES developed to ultimately control the process can be tested on a continuous simulation of that process.

Whereas in (a) through (d) the user of the main tool does not have direct access to the other, in many instances both an expert system and a simulation will be used together to do some task, as in (e). Each may well share some data; in effect, the simulation and ES will cooperate in the task. Given the

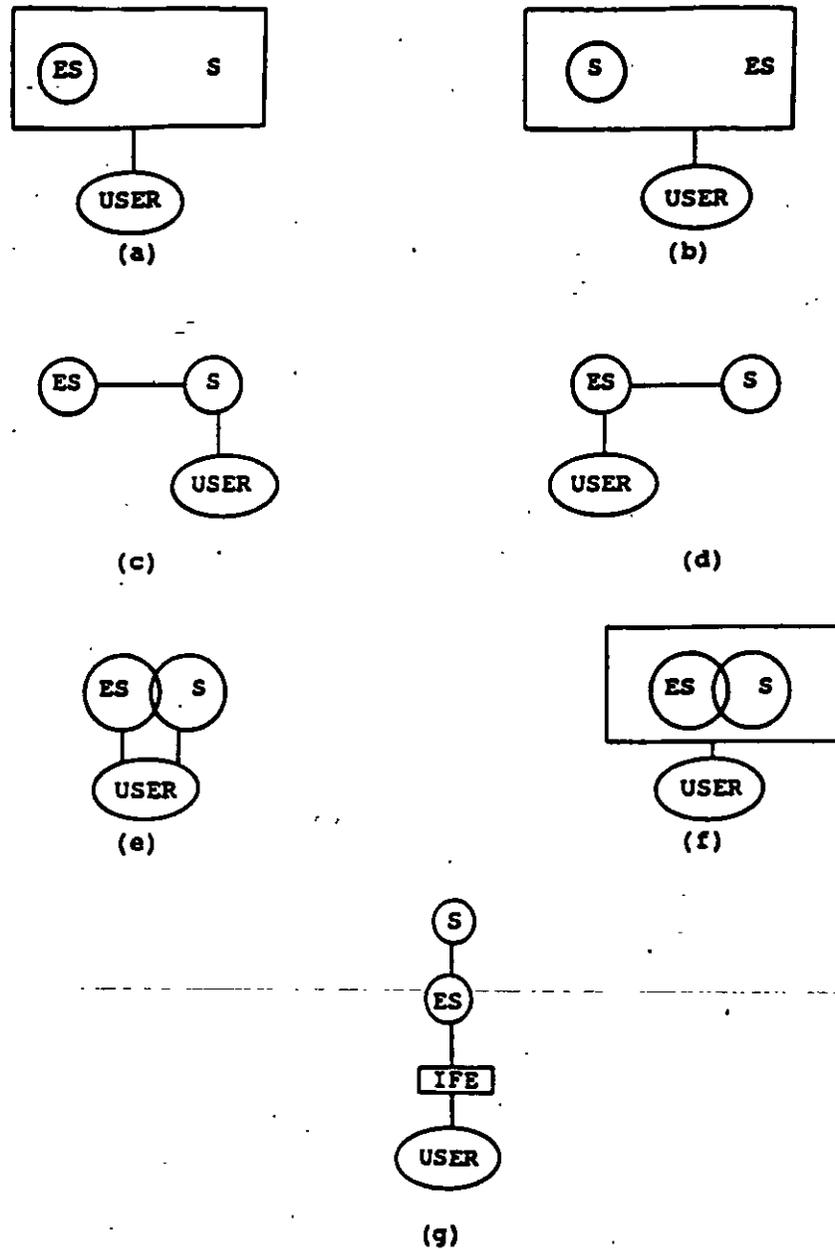


FIGURE 1 Taxonomy for combining expert systems (ES) and simulation (S).

increasing trend to hand over simulation models to users who may be inexperienced simulation users, there is a growing need to support the use, and guard against the misuse, of such models.

The cooperative simulation and ES may be surrounded by a larger piece of software, as in (f). Each may be part of a simulation environment or part of a large decision support system used directly by decision makers. New tools based on both simulation and knowledge-based methods fall into this category, for example, as does the Rule Oriented Simulation System (ROSS) developed by the Rand Corporation (7).

One of the most important application areas for knowledge-based methods is intelligent front ends (IFE) or user interfaces (g). This generates the necessary instructions or code to use the package following a dialogue with the user and interprets and explains results from the package. Simulation

programs, including TRAF (8), perform some of the function of IFEs, although they do not actually execute the simulation and interpret the results. Useful intelligence for an ESS would include:

- Dialogue handling (a natural language interface or at least user-directed free format input);
- Some model of the user, so that the system adjusts its requirements of the user, given evidence that the user is inexperienced, experienced, or whatever; and
- A model of the target package, so that some decisions can be taken by the IFE rather than referred to the user.

In considering how simulation and ESs can be combined, the above taxonomy is useful. For evaluating the merits of various combinations of different simulation/expert system configurations, several philosophies must be considered:

- The ES employs the simulation model to generate results that are added to the knowledge base, as required to respond to a user's needs, in the event this additional data is required. Here, the simulation model is executed as a precursor activity, prior to the interactive session between user and ES.

- The ES and simulation model are "cooperative," in that both may be executed during the session. Depending on the taxonomy selected, the user may communicate directly with the simulation model, or the ES will determine the need for the simulation model, prepare its input stream and execute it to generate the required "knowledge." In the latter case, the simulation model is transparent to the user who communicates only with the ES or IFE.

Note that the software system can be designed to accommodate both approaches, depending on the skills and objectives of the user. For example, macroscopic simulation models may be employed "on-line," while microscopic models used "off-line" to augment the knowledge base.

### Integration of Expert Systems and Other Computerized Models

Expert systems may also be combined with other computerized evaluation or optimization models. An example of this type of integration in traffic engineering is the design of an expert system and the required interface to complement the existing intersection design models such as EVIPAS (9). Seven potential engineering design cases for the integration of expert systems and other computerized models are depicted in Figure 2 and discussed below.

In Case I, the engineering model controls the user interface. The graphics package (if separate from the model) and the ES shell are both run in a background mode and the user would not directly interact with them. There is one consistent interface. If the chosen model is very robust, easy to maintain,

and has a built-in graphics package that is user friendly, then the expert system should run in background mode behind the model. However, the model must be able to handle graphics. The 80386 machines have a batch mode capability. The model must be multitasking, able to run itself (for hours as required), and still be available to the user for other tasks.

In Case II, the graphics package (if separate from the engineering model) controls the user interface. The model and the ES shell run in background mode, and the user would not directly interact with them. This case would be most appropriate if the desired model were very unfriendly to a casual user and had no acceptable built-in graphics capability. Again, there is one consistent interface. If the graphics package integrates well with model and ES, this may be the most appropriate user interface. However, the graphics package must be able to handle text and draw tables of output from the model.

In Case III, the ES shell controls the user interface. The graphics package (if separate from the model) and the engineering model run in background mode, and the user would not directly interact with them. There is one consistent interface, but experience has shown that it is often necessary to disable the ES tool graphics capability, and coding must be done in a graphics tool. Typically, expert systems have problems in the graphics (other than simple business charts) presentation area.

In Case IV, the graphics package and ES jointly participate as the user interface. Only the engineering model runs in background mode, and the user would not directly interact with it. This arrangement offers the user potentially better control over the graphics and ES. However, the user also has two separate interfaces to handle. Only if the ES can control the model and all text from the graphics package will an acceptable solution of a text and a graphics format be presented to the user.

In Case V, the ES shell and engineering model jointly control the user interface. Only the graphics package runs in background mode, and the user would not directly interact

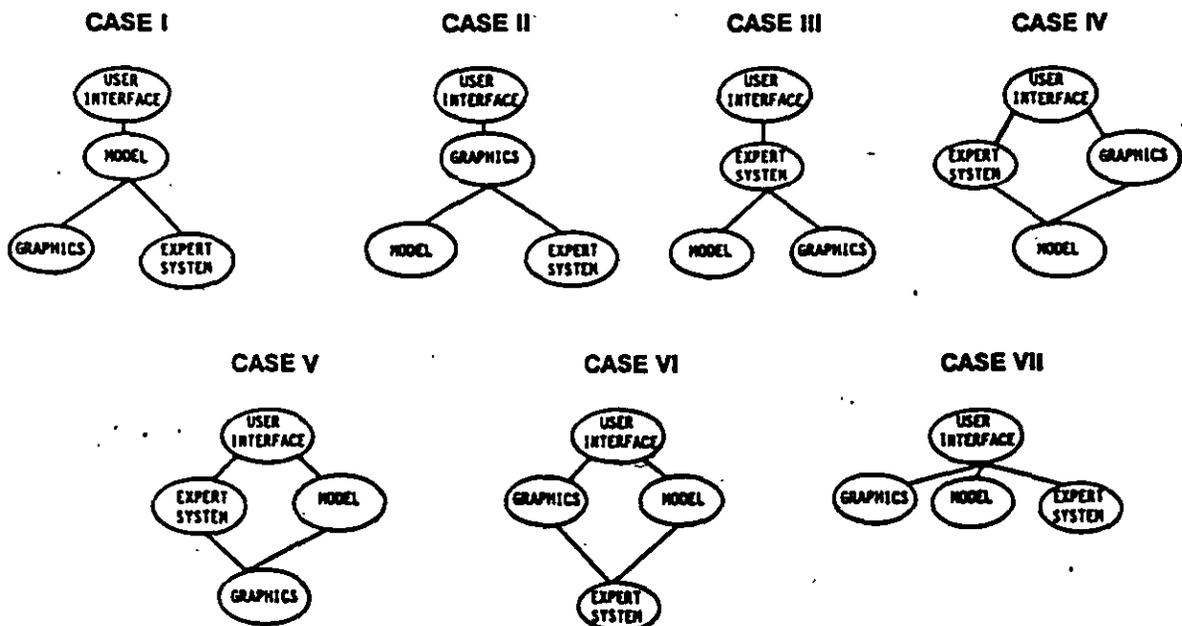


FIGURE 2 User interface cases.

with it. The user has potentially better control over the ES and model, but still has two separate text interfaces to handle. This option assumes that the model or the ES can completely control the graphics package. That assumption is valid only if the graphics package is built into the model.

In Case VI, the graphics package and engineering model jointly control the user interface. Only the ES shell runs in background mode, and the user would not directly interact with it. This offers the user potentially better control over the graphics and engineering model. The user still has two separate interfaces to handle. However, if the graphics package and model are built together then this reduces to Case I.

In Case VII, the graphics package, engineering model, and ES shell all directly interact as the user interface. None of the system components run in background mode. A very knowledgeable user will be able to most freely interact with the system, but the user must contend with three separate interfaces. For example, "Help" may be "H, Fl, or H, depending on the environment. The user presentation would be very choppy, because the screens would all be different. Based upon the ability of the three separate packages to run together and the potential confusion to the practicing traffic engineer user, this may not be a viable option.

In the next section, an application problem—disaster evacuation and response planning—is described, the shortcomings

of the existing simulation models in this area are discussed and ways in which expert systems can be used when existing models are analyzed.

## APPLICATION

The state-of-the-art method and technique for dealing with highway network evacuation under disaster is to apply available computer simulation and evaluation models. Some of the most popular models that are in use are: NETVAC Emergency Evacuation (NETVAC) simulation model (12), EVAC PLAN PACK (12), and the Dynamic Network Evacuation (DYNEV) and its derivative IDYNEV computer model (13). These models, in general, have been designed to simulate the traffic flow and estimate the vehicular traffic evacuation time around a nuclear power plant in case of active leaks similar to the Three Mile Island accident.

The state-of-the-art in evacuation modeling is IDYNEV (14). Table 1 summarizes the measures of effectiveness output by IDYNEV and also presents the input data required for simulation. The measures of effectiveness output data are provided for each network link and are also aggregated for the entire network.

TABLE 1 MEASURES OF EFFECTIVENESS OUTPUT BY IDYNEV (14)

Measure	Units
Travel	Vehicles miles and vehicle trips
Moving Time	Vehicle minutes
Delay Time	Vehicle minutes
Efficiency: moving time/ total travel time	Percent
Mean travel time per vehicle	Seconds
Mean delay per vehicle	Seconds
Mean delay per vehicle mile	Seconds/mile
Mean speed	Miles/hour
Mean occupancy	Vehicles
Mean saturation	Percent
Vehicle stops	Percent

The input data required for IDYNEV are summarized below:

- Topology of the roadway system.
- Geometries of each roadway component.
- Channelization of traffic on each roadway component.
- Motorist behavior that, in aggregate, determines the operational performance of vehicles in the system.
- Specification of the traffic control devices and their operational characteristics.
- Traffic volumes entering and leaving the roadway system.
- Traffic composition

**Limitations of Current Procedures**

Kadwan et al. (10) have reviewed the aforementioned models and note several important features that the existing models lack. Among the deficiencies are:

- Since most of the models have been designed and tested for nuclear power plant accidents, they lack the capability of handling different disaster types, particularly natural ones.
- The shelter areas are defined as anything beyond the hazard area boundary lines, with no capacity constraint.
- The evacuation routes are treated solely on the traffic flow conditions, with no risk factors attached to them that can be influenced by the available evacuation time, the direction of disaster propagation, and the route topography. (IDYNEV is an exception; it takes into account time and route topography.)
- The models are not capable of testing different population density strategies.
- The models cannot be used for future land use management planning.

Another potential problem of applying the current models is the lack of communication between emergency management professionals and transportation professionals, which has resulted in an incomplete integration of resources. Transportation professionals usually lack the knowledge and experience of emergency management, and emergency management

professionals often lack the expertise of running the simulation models and interpreting the output results.

**Expert Systems Applications**

The concept of a knowledge-based expert system (KBES) can be applied in conjunction with the current simulation models (in this case IDYNEV) to curtail some of the deficiencies described in the last section. A complete technical description of how a suitable ES can be built to interface with the IDYNEV model has been presented elsewhere (15). In brief, the different disastrous events are presented in a frame-based representation format in the ES, as shown in Figure 3, and the expertise of how to control traffic during each event is presented as a rule-based format. The decision-making process for dealing with the specific emergency event starts at the "appropriate actions to be taken" slot (shown in Figure 3). The slot contains appropriate heuristic knowledge in the form of rules in dealing with specific disasters.

This process is accomplished by (1) going through the frame; (2) having the frame automatically revise the local network (the If-Added procedures accomplish this); (3) feeding the revised network to the simulation model; and (4) combining the results of the model, the features of the network, and the features of the disaster, so that the expert system can make the final recommendation of what to do. The If-Needed procedure within the "appropriate action to be taken" slot trig-

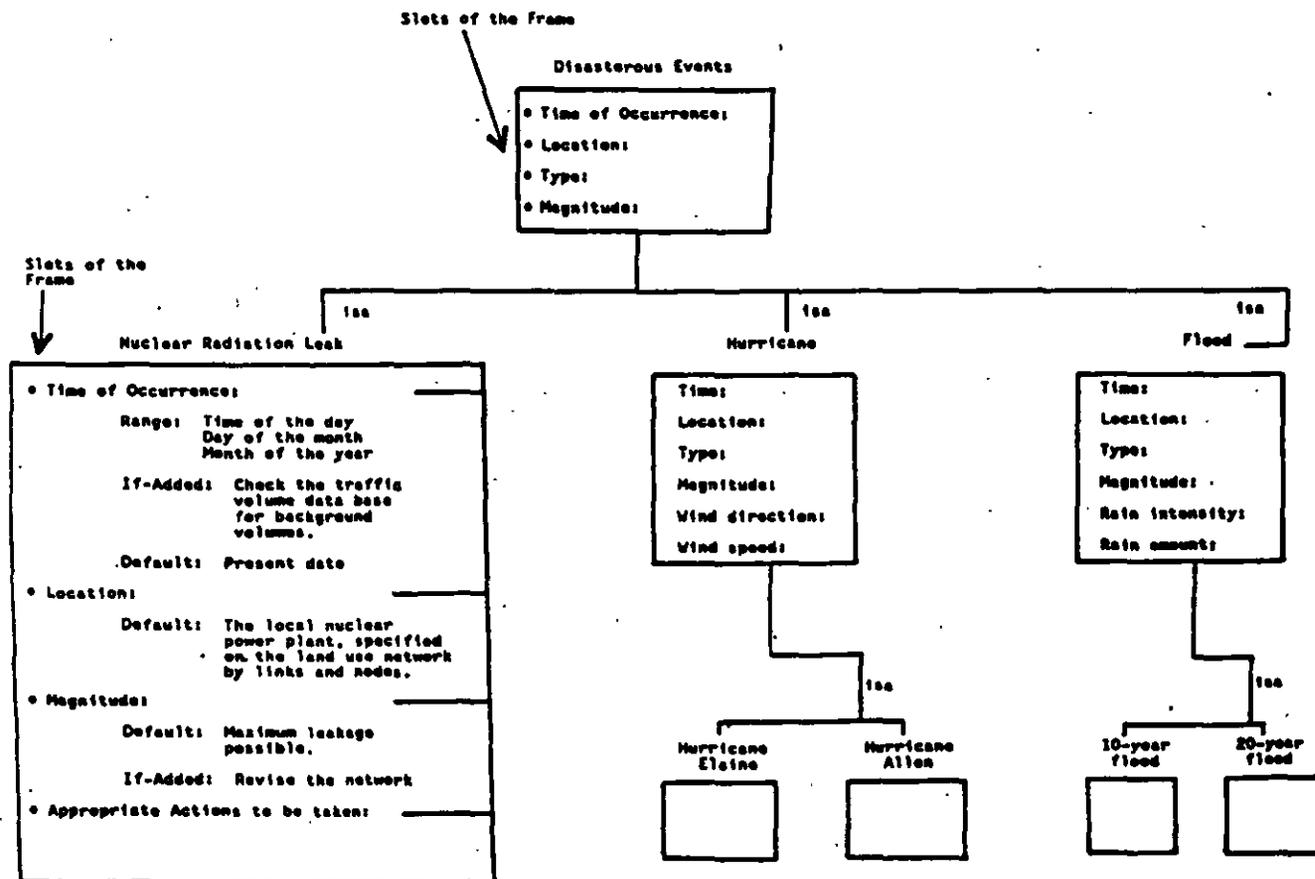


FIGURE 3 Frame-based representation of disastrous events for expert systems.

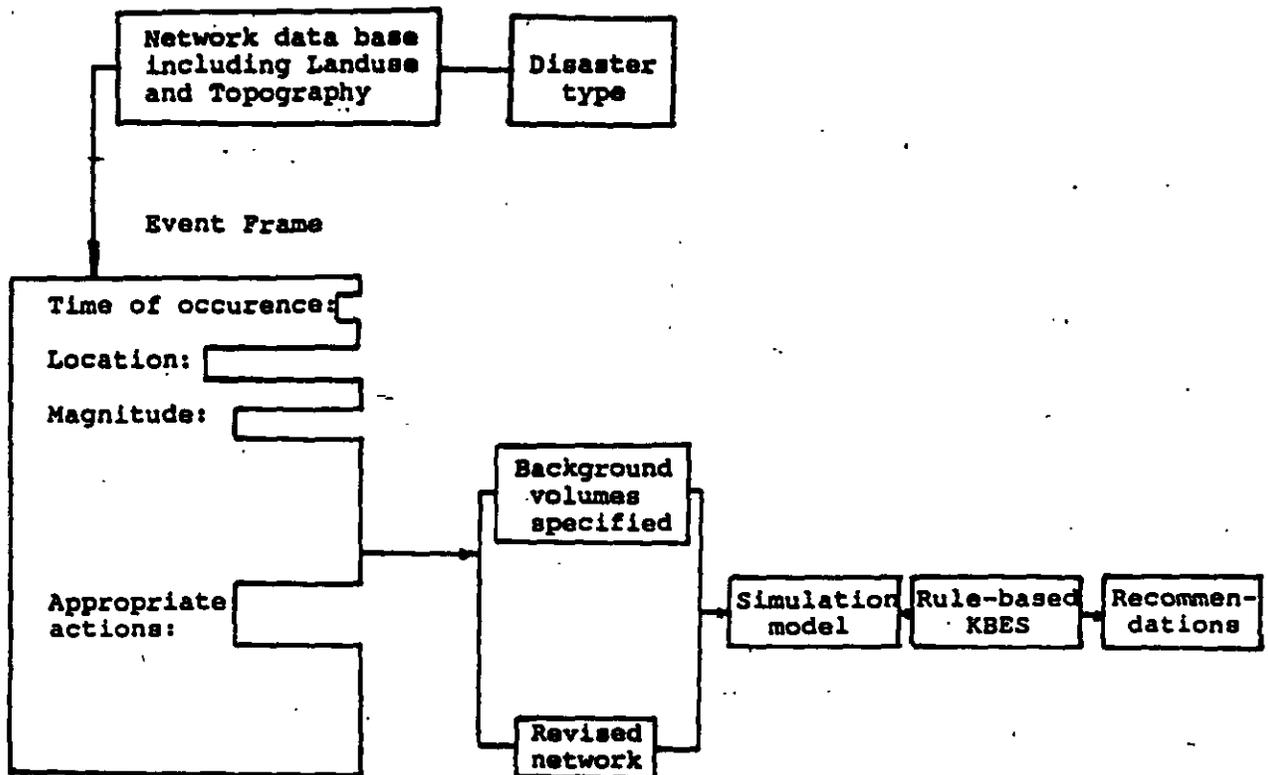


FIGURE 4 Knowledge-based expert system for disaster response planning.

gers this chain of events. Figure 4 shows the diagram for this process.

## SUMMARY AND CONCLUSION

Because of the availability of many powerful traffic and transportation engineering evaluation, optimization, and simulation models, the applications of expert systems should be investigated in terms of how best they can be integrated with the available models. Different configurations for combining ES and other computerized models were presented, and the advantages and disadvantages of each configuration were discussed in this paper. The existing computer models consist of mostly algorithmic, sequential procedures with little or no symbolic or heuristic knowledge. Expert systems, on the other hand, are capable of handling symbolic knowledge excellently. Integration of available computer models and expert systems leads to the development of intelligent computer models for solving the problem.

## REFERENCES

1. *Handbook of Computer Models for Traffic Operations Analysis*. FHWA, U.S. Department of Transportation, Washington, D.C., December 1982.
2. *TRANSYT-7F: Traffic Network Study Tool (Version 7F), User's Manual*. FHWA, U.S. Department of Transportation, Washington, D.C., June 1984.
3. *Maximal Bandwidth Traffic Signal Setting Optimization Program for Microcomputers (MAXBAND-PC) User's Manual*. University of Kansas Transportation Center, Lawrence, Kan., October 1985.
4. *PASSER II and PASSER III User's Manuals*. Texas Transportation Institute, Texas A & M University, College Station, Tex. September 1988.
5. *TRAF-NETSIM User's Manual*. Report FHWA-10-1. FHWA, U.S. Department of Transportation, Washington, D.C., March 1989.
6. B. Forasté and G. Scenama. *An Expert System Applied to Handle Traffic Congestion*. Institute de Recherche des Transports, Paris, France, September 1985.
7. D. McArthur and P. Klahr. *The ROSS Language Manual*. Report N-1854-AF. Rand Corporation, Santa Monica, Calif., September 1985.
8. *TRAF User Guide, Implementation Package*. Report FHWA-RD-85. FHWA, U.S. Department of Transportation, Washington, D.C., July 1985.
9. A. G. R. Bullen and N. P. Hummon. *EVIPAS: A Computer Model for the Optimal Design of a Vehicle Actuated Traffic Signal*. In *Transportation Research Record 1114*, TRB, National Research Council, Washington, D.C., 1987.
10. A. E. Radwan, A. G. Hobeika, and D. Sivasailam. *A Computer Simulation Model for Rural Network Evacuation Under Natural Disasters*. *ITE Journal*, Vol. 55, No. 9, September 1985.
11. Y. Sheffi, H. Mahmassani, and W. Powell. *NETVAC: A Transportation Network Evacuation Model*. Center for Transportation Studies, Massachusetts Institute of Technology, Cambridge, Mass., 1980.
12. P. R. C. Vorhees. *Evacuation Planning Package*. Presented at the 61st Annual Meeting of the Transportation Research Board, Washington, D.C., 1982.
13. KLD Associates, Inc. *The DYNEV Model: An Effective Tool for Developing and Evaluating Evacuation Plans*. Presented at the 61st Annual Meeting of the Transportation Research Board, Washington, D.C., 1982.
14. T. Urbanik. *Transportation Analysis for Evacuation: State of the Art*. *ITE Journal*, Vol. 56, No. 3, March 1986.
15. A. Faghri. *Computerization of Heuristic-Based Decision Making Problems in Transportation Engineering*. Ph.D. dissertation. University of Virginia, Charlottesville, Va., May 1989.

# Multi-modal modelling in congested networks: SATURN and SATCHMO

by L. G. Willumsen and J. Bolland, *Steer Davies Gleave*  
and by M. D. Hall and Y. Arezki, *WS Atkins Planning*

## 1. INTRODUCTION

The relief of congestion has been a key objective for traffic engineering and transport planning practice for many years. This focus has resulted in the development and widespread acceptance of sophisticated urban traffic models like SATURN<sup>1</sup> as essential tools in the planning and evaluation of road schemes. These schemes have ranged from local-area traffic management to city-wide strategic improvements, but attention has been concentrated largely on the road-user. This (some would say narrow) approach has limitations which now need to be addressed to strengthen transport problem-solving for the 1990s.

The growth of traffic in the late 1980s resulted in an unprecedented increase in congestion in Europe and the rest of the world. It has now become accepted that road-based schemes alone will not solve transport problems and this has prompted the need to consider a wider range of measures. In some cases public transport improvements can be shown to assist in coping with congestion, while in others road pricing or parking restraint are perceived as feasible and efficient solutions. Moreover, there is a growing awareness of the need to generate solutions that pay more than just lip-service to 'quality-of-life' elements and these, again, point to more comprehensive packages including public transport, pricing effects, car restraint and perhaps traffic calming and safety measures.

In order to assess these new initiatives a major update to our best modelling tools is required. It is true that models like SATURN and CONTRAM can cope with most traffic management and road-based schemes, but the treatment of other schemes resulting in a wider range of behavioural responses by trip-makers calls for new modelling techniques. SATCHMO (SATurn Travel CHoice MOdel) is a multi-modal transport package to complement SATURN providing the facilities required to model these new measures and responses. It has been developed by Steer Davies Gleave and WS Atkins Planning Consultants and here we describe its main characteristics and our experience in using it thus far.

<sup>1</sup>An earlier version of this paper was presented at the 20th PTRC Summer Annual Meeting held at the University of Manchester Institute of Science and Technology in September 1992.

This paper\* is organised as follows. Section 2 discusses the main features of SATURN while the new modelling requirements are outlined in Section 3. These are translated into design objectives for SATCHMO in Section 4. There are also some significant requirements from the point of view of the user and these are outlined in Section 5. Section 6 summarises the historical developments leading to SATCHMO while Section 7 discusses the structure of the model and its different components. Section 8 is devoted to the new graphic facilities in SATCHMO. Section 9 discusses the key issue of equilibrium in model implementation and project appraisal and then Section 10 presents the approach followed in SATCHMO to tackle this problem. Finally Section 11 summarises the main features, advantages and limitations of the package.

## 2. SATURN

There is very little doubt that SATURN is one of the most advanced and successful detailed traffic assignment packages. It has been developed over the years at the Institute for Transport Studies at Leeds University under the leadership of Dirck Van Vliet. SATURN has benefited from a very solid theoretical foundation with first-class feedback from practitioners; thus it has become the most powerful, flexible and practical traffic modelling tool.

SATURN can model road networks at two different levels of detail — Buffer and Simulation levels — which differ in the way congestion is treated. The Buffer level uses a conventional model where each link represents a stretch of road and has an associated travel time-flow relationship; at this level junctions are modelled in a very simplified form. The Simulation level concentrates on delays at junctions, representing streams of vehicles and control features together with their interactions in detail. A special module, SATSIM, uses advanced platoon dispersion and junction models to estimate capacities, delays and queues at junctions for given levels of flows for each stream. These advanced junction delay models permit very accurate representation of traffic and are therefore essential for realistic route choice modelling in congested urban areas. Buffer and Simulation levels can be mixed to represent study areas of different characteristics and requirements.

The core of SATURN is made up of the simulation module SATSIM plus an advanced assignment model SATASS. The assignment model is cast within a powerful equilibrium framework; this is essential to ensure consistent evaluation of schemes, as will be discussed in greater detail in Section 9. SATASS offers many options from simple all-or-nothing assignment to User and Stochastic User Equilibrium. SATURN also offers the option of distinguishing 'user classes', e.g. different types of vehicles or drivers choosing their routes using different combinations of time and distance.

This alliance of a detailed simulation model with an advanced assignment procedure makes SATURN particularly suited to the analysis and design of traffic management and road schemes of any kind, including bus priority and traffic calming. SATURN also offers good graphic facilities to display networks, flows and performance indicators; other capabilities include a very flexible and powerful facility to estimate and update trip matrices from traffic counts, options for cordoning networks and general matrix manipulation routines.

Until recently, SATURN could only assign 'fixed' trip matrices onto a network. These matrices could be 'growthed up' to allow for growth in traffic levels in the future, but loading them onto the network often produced very long queues and extremely low average speeds. This is known to be unrealistic in cases of heavy congestion or where attractive alternative modes were possible. In these cases, one would expect some elasticity in trip-making with some trips being transferred to other alternatives. A new module, SATEASY, has been introduced to allow for trip generation/suppression using elasticity concepts<sup>2</sup>. This module allows trips to be suppressed as a function of travel time increases for each Origin-Destination (O-D) pair. It does not model, however, what would these diverted or suppressed trips do; this is one of the functions SATCHMO has been developed to undertake.

## 3. MODELLING ISSUES

There are three groups of modelling issues that SATCHMO has been designed to address:

- (1) Interaction between road schemes and public transport. Many road schemes inevitably have an impact on public transport operations and therefore influence the proportion of travellers using these modes. Provision of major highway infrastructure, for example, may facilitate car usage and reduce public transport patronage. On the other hand, traffic calming measures may be introduced to prevent 'rat-runs' and therefore make car travel more expensive (in generalised cost terms), thus affecting the relative attraction of public transport. SATCHMO is able to model these effects, both the changes in the performance of public transport and car movements and their respective impact on mode choice.
- (2) Public transport schemes like LRT or bus lanes have a direct impact on the performance of the road network. It is

often necessary to simulate the effect of introducing on-street running light rail or the reduction in road-space due to segregated bus lanes and tracked vehicles (LRT or guided bus). This is particularly important since non-user benefits, i.e. those perceived by other road-users, are significant in the overall evaluation of major public transport schemes. The appropriate estimation of non-user benefits requires a rigorous and consistent equilibration framework — see, for example, Arezki *et al.*<sup>3</sup>

- (3) Increased congestion and expected traffic growth make it necessary to consider approaches to modelling variable trip matrices in the future. In many cases, unrestricted traffic growth is unlikely to happen. A pragmatic solution to this problem is offered by matrix capping techniques — see, for example, Rogers<sup>4</sup>. SATEASY offers a solution based on elasticity concepts: as travel costs increase, traffic growth slows down. However, those requiring an approach more sensitive to policies and schemes should pay closer attention to public transport effects and the whole range of possible responses by travellers. These include:
- the route followed to avoid congestion;
  - the mode used to get there;
  - the time of departure to avoid the most congested part of the peak;
  - the destination of the trip to a less congested area; and
  - the frequency of journeys by undertaking the trip on another day, perhaps combining it with other activities.

Models like SATURN are particularly good at dealing with the first of these responses. The provision of public transport facilities can extend route choice in that area too; however, that is not enough as full demand modelling is required to cover all responses. SATCHMO has been designed to consider explicitly the rest of the responses above, therefore providing, in combination with SATURN, a comprehensive modelling package.

#### 4. DESIGN OBJECTIVES

In the development of SATCHMO we adopted a number of design objectives reflecting the needs of the transport community in the '90s. These can be summarised as follows:

- (a) The package should be able to represent all the behavioural responses outlined in Section 3. It is accepted that in each case only a sub-set of them will be relevant or necessary; however, the capability should exist to include them as required.
- (b) SATCHMO should be able to handle the full complexity of public transport networks. These should not be restricted to just bus and rail networks; it should be possible to build single- and multi-mode public transport networks. An example of the first is a bus system, while multi-modal networks are needed to represent rail with bus

and/or car-feeder modes. There should also be flexibility in the level of detail permitted or required by the package.

- (c) Particular attention should be paid to mode choice and a flexible arrangement allowed for. In some cases it is possible to treat some sub-modal choice problems as part of assignment, typically in multi-modal public transport networks. However, choice between private and public transport modes should always be part of a more flexible mode choice formulation, probably using logit or similar functional forms.
- (d) Choice of departure time, destination and trip frequency is desirable and should be incorporated into a consistent formulation. As it is useful to employ familiar concepts we have chosen to describe the disutility associated with each alternative (destination, mode, time of day) in terms of extended generalised cost concepts.
- (e) The package must be able to represent most if not all highway-related schemes, including road pricing. It should be possible to handle parking charges and restraint in a consistent manner. At present, these facilities are provided for in network terms essentially through SATURN, with some specific guidelines for parking and other special schemes.
- (f) It should be possible to model a whole range of public transport schemes, including LRT, guided bus, Park-and-Ride and bus priority.
- (g) The model should be able to represent different user classes at all levels; these are very useful to indicate different types of vehicles (subject to separate restrictions like lorry bans, etc.) or different groups of drivers with separate generalised cost parameters.
- (h) The package should permit the user to take advantage of the superior characteristics of generalised equilibration frameworks, see Sections 9 and 10 below.

These design objectives have all been tackled in Version 1 of SATCHMO; however, we are currently working on Version 2 to provide even more powerful solutions as well as tackling other aspects identified as important by current users of the package.

#### 5. USER CONSIDERATIONS

The success of a package depends on a combination of its technical capabilities and the facilities provided to help the user make sense of the models which he or she is developing and using. Particular attention has been paid to the requirements of the user and a number of specific design objectives were developed for facilities specifically designed to attend to users' needs:

- (a) *Seamless integration with SATURN.* This is a desirable feature on its own as it simplifies the use of the advanced facilities in SATCHMO in combination with SATURN. The objective of making the combined package behave like a single comprehensive unit has been achieved. There is no need to run conversion utilities to convert matrices,

costs or graphic facilities between the two packages. SATCHMO matrices are identical to SATURN ones; SATCHMO networks use the same conventions as in SATURN, albeit adapted to the specific features of public transport systems.

- (b) *Enhanced graphic facilities.* Although the graphics facilities in SATURN are good and could be extended to cope with public transport networks and mode choice features, it was felt that improvements to them would facilitate use of the package even further.
- (c) *Calibration facilities.* We have provided not only guidelines for calibration, but also some additional facilities to assist in this task. Some of them are the graphical representation of modelled and observed flows while others are simply better calibration facilities to assist in the use of Stated Preference results or incremental modelling forms.
- (d) *Reduced training costs.* Another advantage of good integration with SATURN is reduced cost to the user; there are two significant expenditures in the adoption of a modelling package: purchase costs and training requirements. In most cases, training costs are the higher of the two; these cover the time spent learning to use a new package, to interpret its outputs and acquiring proficiency in making use of its facilities. By using the same command organisation and consistent file structures, output formats as SATURN, we have reduced training costs to a minimum. Those familiar with SATURN will feel comfortable with SATCHMO almost immediately.

However, probably the most significant cost in the selection of a modelling package is its ability (or otherwise) to represent the choices and alternatives of interest. Poor decision-making in transport is extremely expensive in both economic and political terms.

#### 6. HISTORICAL DEVELOPMENT

A precursor of SATCHMO was developed jointly by Steer Davies Gleave and WS Atkins Planning Consultants as part of the Santiago Transportation Study in the '80s<sup>5</sup>. In that case, it was a matter of integrating SATURN with some of the public transport modelling facilities already available to the consultants. A similar concept was then successfully applied by the two consultants in other places, notably Kuwait, Cambridge<sup>6</sup>, Leeds Supertram and South Hampshire.

As experience in the combination of SATURN with public transport and travel choice models matured, Steer Davies Gleave and WS Atkins decided to develop a more robust and better integrated package. This led to the setting up of a joint working team by the two companies to develop this package, with specific requirements for integration, user documentation and internal and external communication before commercial release. This also resulted in a name for the new package: SATCHMO.

This task has progressed since Spring 1991 and we now have a complete package, tested and documented. The package has been used

in a number of new studies by the consultants, in particular in the Dublin Transportation Initiative where its features are being used to the full. What is being made available, therefore, is a package with several years of practical application and an extensive programme of development and testing.

### 7. STRUCTURE OF SATCHMO

The structure of the package can be divided into its three main components. These are:

- Public transport modules
- Demand and choice models, including incremental and joint choice and assignment modules
- New graphic modules

These are now described in turn.

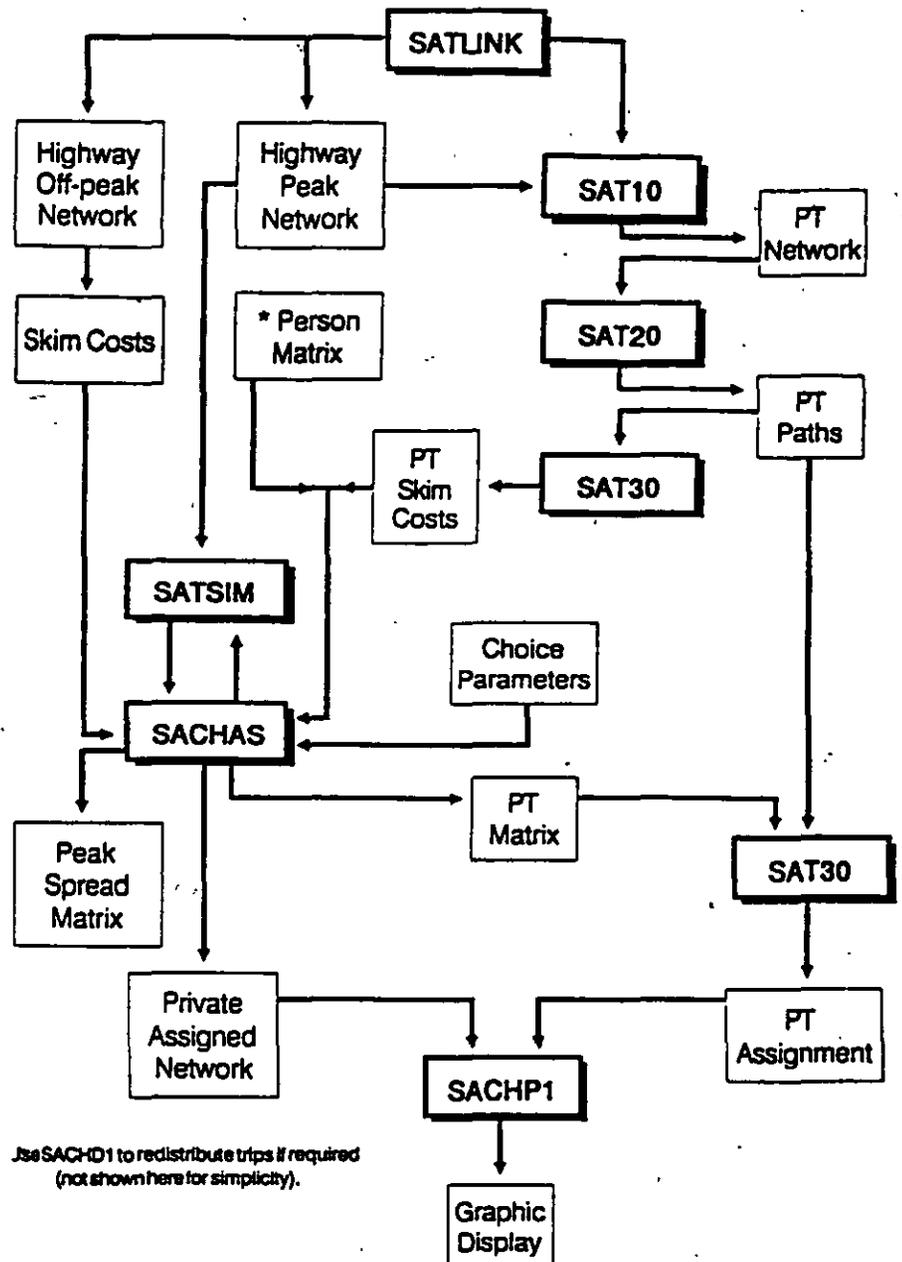
#### 7.1. Public transport modules

SATURN already has some facilities to code bus services and therefore many existing networks already contain valuable information on public transport. However, SATURN facilities essentially look at bus services as sharing road-space and not as alternative modes connecting origins and destinations and providing interchange facilities. Therefore, to take advantage of current SATURN features, the public transport modules in SATCHMO consist of three programs:

*SAT10 is used to build public transport networks.* The program can extract bus service information, if any, from existing SATURN networks. SAT10 also offers the facility to edit these services, adding new ones and connecting them to zone centroids. This can also be achieved in a much more intuitive way through the use of SATLINK in a graphic environment (see below). The new services can be completely new modes, extensions to existing bus services or combinations. New walk links, interchange costs, bus-stops and rail stations can be added. The services are described in terms of their unit capacities, frequencies and travel times. Operating speed can be related to highway speeds through coefficients to account for bus performances and stop times. More than one public transport network can be built if modes are to be treated as competing rather than complementary ones. The public transport network is stored in a new SATURN-like file structure, the UFN file.

*SAT20 is the path-building module.* Route choice is on the basis of generalised cost calculations and the user can specify the parameters to apply to in-vehicle time, distance, interchange, walk and wait time. Different parameters can be applied to different modes. Public transport paths are stored in UFT files containing network and path information.

*SAT30 performs the functions of path skimming and matrix loading.* The first function is essential to produce the appropriate generalised cost formulation for mode choice. Trip loading onto public transport networks is achieved efficiently and allowing for the relative attractiveness of each mode and service. Fares can be handled as part of route/mode choice or separately in a fare matrix for integrated systems. A wide range of reports on the performance of the services and modes is available.



Use SACHD1 to redistribute trips if required (not shown here for simplicity).

Fig 1. Structure of SATCHMO for a mode and peak spreading choice application.

#### 7.2. Demand and choice models

This group includes two main programs: SACHAS and SACHD1. The most important module here is SACHAS; this program performs simultaneous travel choice and assignment using a modified Frank-Wolfe algorithm.

SACHAS considers travel choice as part of a general (nested) logit formulation discussed in more detail in Section 10. This formulation is such that for each O-D pair  $ij$  the proportion of travellers choosing alternative  $k$  is given by:

$$P_k = \frac{\exp(-\beta GC_k)}{\sum_i \exp(-\beta GC_i)} \quad \dots (1)$$

where  $GC_k$  is the (extended) generalised cost of choosing an alternative  $k$  (either a mode, time of day, alternative destination or even not to travel at all).

The second program, SACHD1, has been developed to cope with incremental and classic distribution and mode choice models out-

side an explicit equilibration network. The modal split models also take a logit form and the distribution model is of the gravity type with a flexible range of deterrence functions and calibration facilities. However, current practice does not favour the use of gravity models, but there are many cases where an incremental version of this model is highly desirable.

Incremental (or pivot point) models have many desirable properties as discussed, for example, in Abraham *et al*<sup>7</sup> and in Bates *et al*<sup>8</sup>. In general terms, an incremental mode choice model can be written as:

$$P_k^* = \frac{P_k^0 \exp(-\beta \Delta GC_k)}{\sum_i P_i^0 \exp(-\beta \Delta GC_i)} \quad \dots (2)$$

where the superscript <sup>0</sup> is used to indicate the conditions on the base, for example  $P_k^0$  is the proportion of travellers using alternative  $k$  in the base;  $\Delta$  is used to indicate changes in generalised costs between the base and a new scenario. Analogously, the singly con-

strained incremental gravity model can be written as:

$$T_{ij} = \frac{G_i T_{ij}^0 a_j \exp(-\beta \Delta GC_{ij})}{\sum_j T_{ij}^0 a_j \exp(-\beta \Delta GC_{ij})} \dots (3)$$

where  $G_i$  is the total trips generated at zone  $i$  and  $a_j$  are growth factors reflecting changes in the destinations  $j$ . These are helpful formulations as in both we only need to account for changes in the generalised costs, not their complete values. Therefore, if we are not introducing new modes modal penalties can be ignored, as they cancel out in  $\Delta GC$ . An additional advantage is that the model preserves the current (or base) matrices and modal splits, therefore retaining any special associations detected in the data but never completely accounted for in a model; this is particularly valuable when dealing with destination choice where the gravity model has never performed sufficiently well.

Both SACHAS and SACHDI are very general and allow the user to handle a wide range of responses. However, it is not envisaged that all of these responses will be relevant or practical in most cases.

The programs in SATCHMO can be used in a number of different ways; however, for the purpose of illustration one possible structure for their use in a case of peak spreading is shown in Fig 1.

## 8. NEW GRAPHIC FACILITIES

The development team decided to enhance current graphic facilities in SATURN, improving user interface and introducing new features for public transport. To achieve this, we developed two modules: SATLINK and SACHPI.

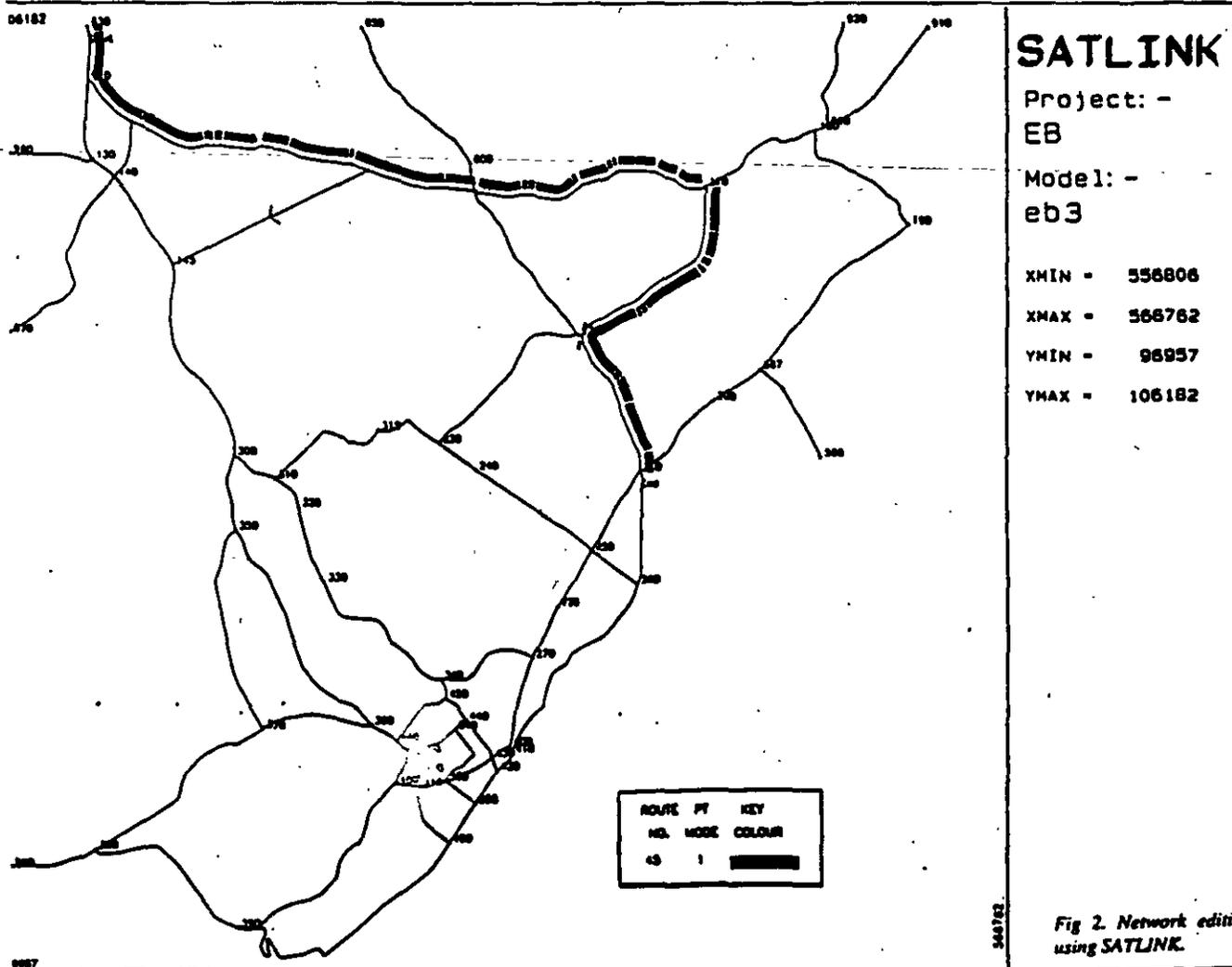
### 8.1. SATLINK

This is a completely new program that has been developed to facilitate the building and editing of both private vehicle and public transport networks. It uses mouse-driven screen graphics to simplify the procedures and improve model accuracy, but more importantly ensures that the output networks are fully compatible.

The program can perform a wide range of functions. As a precursor to running SATURN a private vehicle network data file may be created using digitiser or mouse input for further editing. Nodes can be easily renamed and repositioned, and links can be added, deleted or reshaped to allow more realistic plotting. At present, it is possible to change the characteristics of buffer links only, but this will be extended in Version 2 to allow respecification of simulated junctions and their conversion from buffer network, facilities that are currently available in SATD. We also propose to carry network shapes into the assignment plotting programs.

The inclusion of digitising facilities in SATLINK represents a major advance in network-building procedures. Nodes can be located directly from local maps and plans, and automatically allocated grid refer Buffer links can then be specified by any two nodes, shaped as appropriate using point editing facilities and defined in terms of their speeds-flow characteristics, which the user is asked to supply. Link lengths are initially based on straight-line distances, but this can be edited as required. SATLINK can be expected to save time and increase accuracy in network coding, thus representing a useful addition to the SATURN suite on its own.

Public transport networks can also be built and edited using SATLINK. Routes can be defined through the SATURN network using a mouse to identify key nodes and zoom control to adjust scale. Where routes utilise private vehicle links, speeds are read from SATURN files by SAT10 and adjusted as required to reflect dwell times. Elsewhere, special links can be introduced to represent segregated routes which are assumed to operate at fixed speeds. In this case, link characteristics must be specified by the user. As public transport networks are built and edited on screen, SATLINK creates the necessary files for input to SAT10 and update 'bus route' data already in the SATURN network file, if any. Figure 2 shows road and public transport networks being edited on-screen.



25

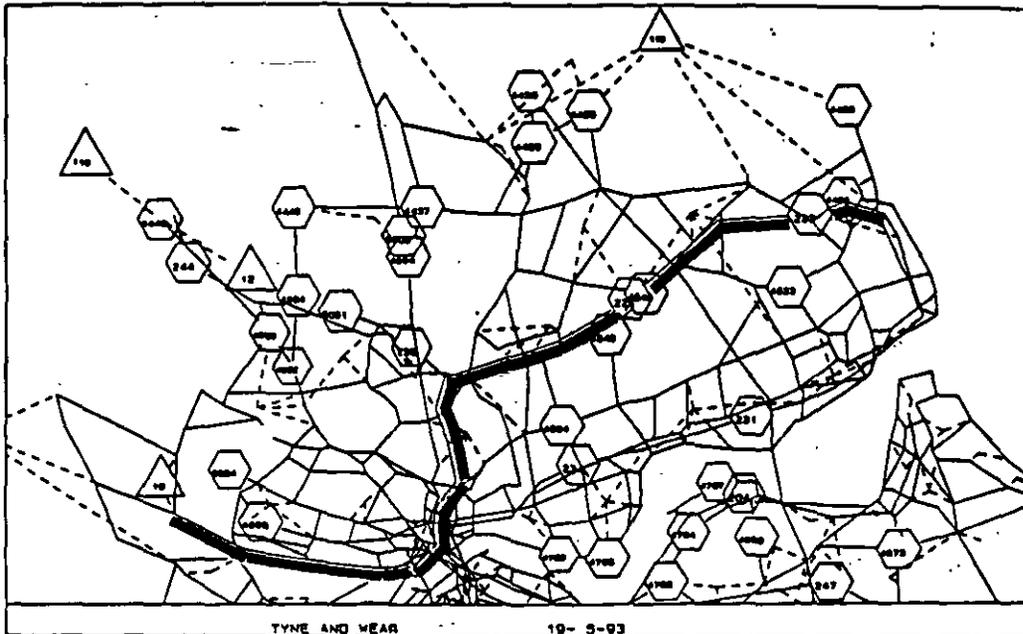


Fig 3 (left).  
Public transport path  
in SATCHMO.

Fig 4 (below).  
Heuristic 'feedback'  
of assignment costs to  
mode choice.

## 8.2. SACHPI

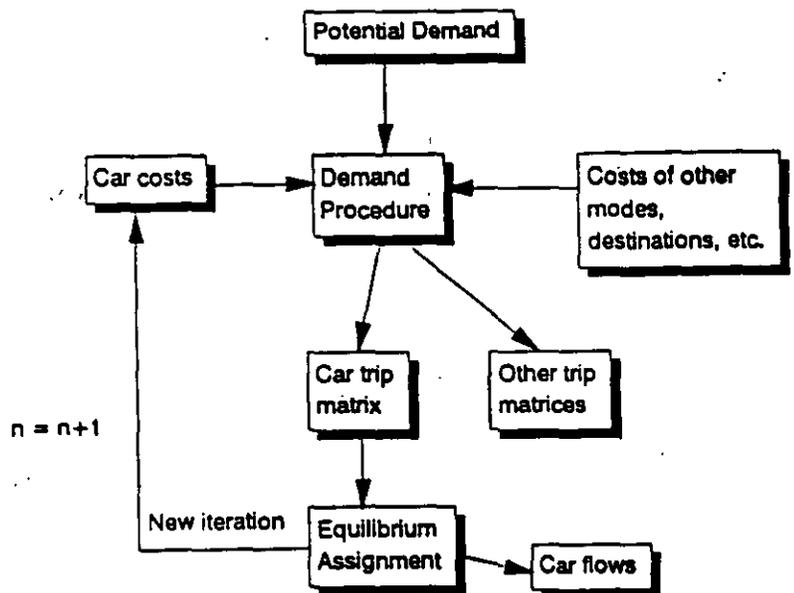
The SATURN plotting program P1 (Version 8.3) has been improved through SACHPI to provide enhanced graphic facilities. New additions include window menus, zoom facilities and mouse control, all of which are intended to simplify interactive use of the program. SACHPI also offers plotting facilities for public transport networks including link characteristics, paths and passenger flows. Figure 3 shows an example of the public transport performance plot produced by SACHPI.

## 9. EQUILIBRIUM

### 9.1. Theory and practice

Successful transportation modelling has always been a balance between theoretical purity and expedience, brought upon by restrictions of budget, manpower, computing power and time. A frequently-held view states that sound theory implies unnecessary complexity and data collection costs. This is, of course, not always the case and a good and sound theoretical basis can significantly reduce data collection costs and improve consistency of results and comparisons. An equilibrium framework for modelling offers precisely such advantages.

Equilibrium in traffic-assignment is now widely accepted as the best framework for modelling route choice. This is not because equilibrium represents *exactly* the way in which travellers choose their routes: equilibrium, which in this context means that all used routes between  $I$  and  $J$  have the same cost and no unused route has lower cost, is not expected to happen in practice. An equilibrium framework is preferred because the solutions it generates (flow and costs) are plausible, repeatable and consistent: no traveller appears to choose 'bad' routes, the travel costs are the same. In addition to this, there is a strong theoretical background to handle problems of convergence and consistency and this extends beyond traffic assignment alone — see, for example, Ortúzar and Willumsen<sup>9</sup>.



### 9.2. Choice modelling

In the case of multi-modal studies one would normally employ two or more of the classic sub-models (e.g. distribution, mode choice and assignment) in a sequential form. It has been recognised in some practical studies that travel costs used in different sub-models should be consistent: e.g. the travel times by road used in mode choice should be the same as those resulting from the assignment of the car matrix onto the road network. As an example, it is useful to have a closer look at one sub-model: mode choice for the journey to work.

Journey-to-work trips, at least in the short to medium term, have both their origin and destination fixed. The main choice facing trip-makers is of mode and routes to use. The priority is therefore to develop a model which addresses correctly both mode choice and assignment. In the simplest case two separate models will be used, with mode split executed first and resulting public transport and highway (car) matrices assigned to their respective networks second. The generalised

costs for each mode used in the mode-split model are often derived from cost skims of the unloaded networks. However, when the resultant matrices are assigned *new* intrazonal network costs are found. Only if the new highway costs are not significantly different from those used in mode split would this approach be acceptable. This is unlikely to be realistic in practice.

Recognising this problem, many studies have gone a further step using a system of 'feedback': after an initial application of the mode choice and assignment models the loaded networks are re-skimmed for cost, the mode-split model re-run and the overall process repeated a number of times. This heuristic method has been applied over the last 15 to 20 years, but its widespread use does not mean that it is immune from problems. Small differences between costs at each iteration are possible in areas with sparse traffic or very inelastic demand. In all other cases, one would suspect that costs may change and even oscillate between iterations.

### 9.3. Convergence and consistency

A generalised version of the heuristic method above is depicted in Fig 4. Here the total potential demand is split into a car matrix and other trips using a travel choice procedure. This procedure requires car travel times and costs and also information about the costs/utilities of alternative travel: *by other mode, at another time, to another destination or not to travel at all*. In the first instance the car costs are estimated from either an extrapolation of the base year or assuming that a fixed proportion of all future trips are car trips. The choice procedure produces a car matrix and a matrix of 'other trips' (suppressed or diverted demand). The assignment of the car matrix produces flows and car costs which can then be fed back and replace costs in the travel choice model.

The algorithm implicit in this arrangement can be outlined as follows:

#### Algorithm 1:

- Step 0) Make  $n=0$  and let  $T$  be the total demand matrix and  $C_c^n$  the costs of travelling by car: these could be assumed to be base-year costs for  $n=0$ .
- Step 1) Calculate the car trip matrix  $T_c^n$  using a travel choice model (e.g. logit mode choice model)
- Step 2) Solve the equilibrium assignment algorithm with  $T_c^n$  using suitable software and estimate the new costs  $C_c^n$ .
- Step 3) Make  $n=n+1$ : calculate a new car trip matrix  $T_c^n$  using the new costs  $C_c^n$ . If the two trip matrices are close enough ( $T_c^{n-1} = T_c^n$ ) stop and output costs and matrices; otherwise, go to Step 2).

There are several questions which should be asked for this type of procedure:

- (i) Is there a stable solution? in some or all cases?
- (ii) How close is the final solution to a true equilibrium; i.e. is the solution unique?
- (iii) How important is the number of iterations  $n$  undertaken? For example, would a different evaluation ranking be obtained if a different number of iterations were used?

In the 1970s and early 1980s, with lower levels of congestion, these questions were perhaps less important. The difference between iterations may have been small, giving the impression of equilibrium and stability. The growth of congestion, however, means that these questions cannot be answered with confidence without some theoretical considerations. Clearly, true convergence is required for trust to be placed in evaluation results and this can only be achieved using a rigorous modelling approach and specialist software.

Ortúzar and Willumsen<sup>9</sup> have discussed these issues and identified models which ensure a consistent solution to the problem of traffic assignment with elastic demand. In general terms, there is no guarantee that the iterative process in Fig 4 (Algorithm 1) will converge. Even if the costs in successive iterations are averaged the procedure is, in general, non-convergent. A better approach is needed.

### 9.4. Assignment with elastic demand

Methods for combining equilibrium methods with variable demand matrices have existed for some time — see, for example, Sheffi<sup>10</sup>. Probably the simplest one is the *excess demand* formulation which can be interpreted with the help of an extended network representation. In this case additional 'artificial' links between O-D pairs with suitable cost flow functions are used to represent trips diverted to other time-periods or simply suppressed. In other words, when congestion increases more and more trips will be diverted outside the road network and will travel along a pseudo network representing diverted trips. The choice of a 'suitable' cost-flow curve is not trivial; its rôle is to represent the disadvantages of being diverted. In its application, however, the model is simple; trip diversion to other time periods or simply suppressed is treated in the same way as trip diversion to other routes under congestion. The same Frank-Wolfe algorithm for equilibrium assignment can be used without modification.

Ortúzar and Willumsen<sup>9</sup> discussed the same problem placing emphasis in the interpretation of the diverted trips: to other modes, times of day or destinations. A simple version of a suitable approach is depicted in Fig 5.

Here the key difference with conventional heuristic methods is that instead of feeding back (and in some cases averaging) costs one *combines trip matrices*. This is analogous to the equilibrium assignment process where Frank-Wolfe's algorithm combines flows instead of costs and uses always the resulting costs for the next iteration. The combination of matrices can be achieved using a simple Method of Successive Averages (MSA) or a more advanced Frank-Wolfe algorithm with extensions, see Ortúzar and Willumsen<sup>9</sup>.

Note that in Fig 5 there is no flow interaction between diverted and car trips. This is correct if the trips are suppressed or diverted to other modes (e.g. rail) or time of day which do not affect, in turn, road congestion in the

modelled period. If this assumption is not valid — for example, if increased congestion in the off-peak means that some trips will be diverted back to the peak, a more advanced approach will be needed, but this is outside the scope of this paper.

The improved algorithm can be outlined as follows:

#### Algorithm 2

- Step 0) Make  $n=0$  and let  $T$  be the total demand matrix and  $C_c^n$  the cost of travelling by car.
- Step 1) Calculate the car trip matrix  $T_c^n$  using a travel choice model.
- Step 2) Assign  $T_c^n$  all-or-nothing to current link costs and let  $F^n$  be the vector of resulting flows. Set the vector of current flows  $V^n = F^n$  and estimate the new current costs  $C_c^n$ .
- Step 3) Let  $F^n$  and  $T_c^n$  be a descent direction for link flows and trip matrices respectively; make  $n=n+1$ .
- Step 4) Update flows and matrices as follows:

$$V^n = (1-\mu)V^{n-1} + \mu F^{n-1}$$

$$T_c^n = (1-\mu)T_c^{n-1} + \mu T_c^{n-1} \text{ where } 1 \geq \mu \geq 0$$

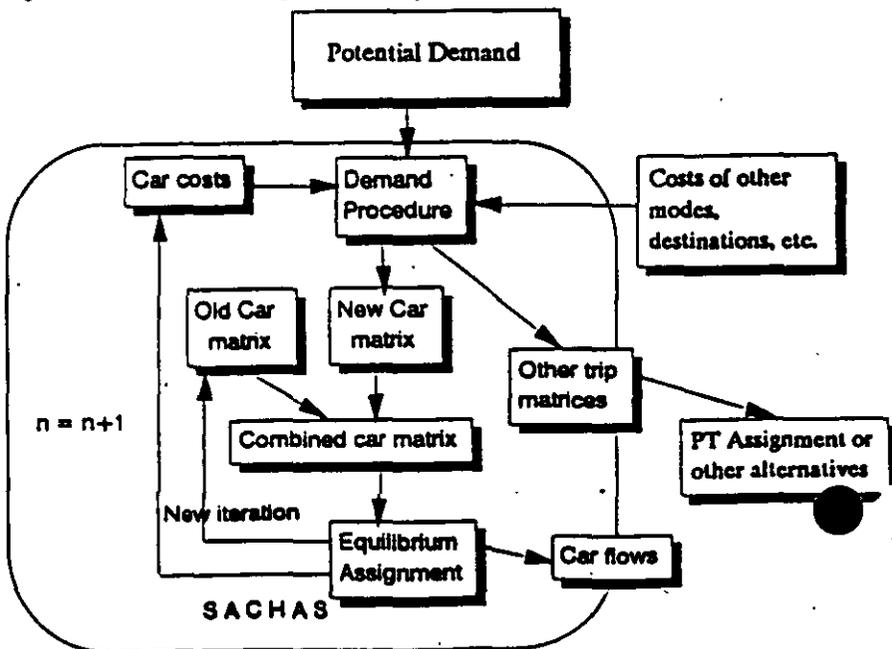
- Step 5) If a stopping condition is satisfied, e.g. the trip matrices are close enough ( $T_c^n = T_c^{n-1}$ ), stop and output costs and car matrices; otherwise, go to Step 2).

In the case of the MSA method  $\mu$  is estimated as  $1/n$ . SATCHMO uses the more advanced extension of Frank-Wolfe's algorithm with significant advantages in convergence speed.

### 9.5. An illustrative example

In order to contrast the results of applying conventional feedback against the use of equilibrium with travel choice modelling we used a simple network with 24 zones, 209 nodes and 321 links. A binary mode choice model was used with realistic scaling parameter  $\beta = 0.011$  and a modal constant of 10 (minutes).

Fig 5. Combined choice and assignment under equilibrium.



**Table 1. Total time spent by road in Network B, SATCHMO**

	Do minimum	Do something	Difference
<b>Algorithm 1</b>			
Heuristic			
Iteration 1	425 860	417 960	7 900
Iteration 2	985 330	895 660	89 670
Iteration 3	640 600	656 020	-15 430
Iteration 4	978 160	888 360	89 800
Iteration 5	641 900	657 500	-15 600
Iteration 5	978 170	888 360	89 810
<b>Algorithm 2</b>			
Equilibrium (SACHAS)	783 830	780 050	3 780

A *do something* change to this network involving an improvement to public transport and no change to the highway network was introduced. Then, the *do minimum* and the *do something* version of the model were run with the two algorithms above. The conventional Algorithm 1 was run using SACHD1 to undertake mode choice before pure road assignment using SATASS. Of course, Algorithm 1 could be implemented with almost any software package as it is applied externally to them. Algorithm 2 requires specialised software and to this end we used SACHAS. The results are displayed in Table 1 using total time spent on the road network (vehicle-minutes per time period) as an indicator of performance; this is part of the cost figures used in Cost-Benefit Analysis.

All figures are rounded. The following comments result from this example:

- (a) The conventional method of feeding back costs to mode choice and repeating the modelling process (Algorithm 1) can produce unstable results. This is not a feature of the software as the conventional methods are run externally to any package.
- (b) The conventional approach seems to be a high-risk one: it may or may not converge to a stable solution. In this case it simply oscillates between two extreme solutions: mode choice in

favour of public transport in one iteration and in favour of road traffic in the next.

- (c) As the number of iterations of the conventional feedback method is chosen arbitrarily, the appraisal may produce different results; a scheme may be better in one iteration and worse in the next. The results of an evaluation using this conventional approach (Algorithm 1) are not reliable.
- (d) The equilibrium assignment with elastic demand method (Algorithm 2) has at least three advantages:
  - efficiency (fewer iterations for stable results)
  - sound criteria for convergence
  - consistency and repeatability
- (e) The best way to ensure consistency in demand and assignment modelling is to use software capable of combining sub-models with equilibrium assignment.

**10. SIMULTANEOUS CHOICE AND ASSIGNMENT**

This approach is implemented, as stated before, in the new program SACHAS. This uses a generalised logit formation to estimate the proportion of trip-makers travelling by car now and those choosing other alternatives

as shown in Equation (1). In this context, an alternative *k* could be one of the following:

- a pure mode like BUS or a composite mode like PUBLIC TRANSPORT;
- an alternative departure time, 30 minutes earlier or later to avoid the worst of congestion;
- an alternative destination for trips where this is a realistic choice, e.g. some shopping trips.

The generalised costs of using these alternatives must be provided by SACHAS and these can be prepared using matrix manipulation modules in SATURN-SATCHMO and the Public Transport program SAT30; in any of these cases it is possible to use coefficients calculated from Stated Preference surveys or obtained from other sources.

The alternatives can be presented in a number of ways; for example, they can be nested, as shown in the hypothetical structures in Fig 6. Whenever alternatives are nested, the composite cost for the aggregated alternative is calculated using a logsum formulation. For a fuller discussion of these technical issues the reader is referred to Ortúzar and Willumsen<sup>9</sup>.

At present, Version 1 of SATCHMO allows only the nesting of alternatives that can be assumed to have generalised costs not changing significantly with assignment. This means that the costs, for example, of bus travel do not depend heavily on the assignment process. To be consistent, highway travel times should be calculated initially for a forecasting year without recourse to a complex nested structure. These travel times can then be used to produce congested bus times and the corresponding generalised costs. An analogous procedure should be followed for destination and time-of-day choice.

A utility program can then be used to calculate composite costs as necessary. SATCHMO does treat in detail and within an equilibration framework the effect of these choices on the road network. We believe that this flexibility is sufficient for current applications of this approach in the next few years. Our research and development programme for SATCHMO will result in more sophisticated approaches as the need arises.

Fig 6a. Nested structure for time of day and mode choice.

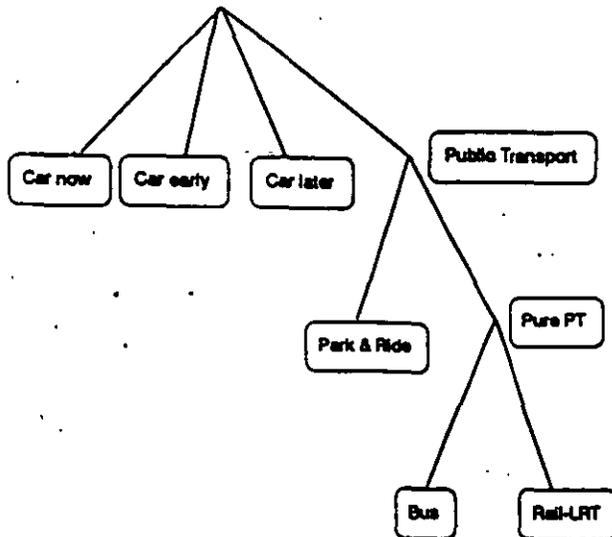
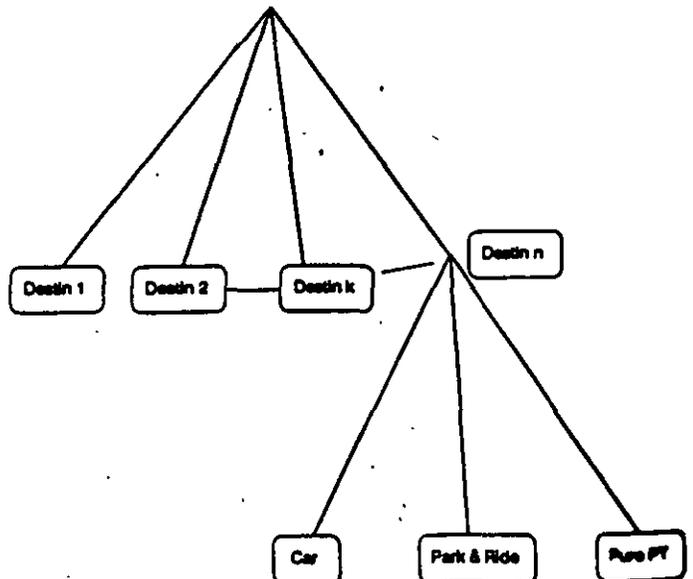


Fig 6b. Nested structure for destination and mode choice.



## 11. SUMMARY

SATCHMO complements SATURN through the provision of public transport and demand modelling capabilities. SATURN and SATCHMO, therefore, now offer a comprehensive modelling tool capable of handling:

- Detailed local congestion and traffic schemes and their implications on route, time-of-day, mode and destination choice.
- Strategic transport modelling using buffer networks and advanced public transport travel choice models.
- Combinations of the above — it is now possible to control local models to the results and networks of larger-scale strategic ones. This brings a significant enhancement to the interface between strategic and tactical transport planning and decision-making. The matrix estimation capabilities of SATURN-SATCHMO make it easier to update forecasts and plans as the transport and activity systems evolve over time.

The advantages of this combined approach are manyfold:

- The use of the most advanced traffic simulation and assignment package together with consistent demand estimation software.
- The ability to change the level of detail and analysis as required by a particular problem.
- The ability to use advanced mode choice (based on SP results) and assignment techniques and the possi-

bility of consistently handling parking restraint.

- Advanced assignment with elastic demand for consistent treatment of mode, destination and time-of-day choice with congested networks.
- Consistent treatment of (multi-mode) public transport networks in combination with SATURN.
- Low training requirements as a consistent software combination covers a wide range of problems and needs. This reduces learning costs, takes advantage of the experience in one area to enrich modelling in others, and provides a consistent approach across urban and inter-urban conditions.

### ACKNOWLEDGMENTS

*The work reported here has benefit from many colleagues and friends. We would like to acknowledge the contributions of Jaehak Oh, Helen Bowkett and Neil Chadwick of Steer Davies Gleave, Chris Marsh and Roger Hale from WS Atkins and, in particular, the comments and assistance of Dirck Van Vliet. We would also like to thank the many internal users of SATCHMO for their comments and suggestions. Special recognition is due to those helping with beta testing of SATCHMO.*

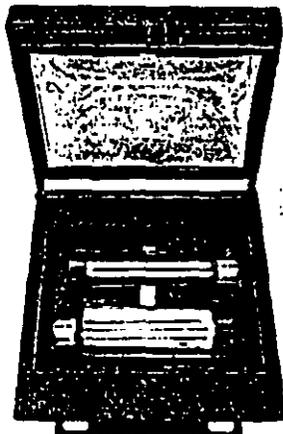
*The address of Dr Willumsen and Dr Bolland: Steer Davies Gleave, 23 Sheen Road, Richmond, Surrey TW9 1BN; and of Mr Hall and Dr Arezki: WS Atkins Planning, Woodcote Grove, Ashley Road, Epsom, Surrey KT18 5BW.*

### REFERENCES

- <sup>1</sup>HALL, M. D., D. VAN VLIET and L. G. WILLUMSEN. SATURN — a simulation assignment model for the evaluation of traffic management schemes. *Traff. Engng Control*, 21(4), April 1980, 168-176.
- <sup>1</sup>HALL, M. D., D. VAN VLIET and L. G. WILSEN. SATURN — a simulation assign. model for the evaluation of traffic management schemes. *Traff. Engng Control*, 21(4), April 1980, 168-176.
- <sup>2</sup>HALL, M. D., T. FASHOLE-LUKE, D. VAN VLIET and D. WATLING. Demand-responsive assignment with SATURN. *Proc., 20th PTRC Summer Annual Meeting*, UMIST, Manchester, September 1992.
- <sup>3</sup>AREZKI, Y., N. CHADWICK and L. G. WILLUMSEN. Congestion, evaluation and equilibrium: some empirical results. *Proc., 19th PTRC Summer Annual Meeting*, University of Sussex, Brighton, 1991.
- <sup>4</sup>ROGERS, K. Congested assignment and matrix capping — constraining the trip matrix to reflect network capacity. *Traff. Engng Control*, 32 (7/8), July/August 1991, 342-346.
- <sup>5</sup>HALL, M. D., A. DALY, R. DAVIES and C. RUSSELL. Modelling for an expanding city. *Proc., 15th PTRC Summer Annual Meeting*, University of Bath, Bath, 1987.
- <sup>6</sup>HALE, R. New applications of the SATURN traffic assignment package. *Transp Planning Systems*, 1(2), 1991, 45-52.
- <sup>7</sup>ABRAHAM, H., N. SHAW and L. G. WILLUMSEN. A micro-based incremental four-stage transportation model for London. *Proc., 20th PTRC Summer Annual Meeting*, Manchester, September 1992.
- <sup>8</sup>BATES, J. J., D. J. ASILEY and G. HYMAN. The nested incremental logit model: theory and application to modal choice. *Proc., 15th PTRC Summer Annual Meeting*, University of Bath, September 1987.
- <sup>9</sup>ORTUZAR, J. DE D., and L. G. WILLUMSEN. *Modeling Transport*. John Wiley and Sons, Chichester, 1990.
- <sup>10</sup>SHEPPI, Y. *Urban Transportation Networks*. Prentice-Hall, Inc., Englewood Cliffs, 1978.

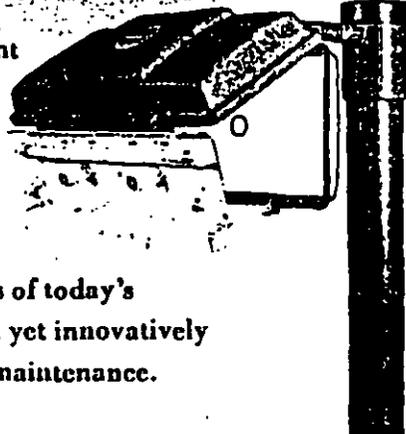
TRUESIGNS

# ESSENTIAL LIGHTING



The Quick Access Groundlight and T8P Sign Light are just two examples of Truesigns' dedication to design and manufacturing excellence.

All products are built to withstand the heavy demands of today's environment, feature-packed yet innovatively designed for quick and easy maintenance.



For further information, contact:

**TRUESIGNS LIMITED**

204 Oldbury Road, West Bromwich, West Midlands, B70 9DE  
Telephone: 021-553 2695 Facsimile: 021-580 0238



# Post-Calibration Adjustment of Travel Demand Models



BY ANTHONY A. SAKA

Long-range travel forecasting commonly has been considered a two-step process. The first step involves development and calibration of a base-year model. The second step involves travel demand estimation using the calibrated base-year model in conjunction with a forecast year, that is, planning-year land use and socioeconomic data. The two-step process is based on the premise that the parameters for the base-year model are valid for the planning year.

Reasonable results can be obtained using the above two-step travel forecasting process for fully developed communities or communities experiencing little or no growth. However, the two-step forecasting process is inappropriate for dynamic communities, that is, communities experiencing a major transition in land use and socioeconomic characteristics. Adjustment of model parameters to reflect changes in the planning-year land use and socioeconomic characteristics is a necessary intermediate step.

The adjustment factors for the individual model parameters can be determined via a two-step process. First, the cause-effect relationships between the calibrated base-year model parameters (endogenous variables) and the socioeconomic, demographic or environmental variables (exogenous variables) should be established. Second, suitable analytical technique (for example, regression analysis, Delphi technique) should be used to determine the appropriate adjustment factors for the planning year.

## Overview of Adjustable Model Parameters

A typical travel forecasting model comprises four modules: trip generation, trip distribution, modal split and traffic assignment. Each of the four modules contains submodels that perform specialized tasks.

*Trip Generation Module.* The trip generation module contains production (P) and attraction (A) submodels that generate production and attraction data. These submodels are almost always quasi-socioeconomic models. In other words, they comprise socioeconomic variables/parameters. Therefore, P and A submodels are susceptible to changes in socioeconomic trends. Experience has shown that the propensity for trip making is higher in urbanized areas than in suburban/rural areas.<sup>1</sup> Therefore, for a rapidly growing suburban/rural community, it is unlikely that the coefficient(s) of the calibrated base-year trip production submodel will remain stable for the planning/forecast year. In order to minimize the likelihood of underestimating the forecast-year trips, application of reasonable adjustment factors to the calibrated base-year model parameters will be necessary. Another component of the trip production submodel that should be considered for post-calibration adjustment is the external trip factors. Most rural/suburban areas produce a high number of external trips. Most of these trips are work related.<sup>1</sup> As these rural/suburban areas grow and expand

their economic base, fewer of their residents are expected to commute to external zones for shopping and work-related activities. Consequently, the calibrated parameters for external trips might not remain stable for the forecast year. Reasonable adjustment factors must be determined for the forecast year.

*Trip Distribution Module.* Most travel forecasting models use the Gravity Model for trip distribution analysis. "Friction factor" is an integral component of the Gravity Model. Friction factor is usually considered an inverse function of the "cost" of travel. The objective of the average trip maker is to minimize the opportunity cost associated with a given trip. For example, a commuter will usually undertake a comparative analysis of the cost of living close to employment and travel cost and will choose the most cost-effective alternative. Clearly, the parameter of the friction factor is affected by socioeconomic factors such as income distribution, employment and age distribution. For example, middle-income people are more likely to absorb higher travel cost and, hence travel longer distance than low-income people, and younger adults are more likely to travel longer distances than older adults. Therefore, for a study area that depicts dynamic socioeconomic characteristics, the parameter(s) of the calibrated base-year friction factor should be considered for post-calibration adjustment. For a forecast year, unadjusted base-year friction factor parameter(s) could result in

unreasonable distribution of trips. In addition, this could adversely affect the trip length frequency (TLF) data generated from the trip distribution module. Unreasonable TLF data will result in flawed modal split analysis. Another important component of the Gravity Model that should be considered for post-calibration adjustment is the zonal socioeconomic "K" factor. K factors can be used to effectively simulate zones that exhibit unusual trip interchange characteristics. External trip distribution factors are candidates for post-calibration adjustment. The well-known Fratar Growth Model can be used to effectively simulate the growth effect of the external zones on the study area. For a forecast year, reasonable growth factors for the Fratar Model can be determined from trend analysis.

**Modal Split Module.** A number of modal split models, including the well-known multinomial logit model, are based on utility maximization. Consequently, these models are quasi-socioeconomic models, susceptible to changes in socioeconomic trends. Commonly used independent variables for the utility functions include in-vehicle travel time, out-of-pocket travel cost, household income and household auto-ownership level.<sup>3</sup> The coefficients of the calibrated base-year utility function might not remain stable for the forecast year. Therefore, it will be necessary to determine appropriate forecast-year adjustment factors. The multivariate characteristics of most utility functions, however, will necessitate large-scale data collection and sound analytical judgment in determining the appropriate forecast-year adjustment factors.

**Traffic Assignment Module.** Commonly used traffic assignment techniques, including the all-or-nothing assignment, equilibrium assignment and stochastic assignment are based on travel cost minimization. These traffic assignment algorithms are based on the premise that the average trip maker usually selects the travel path that minimizes the travel cost. This is a globally accepted premise. Unlike the aforementioned trip generation, trip distribution and modal split models, traffic assignment algorithms are usually not significantly dependent on socioeconomic factors; everyone is interested in minimizing travel cost. Therefore, post-calibra-

tion adjustment of traffic assignment models/algorithms is herein not considered necessary. In other words, a properly calibrated base-year traffic assignment model should provide reasonable results in long-range forecasting. Nonetheless, it is important to note that the all-or-nothing traffic assignment algorithm, even when used in conjunction with capacity restraint, usually does not adequately simulate parallel roadway facilities. This poses some problems when new parallel roadway facilities are considered in transportation alternative testing. Experience has shown that a more effective solution to assignment problems associated with parallel roadway facilities is the use of the stochastic assignment algorithm with capacity restraint. This algorithm can be used alone or in conjunction with the all-or-nothing algorithm. The diversion parameter of the stochastic traffic assignment algorithm can be calibrated to obtain the desired traffic diversion without applying excessive adjustments to the network attribute data.

## Objectives

The purpose of this article is to use the 2010 travel demand model for the Fredericksburg, Va., area; that is, the RADCO Model<sup>1</sup> as a case example to illustrate the importance of post-calibration adjustments. The objective here is to emphasize that trip-making characteristics of a community are related to land use and socioeconomic factors. Therefore, in order to ensure reasonable results in travel demand forecasting, it is essential that post-calibration adjustment of model parameters be undertaken. This is necessary to address the effects of any changing patterns in land use and socioeconomic trend on trip-making decisions.

## Case Study Background

The Fredericksburg area (RADCO planning area) encompasses some of the most dynamic communities in the Commonwealth of Virginia. For example, between 1980 and 1990, two of the five localities in the RADCO planning area experienced a population increase of about 79 percent and 51 percent, respectively. Overall, the RADCO planning area experienced about a 44 percent population increase, from

118,670 people in 1980 to 170,4<sup>1</sup> ple in 1990. This population increase earned the Fredericksburg area an "urbanized area" designation.

The study area comprises mostly "bedroom" communities. At present, about a third of the workforce population in the study area are commuters working in neighboring Northern Virginia/Washington, D.C., and Richmond metropolitan areas.<sup>1</sup> The planning year 2010 proposed land use plans indicate that some of the localities in the study area will be experiencing a major transition in land use, from predominantly residential to a more balanced urban-type development. The anticipated change in development character of the study area necessitated the need to adjust the parameters of the calibrated RADCO model before using it for long-range travel demand forecasting.

## Overview of the RADCO Model

The RADCO model, developed and calibrated for the Fredericksburg area, is a composite model comprising five independent submodels for the five localities in the RADCO planning area (see Figure 1). The model initially was calibrated using 1985 as the base year.<sup>1</sup> It was later readjusted using 1990 as the new base year. Henceforth, the term base year will be used interchangeably with 1990, and the term planning year will be used interchangeably with 2010.

Three components of the RADCO model were considered for post-calibration adjustment. The first component comprises the trip productions for the individual localities in the study area. The second component comprises the proportion of internal-external (*I-X*) work trips for the individual localities in the study area. *I-X* trips are herein defined as trips that originate in the study area and end outside the study area. This type of trip usually is associated with commuters. The third component comprises the distribution of externally oriented trips. These trips are the internal-external trips (*I-X*) and the external-internal trips (*X-I*) trips.

The above three components were considered for post-calibration adjustment to reasonably reflect the growth effects of the study area and its external zones on trip-making decisions. It was

assumed that the study area would preserve its base-year demographic and socioeconomic characteristics through the planning year. In other words, although the study area's population and employment base would increase, the current income and age distribution of the residents would remain stable for the planning year. Consequently, it was unnecessary to adjust those model parameters that are susceptible to changes in socioeconomic variables such as income and age. These include the friction factor parameters of the Gravity Model for internal-trip distribution and the parameters of the utility (disutility) function of the aforementioned logit model for modal split. At the time the RADCO model was developed, however, there was no regular transit service in the study area. Therefore, the base-year RADCO model did not include modal split (see Figure 1).

### Planning-Year Trip Production Adjustment

A step-wise regression analysis was undertaken to identify the relationship between the endogenous variable, trip productions and the exogenous variables, population, housing unit and employment. In the regression analysis, it was assumed that all five localities in the study area belonged to the same sample space.

The first step of the regression analysis considered the three exogenous variables: population, housing unit and employment. The second step considered population and employment, and the third step considered housing unit and employment as the exogenous variables.

The best result was obtained by using housing unit and employment as the exogenous (independent) variables of the regression model. The resulting nonlinear aggregate model is expressed as:

$$T_i = \exp(-1.814 + 0.170 \ln(H_i) + 0.240 \ln(E_i)) \quad [1]$$

where,

- $T_i$  = Average trip production per household for locality  $i$ ;
- $H_i$  = Total housing units for locality  $i$ ;  $H_i > 0$ ;
- $E_i$  = Total employment for locality  $i$ ;  $E_i > 0$ .

A coefficient of determination ( $R^2$ ) value of 0.937 was obtained for Equation 1. It must be noted, however, that the high correlation value may be partly attributed to data aggregation at the local area level.

The model, Equation 1, was further enhanced by introducing an environmental correction factor  $D$  as a dummy variable. The resulting aggregate model is expressed as:

$$T_i = \exp(-1.433 + 0.253 \ln(H_i) + 0.111 \ln(E_i) + 0.204 \ln(D_i)) \quad [2]$$

where,

$D_i$  = Environmental factor for locality  $i$ , assumed to be 1 for an urban area and 0 for others.

A  $R^2$  value of 0.996 was obtained for Equation 2. An upper-limit trip-production value,  $T_{max}$  was introduced into the model as an "asymptote" for the  $T$ -curve. The rationale for introducing  $T_{max}$  in Equation 2 is to support the fact that the trip production for an area will eventually stabilize after development has reached a certain threshold. The final aggregate trip production model developed for the Fredericksburg area is expressed as:

$$T_i = \min[\{\exp(-1.433 + 0.253 \ln(H_i) + 0.111 \ln(E_i) + 0.204 \ln(D_i))\}, T_{max}] \quad [3]$$

where,

$T_{max}$  = Upper-limit trip production, assumed to be 10 trips per household for the study area. The assumed  $T_{max}$  value of 10 is based on deductions made from studies on neighboring Northern Virginia communities.<sup>2</sup> The anticipated planning-year level of urbanization of the study area is expected to be similar to the current level of urbanization of the Northern Virginia communities.

Equation 3 was used to estimate the 2010 trip production factors for all five localities in the study area. The calibrated base-year trip production factors for the five localities in the study area are 5.6, 8.4, 8.1, 5.6 and 8.4, respectively. The corresponding estimated planning-year trip production factors for the five localities in the study area are 6.5, 10, 10, 6.08 and 10, respectively. For the individual localities in the study area, the calibrated base-year disaggregate trip production models were adjusted for the planning-year using the aggregate trip production factors obtained from Equation 3 as a control. It is important to note that by undertaking a post-calibration adjustment of the trip production model parameters, much higher trip production factors for the planning year are obtained. Using the aforementioned two-step forecasting process would have resulted in gross underestimation of the planning-year travel demand.

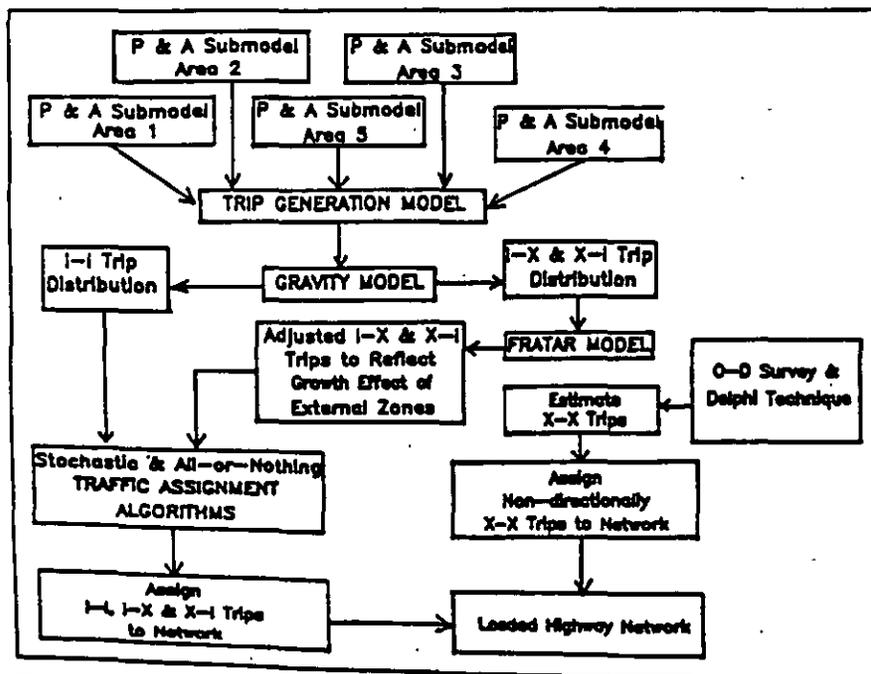


Figure 1. The RADCO model developed for the Fredericksburg area.

## Planning-Year External Trip Adjustment

The step-wise regression analysis previously discussed also was used to estimate the planning-year *I-X* proportion of home-based-work (HBW) trips. Here, the endogenous variable is *I-X* proportion of HBW trips, and the exogenous variables used are population, housing unit, employment and travel time factor. Using housing unit, travel time factor and employment as the exogenous (independent) variables of the regression model gave the best result. The resulting model is expressed as:

$$PIX_i = \exp[(5.163 + 0.615\ln(H_i) - 0.549\ln(E_i) - 0.565\ln(F_i))] \quad [4]$$

where,

$PIX_i$  = *I-X* proportion of HBW trips for locality *i*, and  $F_i$  = Travel time factor for locality *i*, that is average travel time from a given locality to a major external "attraction" zone.

An  $R^2$  value of approximately 1.00

was obtained for Equation 4. Here too, the high  $R^2$  value may be partly attributed to data aggregation at the local area level. Therefore, caution should be used in interpreting the  $R^2$  values obtained from Equations 1 through 4.

Using the planning-year housing unit, travel time factor and employment data, the corresponding  $PIX_i$  values were estimated for the five localities in the study area. The calibrated base-year  $PIX_i$  values for the five localities in the study area are 45 percent, 25 percent, 40 percent, 20 percent and 55 percent, respectively. The corresponding adjusted planning-year  $PIX_i$  values for the five localities in the study area are 35 percent, 25 percent, 38 percent, 22 percent and 52 percent, respectively.

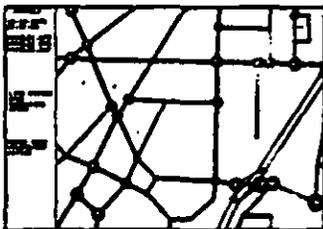
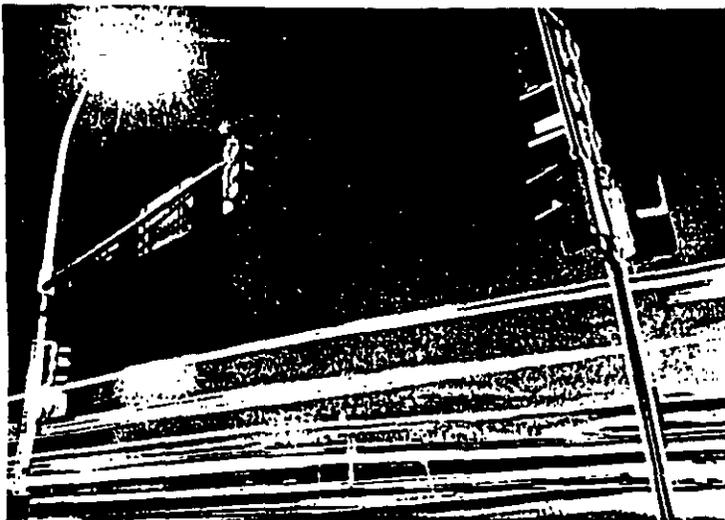
## Planning-Year External Trip Distribution Adjustment

The distribution of the external trips; that is, *I-X* and *X-I* work trips were adjusted for the planning year by per-

forming growth trend analysis for the external zones. Reasonable growth factors estimated for these external zones were used in the Fratar Model (see Figure 1).

## Conclusion

A common assumption is that travel demand models calibrated for base-year conditions will provide reasonable results when applied to a given time horizon. Consequently, a number of travel forecasting models are made without giving some consideration to the dynamics of demographic and socioeconomic characteristics of the study area. This commonly made assumption should be avoided in long-range travel demand forecasting for growing communities. Experience has shown that trip production and trip distribution characteristics usually are related to the degree of "urbanization." For example, rural areas generally exhibit lower trip rates and higher proportion of *I-X* trips than urban areas. Consequently, it might be necessary to



Dynamic delays at intersections based upon V/C ratios.

## Toll Free Support for your Intersections.

Traffic delay occurs at intersections. From regional models to traffic impact studies, delay at intersections is different than on streets.

TMODEL2 gives you the tools to model these delays efficiently and easily. TModel Corporation is well known for prompt, friendly, free support. Now it is also TOLL FREE!

If you have not seen TMODEL2 recently, you owe yourself a look today. You will be impressed by the speed, capacity, and the many new features. Things like integral land use and trip table graphics, automatic external zone calibration, and enhanced plotting.

For information on TMODEL2, other TModel Corporation products, and training call us today at 1-800-T2MODEL or 1-800-T2MODLR. Outside North America call 206-463-3768.



undertake post-calibration adjustment of some of the model parameters to reflect the planning-year conditions before undertaking a travel demand forecasting. This is particularly important for growing communities.

This article identified travel demand model parameters that should be considered for post-calibration adjustment. The methodology used for the adjustment of the RADCO model for the anticipated 2010 planning-year demographic and socioeconomic characteristics of the Fredericksburg area was used as a case example. In addition, from the RADCO model the likelihood of committing significant errors when critical model parameters are not adjusted for the planning-year conditions was illustrated. Three components of the RADCO Model were targeted for post-calibration adjustment. These were trip production, proportion of external trips and external trip distribution factors. The parameters of a travel demand model to be targeted for post-calibration adjustment should not be limited to these three components nor must they

include all three. The transportation planner familiar with the study area will have to use professional judgment to identify critical model parameters that should be adjusted for the planning-year conditions.

Finally, while nonlinear regression analysis was herein considered for establishing the relationships necessary to adjust the RADCO model parameters for the planning-year conditions, this method might not be appropriate for some study areas. Therefore, this author suggests that only method(s) best suited for the study area be considered. For example, a study area with little or no data to undertake a regression analysis might consider a case history approach, that is, borrowing models from other areas that exhibit similar characteristics.

#### References

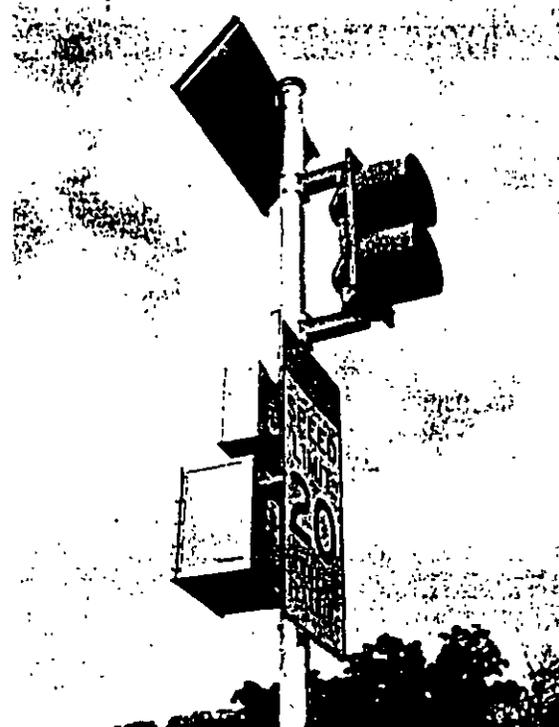
1. Saka, Anthony A. "Travel Demand Model Calibration for Areas with Heterogeneous Characteristics." *ITE Journal*, Vol. 62, No. 1 (January 1992): 40-43.

2. Metropolitan Washington Council of Governments. *Residential Trip Generation Study*. Washington, DC: National Capital Regional Transportation Planning Board, 1990.
3. Meyers, Michael D. and Eric J. Miller. *Urban Transportation Planning: A Decision-Oriented Approach*. New York, NY: McGraw-Hill Book Company, 1984.



*Anthony A. Saka, Ph.D., is principal transportation planning engineer with the Rappahannock Area Development Commission in Fredericksburg, Va. He received his B.A. in city and regional planning from the University of Southwestern Louisiana, his M.U.R.P. from the University of Pittsburgh and his Ph.D. in transportation engineering from the University of Virginia. He is an Associate Member of ITE and a member of Technical Committee 4A-21.*

# SOLAR SCHOOL ZONE FLASHER



## SOLAR ENERGY IS FREE

UNBREAKABLE SOLAR PANEL  
 RELIABLE RTC TIME SWITCH  
 QUALITY GEL CELL BATTERY  
 STANDARD SIGNAL HEAD  
 MODULAR VOLTAGE REGULATOR  
 CURRENT / VOLTAGE METER  
 DEPENDABLE RTC FLASHER  
 ANNUAL PROGRAMMING  
 AUTOMATIC DAYLIGHT SAVINGS TIME  
 LEAP YEAR COMPENSATION

CALL TODAY FOR DETAILS

# RTC

**RTC Manufacturing, Inc.**

P. O. Box 150189 • Arlington, TX 76015

(800) RTC-8721

In Texas (817) 860-1217

# Evaluation of Three Inexpensive Travel Demand Models for Small Urban Areas

C. J. KHISTY AND M. Y. RAHI

Conventional urban travel demand models, which are data-hungry, costly, and mainly meant for use in large cities and metropolitan areas, are not suitable for small urban areas with a population of 500,000 or less. These small urban areas generally lack the staff, expertise, and budget to operate the conventional models. Three simplified travel demand models are evaluated that are suitable for small urban areas and make use of routinely collected ground counts. These three models are applied in a common setting to the City of Pullman (1980 population 23,579) in the State of Washington. Socioeconomic data and routinely collected ground counts for 1970 were used as inputs to run the models, and the outputs (travel forecasts) were compared with 1980 ground counts, to determine their forecasting capability. All three models tested performed very well. The RMS error ranges between 9 and 15 percent, and the link volume forecasting capability for most of the links ranges between 10 to 15 percent of the observed volumes. Contacts with selected planning organizations in the State of Washington reveal that such methods will be useful in small urban areas, considering their staff, expertise, time and budget limitations. Currently, these small urban areas use unproven heuristic methods. The models described in this paper will considerably help small urban areas to forecast travel demands, using routinely collected traffic ground counts and socioeconomic data, with confidence.

A primary purpose of the transportation planning process is to generate information useful to decision makers on the consequences of alternative transportation-related actions (1). The objective of this process is to provide information necessary for making decisions on when and where improvements should be made in the transportation system, thus satisfying travel demands and promoting land development patterns that are in keeping with community goals and objectives (2). Much of the attention of transportation planners and policy makers in the past has concentrated on the problems of metropolitan areas. In recent years, however, there has been a greater awareness of transportation problems in small urban areas. Small urban areas, generally those with populations under 50,000, have somewhat different transportation planning needs as compared to large metropolitan areas. These needs require planning techniques that are less data hungry, less costly, and less time consuming.

This paper addresses the transportation planning needs of small urban areas with populations under 50,000. Nationwide, these small urban areas with populations between 2,500 and 50,000 have been gaining in their population share, as indicated in Table 1 (3). These population changes suggest a need

C. J. Khisty, Department of Civil and Environmental Engineering, Washington State University, Pullman, Wash. 99164. Current affiliation: Department of Civil Engineering, Illinois Institute of Technology, Chicago, Ill. 60616. M. Y. Rahi, Associated Traffic Consultants, 99 South Chester Ave., Suite 200, Pasadena, Calif. 91106.

for a renewed focus on the transportation planning requirements of small urban areas.

One of the most important pieces of information for making decisions regarding transportation improvements is the horizon-year traffic volumes on the major links of a city's transportation network. It is customary for most cities and counties to collect traffic counts on their street system on a routine basis. This data base, consisting of base-year ground counts, can be put to good use in forecasting horizon-year traffic flows. Some inexpensive techniques for forecasting travel demands have been developed in recent years, using routinely collected ground counts and socioeconomic data. However, they have, to date, not been evaluated and tested in a common setting.

This paper describes, discusses, and evaluates inexpensive travel demand models using routinely collected ground counts. In a report (4) prepared for the Washington State Department of Transportation, several methods were examined and four were found to be promising. Three of these four are applied in a common setting to the City of Pullman (population 23,579) in the State of Washington. Socioeconomic data and routinely collected ground counts for 1970 were used as inputs to run the models, and the outputs (link forecasts) were compared with 1980 ground counts to determine their forecasting capability. The reason for comparing only three of the four promising models is that the three evaluated in this paper are "calibrated" using the base-year traffic counts, while the fourth procedure (FHWA's Synthetic Traffic Simulation Method) is not "calibrated" or adjusted using the base-year traffic counts.

## OVERVIEW

Travel demand models using routinely collected ground counts are a comparatively recent endeavor. The development of a travel demand forecasting model based on base-year traffic ground counts was first initiated as recently as 1972 (5). In these models, the link traffic volumes in the base year are used for calibration; the horizon-year socioeconomic variables and base-year calibrated models are then used to predict the traffic volumes in selected links of the network for the horizon year (Figure 1).

The transportation characteristics of small urban areas as well as their prevailing transportation problems have been described in a U.S. Department of Transportation (USDOT) document (6). As seen in Table 1, the proportion of population living in small urban areas increased from 19.5 percent in 1950 to 39.6 percent in 1980. These population

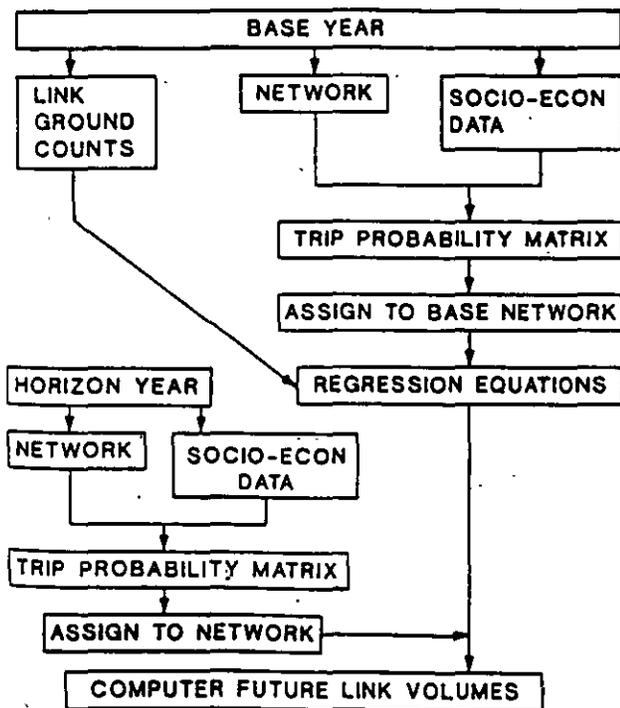
**TABLE 1 POPULATION SHARE OF COMMUNITIES OF DIFFERENT SIZES IN THE UNITED STATES (3)**

Size of Areas	% of Total Population			
	1950	1960	1970	1980
Large Urban Areas 50,000+	35.3	36.2	35.9	34.1
Small Urban Areas 2,500-50,000	28.7	33.7	37.7	39.6
Rural Areas Less than 2,500	36.0	30.1	26.4	26.3

changes have generated an awareness of the transportation problems of these areas, which were all too frequently overlooked in the past. For instance, the existing transportation systems must accommodate new land use developments and handle the local traffic impacts resulting from the development of new activity centers such as shopping centers, industrial parks, etc., which were not too common in the past. This trend demands the development of planning tools and methodologies suitable for use in such communities.

Unfortunately, the growth of population and the subsequent demand for transportation facilities and services in small urban areas have not induced a proportional growth in the planning staff, budget, and other resources in these areas. As

a result, most of these communities lack the resources necessary to run sophisticated conventional transportation models to make appropriate decisions. Most recently, in a survey conducted in the State of Washington, a selected number of county and regional planning councils, conferences, and commissions representing small- and medium-size urban areas were requested to express their experiences in forecasting travel demands in their study areas. In their responses, most of them indicated that the conventional models are inappropriate for use and that simplified, easy-to-understand, and inexpensive travel demand models would be useful, if available. They also mentioned that the lack of qualified staff, expertise, time constraints, and a limited budget often added to their problems (4).



**FIGURE 1** Flow chart of a travel demand model based on ground counts.

**DESCRIPTION OF THE MODELS**

It is customary for most cities and counties, including small urban areas, to collect traffic counts on their street system on a routine basis. For most small urban areas these counts serve the purpose of comparing and validating the estimates of the link volumes forecasted by some heuristic methods. Since these data are readily available in any small urban area, it was felt that demand models that make use of these data as basic inputs in travel forecasting would be the best choice for the small urban area planner. Several such models have been identified, of which four have been found applicable for small urban areas (4). These four models can be easily applied to small urban areas, because the input requirement of these models, besides link ground counts, is minimal. Moreover, the computational resources and expertise needed to run these models are also within the capability of the small urban area planner.

The four models identified as applicable for small urban areas are:

1. Low's model;
2. FHWA's Synthetic Traffic Simulation Method;
3. Neumann et al.'s technique; and
4. Khisty-AIzahrani's model.

A brief description of each of these models follows.

### Low's Model

In this model, traffic volumes are determined one link at a time, primarily as a function of the relative probability that one link will be used in preference to another (5). Interzonal trip probabilities are assigned to the network, using traffic assignment procedures, to produce estimated trip probabilities on a link-by-link basis. Regression equations are developed to relate the counted link volumes to assigned trip probabilities and other link characteristics. These equations are then used to estimate link volumes for the horizon year, after determining and assigning new interzonal trip probabilities to reflect those conditions. The procedure was applied as a volume forecasting model for a metropolitan area in West Virginia. Hogberg (7) as well as Smith and McFarlane (8) evaluated the model by applying it to various small urban areas.

Some theoretical limitations have been pointed out in Low's model. In contrast to the conventional urban transportation demand (UTD) models, it does not exhibit model stability over time because of incorrect specifications. One misspecification is in representing trip productions and attractions by only production and attraction characteristics. The result is that the changes in the trip-making propensity of the study area population over time are not included in the model. For example, the population of an urban area could remain stable over time, but the number of trips could increase dramatically because of increases in, say, auto ownership.

A step-by-step procedure of the model follows:

1. Estimate trip productions and attractions for the zones. For work trips, zonal productions  $P_i$  equals the number of workers living in zone  $i$ , and zonal attractions  $A_j$  equals the number of employments located at zone  $j$ . This has to be done for both base year and horizon year.

2. Calculate  $f_{ij}$  (friction factors between zones  $i$  and  $j$ ) using the equation:

$$f_{ij} = P_i A_j^{-2}$$

where  $t_{ij}$  is the travel time between zones  $i$  and  $j$ .

3. Assign  $f_{ij}$  (friction factors) to the network by all-or-nothing technique.

4. Develop regression equation, using the available link counts, as follows:

$$V^k = a + b \sum P_i^k f_{ij}$$

where  $V^k$  is the base year traffic volume on link  $k - l$ ;  $P_i^k$  is equal to 1 if trips between  $i - j$  is found on link  $k - l$ , 0 otherwise; and  $a$  and  $b$  are calibrated constants.

5. Estimate the horizon year link volumes using the regression equation and the assigned horizon year  $f_{ij}$  values.

### FHWA's Synthetic Traffic Simulation Method

This simulation procedure has essentially the same components as that of the conventional transportation planning process, namely, trip generation, distribution, and assignment (9). Modal choice is not considered since the role of mass transit is relatively minor in most small urban areas. The basis

of the approach is the borrowing of information and experiences from other studies to develop trip generation distribution models. By borrowing travel relationships from a home interview survey and much of the data editing and analyses are eliminated. This elimination results both in reduced costs and in great time savings. Small cities are defined as those having less than 100,000 population.

The process begins by collecting standard socioeconomic and traffic count data. An internal origin and destination survey is eliminated. The highway network and appropriate zone are coded. Trip generation relationships (cross-classification trip rates or equations) are selected from other cities of similar size and characteristics. Productions and attractions for each trip purpose by zone are computed. These results are checked for reasonableness by the use of selected control zones, comparison of estimated vehicle-miles of travel (VMT) with actual VMT, and comparison of trip rates per dwelling unit (DU) and per capita with other similar studies. The productions and attractions are distributed by purpose using the gravity model and friction factors transferred from other transportation studies. The resulting trip length frequencies for each trip purpose are checked for reasonableness by comparison with the frequency curves from similar urban areas. The trip assignment is then made to the existing network. Gross checks and fine tuning are done to adjust the model.

Several small urban areas have successfully used the approach, achieving satisfactory reproduction of travel patterns. With reasonable care, the procedure should produce results which are good enough to be used in making decisions regarding future transportation plans and for the evaluation of the current system adequacy. Experienced transportation planning personnel and data analysts are needed to apply the method. Standard socioeconomic data, traffic counts (standard cordon, central business district cordon, screenline crossings, etc.), and highway network details are needed, as well as a comprehensive knowledge of models, procedures, and results of similar transportation studies.

The merits of the procedure lie in the large savings in cost, time, and effort, due to the elimination of the internal survey and minimal data editing and analysis. The limitations, however, include dependence on other transportation studies of similar dimensions, which may be difficult to come by. Inaccuracies from borrowed relationships may also be carried over. On the face of what has been stated here, this procedure is not as simple and efficient as it sounds. The saving in time and money lies in transferring rates from other studies.

A step-by-step procedure of the model follows:

1. Borrow trip rates for zonal production and attraction from other studies.

2. Apply the gravity model to distribute the zonal productions and attractions. The friction factors can be borrowed from NCHRP 187 (10).

3. Assign distributed trips to the network.

This model is not evaluated in this paper along with the others for reasons mentioned before.

### Neumann et al.'s Technique

The model directly estimates areawide, all-purpose trip production rates (11). The method distributes and assigns zonal

socioeconomic variables (autos, dwelling units, and population) directly to the study area network. External trips are subtracted from the total ground counts to obtain the internal trips of the area. These ground counts are entered into a linear regression model as the dependent variables, and the assigned socioeconomic variables are entered as the independent variables. The resulting regression coefficients are the estimates of the areawide, all-purpose trip production rates.

The method is sensitive to the friction factor curves used in the trip distribution step. The methodology was tested in Lynchburg, Va. (1970 SMSA population 146,000), and Lexington, Ky. (1970 SMSA population 295,000). Estimated production rates obtained were within 96 percent of true rates. It produces accurate results and can be used in verifying borrowed production rates in the synthetic procedures. Since the method is sensitive to the accuracy of the friction factors utilized, a large proportion of the count stations should be located outside the central business district (CBD). In addition, data must be available on external-external and external-internal trip volumes for the city. This suggests that the methodology might find application in cities where the resources are sufficient to conduct external surveys. If a coded network is already available, the effort required for analysis could involve about three man-days, and the cost of data collection would be negligible.

A step-by-step procedure of the technique is shown below:

1. Assign base year socioeconomic variables directly to the network. The socioeconomic variable available for application will be the zonal population. The gravity model is used to distribute the variables. The zonal population and employment (as attraction) for base year are used for this purpose. The friction factors for the model are borrowed from NCHRP 187 (10). Using the travel time matrix, the gravity model is applied to distribute the socioeconomic variable. Assignment of this matrix gives the link totals for the socioeconomic variable (population).

2. Develop regression equation. The available link counts are used as the dependent variable while the corresponding link totals for population are used as independent variable for regression analysis. The following regression equation results:

$$V^{kt} = a + b \sum P^k X_p^{kt}$$

where  $V^{kt}$  is the base year traffic volume on link  $k - l$ ,  $a$  and  $b$  are the calibrated constants, and  $X_p^{kt}$  is the contribution of socioeconomic variable  $p$  to link  $(k - l)$ , and  $P^k$  is either 1 (if link is contributed by  $p$ ) or 0 (otherwise). Constant  $b$  is the areawide trip rate per person.

3. Assign socioeconomic variables for the horizon year. The horizon-year zonal population and employment are used to distribute the socioeconomic variable in the horizon year. The same set of friction factors are used in the gravity model. When the socioeconomic variable is assigned to the network it gives the link totals for the horizon year. These totals are used in the regression equation developed from the base-year data to estimate the horizon-year link volumes.

#### AlZahrani's Model

This is an internal volume forecasting (IVF) model based on Low's model (12). The model incorporates improvements sug-

gested by Smith and McFarlane (8). To eliminate the errors in Low's model, the model recommends replacing the zonal production and attraction characteristics with direct estimates of trip productions and attractions, and including origin zone accessibility in the denominator of the probability factor. The production and attraction variables and the friction factors are modified in this model as follows:

1. The production zone variable ( $P_i$ ) is replaced by  $ER_i$ , the number of employees residing in zone  $i$ .

2. The attraction zone variable ( $A_j$ ) is replaced by  $EW_j$ , the number of employees working in zone  $j$ .

3. The friction factor values [ $F(C_{ij})$ ] are calculated in a manner similar to that used in trip distribution models.  $F(C_{ij})$  is an indirect indicator of the cost of travel ( $t_{ij}$ ) between zones  $i$  and  $j$

$$F(C_{ij}) = \exp(-0.10t_{ij})$$

The second theoretical limitation is avoided simply by dividing the attraction term  $EW_j$  at the destination by the total attractions of the study area,  $\sum_j EW_j$ .

The model was applied to the City of Spokane, Wash. (1980 population 171,300). The 1970 data were used to calibrate the model. The calibrated model was used to forecast the traffic volume for the horizon year 1980. It was assumed that the major street network would not change significantly between the base year and the horizon year. The only data that were necessary for the application of the model were the two variables  $ER_i$  and  $EW_j$  for 1980, which were obtained exogenously. These values as well as the friction factor matrix were used to obtain the horizon-year trip interchange indices matrix. External-external and external-internal volumes on the links were obtained from suggestions provided in NCHRP 187 (10).

A comparison of the model with Low's original model indicated that the model output gave somewhat better results. Also, a comparison of the observed and the estimated horizon-year link volumes was made. Although the actual to estimated volumes for the horizon year ranged from 0.93 to 1.27, most volume groups were within 10 percent of the actual volumes.

Because network configuration and census data are generally available, the effort required to work the model for a small- or medium-sized city might involve 10 to 15 man-days. The model combines several conventional submodels into one process, and the output in terms of traffic volumes can be statistically described and tested. The model is quick, reliable, and transparent for forecasting travel in small urban areas.

A step-by-step procedure of the model follows:

1. Determine the number of workers residing in (labor force) and number of jobs available at each zone of the area under study.

2. Calculate values of the trip interchange index  $I_{ij}$  according to the formula:

$$I_{ij} = ER_i \frac{EW_j}{\sum EW_j} F(C_{ij})$$

where

$ER_i$  = number of workers residing in zone  $i$ ,  
 $EW_j$  = number of jobs available at zone  $j$ ,

$F(C_{ij}) = e^{-0.14C_{ij}}$  = friction factor between zones  $i$  and  $j$ , and  
 $t_{ij}$  = travel time between zones  $i$  and  $j$ .

$I_{ij}$  values are calculated for all the interchanges for both the base year and the horizon year.

3. Assign the  $I_{ij}$  values to the network. The all-or-nothing assignment is used to calculate the sum of the values of  $P_{ij}^k I_{ij}$  for each link.  $P_{ij}^k$  values are equal to either 1 (if the trips between  $i - j$  is found on link  $k - l$ ), or 0 (if it is not).

4. Develop regression equation. Using link counts as the dependent variable  $\Sigma P_{ij}^k I_{ij}$  as the independent variable in the regression, the following equation is developed for use in the horizon year:

$$V^{kl} = a + b \Sigma P_{ij}^k I_{ij}$$

where  $V^{kl}$  is the base year volume on link  $k - l$ , and  $a$ , and  $b$  are calibrated constants.

5. Calculate horizon-year  $\Sigma P_{ij}^k I_{ij}$  and forecast for link volumes. The horizon-year values of  $I_{ij}$  are assigned to the network, and the values of  $\Sigma P_{ij}^k I_{ij}$  are calculated for all the links in the horizon year. These values are used in the regression equation developed from the base-year data to obtain the forecast-year link volumes.

#### APPLICATION OF THE MODELS

Three of the four models described in the previous section were selected for application in a common setting, because they emerged as the most promising techniques out of a total of 13 techniques considered for use in small urban areas (4).

The criteria used to screen these techniques out of the recently available techniques were the following:

1. amount and type of data required;
2. transparency of the methodology used (i.e., absent "black-box" effect);
3. simplicity in application;
4. ease of updating;
5. use of ground counts;
6. avoidance of large-memory computers;
7. use of hand-held calculators and/or personal computer;
8. cost of running the models;
9. time required in application; and
10. expertise required to run the models.

These ten criteria provide a rough measure of the suitability and applicability of the models for small cities. Table 2 shows applicability scores of these models. The application of three models in a common setting was considered important because the result of this experiment would provide a comparative evaluation of the models in terms of their performance, i.e., ease of their application, resource and time requirements, and accuracy. The City of Pullman in the State of Washington was chosen as a suitable free-standing suburban area for this evaluation. The city had a 1970 population of 20,509, which grew to 23,579 in 1980. Ground counts were available for this city for both the 1970 and the 1980 transportation network. The socioeconomic data required by the models were also available from the census records of 1970 and of 1980. The 1970 data were used to obtain the forecast trips and these were compared to the actual 1980 ground counts. In the following sections, the data collection methodology and the performance of the models are described.

TABLE 2—APPLICABILITY SCORES OF THE METHODS [RANGE: 0 (BAD) TO 5 (GOOD)]

Model	Criteria										Total
	Data Required	Transparency	Simplicity	Ease of Updating	Use of Counts	Computer Required	Calculators/PC	Cost of Running	Time Required	Expertise Needed	
Low	4	1	3	0	5	4	4	5	5	4	33
FHWA	4	4	4	4	2	3	2	3	4	3	33
Neumann	4	4	2	3	4	3	3	4	4	3	34
Khisty-AIZahrani	4	4	3	4	5	4	4	5	4	3	40

### DATA COLLECTION FOR THE MODELS

The minimum data needed by each of the three models are basically same. Data for both the base year and the horizon year were needed to apply the models and test their performances. The common set of data collected for the City of Pullman included:

- transportation networks for both base year (1970) and the horizon year (1980), showing the zones of origin and destination of trips along with travel times on the links,
- traffic counts on the links of the network, for both base year and the horizon year,
- population of each of the planning zones, for both base year and the horizon year, and
- employment data at each of the planning zones, for both base year and the horizon year.

The transportation network did not change significantly between the base year (1970) and the horizon year (1980) in the City of Pullman. The population and employment data for the city, obtained from the Bureau of Census by census tracts (CT), enumeration districts (ED), and small census districts (CD), were used in demarcating five planning zones. Zonal population and employment data were derived for both the base and the horizon years. These zones, along with the transportation network, are shown in Figure 2. For this anal-

ysis, the transportation network consisted of five planning zones, eleven major links and ten major nodes. There were also four external zones that contributed traffic to the link volumes on the major links.

The one census record that was easily accessible and useful was the Summary Tape File (STF) 3A. In particular, the data coded at Summary Level 15 in the STF 3A were sufficiently good for deriving zonal data. Although the zonal population data were readily available for both the base year and the horizon year, this was not the case for zonal employment opportunities data.

As mentioned earlier, the ground counts on the links of the transportation network of the city were readily available from the city engineering department. These data were recorded link-by-link in two city traffic study reports, one conducted around 1970 and the other around 1980. These reports provided road-link inventories as well.

Because travel demand forecasting models described here depend on exogeneous information on external trips, and their appropriate assignment to the internal network of the city, it was essential to seek an appropriate method to accomplish the external trips assignment on the network of the small urban area. The City of Pullman has four external neighboring communities, and traffic cordon counts in these neighborhoods were available in the traffic studies. Therefore, the methodology described in NCHRP 187 (10) to account for external trips was adopted. However, extreme care had to be

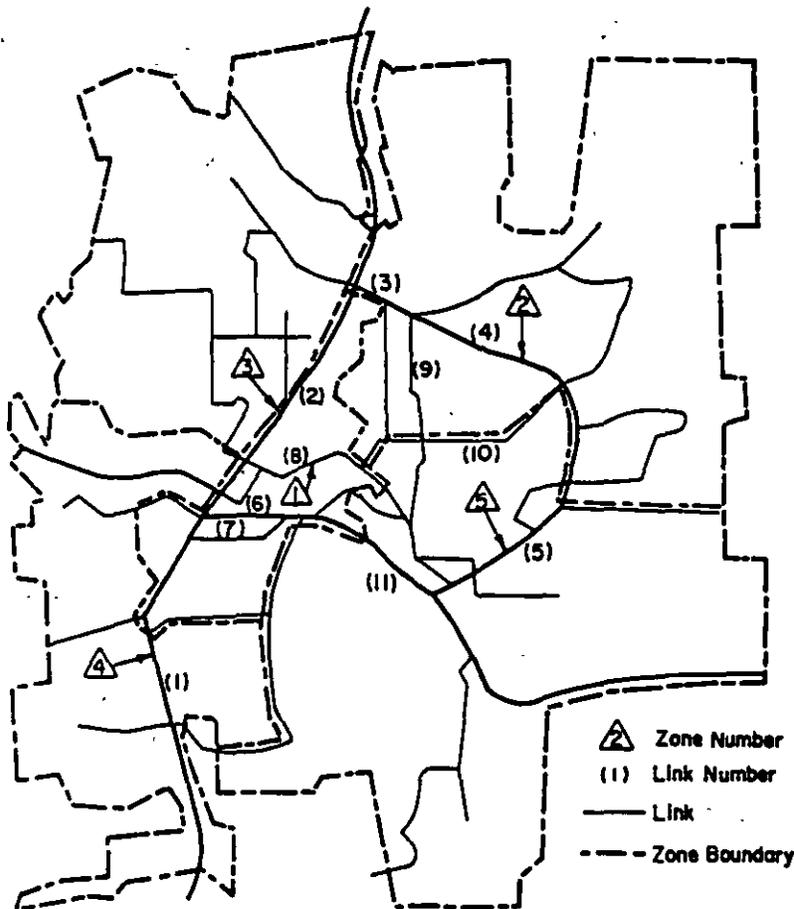


FIGURE 2 Transportation network of Pullman, Wash.

taken in assigning the external trips on the internal networks, although for most small urban areas, this task should not be a tedious exercise.

### PERFORMANCE OF THE MODELS

All three models performed sufficiently well, although individual performance varied. All the models were first calibrated using the 1970 socioeconomic and transportation ground count data. This calibration yielded regression equations that could be used to forecast the horizon year (1980) link volumes. For the calibrated models, the goodness-of-fit of the regression equations was justified by the coefficient of determination ( $R^2$ ) value and the Student's  $t$ -test. These values are shown in Table 3. The values appear to be quite reasonable, since the  $R^2$  values are all above 0.80 and  $t_0$  exceeds the threshold  $t$  of 3.25 at 99 percent confidence level with nine degrees of freedom.

After the horizon-year link volumes were forecasted by each of the models, they were compared with the actual 1980 traffic volumes of the corresponding links. Another set of regression equations was developed to relate the 1970 actual traffic volumes to the 1980 estimated traffic volumes of the corresponding links, so that the link volumes of minor street links (which were not used in the model calibration step) could also be forecasted. Once again, the goodness-of-fit of these equations was tested for validity. These values are shown in Table 4. The  $R^2$  values range from 0.65 to 0.76, while  $t_0$  once again exceed the threshold  $t$  of 3.25 at 99 percent confidence level with nine degrees of freedom.

Finally, for the comparison of the link volumes estimated by each of the models with those observed on the corresponding links, the root mean square (RMS) error and the percent RMS error values of each of the models were calculated and compared. The Percent Root Mean Square Error (% RMS) is defined as the ratio of the RMS error to the mean of the observed output variables. The RMS error, known as standard error, is the standard deviation of the sampling distribution. These are given as:

$$\text{RMS error} = [\sum(V_0^N - V_e^N)^2 / (N - 2)]^{1/2}$$

TABLE 3 GOODNESS-OF-FIT OF MODEL CALIBRATION

Model	$R^2$	$t$ -test
Low	0.82	$t_0 = 6.29 > t_{9,0.005} = 3.25$
Neumann	0.80	$t_0 = 5.94 > t_{9,0.005} = 3.25$
Khisty	0.86	$t_0 = 7.50 > t_{9,0.005} = 3.25$

TABLE 4 GOODNESS-OF-FIT OF MODEL FORECASTING

Model	$R^2$	$t$ -test
Low	0.76	$t_0 = 5.38 > t_{9,0.005} = 3.25$
Neumann	0.65	$t_0 = 4.05 > t_{9,0.005} = 3.25$
Khisty	0.76	$t_0 = 5.31 > t_{9,0.005} = 3.25$

and

$$\% \text{ RMS Error} = \frac{\text{RMS Error}}{V_e} \times 100$$

where  $V_0^N$  is the observed volume on link  $k - l$ ,  $V_e^N$  is the estimated volume on link  $k - l$ ,  $N$  is the number of links, and  $V_e$  is the arithmetic mean of the observed link volumes. The values gave an individual performance of the models. The results of these evaluations are shown in Table 5. The range between 9 and 15 percent appears to be most satisfactory.

For a critical examination of the performance of the models the ratios of the 1980 observed to estimated link volumes ( $V_0/V_e$ ) are tabulated for each of the models in Table 6. The range of  $V_0/V_e$  is 0.76 to 1.11 for the Low model, 0.82 to 1.17 for the Neumann technique, and 0.81 to 1.09 for the Khisty-AlZahrani model. Low's model generally estimated link volumes lower than observed, with half the links within 10 percent of actual volumes. Neumann's model fared about the same, while the Khisty-AlZahrani model produced most of the link volumes within 10 percent of the actual volumes. Figures 3 through 5, the observed 1980 link volumes are plotted against the corresponding link volumes estimated by each of the models. While all three models perform well, the performance of the Khisty-AlZahrani is good from all aspects

TABLE 5 EVALUATION OF THE MODEL ESTIMATES

Model	RMS Error	% RMS Error
Low	1693.85303	15.04043
Neumann	1542.41626	13.69575
Khisty	1063.20752	9.44066

TABLE 6 RATIOS OF OBSERVED TO ESTIMATED VOLUMES ( $V_0/V_e$ ), BY LINK, FOR THE THREE MODELS

Link No.	Low	Neumann	Khisty
1	0.929	1.098	1.031
2	0.784	0.938	0.881
3	0.980	1.171	1.081
4	0.837	0.968	0.911
5	1.114	1.073	1.071
6	0.905	0.821	0.907
7	0.804	0.837	0.883
8	0.812	0.868	0.905
9	0.764	0.789	0.805
10	1.046	1.049	1.084
11	0.924	0.847	

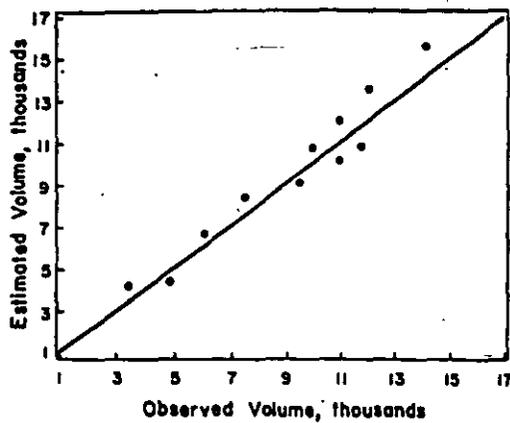


FIGURE 3 Performance of Khisty-AlZahrani model.

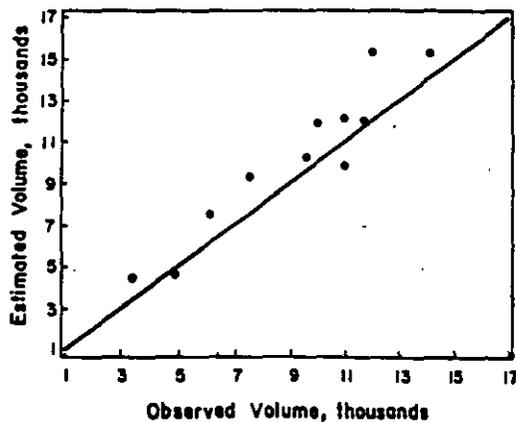


FIGURE 4 Performance of Low model.

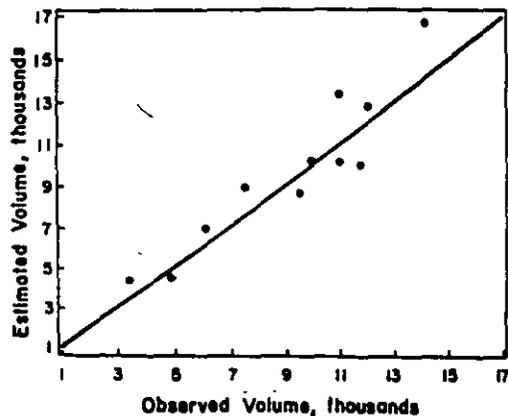


FIGURE 5 Performance of Neumann technique.

## DISCUSSION OF RESULTS

The intention of this evaluation was not to proclaim a winner. Any of the three models can be easily applied in any small urban area setting with a population less than 50,000. The techniques can also be applied to larger urban areas.

These models would be particularly useful to transportation planners at the regional and local levels who are concerned

with the planning and operation of transportation facilities and services in small cities or urban areas, especially those that are free-standing in rural regions but also those that are extensions of large metropolitan areas. The use of these models will result in considerable savings in time, money, and manpower, besides enabling decision makers to examine a variety of alternative plans reflecting broad policy. The use of these models can be highly recommended for modeling small urban areas, where transportation system management analysis is needed but qualified full-time transportation planners are not available on the planning staff. Caution, however, needs to be exercised regarding:

- the choice of socioeconomic variables (more experience needs to be gained from further application of the models in cities of varying sizes);
- the application of the models to cities having high percentage of mass-transit patronage;
- the fact that the outputs from these models are in terms of trips for all purposes (home-based, nonhome-based, and other trips could possibly be worked out with additional data);
- the exclusion of external-external, external-internal, and internal-external trips (count stations located on the cordon line would be most helpful in dealing with the forecast of such trips); and
- the use of this type of model for crucial policy options (the model is sensitive only to network changes).

## CONCLUSION

Since the transportation characteristics, problems, and needs of small urban areas are quite different from large urban areas, special attention must be given in selecting techniques or models to forecast the demand for transportation facilities and services. The fact that these small urban areas generally lack the staff, expertise, and budget to operate the conventional models must be taken into account. Three inexpensive travel demand models discussed in this paper show sufficient promise in their performance to warrant adoption. All these models advantageously use traffic ground counts, an important input which is routinely collected by small urban areas and readily available to the traffic planner. The choice of adopting any one of these models should depend on the individual traffic planner, and on manpower and time availability.

## REFERENCES

1. M. D. Meyer and E. J. Miller. *Urban Transportation Planning: A Decision-Oriented Approach*. McGraw-Hill, New York, 1984.
2. *Computer Programs for Urban Transportation Planning—PLAN-PAC/BACKPAC, General Information Manual*. FHWA, U.S. Department of Transportation, Washington, D.C., 1977.
3. *1980 Census of Population, Number of Inhabitants, United States Summary*. Report PC 80-1-A1, PP. 1-37. Bureau of the Census, U.S. Department of Commerce, Washington, D.C., 1983.
4. C. J. Khisty and M. Y. Rahi. *Inexpensive Travel Demand Techniques*. Report WA-RD-125.1. Washington State Department of Transportation, Olympia, Wash., 1987.
5. D. A. Low. A New Approach to Transportation Systems Modeling. *Traffic Quarterly*, Vol. 26, No. 3, 1972.
6. *Transportation Planning and Problem Solving for Rural Areas*

- and Small Towns: Student Manual.* FHWA, U.S. Department of Transportation, Washington, D.C., 1983.
7. P. Hogberg. Estimation of Parameters in Models for Traffic Prediction: A Nonlinear Regression Approach. *Transportation Research*, Vol. 10, No. 4, 1976.
  8. R. Smith and W. McFarlane. Examination of Simplified Travel Demand Models. *Journal of Transportation Engineering*, ASCE, Vol. 104, No. 1, 1978.
  9. A. Sossiau, A. Hassam, N. Carter, and G. Wickstrom. Travel Estimation Procedures for Quick Response to Urban Policy Issues. NCHRP Report 186, Transportation Research Board, 1978.
  10. A. Sossiau, A. Hassam, N. Carter and G. Wickstrom. NCHRP Report 187: *Quick Response Urban Travel Estimation Techniques for Transferrable Parameters.* TRB, National Research Council, Washington, D.C., 1978.
  11. E. Neumann, J. Halkias, and M. Elrazaz. Estimating T from Traffic Counts. *Journal of Transportation Engineering*, Vol. 109, No. 4, 1983.
  12. C. J. Khisty and A. AlZahrani. Inexpensive Travel Demand Model for Small- and Medium-Sized Cities. In *Transportation Research Record 980*, TRB, National Research Council, Washington, D.C., 1984.
- 
- Publication of this paper sponsored by Committee on Transportation Planning Needs and Requirements of Small and Medium-Sized Communities.*

# TRAFFIC ASSIGNMENT IN PRACTICE: OVERVIEW AND GUIDELINES FOR USERS

By Said M. Easa<sup>1</sup>

(Reviewed by the Urban Transportation Division)

**ABSTRACT:** This paper presents an overview of the elements of traffic assignment and a synthesis of the problems that may be encountered in applying traffic-assignment models in practice. The elements include preparing the transportation network, establishing the origin-destination (OD) demands, identifying a traffic-assignment technique, calibrating and validating a model, and forecasting. The practical problems of traffic assignment are classified into four categories: network-representation problems, system-subarea data-translation problems, model-calibration problems, and forecasting problems. The paper presents the state of the art in traffic-assignment elements and provides specific guidelines on their implementation in practice and on the resolution of the identified problems. This paper is one of a series being produced by the Urban Transportation Division (UTD) Transportation Planning Committee of ASCE.

## INTRODUCTION

Traffic assignment is the process of allocating a set of present or future trip interchanges, known as origin-destination (OD) demands, to a specified transportation network. Many highway planning and design decisions are based on the results of traffic-assignment forecasts. Virtually all urban areas in the United States use traffic-data forecasts for three major purposes (Pedersen and Samdahl 1982): (1) Evaluation of alternatives; (2) input to environmental-impact analysis (air quality, energy consumption, and noise); and (3) input to highway design (capacity analysis and pavement design).

During the past four decades, many traffic-assignment models have been developed to meet the varying needs of transportation planners (Kanafani 1983; Meyer and Miller 1984). Because early emphasis in regional transportation planning was placed on building major urban facilities, travel-demand forecasting focused on system-level applications. In the 1970s, however, the emphasis shifted from capital-intensive improvements to traffic-management strategies, with a corresponding analysis emphasis on subareas. Such a level of analysis required more detailed network representation, improved traffic-assignment techniques, and improved methods of model calibration. In both system-level and subarea-level analysis, the process of applying traffic-assignment models involves the same elements, but with different implementation details.

In using traffic-assignment models, the user may be faced with some practical problems. Network-representation problems include coding that might allow illogical movements, coding of special movements or operational strategies, and network aggregation. Other data-related problems arise when it is necessary to establish traffic data for subareas based on available system-level forecasts. Model-calibration problems involve adjusting some elements of the model to achieve a better match between

---

<sup>1</sup>Prof., Dept. of Civ. Engrg., Lakehead Univ., 955 Oliver Rd., Thunder Bay, Ontario, Canada.

Note. Discussion open until April 1, 1992. To extend the closing date one month, a written request must be filed with the ASCE Manager of Journals. The manuscript for this paper was submitted for review and possible publication on July 20, 1990. This paper is part of the *Journal of Transportation Engineering*, Vol. 117, No. 6, November/December, 1991. ©ASCE, ISSN 0733-947X/91/0006-0602/\$1.00 + \$.15 per page. Paper No. 26366.

predicted and observed measures of performance. Finally, forecasting problems include checking the accuracy of traffic-volume forecasts, updating an old OD matrix, establishing traffic volumes for a different forecast year, and applying traffic-assignment techniques in site-impact studies.

This paper presents an overview of traffic-assignment elements, synthesizes the practical problems faced by the users of traffic-assignment models, and discusses how the problems can be resolved.

## ELEMENTS OF TRAFFIC ASSIGNMENT

The application of computerized traffic-assignment models consists of five basic elements: (1) Preparing the network; (2) establishing the OD demands; (3) identifying a traffic-assignment technique; (4) calibrating and validating a model; and (5) forecasting. These elements are described in general terms in this section. The description provides a useful framework for addressing the practical problems of traffic assignment discussed later in the paper.

### Preparing Network

#### *Network Representation*

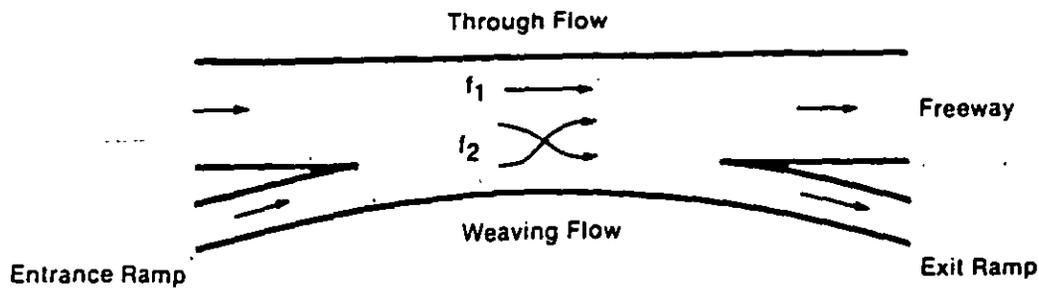
All traffic-assignment computer models require representation of the network in terms of links and nodes. The methods of representing various components of the network include the following.

**Intersections.** Consider the intersection shown in Fig. 1(a). The macro representation is shown in Fig. 1(b), where the intersection is represented by a single node. This type of representation is normally used for system-level planning studies where it is considered adequate in view of the network size and the purpose of the studies. This representation does not account for the capacities and travel times of turning movements, nor can it be easily modified to incorporate turn prohibitions. However, turn penalties and prohibitions can be incorporated if the traffic-assignment model uses a vine shortest-route algorithm [see, for example, Kirby and Potts (1969), Easa (1985)].

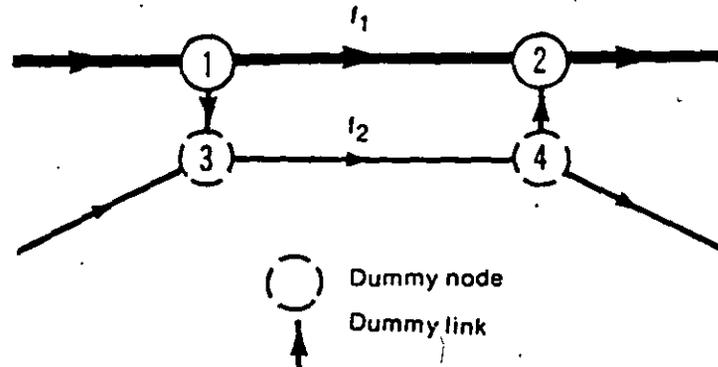
The micro representation of the intersection [Fig. 1(c)] is used to account for the capacities and travel times of different movements. In this representation, turning and through movements are represented by separate links. In addition, a dummy link representing a section of zero length is used for the approach if it has one or two lane groups; see the Highway Capacity Manual for the definition of lane groups ("Highway" 1985).

For approach A, the dummy link (7,8) is used to account for the capacity of the three movements of the approach (both turning movements have no separate lanes). For approach B, a dummy link (1,2) is provided upstream of the through and left-turn movements that share the intersection approach. This link is assigned the capacity of the shared movements. The right-turn movement is represented by link (1,4), which is assigned the capacity of this movement. This link is connected to the upstream node of the dummy link. Approach C has only a separate left-turn lane and is treated similarly. Approach D has no dummy link because both turning movements have separate lanes. The capacities of the through and turning movements are assigned to the respective links.

If a shared left-turn movement operates as an exclusive movement (that is, as a lane group), its representation is similar to a turning movement with a separate lane. The micro intersection representation of Fig. 1(c) is po-



a) Weaving Section



b) Link-Node Representation

FIG. 3. Weaving Section Representation

The centroid is normally located inside the zone, according to some sense of the center of zonal trip-making activity, and connected to the network by dummy links, as shown in Fig. 4(a). The dummy links represent local streets that connect the zone to the adjacent street network. The precise scheme of laying out connectors is subject to judgment. The centroid may be connected directly to the adjacent intersection nodes or to nodes between intersections. The direct connection to intersections may result in under-loading some of the adjacent streets. Therefore, this method is not preferable for zones with high trip generation, especially if the capacity of the adjacent intersection is to be analyzed. This scheme can be used with the models intended for operational or planning purposes. Practically, the centroid should be connected to more than one node, but this may create some problems that will be discussed later.

There are other methods that eliminate the connectors altogether and locate the centroids either at midblocks [Fig. 4(b)] or at the corners of the zone boundaries [Fig. 4(c)]. The midblock scheme is used in some models, which have been adapted to operational purposes (Brown and Scott 1970; Easa and May 1981). At each midblock node, there are three emanating links representing left, through, and right movements. The zone-corner scheme has been reported to result in substantial reduction in network coding and computer time and is primarily adaptable to planning purposes (Wilson et al. 1974).



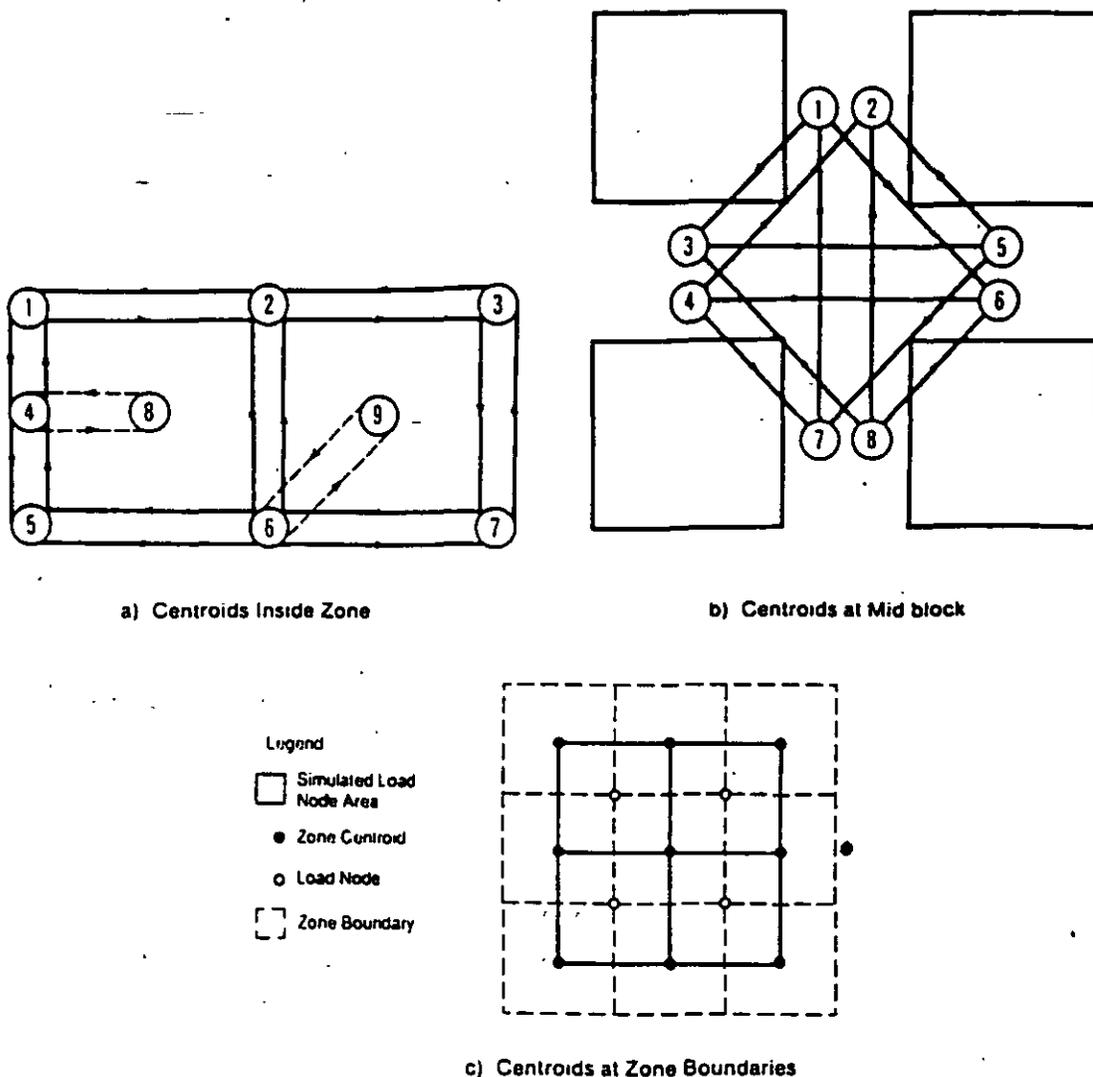


FIG. 4. Different Methods of Locating Centroids

**Simplified Representation.** The representation of intersections, interchanges, and weaving sections can be simplified as shown in Fig. 5 if a shortest-route algorithm with movement prohibitions is implemented in the traffic-assignment model (Easa 1985). For example, the illogical movement between the two right-turn links (3,7) and (7,4) of Fig. 5(a) is prohibited automatically by the algorithm. This algorithm has been used in a number of studies (Allen et al. 1978; Easa and McColl 1987).

**Link Characteristics**

After the network has been coded, the geometric and traffic-carrying characteristics of each link are identified. One of the basic link characteristics is the amount of time it takes to travel that link, defined by the link-performance (travel time-flow) function. The most common function used in North America is the Bureau of Public Roads (BPR) function, which is given by the U.S. Dept. of Commerce ("Traffic" 1964).

$$t = t_0 \left[ 1 + \alpha \left( \frac{V}{C} \right)^\beta \right] \dots \dots \dots (1)$$

43

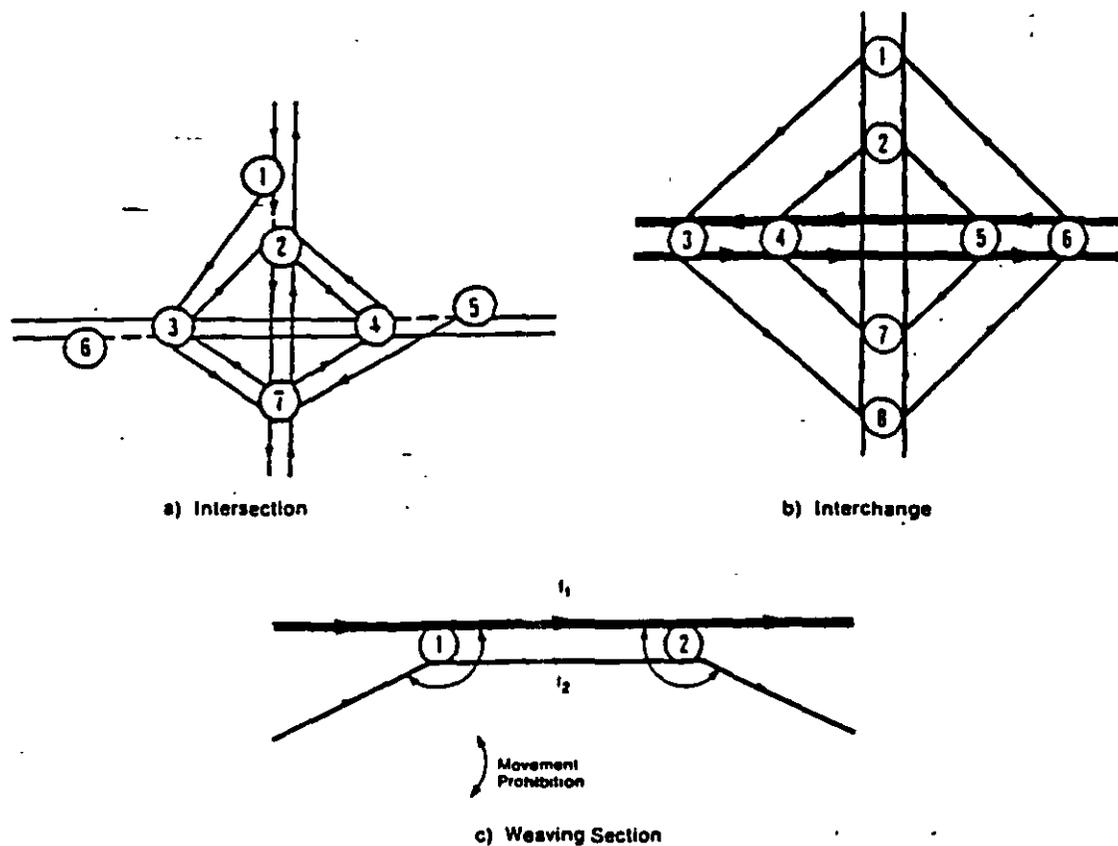


FIG. 5. Representation Used with Shortest-Route Algorithm with Movement Prohibitions

where  $t$  = travel time on a link when flow is  $V$ ;  $t_0$  = free-flow link travel time;  $V$  = link flow (vph);  $C$  = link capacity (vph); and  $\alpha$ ,  $\beta$  = parameters typically used as 0.15 and 4, respectively.

Other functions that have found widespread use are given by Branston (1976). Several studies comparing the BPR and other functions have been conducted and a review of these studies can be found in Janson et al. (1986). Link-performance functions are usually estimated for street classes, where each class includes streets with similar characteristics. Note that these functions are not needed for a centroid connector since it represents a group of local streets within the zone. The travel time for a centroid connector is a fixed value based on judgment.

### Establishing OD Demands

Evaluation of future improvements requires establishing an OD demand matrix for the horizon year. The OD matrix for the base year is first established using conventional surveys. These include roadside interview, postcard surveys, home or phone interview among others. Each of these methods has advantages and disadvantages that can be found in Stokes and Chavala (1989), McShane and Roess (1990), and Pignataro (1973). For short-range analysis, the base year OD matrix can be adjusted to represent the horizon year by using any of the growth-factor methods (Hutchinson 1974).

For long-range analysis, the base year OD matrix is used along with the land-use, economic, population, and transportation network data to estimate the future OD matrix. These activities constitute the first three steps

of the four-step transportation planning process: trip generation, trip distribution, mode split, and traffic assignment. In the sequenced planning process, the OD matrix is established separately and then input into the traffic-assignment model. In the simultaneous planning process, the steps of the trip generation, trip distribution, and mode split are combined with traffic assignment; see, for example, Safwat and Magnanti (1988) and Sheffi (1985). Traffic-assignment methods considering variable (elastic) demands have also been developed. In these methods, the trip rate between each OD pair is assumed to be a function of the travel time between the origin and the destination. A review of these methods is given by Gartner (1980a, 1980b). A description of the transportation-planning process and relevant methodologies can be found in Hutchinson (1974), Kanafani (1983), and Meyer and Miller (1984).

A recent approach of establishing the OD demands for short-range analysis employs observed volume counts. One of the popular models in this area is LINKOD, which has been developed by Gur et al. (1980) in a study for the U.S. Federal Highway Administration. The model estimates OD matrices for small areas based on observed link volumes and trip productions and attractions. These data are used to create a target trip matrix by a constrained gravity model (alternatively, the user may input volume counts and a known OD matrix). The target trip matrix is then adjusted by an equilibrium assignment method, developed by Nguyen (1977a, 1977b), such that when the adjusted trip matrix is assigned to the network, the assigned traffic volumes are as close as possible to the observed volumes. The LINKOD model has been evaluated and applied in a number of studies (Easa and McColl 1987; Gur 1983; Han and Sullivan 1983).

### **Traffic-Assignment Techniques**

All computerized traffic-assignment techniques are based on an underlying assumption of user equilibrium, which postulates that trip makers choose their routes to minimize their own individual travel times or costs (Wardrop 1952). Wardrop also discusses another approach, referred to as system equilibrium, in which traffic is assigned to a network in such a way as to minimize the systemwide average travel time. This approach is not particularly suited to normal road networks, but it is reasonable for networks with a single decision-making entity that would distribute trips among routes to achieve system equilibrium (Manheim 1979). The differences between the flow patterns of user- and system-equilibrium approaches are discussed by Newell (1980) and simple network-equilibrium examples can be found in Morlok (1978).

Traffic assignment user-equilibrium techniques include: (1) All-or-nothing assignment; (2) deterministic equilibrium assignment (capacity restraint and mathematical optimization); and (3) stochastic equilibrium assignment (multinomial logit and multinomial probit). A summary of the features and reservations of these techniques is given in Table 1. The all-or-nothing assignment is self-explanatory, but a few comments on the remaining techniques are worthy of note.

In capacity-resistant assignment, traffic is assigned to the network in iterations. After each iteration the link travel times are adjusted using link-performance functions. The travel time used in an iteration is a weighted average of the travel times of the last two iterations. The volume assignment is then obtained by averaging the results of previous iterations. There is a variation of this technique (incremental assignment) in which successive

51

TABLE 1. Comparison of Traffic-Assignment Techniques

Element (1)	TECHNIQUE				
	All-or-nothing (2)	Deterministic Equilibrium		Stochastic Equilibrium	
		Capacity restraint (3)	Mathematical optimization (4)	Multinomial logit (5)	Multinomial probit (6)
Features	<p>Assigns the entire demand between each OD pair to the shortest route</p> <p>Simple and inexpensive to use</p> <p>Results are easy to understand</p> <p>Can be used to investigate future deficiency in capacity</p> <p>Available in computer packages</p>	<p>More realistic than all-or-nothing since it distributes trips over several routes</p> <p>Most applicable to peak-hour assignment</p> <p>Considers link capacity and travel time variation with flow</p> <p>Easy to understand</p> <p>Available in computer packages</p>	<p>Guarantees convergence to an equilibrium solution</p> <p>Considers link capacity and travel time variation with flow</p> <p>Provides similar results to stochastic method for congested networks</p> <p>Available in computer packages</p>	<p>Perceived path travel time is assumed to be a random variable</p> <p>Computationally efficient; requires slightly higher cost than all-or-nothing</p> <p>Available in computer packages</p>	<p>Perceived path travel time is assumed to be a random variable</p> <p>Accounts for overlaps between routes</p> <p>Conceptually the most promising</p>
Drawbacks	<p>Does not consider link capacity or travel time variation with flow</p> <p>Ignores equilibrium altogether</p> <p>May generate unrealistic results</p>	<p>Does not guarantee convergence to an equilibrium solution</p> <p>Requires larger computational cost than all-or-nothing</p> <p>May require a large number of iterations or increments</p>	<p>Formulation may be difficult to understand</p> <p>Documentation on its operation and application is limited</p>	<p>Formulation may be difficult to understand</p> <p>Not suitable where alternative routes overlap</p> <p>Logit parameter is difficult to estimate directly</p>	<p>Formulation may be difficult to understand</p> <p>Requires larger computational cost than other techniques</p> <p>Probit parameter is difficult to estimate directly</p> <p>Not readily available to practitioners</p>

increments of the trip matrix are assigned to the shortest routes. The capacity-restraint technique distributes traffic over several routes within the limits of link capacities; it is most applicable to peak-hour assignment, and it is readily available in computer packages. Its main drawback is that it is based on heuristics and therefore, there is no guarantee that the resulting assignment is the user-equilibrium assignment.

User equilibrium is achieved using mathematical optimization, which not only guarantees convergence, for convex link-performance functions, but is also capable of accommodating large-scale networks (Beckman et al. 1956; LeBlanc et al. 1975). This technique has been extended to capacitated networks by Daganzo (1977a) and is readily available in computer packages, such as UTPS ("Computer" 1977) and EMME/2 (Florian et al. 1979; Babin et al. 1982). The drawback to this technique is that it may be difficult to understand with only limited documentation of its application. An important feature of this deterministic mathematical optimization technique, however, is that it yields results comparable to those of the more realistic stochastic technique when the network is congested (Daganzo 1977b; Sheffi and Powell 1980).

Stochastic assignment techniques include multinomial logit (Dial 1971) and multinomial probit (Daganzo and Sheffi 1977; Daganzo 1979). In these techniques, the time perceived by any trip maker is assumed to be a random variable. The logit-based technique is computationally efficient, requiring only modestly larger cost than the all-or-nothing assignment. The technique has been incorporated in computer packages that are readily available in practice ("Computer" 1977). This technique, however, is not suitable when alternative routes overlap as is common in dense urban networks. This reservation has been eliminated by the multinomial probit technique, which is conceptually the most promising. However, the multinomial probit technique requires larger computational cost than other techniques and, because it is relatively new, is not yet readily available to practitioners.

Recent reviews of traffic-assignment models can be found in Matsoukis (1986) and Matsoukis and Michalopoulos (1986). The accuracy of traffic-assignment techniques has been evaluated in a number of studies (Eash et al. 1979; Huber et al. 1968; Humphrey 1967; Smith and Brennan 1980). Many traffic-assignment packages that generally offer more than one assignment technique are available in the market in microcomputer versions ("Software" 1988).

## **Calibration and Validation**

### *Calibration*

Calibration of a traffic-assignment model consists of two tasks: parameter estimation and model calibration. The first task involves estimating certain parameters based on observed data for the base year. These parameters include: (1) Parameters of the demand functions for trip generation, trip distribution, and model split (when they are combined with traffic assignment); (2) parameters of variable-demand functions; (3) parameters of the multinomial logit and multinomial probit that are used in stochastic traffic assignment; and (4) parameters of the link-performance function, which is used in all traffic-assignment techniques, except all-or-nothing. Various methods for estimating these parameters, including the least-squares and maximum-likelihood techniques, are discussed by Sheffi (1985). The parameters of the link-performance function can also be estimated using simplified graphical methods (Easa 1982; May 1990).

The second task, model calibration, simply means adjusting some elements of the traffic-assignment model so that it can reproduce the vehicular travel taking place in the transportation system as accurately as possible. Note that some of the parameters mentioned previously can also be estimated during model calibration. Details on model-calibration problems are presented later.

### *Validation*

Validation is the process of comparing observed measures of performance for the base year with those predicted by the model. Validation can be performed by overall comparison of predicted and observed link volumes and route travel times, by screen-line comparison of predicted and observed link volumes, and by comparison of predicted and observed vehicle miles of travel by facility type (Florian and Nguyen 1976; Janson et al. 1986; Pedersen and Samdahl 1982). Skim trees can also be checked to verify logical routing of zone-to-zone trips. If the predicted and observed results are reasonably close, then the model is considered valid. Otherwise, the model needs to be calibrated to achieve closer correspondence.

It is important to realize that the process of model calibration and validation assumes that the observed measures are reasonably accurate. Thus, the importance of having accurate volume counts and travel times is stressed. Furthermore, the observed volume counts should be converted to a common base. Normally, volume counts are conducted on different days of the week and in different months. Therefore, appropriate adjustment factors should be used to convert these counts to an arbitrarily selected day and month. These factors are normally established based on local studies (McShane and Roess 1990).

### **Forecasting**

The final stage of applying a traffic-assignment model is to use the validated model to evaluate the impacts of proposed improvements or changes to the study area; a tool box for such improvements has been developed by Meyer et al. (1989). The OD matrix and the network must correspond to the horizon year. As previously indicated, for short-range analysis the future OD matrix can be established using growth-factor methods. For long-range analysis, the future OD matrix is available as part of the transportation-planning process. It should be noted, however, that for corridor networks where no zones are readily identifiable, an average growth factor for the entire area is normally used for short-range analysis. The network and/or the OD matrix of the horizon year are modified, depending on whether the type of improvement is supply- or demand-related. The model is then run with the modified data and the impacts predicted. In this stage, the sensitivity of the forecasts to key modeling assumptions should ideally be examined (Meyer and Miller 1984).

## **PRACTICAL PROBLEMS IN TRAFFIC ASSIGNMENT**

This section describes various problems of traffic assignment and how they may be resolved. The problems are classified into four categories: (1) Network representation problems; (2) system-subarea data-translation problems; (3) model-calibration problems; and (4) forecasting problems.

## Network Representation Problems

### *Micro-Macro Network Coding*

In most planning studies, the study network includes major highways with interchanges. The through and turning movements at the interchanges are represented by separate links and nodes. Because of the planning nature of these studies, the intersections on the surface streets are represented by single nodes and the streets are represented by two links. These differing levels of network detail often create problems of illogical movements.

Consider the actual interchange and surrounding surface streets shown in Fig. 6(a) (Witheyford 1982). If the network is coded as shown in Fig. 6(b), this coding may allow the illogical movements, indicated at nodes 6, 14, 18, 19, and 21 to be included in the shortest routes. To resolve this problem one may use the coding of Fig. 6(b) and check manually whether the indicated movements will be included in the shortest routes. For example, the indicated movement at node 19 will be prohibited automatically by conventional shortest-route algorithms if the total travel time along the route 15, 19, 20 is greater than the travel time along link (15,20). However, this method is effective only for the all-or-nothing assignment, where the link travel times do not change with traffic loading.

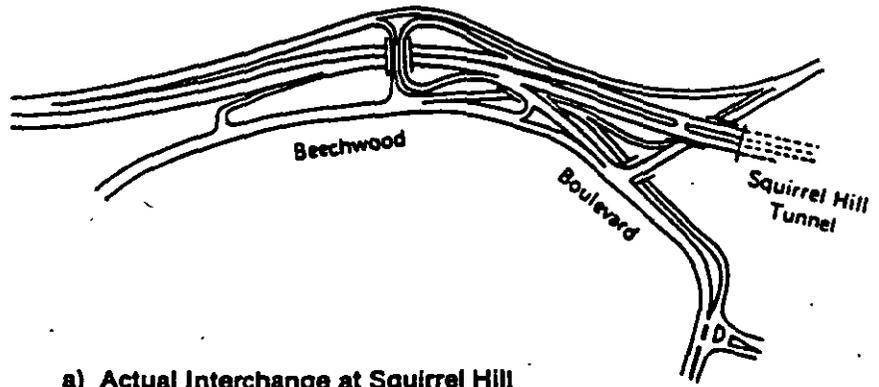
Another method of prohibiting these illogical movements is to represent the intersections on the surface streets at a micro level as shown in Fig. 6(c). The illogical movements of Fig. 6(b) can also be avoided if the traffic-assignment model has a turn penalty or prohibition capability. In the former case, the turn penalty of the illogical movement is set equal to a very large value.

### *Prohibiting through Movements via Centroids*

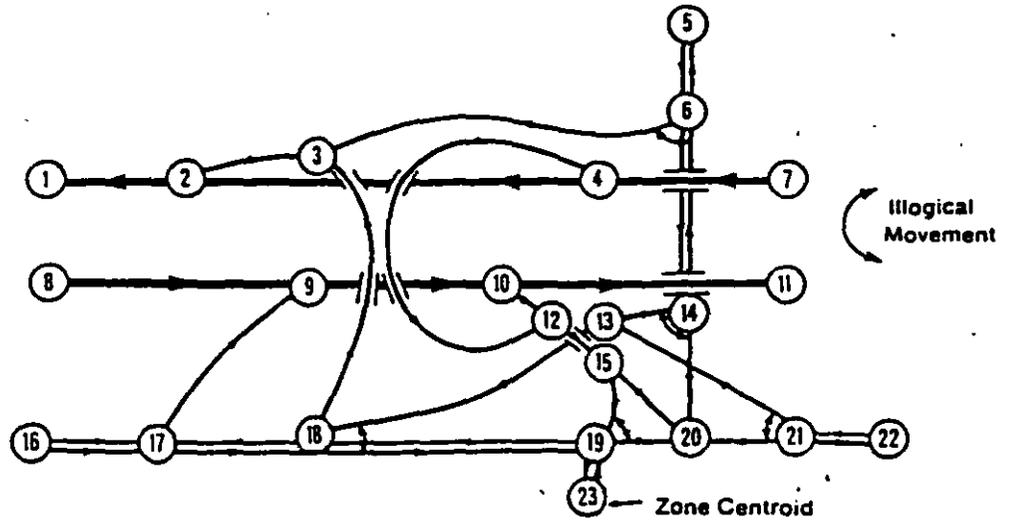
Consider Fig. 7(a) in which the centroid node 5 is connected to the network at two nodes, 3 and 4. With this coding, the centroid connectors (3,5) and (5,4) may be included in the shortest routes instead of link (3, 4) if the travel time along these connectors is less than the travel time of link (3,4). Some traffic-assignment packages can prohibit through movements via centroids. If the package does not have this option, these movements can be avoided by coding two centroids for the zone, one as an origin and the other as a destination, as shown in Fig. 7(b) (Yagar 1975). If the centroid is connected to only one node, say node 6 in Fig. 4(a), the through movement via the centroid will be prohibited automatically by conventional shortest-route algorithms. Note that this problem is avoided in the models in which the origins and destinations are represented by nodes located at the zone corners or by intermediate block-face nodes.

### *Coding of Permissible U-Turns*

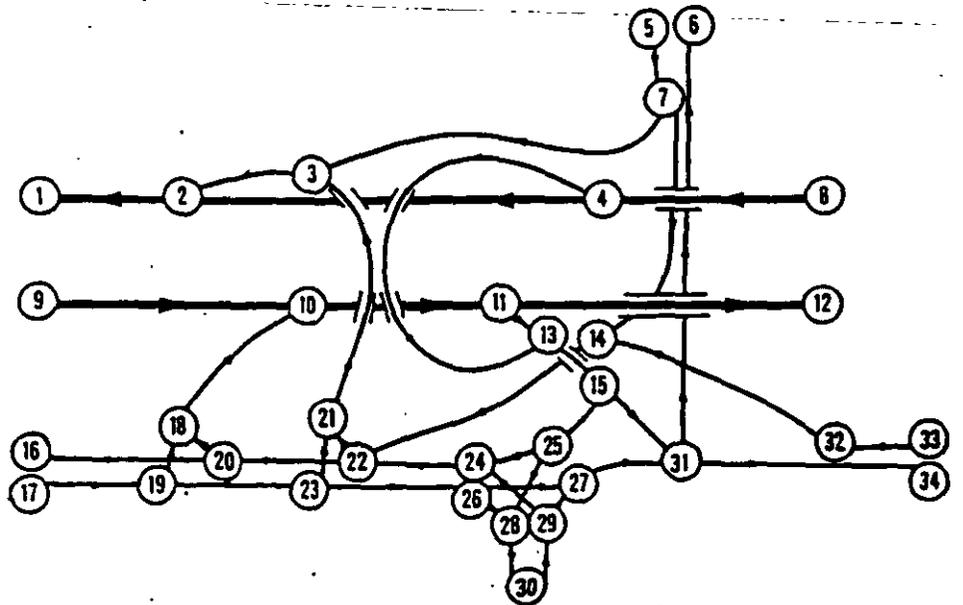
U-turns are sometimes allowed at intersections to facilitate traffic movements of trips originating from or destined to zones adjacent to two-way streets with medians [Fig. 8(a)]. Channelization for the U-turn traffic is used at major intersections to provide continuous traffic movements. For the macro network representation [Fig. 8(a)], where surface street intersections are represented by single nodes, U-turns will be permitted for the centroid traffic if the centroid is connected to a node located on the adjacent street link. In this representation, the U-turn links (4,3) and (3,5) at node 3 and (3,5) and (5,4) at node 5 will be included in the shortest routes from and to node 6. To permit the U-turns in the micro network representation [Fig.



a) Actual Interchange at Squirrel Hill  
Penn-Lincoln Parkway



b) Micro-Macro Network Representation



c) Micro Network Representation Prohibiting Illogical Movements

FIG. 6. Example of Micro-Macro Network Representation

55

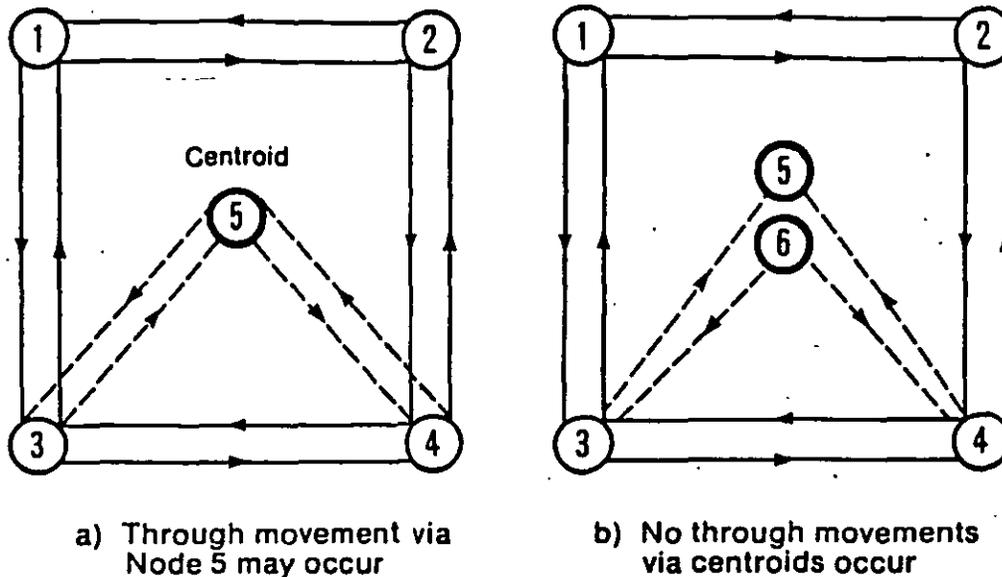


FIG. 7. Prohibiting Through Movements via Centroids

8(b)], the two intersection nodes at the legs corresponding to the U-turns are connected by links (1,2) and (3,4). The centroid is connected to either an intermediate node or to node 1 or 4.

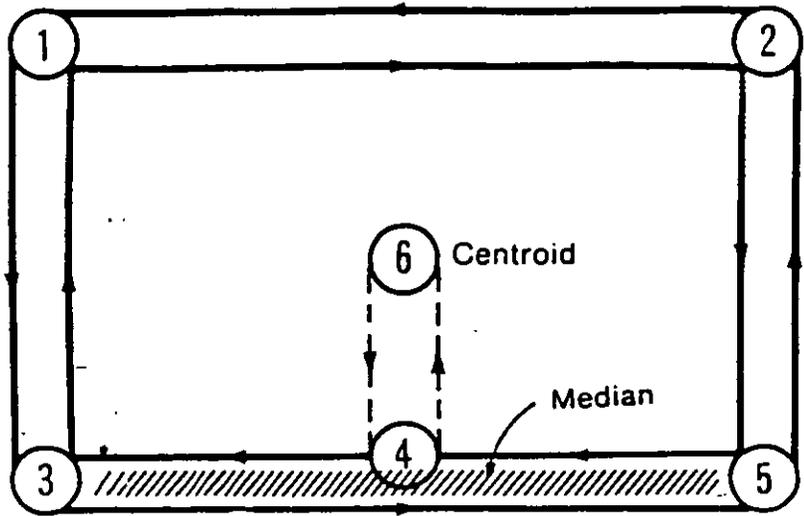
#### *Coding of Operational Strategies*

One of the operational strategies that requires manipulation of network coding is turn prohibition at intersections. If the intersection is represented by a single node, turn prohibitions can be accommodated if the model has a turn penalty or prohibition capability. For the micro representation of Fig. 1(c), turn prohibitions can be accommodated by deleting the respective turning links or by assigning an unrealistically high travel time to the turning link. Another operational strategy that requires special coding is railroad grade separations. This strategy is simulated by creating two short links on the road at its crossing with the railway. By equating the capacity of these links to zero and actual capacity, the impacts of at-grade and grade-separation alternatives, respectively, can be evaluated (Easa and McColl 1987).

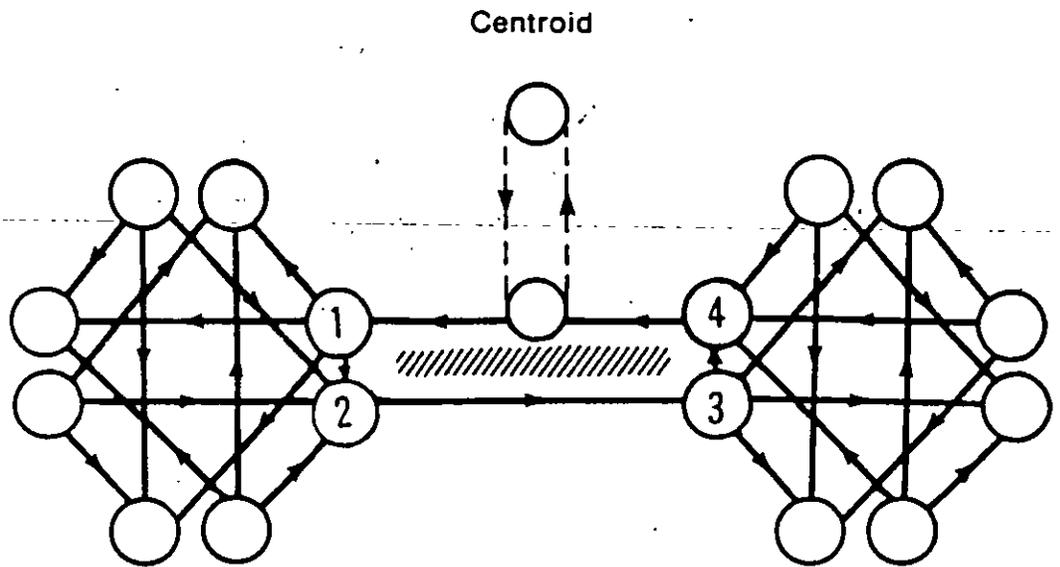
#### *Level of Details and Network Aggregation*

The effect of network representation details on traffic-assignment accuracy has been investigated by a number of researchers (Bovy and Jansen 1983; Wildermuth et al. 1972). A less detailed network is constructed by eliminating minor and lightly traveled links. The results indicate that the level of details have a profound effect on the assignment accuracy. Refining the network and the zone system always improve the results, but there is a certain level beyond which further refinement only yields marginal accuracy.

Another related problem is network aggregation, which is the procedure of condensing a detailed regional network into an aggregated sketch-planning network (Eash et al. 1983). One arterial link in the aggregated network is equivalent to a number of links in a conventionally coded network, and one zone in the aggregated network encompasses several zones in the regional network. Overall results for the aggregated network compare reasonably well with those of the regional network. This aggregation methodology is most applicable to long-range systems planning and strategic



a) Macro Network Representation



b) Micro Network Representation

FIG. 8. Representation of Permissible U-Turns

planning that deals with dramatic changes in transportation supply or demand characteristics. Other methods of network aggregation have been developed by Chan (1976), Daganzo (1980), and Haghani and Daskin (1983)

#### System-Subarea Data Translation Problems

In many practical situations, it is necessary to translate the results of the highway system-level traffic assignments into traffic data for individual high-

57

way projects or subareas. These problems have been addressed in detail in NCHRP Report 255 (Pedersen and Samdahl 1982). The report contains a user-oriented manual covering 10 categories of procedures for establishing traffic data for the full range of planning and design needs. The procedures can be applied in conjunction with a conventional UTPS traffic assignment or with assignments produced through manual or quick-response procedures (Sossiau et al. 1978). The procedures in two of the categories deal with refining and detailing the assignment results and these procedures are discussed next.

#### *Refinement of Computerized Traffic-Volume Forecasts*

Computerized system-level traffic assignments require that further refinements take place before being used in project-level planning and design. One of the common adjustment procedures involves a screen-line adjustment, which improves the link-by-link traffic forecasts. Future link volumes across a screen line are adjusted by this procedure based on relationships between base-year traffic counts, base-year assignments, and future-year link capacities. The procedure typically adjusts all volumes crossing the screen line and therefore, is not always suitable if only a few links need refinements. Other refinement procedures involving select link and zonal analysis (applicable to small to medium-sized networks and highway corridors) can also be used.

#### *Traffic Data for More Detailed Networks*

Producing traffic assignment on a highway network that is more detailed than the system-level network is often required. This can be accomplished using subarea windowing or subarea focusing. In subarea windowing, the study area within a cordon is isolated and the trips and the network for this area are detailed. Outside the study area, all trips are treated as external trips and therefore, are not subject to change. Subsequent analysis in windowing can be performed manually. In subarea focusing, the entire highway network and trip matrices are retained, but the network and zonal data are detailed within the study area and progressively aggregated as the distance from the study area increases. The trip distributions are subject to change with the introduction of detailed facilities within the study area, and focusing generally requires the use of computer models (Horowitz 1990). Despite this practice, recent NCHRP research highly recommends that travel demand models be applied at the zone level using zone-specific socioeconomic inputs (Bajpai 1990).

#### **Model Calibration Problems**

If the measures predicted by the traffic-assignment model are not sufficiently close to the observed measures of the base year, one or more of the following elements must be modified: base-year OD matrix, network representation, assignment technique, and link-performance function.

#### *Base-Year OD Matrix*

The OD matrix of the base year is normally based on a sample of travelers and therefore, is subject to errors that contribute to greater deviations between predicted and observed measures. The procedures that have been used in practice for adjusting the base-year OD matrix include: (1) Screen-line and cordon-line adjustments; (2) manual fine-tuning; and (3) adjustment based on observed link volumes using computer models, such as LIN-

KOD. The first procedure requires the availability of observed volume counts for selected screen lines and for a cordon line of the study area (Pignataro 1973). Manual fine-tuning may be effective only for small study areas, such as freeway corridors, where alternative routes are limited. In the third procedure, the base-year OD matrix is input as a target matrix to the LINKOD model. In a study by Han and Sullivan (1983), a minimum of 25% coverage of observed link volumes was found to achieve a reasonable accuracy. The required percentage coverage, however, would vary from one study area to another.

#### *Network Representation*

There is a trade-off involved in network representation. Including every street in a metropolitan area would almost certainly exceed both the level of detail of other collected data and the computational capabilities of the modeling process. On the other hand, including only major thoroughfares would neglect the sizable amount of traffic using the secondary and minor arterials. In seeking a suitable middle ground, it is probably better to err on the side of too few links in the network representation, then add links that are parallel to the links loaded too heavily. A subtle but common occurrence in urban networks is the use of minor streets by drivers to avoid congested intersections. Failure to include these shortcuts may cause the traffic-assignment model to send the affected trips over an entirely different route resulting in improper loading.

#### *Assignment Technique*

Each of the assignment techniques discussed earlier has its own attributes with respect to computation time, ability to converge to a solution, and flexibility in calibration. If a planner is working with a software package that offers only one or a few of these techniques, the planner may not be able to choose a technique that will achieve the best possible match of observed and predicted flows. All the planner can do is become familiar with the capabilities and drawbacks of each assignment technique available in the software and become knowledgeable about when an alternative technique may be worth attempting.

#### *Link-Performance Function*

Recent methods of model calibration involve finding the values of parameters  $\alpha$  and  $\beta$  of (1) (or the parameters of any other function) that minimize some measure of the difference between predicted and observed link flows (James 1987). If the software allows changing  $\alpha$  and  $\beta$  values, the changes could be done manually, and the search for the best parameter values for various link classes can be performed by trial. However, this method is even more difficult than the traditional method of directly adjusting link impedance. Fricker (1989) developed iterative procedures that will systematically find near-optimal link performance parameter values for each class of links or, if such parameters cannot be adjusted, near-optimal impedance values for each link. Suh et al. (1990) used a bilevel programming model, involving user-equilibrium assignment, to systematically calibrate the parameters of (1) using link volume counts.

It should be noted that the foregoing discussion also applies to intersection-delay functions. A systematic method of determining the parameters of such functions; for example, the signalized intersection-delay formula of

59

the Transportation Research Board ("Highway" 1985), is especially important in model calibration (Fricker 1989).

There is no specific rule as to when an assignment should be acceptable, but sometimes a 30% deviation (James 1987) or even 40% is accepted after much effort has been expended. This is a subjective matter (Horowitz 1989), but one that can be helped by the application of systematic procedures that will reduce the effort and error involved in model calibration.

## Forecasting Problems

### *Updating Old OD Matrix*

An old OD matrix can be updated using existing data on new construction and building occupancy shifts that occurred in the study area since the old OD matrix has been established. In addition, normal growth rates for internal and through trips should also be considered in the updating process. Because of the difficulty in determining these growth rates from field data, they can be established as part of model calibration for the current year. This procedure has been applied in a study for downtown San Jose, California to update a 1975 OD matrix to 1979 conditions (Easa and May 1981).

### *Traffic Volumes for Different Forecast Year*

The analyst is sometimes required to produce assignment data for a target year that is different from that used in the computer forecasts. This can be accomplished based on historical traffic trends and adequate land-use or demographic data for the target year for which traffic forecasts are required. These data are used to interpolate or extrapolate the target year trips using a linear or nonlinear method. Where land-use data are unavailable or inadequate, the target year forecasts can be based only on historical data and/or demographic trends. This procedure is usually valid only for short-range forecasts. For more details on these procedures, see Pedersen and Samdahl (1982).

### *Checking Accuracy of Traffic Forecasts*

Even though a traffic-assignment model has been calibrated and validated using base-year observations, some preliminary checks should be performed on the (future) system-level traffic forecasts to ensure their accuracy and reasonableness. These checks include (Pedersen and Samdahl 1982): (1) Examining land-use data assumptions; (2) comparison of trip end summaries with land-use data; and (3) comparison of forecasted traffic growth with historical growth trends. These checks can be used to identify and correct any errors that may have occurred during the forecasting process including trip generation, trip distribution, mode split, and traffic assignment. These checks, in addition to the base-year validation, should be performed to determine the overall accuracy of the traffic forecasts prior to applying the project-level refinement or detailing procedure discussed previously.

### *Site-Impact Studies*

In site-impact studies, it is necessary to estimate first the number of trips generated from the proposed site using, for example, the Institute of Transportation Engineers' trip-generation report ("*Trip*" 1987). For major trip-generation sites (e.g., a new shopping center) the site itself might be added as a zone to the OD matrix. The trips from the site are normally distributed to various zones and the incremental volumes are assigned to the appropriate

access routes. The incremental-plus-existing volumes are then used to evaluate the impacts on nearby streets and intersections (Sossiau et al. 1978). The use of computerized traffic-assignment models for site-impact studies is a relatively new function that would perhaps provide the users with more flexibility and efficiency than the manual assignment now commonly used.

### CONCLUDING REMARKS

An overview of the traffic-assignment elements and a synthesis of the practical problems faced by the users are presented in this paper. The following concluding remarks concerning these elements and problems are worthy of note.

1. Traffic-assignment results are used for many planning and design decisions including evaluation of improvements, environmental-impact analysis, and highway design. Therefore, it is critical that the user devote the time and effort necessary to produce high-quality forecasts. The continuing advances in micro-computers including user interface and graphic capabilities would greatly contribute to the efficiency of this task.

2. The user should take special care when representing the network for the traffic-assignment models with conventional shortest-route algorithms to ensure that illogical movements are not permitted. This is particularly needed for micro-macro network coding and coding of centroids and connectors. If the model has a turn penalty or prohibition capability, illogical movements can be eliminated without special network coding.

3. The transportation-planning process involves simplifying assumptions and does not take into account all the factors that determine travel behavior. As a result, system-level forecasts can differ significantly from actual observations. This limitation can be overcome by refining the forecasts before use in subarea-level analysis. It is highly recommended, however, that travel-demand models be applied at the subarea level so that trip tables are produced directly.

4. In model calibration and validation, the acceptable deviation of the assigned link volumes from actual counts should vary according to the level of observed link volume. The acceptable deviation should be higher for low-volume links and lower for high-volume links. The reason for this is that large deviations on low-volume facilities would not have major design implications. As a rule of thumb, the acceptable deviation for links with 8,000 vph or greater is 10%. For links with 2,000 vph, the acceptable deviation is 30% and is greater for lower volumes (Pedersen and Samdahl 1982). For hourly volumes between these values, the acceptable deviation can be linearly established.

5. The stochastic multinomial probit technique of traffic assignment is conceptually the most promising, but the technique is not yet readily available to practitioners. Fortunately, for congested networks, the equilibrium mathematical optimization technique, which is readily available in computer packages produces results comparable with those of the stochastic equilibrium techniques.

6. Research should continue to develop more efficient methods for solving complex assignment problems, such as stochastic network equilibrium, and to investigate the assumptions involved in the route-choice analysis.

### ACKNOWLEDGMENTS

This paper is one of a series being produced by the UTD Transportation Planning Committee. Most of the section on model-calibration problems

was contributed by Jon Fricker, who also participated in the preparation of an earlier outline of the paper. Michael Meyer, Don Samdahl, and Jerry Schneider contributed valuable suggestions and comments on an outline and draft.

## APPENDIX I. REFERENCES

- Allen, B., Easa, S., and Case, E. (1978). "Application of freeway corridor assignment and control model." *Transp. Res. Rec.* 682, 76-84.
- Babin, A. (1982). "EMME/2: Interactive graphic method for road and transit planning." *Transp. Res. Rec.* 866, 1-8.
- Bajpai, J. (1990). "Forecasting the basic inputs to transportation planning at the zonal level." *NCHRP Report 328*, Transp. Res. Board, Nat. Res. Council, Washington, D.C.
- Beckman, M., McGuire, C., and Winsten, C. (1956). *Studies in the economics of transportation*. Yale Univ. Press, New Haven, Conn.
- Bovy, P., and Jansen, G. (1983). "Network aggregation effects upon equilibrium assignment outcomes: An empirical investigation." *Transp. Sci.*, 17(3), 240-262.
- Branston, D. (1976). "Link capacity functions: A review." *Transp. Res.*, 10(4), 223-236.
- Brown, G., and Scott, R. (1970). "Micro-assignment: A new tool for small area planning." *Highway Res. Rec.* 322, 149-161.
- Chan, Y. (1976). "A method to simplify network representation in transportation planning." *Transp. Res.*, 10(3), 179-191.
- "Computer programs for urban transportation planning: PLACPAC/BACKPAC." (1977). *General Information Manual*, U.S. Dept. of Transp., Federal Highway Administration, Washington, D.C.
- Daganzo, C. (1977a). "On the traffic assignment problem with flow dependent costs." *Transp. Res.*, 11(6), 433-438.
- Daganzo, C. (1977b). "Some research on traffic assignment methodology selection." *Working Paper 7703*, Inst. of Transp. Studies, Univ. of California, Berkeley, Calif.
- Daganzo, C. (1979). *Multinomial probit: The theory and its application to demand forecasting*. Academic Press, New York, N.Y.
- Daganzo, C. (1980). "Network representation, continuum approximations, and a solution to the spatial aggregation problem of traffic assignment." *Transp. Res.*, 14B, 229-239.
- Daganzo, C., and Sheffi, Y. (1977). "On stochastic models of traffic assignment." *Transp. Sci.*, 11(3), 253-274.
- Dial, R. (1971). "A probabilistic multipath traffic assignment algorithm which obviates path enumeration." *Transp. Res.*, 5(2), 83-111.
- Dijkstra, E. (1959). "A note on two problems in connection with graphs." *Numer. Math.*, 1, 269-271.
- Easa, S. (1982). "Selecting two-regime traffic-flow models." *Transp. Res. Rec.* 869, 25-36.
- Easa, S. (1985). "Shortest-route algorithm with movement prohibitions." *Transp. Res.*, 19B(3), 197-208.
- Easa, S., and May, A. (1981). "Evaluation of traffic management strategies in central business districts." *Transp. Res. Rec.* 816, 1-10.
- Easa, S., and McColl, D. (1987). "Assessing traffic and emergency benefits of railroad grade separations." *J. Transp. Engrg.*, ASCE, 113(6), 593-608.
- Eash, R., Janson, B., and Boyce, D. (1979). "Equilibrium trip assignment: Advantages and implication for practice." *Transp. Res. Rec.* 728, 1-8.
- Eash, R. (1983). "Equilibrium traffic assignment on an aggregated highway network for sketch planning." *Transp. Res. Rec.* 944, 30-37.
- Florian, M., and Nguyen, S. (1976). "An application and validation of equilibrium traffic assignment methods." *Transp. Sci.*, 10(4), 374-390.
- Florian, M. (1979). "Validation and application of EMME: An equilibrium based two-mode urban transportation planning method." *Publication No. 103*, Ctr. for Transp. Res., Univ. of Montreal, Montreal, Quebec.

- Fricker, J. (1989). "Procedures to calibrate link performance functions in traffic assignment models." *Second Conf. on Application of Transportation Planning Methods*, Orlando, Florida.
- Gartner, N. (1980a). "Optimal traffic assignment with elastic demands: A review; Part I. Analysis framework." *Transp. Sci.*, 14(2), 174-191.
- Gartner, N. (1980b). "Optimal traffic assignment with elastic demands: A review; Part II. Algorithmic approaches." *Transp. Sci.*, 14(2), 192-208.
- Gur, Y. (1980). "Estimation of an origin-destination trip table based on observed link volumes and turning movements." FHWA/RD-80/035, Vols. 1, 2, and 3, Federal Highway Administration, U.S. Dept. of Transp., Washington, D.C.
- Gur, Y. (1983). "Estimation of trip tables from traffic counts: Comparative evaluation of available techniques." *Transp. Res. Rec. 944*, 113-117.
- Haghani, A., and Daskin, M. (1983). "Network design application of an extraction algorithm for network aggregation." *Transp. Res. Rec. 944*, 37-46.
- Han, A., and Sullivan, E. (1983). "Trip table synthesis for CBD networks: Evaluation of the LINKOD model." *Transp. Res. Rec. 944*, 106-112.
- "Highway capacity manual." (1985). *Special Report 209*, Transp. Res. Board, Nat. Res. Council, Washington, D.C.
- Horowitz, A. (1989). "Convergence properties of some iterative traffic assignment algorithms." *Transp. Res. Rec. 1220*, 21-27.
- Horowitz, A. (1990). "Subarea focusing with combined models of spatial interaction and equilibrium assignment." *Transp. Res. Rec. 1285*, 1-8.
- Huber, M., Boutwell, H., and Witheford, D. (1968). "Comparative analysis of traffic assignment techniques with actual highway use." *NCHRP Report 58*, Highway Res. Board, Nat. Res. Council, Washington, D.C.
- Humphrey, T. (1967). "A report on the accuracy of traffic assignment when using capacity restraint." *Highway Res. Rec. 191*, 53-75.
- Hutchinson, B. (1974). *Principles of urban transport systems planning*. McGraw-Hill, New York, N.Y.
- James, M. (1987). "Accuracy evaluation tests for assignment models of large traffic networks." *ITE J.*, 57(1), 36-40.
- Janson, B., Thint, S., and Hendrickson, C. (1986). "Validation and use of equilibrium network assignment for urban highway reconstruction planning." *Transp. Res.*, 20A(1), 61-73.
- Kanafani, A. (1983). *Transportation demand analysis*. McGraw Hill, New York, N.Y.
- Kirby, R., and Potts, R. (1969). "The minimum route problem for networks with turn penalties and prohibitions." *Transp. Res.*, 3(3), 397-408.
- LeBlanc, L., Morlok, E., and Pierskalla, W. (1975). "An efficient approach to solving the road network equilibrium traffic assignment problem." *Transp. Res.*, 9(5), 309-318.
- Manheim, M. (1979). *Fundamentals of transportation systems analysis*. Massachusetts Inst. of Tech. Press, Cambridge, Mass.
- Matsoukis, E. (1986). "Road traffic assignment: A review; Part I. Non-equilibrium methods." *Transp. Plan. and Tech.*, 11(1), 69-79.
- Matsoukis, E., and Michalopoulos, P. (1986). "Road traffic assignment: A review; Part II. Equilibrium methods." *Transp. Plan. and Tech.*, 11(2), 117-135.
- May, A. (1990). *Traffic flow fundamentals*. Prentice Hall, Englewood Cliffs, N.J.
- McShane, W., and Roess, R. (1990). *Traffic engineering*. Prentice Hall, Englewood Cliffs, N.J.
- Meyer, M., and Miller, E. (1984). *Urban transportation planning: A decision-oriented approach*. McGraw-Hill, New York, N.Y.
- Meyer, M., et al. (1989). *A toolbox for alleviating traffic congestion*. Inst. of Transp. Engrs., Washington, D.C.
- Moore, E. (1957). "The shortest path through a maze." *Proc. Int. Symp. on the Theory of Switching*, Harvard University, Cambridge, Mass., 285-292.
- Morlok, E. (1978). *Introduction to transportation engineering and planning*. McGraw-Hill, New York, N.Y.

- Newell, G. (1980). *Traffic flow on transportation networks*. Massachusetts Inst. of Tech. Press, Cambridge, Mass.
- Nguyen, S. (1977a). "Estimating an O-D matrix from network data: A network equilibrium approach." *Publication No. 60*, Ctr. for Transp. Res., Univ. of Montreal, Montreal, Quebec.
- Nguyen, S. (1977b). "On the estimation of an O-D trip matrix by equilibrium methods using pseudo delay functions." *Publication No. 81*, Ctr. for Transp. Res., Univ. of Montreal, Montreal, Quebec.
- Pedersen, N., and Samdahl, D. (1982). "Highway traffic data for urbanized area project planning and design." *NCHRP Report 255*, Transp. Res. Board, Nat. Res. Council, Washington, D.C.
- Pignataro, L. (1973). "Traffic engineering: Theory and practice." Prentice-Hall, Englewood Cliffs, N.J.
- Safwat, K., and Magnanti, T. (1988). "A combined trip generation, trip distribution, modal split, and trip assignment model." *Transp. Sci.*, 18(1), 14-30.
- Sheffi, Y. (1985). *Urban transportation networks*. Prentice Hall, Englewood Cliffs, N.J.
- Sheffi, Y., and Powell, W. (1980). "A comparison of stochastic and deterministic traffic assignment over congested networks." *Transp. Res.*, 15B(1), 53-64.
- Smith, R., and Brennan, T. (1980). "Traffic assignment techniques for smaller cities." *J. Transp. Engrg.*, ASCE, 106(1), 85-98.
- Software and Source Book*. (1988). Ctr. for Microcomputers in Transp., Univ. of Florida, Gainesville, Fla.
- Sosslau, A. (1978). "Quick-response urban travel estimation techniques and transferable parameters: User's guide." *NCHRP Report 187*, Transp. Res. Board, Nat. Res. Council, Washington, D.C.
- Stokes, R., and Chavala, T. (1989). "Design and implementation of intercity origin-destination surveys." *Transp. Res. Rec.* 1236, 23-33.
- Suh, S., Park, C., and Kim, T. (1990). "A highway capacity function in Korea: Measurement and calibration." *Transp. Res.*, 24A(3), 177-186.
- Traffic assignment manual*. (1964). U.S. Dept. of Commerce, Bureau of Public Roads, Washington, D.C.
- Trip generation*. (1987). Fourth Ed., Inst. of Transp. Engrs., Washington, D.C.
- Wardrop, J. (1952). "Some theoretical aspects of road traffic research." *Proc. of the Inst. of Civ. Engrs.*, 2(1), 325-378.
- Wildermuth, B., Delandy, D., and Thompson, K. (1972). "Effect of zone size on traffic assignment and trip distribution." *Highway Res. Rec.* 392, 58-75.
- Wilson, E., Matthias, J., and Betz, M. (1974). "A traffic assignment planning model: The load-node concept." *Transp. Res.*, 8, 75-84.
- Witheyford, D. (1982). "Urban transportation planning." *Transportation and traffic engineering handbook*, Prentice-Hall, Englewood Cliffs, N.J.
- Yagar, S. (1975). "CORQ—A model for predicting flows and queues in a road corridor." *Transp. Res. Rec.* 533, 77-87.





# Expert System for Selection of Network-Based Transportation Planning Software Packages

K. NABIL A. SAFWAT AND KHALED EL-ARABY

The rapid proliferation of microcomputer software packages for network-based transportation planning, with different capabilities and limitations, makes it difficult to evaluate and select a package to satisfy the needs and constraints of a particular agency or transportation planner. The software selection process is complex because it involves a multi-objective decision-making process with ill-defined tradeoffs between the objectives as well as the capabilities and limitations of alternative packages. An expert system is described to assist practicing transportation planners and engineers in selecting microcomputer packages for network-based transportation planning to satisfy their agencies' needs and constraints. The Network-Based Transportation Planning Software Selection Advisor (NETSSA) is implemented in LISP on a VAX computer. NETSSA is highly interactive and user friendly. Its current knowledge base includes nine software packages; however, it can easily be expanded by its developers to include additional software packages and/or heuristics. The advice provided by NETSSA is supported with full explanation and reasoning. The user can accept it in whole or in part. NETSSA allows the user to change the relative weights placed on the different aspects and options, assign new weights, and declare specific requirements as being absolutely critical to the user. These flexibilities enable the user to use NETSSA interactively until he or she arrives at a recommendation that would optimally satisfy his or her agency's "realistic" needs and constraints.

Almost all transportation studies involve systematic analysis processes that include the forecasting of traffic flow patterns on several elements of transportation systems (1). Microcomputer technology is developing very rapidly and is becoming increasingly available to more transportation planners and engineers. Consequently, several microcomputer software packages have been developed recently to facilitate network-based traffic forecasting on transportation networks (2). Representative packages include TRANPLAN/NEDS, MicroTRIPS, EMME/2, TMODEL2, MINUTP, TRANSPRO, MOTORS, JHK SYSTEM II, CARS, etc.

Although these packages predict traffic flow patterns on transportation networks, their capabilities and limitations differ in several aspects such as maximum allowable network size (i.e., number of zones, nodes, and links), hardware requirements, trip generation capabilities, trip distribution options, modal split approaches, traffic assignment techniques, output reporting options and formats, interactive graphic facilities, prices, maintenance costs, technical support, ease of use, compatibility with existing computational facilities,

Department of Urban and Regional Planning, Texas A&M University, College Station, Tex. 77843-3137.

etc. Furthermore, each package is constantly being enhanced over time to increase its capabilities and reduce its limitations.

The selection of the software package that best suits the needs and constraints of a particular transportation agency is certainly a challenge that all transportation planning agencies face. The evaluation and selection process is a complex, time-consuming, and costly one. It involves multi-objective decision making with ill-defined tradeoffs between the objectives of that agency, as well as between the capabilities and limitations of alternative packages. Furthermore, existing packages are constantly being enhanced and therefore, by the time the decision is made, it may very well be already out of date. The Texas State Department of Highways and Public Transportation (SDHPT) is using the "Texas Travel Demand Forecasting Package," installed on the mainframe computer at the Texas SDHPT, and has recently completed a two-year study for the evaluation and selection of a microcomputer software package to be used in different urban areas within the state and to be linked with the Texas Package (3). The study involved a detailed comparison of several microcomputer network-based transportation planning packages. The Tri-County Regional Planning Commission, Lansing, Mich., conducted a similar thorough investigation for Michigan Department of Transportation (4). The study involved evaluation of 11 network-based microcomputer packages and even included actual site demonstration by several vendors. The State of Florida addresses the problem of traffic forecasting in its urban areas through a standardized model structure that can perform a variety of forecasting functions—the Florida Standard Urban Transportation Model Structure (FSUTMS), developed over the last ten years by the Bureau of Multimodal Systems Planning, Division of Planning and Programming, Florida Department of Transportation (5). The microcomputer version of FSUTMS is based on one of the microcomputer packages indicated above. The first and second National Conferences on Transportation Planning Applications (1987, 1989), which were attended by over 300 participants, most of whom were transportation planners and practitioners from various agencies (federal, state, local, public, private, MPOs, universities, etc.), and the 1st, 2nd, and 3rd International Conferences on Microcomputers in Transportation (1985, 1987, 1989) were indeed rare occasions for professionals to share their experiences with applications of alternative techniques and software packages to their respective problems.

Artificial Intelligence (AI) is a branch of computer science concerned with simulating human intelligence in a computing

65

machine environment, including natural language understanding, vision, learning, robotics, and expert systems. Expert Systems (ES) is another branch that attempts to simulate or reproduce intelligent problem-solving behavior in a computer program. An ES may be defined as an interactive computer program that incorporates judgment, experience, rules of thumb, intuition, and other expertise to provide knowledgeable advice about a variety of tasks (6). An ES differs from a conventional computer in several aspects, including representation and use of knowledge, separation between knowledge base (knowledge that defines the specific problem to be solved) and the inference mechanism that uses the knowledge base to solve the problem at hand, the heuristic nature of the problem-solving process, and the orientation toward symbolic rather than numerical processing of information (7).

The appropriate problems for using ES are those that require expert knowledge for their solution; the reverse is not true. That is, many problems solved by human experts may not be easily solved by ES techniques. Criteria for selecting an appropriate problem for an ES application have been developed (8,9) and include:

1. the problem should focus on a narrow specialty area and should not involve a lot of common-sense knowledge;
2. the problem should not be too easy or too difficult to solve by human experts;
3. algorithmic solutions are impractical because of complex physical, social, political, environmental, and/or judgmental aspects of the problem, which generally resist precise description and deterministic analysis;
4. the problem-solving process should be adapted to handle different types of problems and dynamic situations;
5. knowledge transfer from scarce human experts to other humans is too difficult or may take too long;
6. the problem-solving process involves extensive basic and background knowledge that only a few experts can possess; and
7. high performance results are required in a short time while a human expert is not available.

It should be emphasized, however, that ES should be used as a tool to advise human experts, but not to replace them.

Based on the above review of literature and problem definition, ES technology is believed to be most suited to address the problem of transportation planning software selection.

This paper describes an effort to develop an expert system to assist transportation engineers and planners in selecting the microcomputer network-based transportation planning software packages that would most effectively meet their specific needs and constraints. The bulk of this paper will describe the structure and operation of the Network-Based Transportation Planning Software Selection Advisor (NETSSA). The next section gives an overview of NETSSA, including a listing of the software packages to be considered for analysis, the set of evaluation criteria utilized by the expert system, the assignment of default and user-defined relative weights for different options and evaluation criteria, the operation of NETSSA, and its architecture. The following section demonstrates the flexibilities and capabilities of NETSSA through an example application. The final section includes summary and conclusions.

## AN OVERVIEW OF NETSSA

### Network-Based Transportation Planning Software Packages in NETSSA

The initial phase of the study included a detailed examination of recent studies where network-based transportation planning software packages were reviewed and evaluated. Studies that tested and compared the software capabilities features to a great extent were identified:

1. *A Comparison of Microcomputer Packages for Network-Based Highway Planning*, conducted by the Texas Transportation Institute (3);
2. *Michigan Microcomputer Traffic Forecasting Model Evaluation*, conducted by the Tri-County Regional Planning Commission (10).

The first study performed a detailed evaluation of four packages and the second included 11 packages. In this paper NETSSA included the nine packages identified below by their names and developers. It should be clear, however, that not all existing or newly developed packages can be added very easily, provided of course that their characteristics are known. In NETSSA, new information can only be added by the system developers in order to maintain accuracy of the knowledge base.

Package	Developer
TRANPLAN/NEDS MicroTRIPS	Urban Analysis Group PRC Voorhees/RVA/MVA Systematica
EMME/2	Centre de Recherche sur les Transports
MINUTP	COMSIS Corporation
MOTORS	M. M. Dillon Ltd.
TRANSPRO	Transware Systems
JHK SYSTEM II	JHK and Associates
CARS	Roger Creighton Associates
TMODEL2	Metro Transportation Group, Inc.

It should be clear that the authors do not endorse any particular software (or company) included in (or to be added to) NETSSA or recommended by the example application in this paper.

### Software Evaluation Criteria in NETSSA

Each of the two studies mentioned above used its own set of evaluation criteria. Although there was a great deal of overlap between the criteria used in both studies, it was clear that the Michigan study involved more detailed classification. In this paper, the most significant evaluation criteria, particularly those which were clearly identified in both studies, were classified into ten basic categories; each category included several related characteristics and/or options. The ten categories were also classified into two major groups. The first four categories are basic modeling analysis options:

1. Trip generation (trip generation equations, category rates and trip generation rate estimation);

2. Trip distribution (fratar, exponential gravity, friction factor gravity, K-factors, and gravity calibration);
3. Modal split (binary logit, diversion curves, and full network transit modeling); and
4. Traffic assignment (all-or-nothing, dial multipath, incremental multipath capacity-restrained, iterative capacity-restrained, iterative multipath capacity-restrained, equilibrium assignment, and turn prohibitors).

The other six categories are supporting analysis options:

5. Network size (maximum allowable number of zones, nodes, and links);
6. Package limits (maximum allowable number of trip purposes and trip generation variables);
7. Package prices;
8. Hardware requirements (IBM-PC or compatible, floppy or hard disk drives, screen displays, dot matrix printer, plotters, and high-resolution color monitor);
9. Report options (unloaded network, selected paths, link loads, turning movements, assignment convergence, VHT, VMT summaries, and ground count comparisons); and
10. Graphics capabilities (highway networks and loads, interactive network editing, highway paths, transit networks and loads, zonal data and matrices, and node volumes and delays).

#### Assignment of Weights to Software Evaluation Criteria in NETSSA

In order to reflect the relative importance of alternative options within different categories of the evaluation criteria, NETSSA includes default weights assigned to each of the four basic modeling analysis options identified above. This is particularly useful in reflecting the tradeoffs involved in the selection process. For example, in the traffic assignment category, the iterative capacity-restrained assignment option was given a weight of 0.6, while the equilibrium assignment option was given a weight of 0.8. A package that has equilibrium assignment capability but does not have capacity-restrained is therefore evaluated higher compared to another one that does not have equilibrium assignment but has capacity-restrained. In situations where none of the packages satisfies all user-defined modeling needs, NETSSA will recommend as its first selection the package that has the highest overall weight in satisfying as many user-defined modeling options as possible, and the one with the next higher weight as the second selection.

NETSSA will also identify the options that the recommended packages do not satisfy and the requirements for their operation. This is also true in case there are two or more packages which satisfy all user-defined modeling needs. If the user does not agree with NETSSA's default weights or recommendations, he or she can specify his or her own weights for alternative modeling options. In fact, the user can also add his or her own weights to any other supporting analysis options. Furthermore, if there is an absolutely critical criterion that must be satisfied, the user can assign a very high weight to that particular option or constraint. The user-assigned weight will override NETSSA's default weight, and the recommendations will be based on the user's own weight. Of

course, multiple critical criteria may be specified simultaneously.

#### Operation of NETSSA

NETSSA is basically an advisor that mimics a search by a knowledgeable transportation engineer or planner. It incorporates judgment, experience, and other expertise to provide advice about the selection of the software that meets the user needs and constraints. An overview of the five main tasks performed by NETSSA is shown in Figure 1. These steps are:

1. Identification of satisfied and unsatisfied evaluation criteria. NETSSA queries the user to input the software packages to consider in the selection process, his chosen modeling analysis needs (i.e., trip generation, trip distribution, modal split and traffic assignment options), and other supporting analysis needs and constraints (i.e., network size, trip purposes and trip generation variable limits, hardware requirements, budget and graphics options). Then through the incorporation of both the heuristic knowledge present in the system and the user input, the evaluation options that are satisfied, not satisfied and/or may not be satisfied due to insufficient information are identified for each chosen package and shown accordingly to the user.

2. Evaluation of each package. Given the current standing of each software package with respect to the different user-

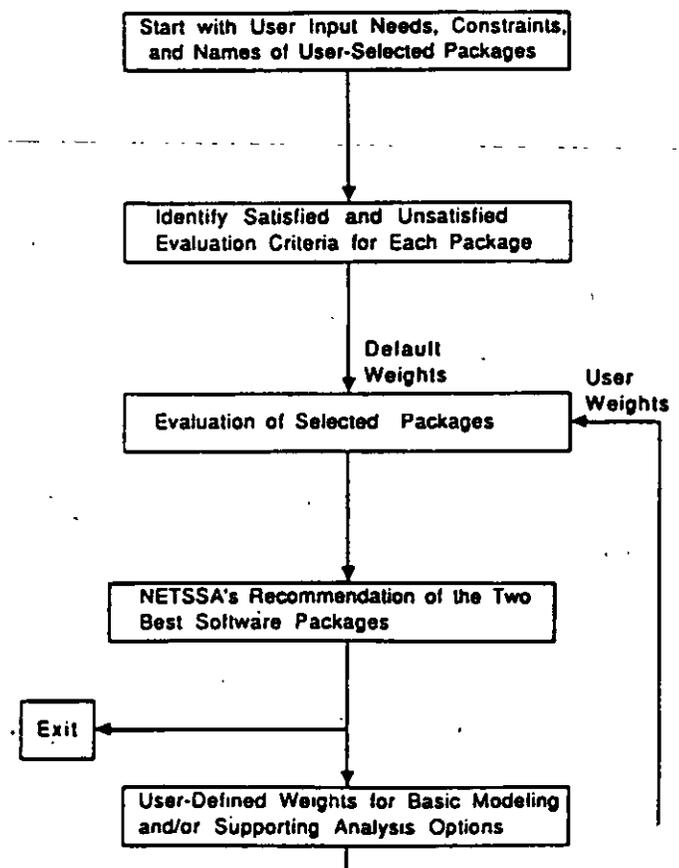


FIGURE 1 Operation of NETSSA.

defined needs and constraints, and given the default weights assigned by the system developers to each modeling analysis option, the overall weight of each package is evaluated.

3. Recommendation of software packages. The software package with the highest "relative merit" or highest overall weight is then recommended to the user. NETSSA identifies the options that the recommended package does not satisfy and the requirements (package limits, minimum memory, etc.) for operating the package. NETSSA also recommends a second-best software package together with its merits and requirements.

4. Modification of weights. NETSSA then allows the user to modify its default weights of the modeling analysis options provided by the system developers. At this point, the user can also assign new weights to other supporting analysis options (e.g., hardware requirements, budget limit, and maximum network size). These flexibilities enable the user to reflect his or her own judgment about the relative importance of all options. The user can even identify some options as absolutely critical requirements that *must* be satisfied in the selected software. The user, however, has to be cautious when specifying his own weights. Assignments of weights to supporting analysis options can jeopardize the effect of the basic modeling analysis options on the selection process.

5. Recommendation based on user-defined weights. After NETSSA receives the user-specified weights, the system searches for the software package that meets all the user critical requirements, if any. If no package satisfies the critical requirements, the user is notified and has the opportunity of

either making changes to the critical options and weights to exit the system. If the user selects to continue, NETSSA repeats Steps 2 and 3 with new user weights from step 4: recommends the software package with the highest relative merit together with the second-best choice. The system gives the merits and operating requirements of each recommended package.

Interactive analysis of options and their respective weight may be repeated as many times as the user wishes until he she reaches an "optimum" solution for his or her "realist needs and constraints. An example application described in this paper will provide more insight into the operation, flexibilities and interactive capabilities of NETSSA.

#### Architecture of NETSSA

One fundamental characteristic of expert systems is that the knowledge used to solve the problem is expressed primarily in symbolic terms. NETSSA is written in LISP language and is implemented on a VAX mainframe computer. LISP was chosen because of its power for representing, storing, and retrieving symbol structures and its flexibility with respect to the problem-solving strategies. Figure 2 shows the architecture of NETSSA. Below is a description of each of its components. A more detailed and general description of components of expert systems may be found elsewhere (6-9,11

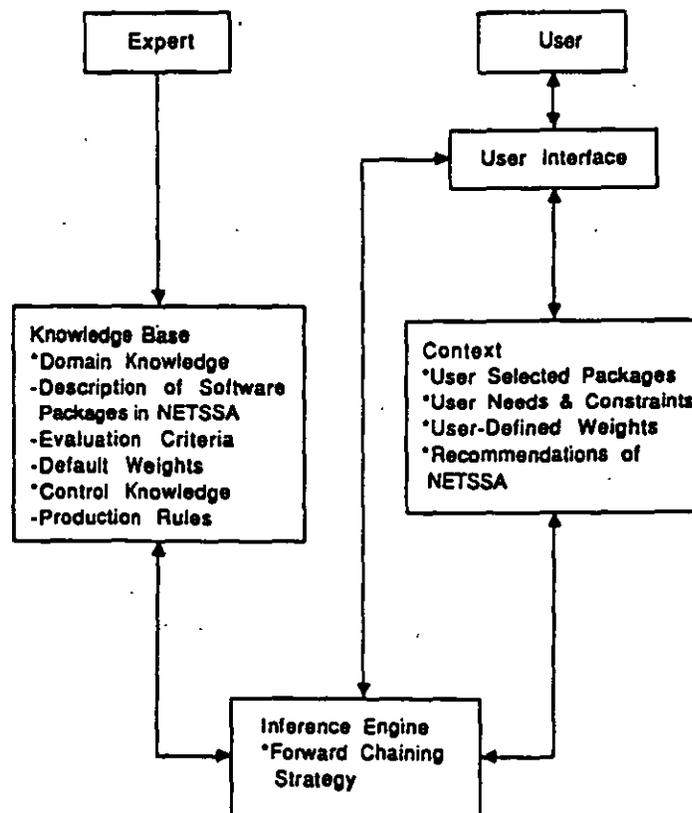


FIGURE 2 Architecture of NETSSA.

**Knowledge Base**

The knowledge base is the powerhouse of the expert system. It contains all relevant information, facts, causal knowledge of the domain, and heuristics used for problem-solving activities. In NETSSA's knowledge base, the domain and the control knowledge of the problem are included.

The first type of knowledge (i.e., domain knowledge) consists of the features, capabilities, package limits and analysis features for each of the nine software packages. Table 1 shows an example of the domain knowledge on traffic assignment features offered by several packages. Other types of data, such as default weights assigned to basic modeling analysis options, are also present in the domain knowledge. The domain knowledge is represented as object-attribute-value triplets or OAV. In this scheme, object may be a particular software package. Attributes are general characteristics or features of objects (e.g., network size limits, trip distribution features). The second member of the triplet is the value or nature of that attribute (e.g., trip distribution options may include friction factor gravity distribution or fratar distribution). Figure 3 shows an example of an OAV representation.

The second type of knowledge (i.e., the control knowledge) includes all the rules and procedures that determine how the domain data are related and the basis for assigning weight and selecting the softwares. In NETSSA, this knowledge is represented in the form of production IF-THEN rules, in which the satisfaction of one or more premises leads to one or more actions or consequences.

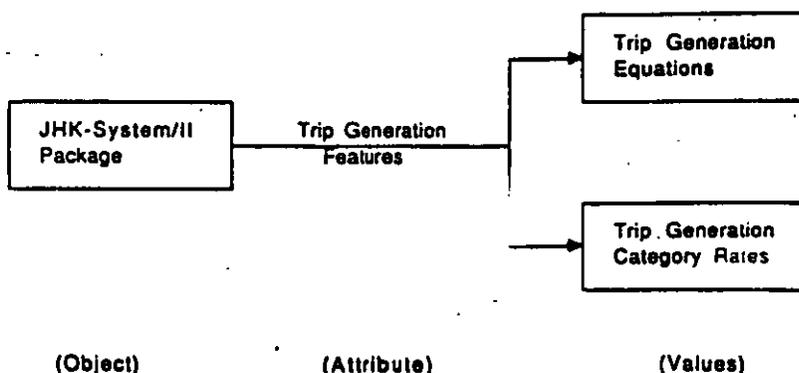
**Context**

The context is the component of the expert system that contains all data, symbols, true facts, or rules that reflect the current status of the problem. The context in NETSSA will initially contain information about the packages specified by the user to be evaluated and the user's set of needs and constraints. The context would expand as the problem-solving process expands to include, for example, information about the options that are satisfied or not satisfied by each package. It can also include information about the overall weight of each package and the user defined weights.

**TABLE 1 TRAFFIC ASSIGNMENT FEATURES OF SOME PACKAGES (3,10)**

Packages	All-or-Nothing	Dial Multipath	Incremental Multipath	Iterative	Iterative Multipath	Equilibrium
TRANPLAN/NEDS	x	x	No	x	No	x
MicroTRIPS	x	x	x	x	x	x
EMME/2	x	No	No	x	No	x
MINUTP	x	x	x	x	x	x
JHK-System/II	x	x	x	x	x	x
CARS	x	No	No	x	x	No

\* x=Feature is available  
No=Feature is not available



**FIGURE 3 Example of object-attribute-value (OAV) representation.**

69

### Inference Engine

The inference engine is responsible for the execution of the expert system through manipulation of the knowledge base and context. The inference engine locates and executes an "active" rule (one in which the premise is satisfied) and executes the required action. This is done by detecting changes in the context, comparing the context with the knowledge base, and deciding which action would be most appropriate. The process of selecting active rules is repeated until no rule can be satisfied or until a prediction indicates the end of the session.

In NETSSA, the forward chaining processing strategy is utilized. According to this strategy, the expert system works from an initial state of known facts (user input and domain knowledge) and searches for the best conclusion (i.e., most appropriate software that fits these facts). In Steps 3, 4, and 5 described above, the expert system begins with the recommended package based on the system default weights. It determines whether it is appropriate for the user-defined weights and critical requirements. If it does not support the user requirements, the expert system pursues the validity of other packages in the knowledge base.

### User Interface

The user interface allows the user to interact directly and efficiently with the system. It prompts the user to input his facts and data, and provides him with explanation and reasoning for the decision reached. In NETSSA, user inputs include the available packages, evaluation constraints, user weights, etc. NETSSA's outputs include (1) identification of packages that satisfy all user input needs and constraints, if any; (2) the 1st and 2nd recommended software packages; (3) the features satisfied, unsatisfied, and possibly satisfied by each package; (4) the default or user-defined weights based on which the decision was made; and (5) the requirements for operating the recommended packages.

### Example Application

In this section, an example application of NETSSA is demonstrated. NETSSA begins by welcoming the user and listing

the available software packages in the system. It then prompts the user to select the packages that he would like to include in the selection process (see Figure 4). In this example, the user chooses five software packages to include in the selection process. The chosen packages are: TRANPLAN/NEDS, MicroTRIPS, EMME/2, TRANSPRO, and MINUTP.

The user then specifies his basic modeling and supporting analysis options that fit his specific needs and constraints. In this example, the user identifies the following options:

1. Trip generation equations, trip generation rate estimation;
2. Friction factor gravity distribution, K-factors, gravity calibration;
3. Binary logit modal split, full network transit modeling
4. Equilibrium assignment, and turn prohibitors.
5. Max. no. of zones < 1500, max. no. of nodes < 16,000  
max. no. of links < 16,000;
6. Max. no. of trip purposes < 15, max. no. of trip generation variables < 26;
7. Budget limit = \$3000;
8. IBM-PC or compatible, hard disk drive, screen displays dot matrix printers;
9. Report VHT/VMT summaries, report turning movements, report links loads and selected paths, report unloading network; and
10. Interactive network editing.

Once the user inputs his options as defined above, NETSSA evaluates each of the five packages and displays for each package the options which are satisfied, not satisfied and/or may or may not be satisfied for insufficient information. In this example, the information displayed for TRANPLAN/NEDS is shown in Figure 5. Again, similar information is displayed for each of the five packages.

Using the default weights in NETSSA, it recommends two software packages. For each of the recommended packages, NETSSA displays the user-defined options not satisfied by the package, if any, together with the requirements for operating the package. In this example, the NETSSA made the recommendation shown in Figure 6.

At this point the user may elect to exit NETSSA or to continue by specifying his own set of weights for basic modeling options, as well as new weights for other supporting

WELCOME TO THE NETWORK-BASED TRANSPORTATION PLANNING SOFTWARE SELECTION ADVISOR

\* NETSSA \*

THIS PROGRAM WILL ASSIST YOU IN CHOOSING THE SOFTWARE PACKAGE THAT  
WILL BEST SUIT YOUR NEEDS FOR YOUR TRANSPORTATION NETWORK ANALYSIS PROBLEM

THE SOFTWARE PACKAGES AVAILABLE ARE :

TRANPLAN/NEDS  
MINUTP  
CARS

MICROTRIPS  
MOTORS  
JHK-SYSTEM/II

EMME/2  
TRANSPRO  
TMODEL2

FIGURE 4 NETSSA's welcoming message.

TRANPLAN/NEDS SATISFIES THE FOLLOWING OPTIONS

(MAX. NO. OF ZONES 1500) (MAX. NO. OF TRIP PURPOSES 15)  
(BUDGET LIMIT \$ 3000) (DOT MATRIX PRINTERS) (SCREEN DISPLAYS)  
(HARD DISK) (IBM-PC OR COMPATIBLE)  
(TRIP GENERATION EQUATIONS)  
(GRAVITY SELF CALIBRATION) (K-FACTORS)  
(FRICTION FACTOR GRAVITY DISTRIBUTION)  
(FULL NETWORK TRANSIT MODELING) (TURN PROHIBITORS)  
(EQUILIBRIUM ASSIGNMENT) (REPORT VHT/VMT SUMMARIES)  
(REPORT TURNING MOVEMENTS) (REPORT LINK LOADS)  
(REPORT SELECTED PATHS) (REPORT UNLOADED NETWORK)  
(INTERACTIVE NETWORK EDITING)

TRANPLAN/NEDS DOES NOT SATISFY THE FOLLOWING OPTIONS

(MAX. NO. OF NODES 16000) (MAX. NO. OF LINKS 16000)  
(MAX. NO. OF TRIP GENERATION VARIABLES 26)  
(TRIP GENERATION RATE ESTIMATION) (BINARY LOGIT MODAL SPLIT)

FIGURE 5 Information display for TRANPLAN/NEDS software package.

---

AS A FINAL OUTCOME AND BASED ON OUR OWN DEFAULT WEIGHTS FOR THE BASIC MODELING ANALYSIS OPTIONS YOU HAVE SELECTED , IT WOULD BE RECOMMENDED TO USE :

\* 1st. SELECTION :  
MINUTP SOFTWARE PACKAGE

\* 2nd. SELECTION:  
EMME/2 SOFTWARE PACKAGE

MINUTP DOES NOT SATISFY THE FOLLOWING USER SELECTED OPTIONS :

(MAX. NO. OF TRIP PURPOSES 15) (GRAVITY SELF CALIBRATION)

MINUTP REQUIRES THE FOLLOWING OPTIONS :

(BUDGET NOT LESS THAN \$ 3000)  
(MINIMUM MEMORY 256 K RAM)  
(FLOPPY DISK OR HARD DISK DRIVES) (MAX. NO. OF ZONES 2000)  
(MAX. NO. OF NODES 16000) (MAX. NO. OF LINKS 32300)  
(MAX. NO. OF TRIP PURPOSES 9)  
(MAX. NO. OF TRIP GENERATION VARIABLES 26)

YOUR SECOND CHOICE WOULD BE TO USE :

EMME/2 SOFTWARE PACKAGE

EMME/2 DOES NOT SATISFY THE FOLLOWING OPTIONS :

(MAX. NO. OF ZONES 1500) (MAX. NO. OF NODES 16000) (BUDGET LIMIT \$ 3000)  
(TRIP GENERATION RATE ESTIMATION)

EMME/2 REQUIRES THE FOLLOWING OPTIONS :

(BUDGET NOT LESS THAN \$ 7500)  
(MINIMUM MEMORY 640 K RAM) (HARD DISK DRIVE)  
(MAX. NO. OF ZONES 800) (MAX. NO. OF NODES 5000) (MAX. NO. OF LINKS 16000)  
(MAX. NO. OF TRIP PURPOSES 40)  
(MAX. NO. OF TRIP GENERATION VARIABLES 100)

---

FIGURE 6 NETSSA's recommendation based on default weights.

71

options. In this example, the user elected to continue. The weights specified by the user are:

Option	Weight
Gravity Self Calibration	0.4
Exponential Gravity Distribution	0.6
Trip Generation Rate Estimation	0.3

Based on these user-defined weights and the default weights not altered by the user, NETSSA's recommendation changed as shown in Figure 7.

As indicated earlier, the user can assign new weights to other supporting analysis options. In this example, the user elected to exercise this option. The user-specified weights are:

Option	Weight
Budget Limit	1.0
Max. No. of Trip Purposes 15	0.8
Max. No. of Links 16,000	0.7
Max. No. of Zones 1500	0.9

Based on these user-defined weights and system de for the basic modeling analysis options, NETS: mendment again changed as shown in Figure 8.

Finally, the user can specify some critical requ this example the user elected to specify the follo requirements:

- Budget Limit \$3000,
- Max. No. of Zones 1500, and
- Max. No. of Trip Purposes 15.

Again NETSSA offers recommendations and info the package(s) that satisfies the user critical requi shown in Figure 9. The process could continue as r as the user wishes until he or she arrives at a recom that would "optimally" satisfy his or her needs straints.

---

**AS A FINAL OUTCOME AND BASED ON YOUR OWN SET OF WEIGHTS, IT WOULD BE RECOMMENDED TO USE :**

\* 1st. SELECTION :  
EMME/2 SOFTWARE PACKAGE

\* 2nd. SELECTION :  
MICROTRIPS SOFTWARE PACKAGE

**\* FIRST SELECTION \***

EMME/2 DOES NOT SATISFY THE FOLLOWING OPTIONS :

- (MAX. NO. OF ZONES 1500) (MAX. NO. OF NODES 16000) (BUDGET LIMIT \$ 3000)  
(TRIP GENERATION RATE ESTIMATION)

EMME/2 REQUIRES THE FOLLOWING OPTIONS :

- (BUDGET NOT LESS THAN \$ 7500)  
(MINIMUM MEMORY 640 K RAM) (HARD DISK DRIVE)  
(MAX. NO. OF ZONES 800) (MAX. NO. OF NODES 5000) (MAX. NO. OF LINKS 1600)  
(MAX. NO. OF TRIP PURPOSES 40)  
(MAX. NO. OF TRIP GENERATION VARIABLES 100)

**\* SECOND SELECTION \***

MICROTRIPS SOFTWARE PACKAGE

MICROTRIPS DOES NOT SATISFY THE FOLLOWING OPTIONS :

- (MAX. NO. OF LINKS 16000) (MAX. NO. OF TRIP PURPOSES 15)  
(MAX. NO. OF TRIP GENERATION VARIABLES 26) (BUDGET LIMIT \$ 3000)  
(TRIP GENERATION RATE ESTIMATION)

MICROTRIPS REQUIRES THE FOLLOWING OPTIONS :

- (BUDGET NOT LESS THAN \$ 4250)  
(MINIMUM MEMORY 256 K RAM)  
(FLOPPY DISK OR HARD DISK DRIVES) (MAX. NO. OF ZONES 2000)  
(MAX. NO. OF NODES 40000) (MAX. NO. OF LINKS 14000)  
(MAX. NO. OF TRIP PURPOSES 3)  
(MAX. NO. OF TRIP GENERATION VARIABLES 18)
- 

FIGURE 7 NETSSA's recommendation based on user-defined weights for basic modeling options.

---

AS A FINAL OUTCOME AND BASED ON YOUR OWN SET OF WEIGHTS, IT WOULD BE RECOMMENDED TO USE :

\* 1st. SELECTION :  
MINUTP SOFTWARE PACKAGE

\* 2nd. SELECTION :  
TRANPLAN/NEDS SOFTWARE PACKAGE

\* FIRST SELECTION \*

MINUTP DOES NOT SATISFY THE FOLLOWING OPTIONS :

(MAX. NO. OF TRIP PURPOSES 15) (GRAVITY SELF CALIBRATION)

MINUTP REQUIRES THE FOLLOWING OPTIONS :

(BUDGET NOT LESS THAN \$ 3000)  
(MINIMUM MEMORY 256 K RAM)  
(FLOPPY DISK OR HARD DISK DRIVES) (MAX. NO. OF ZONES 2000)  
(MAX. NO. OF NODES 16000) (MAX. NO. OF LINKS 32300)  
(MAX. NO. OF TRIP PURPOSES 9)  
(MAX. NO. OF TRIP GENERATION VARIABLES 26)

\* SECOND SELECTION \*

TRANPLAN/NEDS SOFTWARE PACKAGE

TRANPLAN/NEDS DOES NOT SATISFY THE FOLLOWING OPTIONS :

(MAX. NO. OF NODES 16000) (MAX. NO. OF LINKS 16000)  
(MAX. NO. OF TRIP GENERATION VARIABLES 26)  
(TRIP GENERATION RATE ESTIMATION) (BINARY LOGIT MODAL SPLIT)

TRANPLAN/NEDS REQUIRES THE FOLLOWING OPTIONS :

(BUDGET NOT LESS THAN \$ 2500)  
(RECOMMENDED MEMORY 640 K RAM) (HARD DISK DRIVE)  
(MAX. NO. OF ZONES 1500) (MAX. NO. OF NODES 10000) (MAX. NO. OF LINKS 12000)  
(MAX. NO. OF TRIP PURPOSES 15)  
(MAX. NO. OF TRIP GENERATION VARIABLES 25)

---

FIGURE 8 NETSSA's recommendation based on user-defined weights for supporting analysis options.

---

AS A FINAL OUTCOME AND BASED ON YOUR OWN SET OF WEIGHTS: TRANPLAN/NEDS SOFTWARE PACKAGE IS THE PACKAGE THAT SATISFIES ALL YOUR -CRITICAL- REQUIREMENTS

TRANPLAN/NEDS REQUIRES THE FOLLOWING OPTIONS :

(BUDGET NOT LESS THAN \$ 2500)  
(RECOMMENDED MEMORY 640 K RAM) (HARD DISK DRIVE)  
(MAX. NO. OF ZONES 1500) (MAX. NO. OF NODES 10000) (MAX. NO. OF LINKS 12000)  
(MAX. NO. OF TRIP PURPOSES 15)  
(MAX. NO. OF TRIP GENERATION VARIABLES 25)

TRANPLAN/NEDS DOES NOT SATISFY THE FOLLOWING OPTIONS :

(MAX. NO. OF NODES 16000) (MAX. NO. OF LINKS 16000)  
(MAX. NO. OF TRIP GENERATION VARIABLES 26)  
(TRIP GENERATION RATE ESTIMATION) (BINARY LOGIT MODAL SPLIT)

---

FIGURE 9 NETSSA's recommendation based on user-defined critical requirements.

## CONCLUSIONS

Several microcomputer software packages have recently been developed to facilitate network-based traffic forecasting on transportation networks. The selection of the software package that best suits the needs and constraints of a particular transportation agency is a complex, time-consuming and costly challenge. Expert system technology was thought to be most appropriate to address this issue of transportation planning software selection.

The Network-based Transportation Planning Software Selection Advisor (NETSSA) developed in this paper was implemented in LISP language on a VAX mainframe computer. NETSSA's current knowledge base includes the nine software packages. Evaluation criteria were identified, and NETSSA's developers further classified these criteria into basic modeling options (for which default weights were assigned) and other supporting analysis options. The default weights in NETSSA were based on the expert opinion of a few transportation systems analysts including the developers. The flexibility of NETSSA was demonstrated by allowing the users to alter these default weights and to assign new weights to any of the supporting analysis options. The user can even declare some options to be absolutely critical requirements that must be satisfied by the selected software.

An example application of NETSSA was described to illustrate the basic features and capabilities of NETSSA. The example application showed that there is no one package that would satisfy all the "desired" user needs and constraints, and the NETSSA's recommendations are quite sensitive to the user-defined needs, constraints, and weights. Therefore, the user would have to be very careful in evaluating the tradeoffs between the capabilities, limitations, and requirements of alternative packages, on the one hand, and his agency's objectives, needs, and constraints, on the other hand. NETSSA can be very easily expanded to include additional software packages or updates of existing ones in its domain knowledge base.

Though NETSSA includes several important evaluation criteria, some may need additional refinements. For example, the modal split option of "full transit modeling" may require further detailed definition and classification. In addition, a particular user may want to consider additional criteria that may not currently be included in NETSSA. Further research and user comments should help identify additional criteria to be added to NETSSA. Furthermore, some evaluation criteria would be difficult to include and measure, such as "ease of use." That is, two packages may be capable of performing the same function (i.e., both satisfy a particular criterion), but one may be a lot easier compared to the other. NETSSA includes some "proxy" measures for "ease of use," but more enhancement is needed to explicitly consider this important criterion. It should also be very useful to test NETSSA against human experts involved in an actual process for software selection.

Future research for the development of expert systems similar and related problems may prove to be fruitful. For instance, a similar software selection advisor is needed for site impact and corridor analyses. A more general expert system for the selection of transportation planning techniques to address a broader range of transportation problems would be a more challenging system to develop. In fact such an expert system may include NETSSA and similar system components.

## ACKNOWLEDGMENTS

The authors would like to express their deep appreciation to Paul Hamilton, Tri-County Regional Planning Commission, Lansing, Michigan, and to George Dresser, Vergil Stover, and Duk Chang, Texas Transportation Institute, for their cooperation in providing the results of their invaluable studies. The comments of Walter Daugherty, Knowledge Systems Research Center, Texas A&M University, and TRB references on the first version of the paper are greatly appreciated.

## REFERENCES

1. M. Manheim. *Fundamentals of Transportation Systems Analysis Volume I: Basic Concepts*. MIT Press, Cambridge, Mass., 1979.
2. *Microcomputers in Transportation: Software and Source Book*. UMTA, U.S. Department of Transportation, Washington, D.C., 1983, 1984, 1985, 1986, 1987, 1988.
3. D. Chang, V. Stover, and G. Dresser. *A Comparison of Microcomputer Packages for Network-Based Highway Planning*. Report 1110-3. Texas Transportation Institute, Texas A&M University, College Station, Tex., October 1988.
5. H. E. Pelt. Florida Standard Urban Transportation Model Structure. Presented at 1st Transportation Planning Applications Conference, Orlando, Fla., April 1987.
6. J. Gashing, R. Reboh, and J. Reiter. *Development of a Knowledge-Based Expert System for Water Resource Problems*. Systems International, Menlo Park, Calif., August 1981.
7. M. Maher, ed. *Expert Systems for Civil Engineers: Technology and Applications*. American Society of Civil Engineers, New York, N.Y., 1987.
8. F. Hayes-Roth, D. A. Waterman, and D. B. Lenat, eds. *Building Expert Systems*. Addison-Wesley, Reading, Mass., 1983.
9. C. Yeh, S. Ritchie, and J. Schneider. Potential Applications of Knowledge-Based Expert Systems in Transportation Planning and Engineering. In *Transportation Research Record 1076*, Transportation Research Council, Washington, D.C., 1986.
10. P. Hamilton. *Michigan Microcomputer Traffic Forecasting Model Evaluation: Final Draft Comparison Matrix*. Tri-County Regional Planning Commission, Lansing, Mich., August 31, 1988.
11. A. Faghri and M. Demetsky. *A Demonstration of Expert System Applications in Transportation Engineering: Volume I: Transportation Engineers and Expert Systems*. Virginia Transportation Research Council, Charlottesville, Va., June 1987.

Publication of this paper sponsored by Task Force on Expert Systems





**FACULTAD DE INGENIERIA U.N.A.M.  
DIVISION DE EDUCACION CONTINUA**

**DIPLOMADO INTERNACIONAL DE TRANSPORTE**

**MODULO II: PLANIFICACION DEL TRANSPORTE URBANO**

**TEMA : MODELOS MATEMATICOS PARA LA GENERACION DE  
VIAJES A NIVEL REGIONAL Y URBANO**

**AUTOR: ING. ROMAN VAZQUEZ BERBER**

**1997**

# **MODELOS MATEMATICOS PARA LA GENERACION DE VIAJES A NIVEL REGIONAL Y URBANO**

## **I.- ANTECEDENTES E INTRODUCCION**

- 1.- Antecedentes
- 2.- Algunas definiciones básicas
- 3.- Clasificación de los viajes
- 4.- Factores que afectan la producción de viajes

## **II.- TRES PROCEDIMIENTOS PARA ANALISIS DE GENERACION DE VIAJES**

- 1.- Análisis por factores de crecimiento
- 2.- Análisis de regresión múltiple
- 3.- Análisis de categorías

## **III.- APLICACION MATRICIAL A LA REGRESION MULTIPLE, PRUEBAS DE HIPOTESIS**

- 1.- Datos para una regresión múltiple
- 2.- Procedimiento para un análisis de regresión
- 3.- Simbología

## **IV.- RESUMEN**

Apéndice A.- Algunos artículos en ingles afines al tema de generación de viajes

20100000

20100000

20100000 20100000  
20100000 20100000

1

---

# **I. ANTECEDENTES E INTRODUCCION**

## **1.- ANTECEDENTES.**

La generación de viajes es la etapa del proceso de planificación del transporte cuyo propósito es el de pronosticar el número total de viajes producidos ( $P_i$ ) y atraídos ( $A_j$ ) para cada zona del área en estudio.

Esto ha sido considerado usualmente como la respuesta al problema que plantea la pregunta: ¿ Cuantos viajes se originan en cada zona?. Sin embargo, el asunto también ha sido planteado como un problema de elección de frecuencia de viajes: ¿ Cuantos viajes de compras (u otros propósitos) realizarán las personas durante un día laborable promedio.

En este trabajo únicamente consideraremos el enfoque de pronóstico de los viajes  $P_i$  y  $A_j$  a partir de los datos y atributos socioeconómicos de la familia, que por otro parte ha sido la práctica más ampliamente utilizada hasta fines de la década de los 80's.

Iniciaremos con la definición de algunos conceptos básicos y a continuación examinaremos algunos de los factores que afectan los viajes producidos ( $P_i$ ) y los viajes atraídos ( $A_j$ ). Se revisarán en forma breve los principales enfoques de la modelación, empezando con las técnicas más simples de los factores de crecimiento y continuando con los modelos de regresión lineal y finalmente los análisis de categorías, también conocidos como análisis cruzado.

Al considerar en forma zonal los modelos de generación de viajes domiciliarios en base a regresión lineal, se hará destacar el problema de no linealidad que con alguna frecuencia se incurre en este tipo de modelos. También se destaca el problema agregación, (por ejemplo : obtención de totales zonales, que tiene una solución trivial debido a la forma lineal del modelo. A continuación veremos los modelos de categorías, también conocidos como modelos de clasificación cruzada donde se estudiarán no solo los análisis de categorías clásicos sino también los enfoques más recientes incluyendo los modelos de análisis de categorías personal.

## **2.- ALGUNAS DEFINICIONES BASICAS.**

Desplazamiento (Journey). Este es un movimiento en un sentido desde un origen a un destino. La palabra viaje se define literalmente como un desplazamiento de salida o regreso para un propósito en la modelación del transporte ambos términos son utilizados como sinónimos. Nosotros estamos interesados en todos los viajes vehiculares, pero solo los viajes a pie de gran magnitud (400 metros o tres cuerdas) frecuentemente son consideradas; por último, los viajes realizados por niños menores de cinco años de edad generalmente son ignorados.

Viajes con base en el hogar (HB). Estos son viajes donde las personas que los realizan son desplazamientos que tienen como origen o destino el hogar, viajes no basados en el hogar (NHB). Estos viajes son aquellos que no tienen como extremo del mismo hogar.

Producción de viajes. Este se define como el viaje que se origina en el hogar o el origen de un viaje que parte de un lugar diferente del hogar.

Atracción de viajes. Este se define como el viaje que llega a un lugar diferente al hogar.

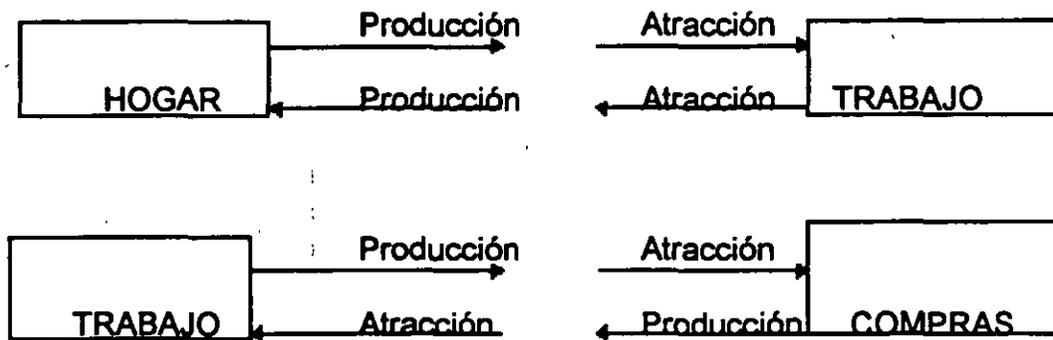


Fig. 1. Producción y atracción de viajes.

Generación de viajes. Generalmente se definen como el número total de viajes generados por los domicilios de una zona, tanto por los HB o los NHB: Este es debido a que la mayoría de los modelos pueden producir y la tarea consiste en localizar los viajes para otras zonas productoras de viajes que fueron incorporados a la modelación del transporte; esto está vinculado a la idea de que la demanda de viaje es una demanda derivada (lo que significa una fuerte dependencia de la demanda de otras actividades) pero ha sido utilizada principalmente por los modeladores de elección discreta en la práctica.

### 3.- CLASIFICACION DE LOS VIAJES.

#### a) *Por propósitos de viaje.*

Se ha determinado en la práctica que los mejores modelos de generación de viajes pueden ser obtenidos si los viajes para diferentes propósitos se identifican y modelan en forma separada. En el caso de los viajes con base en el hogar (HB) se emplean usualmente cinco clases:

- Viajes al trabajo.
- Viajes a la escuela.

- Viajes de compras.
- Viajes sociales y de diversión.
- Otros tipo de viajes.

Los primeros dos se denominan usualmente viajes obligados y todos los demás se denominan viajes opcionales. La última clase (otros tipos de viaje) comprende todos los viajes que no tienen un propósito rutinario tales como salud, obtener pasaportes o actas de nacimiento, certificados y viajes como acompañante de otra persona. Los viajes no basados en el hogar (NHB) no son separados debido a que normalmente representan de un 15 a un 20% de todos lo viajes.

#### *b) Viajes por hora del día.*

Los se clasifican para los periodos de máxima demanda y para periodos "valles", que generalmente no son de máxima demanda. La proporción de los desplazamientos para diferentes propósitos varía significativamente con las horas en un día normal.

#### *c) Por tipo de persona.*

Esta es otra clasificación importante, debido a que el comportamiento individual de los viajes es altamente dependiente de los atributos socioeconómicos. Usualmente se utilizan las siguientes clases:

- Nivel de ingresos (en la encuesta del Area Metropolitana de la Ciudad de México se utilizaron estratos).
- Propietarios de automóviles (generalmente se emplean tres estratos: 0, 1 y 2 ó más automóviles).
- Tamaño de la familia y estructura (seis estratos, en la mayoría de los estudios Británicos).

Es importante advertir que el número total de estratos se incrementa muy rápidamente y esto puede tener fuertes implicaciones en términos de la cantidad de datos requeridos por los modelos a emplear.

## **4.- FACTORES QUE AFECTAN LA GENERACION DE VIAJES.**

En la modelación de generación de viajes estamos interesados no solo en los viajes de personas sino también en los viajes de carga. Debido a esto los modelos para los cuatro grupos principales (de personas, de carga, producciones y atracciones de viajes) son usualmente requeridos. A continuación veremos en forma breve algunos factores que se han considerado importantes en los estudios prácticos. Poco se ha realizado en

cuanto conocimiento y modelación, para la generación de viajes de carga hasta fines de la década de los 80's.

### ***a) Producción de viajes por personas.***

Los siguientes factores han sido propuestos para ser considerados en los estudios prácticos:

- Ingreso.
- Propietarios de automóviles.
- Estructura de la familia.
- Tamaño de la familia.
- Valor del terreno.
- Densidad residencial.
- Accesibilidad.

Los primeros cuatro (ingreso, propietarios de automóviles, estructura de la familia y tamaño de la familia) se han considerado en varios estudios de generación de viajes domiciliarios, mientras que los valores de terrenos densidad residencial son típicos de estudios zonales. El último "accesibilidad" a sido muy rara vez utilizado, sin embargo en muchos estudios se ha intentado incluir.

---

### ***b) Atracción de viajes de personas.***

El factor más ampliamente utilizado ha sido el espacio disponible cubierto para servicios industriales, comerciales y otros servicios. Otro factor utilizado ha sido el empleo zonal y se han intentado ciertos estudios para incorporar una medida de accesibilidad. Sin embargo, es importante advertir que en este caso no se ha reportado grandes avances.

### ***c) Producción y atracciones de viajes de carga.***

Normalmente estos son relativamente pocos viajes vehiculares de hecho la mayor parte representan un 20% de todos los desplazamientos en ciertas áreas de los países industrializados, sin embargo ellos pueden ser significativos en términos de su constitución al congestionamiento. Las variables más importantes incluyen:

- Número de empleos.
- Número de ventas.
- Areas cubiertas de la empresa.
- Area total de la empresa.

Hasta donde conoceremos, ninguna empresa o accesibilidad ha sido considerada como variable explicativa (independiente), esto último podría parecer curioso debido a que parece lógico que diferentes productos deberán tener diferentes requerimientos a transporte de carga.

### III.- TRES PROCEDIMIENTOS DE ANALISIS.

#### 1.- Análisis por factores de crecimiento

Desde la década de los 50's se inicio el uso de los modelos de generación de viajes.

Los modelos pretenden pronosticar el número de viajes producidos y atraídos con base en el domicilio o zonales como una función de relaciones (generalmente lineales) que se determinan a partir de datos obtenidos.

Es importante aclarar un poco más con relación a los aspectos mencionados anteriormente:

\* Que viajes deberán ser considerados (por ejemplo viajes vehiculares únicamente y viajes caminando en distancias mayores a tres cuadras)

\* Cual es la edad mínima que estará incluida en los análisis (por ejemplo cinco años o mayores)

A continuación se presentará en forma breve un procedimiento que puede aplicarse para el pronostico de los desplazamientos futuros para cualquiera de las cuatro categorías mencionadas anteriormente

La ecuación básica es:

$$T_i = F_i t_i \quad (1)$$

donde  $T_i$  y  $t_i$  son los viajes futuros y actuales respectivamente en la zona y  $F_i$  es un factor de crecimiento.

El único problema del método es la estimación de  $F_i$  el resto es trivial. Normalmente el factor está relacionado con variables tales como la población ( $P_o$ ), el ingreso ( $I$ ) y los propietarios de automóviles ( $C$ ) relacionados por medio de una expresión funcional como la siguiente:

$$F_i = \frac{f(P_o^d, I_i^d, C_i^d)}{f(P_o^c, I_i^c, C_i^c)}$$

donde  $f$  puede ser una función multiplicativa directa sin parámetros y los índices superiores  $d$  y  $c$  significan el año de pronóstico y el año actual respectivamente.

Ejemplo: Considere una zona con 250 domicilios con un automóvil y 250 domicilios sin automóvil considere que conocemos el índice de producción de viajes promedio para cada grupo:

Los domicilios con un automóvil producen ; 6.0 viajes/día

Los domicilios sin automóvil producen ; 2.5 viajes / día

Podemos deducir fácilmente que el número de viajes actual por día es:

$$t_i = 250 \times 2.5 + 250 \times 6.0 = 2125 \text{ viajes / día}$$

También consideraremos que en el futuro todos los domicilios tendrán un automóvil por lo tanto consideraremos que el ingreso y la población permanecen constantes (lo cual es una hipótesis en ausencia de otra información), podemos estimar por medio de una multiplicación simple, el factor de crecimiento:

$$F_i = C_i^d / C_i^c = 1/0.5 = 2$$

y aplicando la ecuación (1) podemos estimar el número de viajes futuros como

$$T_i = 2 \times 2125 = 4250 \text{ viajes / día}$$

Sin embargo el método es muy burdo, lo cual puede ser demostrado. Si usamos nuestra información con respecto al índice de viajes promedio y hacemos la suposición de que éste permanece constante (lo cual es actualmente la principal consideración que está subyacente en uno de los métodos más populares de pronóstico), nosotros podemos estimar el número de viajes futuros como:

$$T_i = 500 \times 6 = 3000$$

Lo cual significa que el método del factor de crecimiento podría sobrestimar el número total de viajes aproximadamente un 42% .

Esto es muy serio debido a que la generación de viajes es la primera etapa del proceso de modelación; los errores que aquí se produzcan y pasen al proceso entero pueden invalidar el trabajo de las etapas subsecuentes.

El método del factor de crecimiento por lo tanto, se usa en la práctica para pronosticar el número de viajes externos futuros en una área . Esto se debe a que ellos no son, en primer lugar, muchos (y por lo tanto el error no es muy grande) y también debido a que no hay una forma sencilla de pronosticarlos.

## 2.- ANALISIS DE REGRESION MULTIPLE

La mayoría de los estudios de generación de viajes, elaborados hasta los 70's utilizan el análisis de regresión múltiple para obtener ecuaciones para pronosticar viajes generados por diferentes tipos de uso de suelo. La mayoría de las ecuaciones de regresión se han desarrollado usando una secuela de análisis de regresión por medio de programas de computadora.

La tabla A muestra un conjunto de datos e información del tipo normalmente disponible para el planificador del transporte. Los programas de computadora permiten al analista elaborar y probar un gran número de ecuaciones de regresión potenciales, usando varias combinaciones y transformaciones tanto de la variable independiente como de las dependientes. El planificador puede entonces seleccionar las ecuaciones de predicción más apropiadas utilizando ciertos criterios estadísticos. En la elaboración y prueba de las diferentes ecuaciones de regresión, el analista deberá tener un amplio conocimiento de las bases teóricas del análisis de regresión.

### Revisión de los conceptos del análisis de regresión.

Un tratamiento completo de la teoría de regresión puede ser obtenido en la abundante literatura sobre estadística y probabilidad.

El propósito de esta sección es el revisar brevemente los principios fundamentales del análisis de regresión.

Zona Num.	Empleo				Viajes atraídos en la hora de máxima demanda (Y1)
	Total (X1)	Industrial (X2)	Menudeo y servicios (X3)	Otros (X4)	
1	9,482	6,820	2,547	115	9,428
2	2,010	111	1,899	0	2,192
3	574	228	87	259	330
4	127	0	127	0	153
5	3,836	2,729	813	294	3,948
6	953	101	773	79	1,188
7	223	165	58	0	240
8	36	6	30	0	55
9	2,223	1,550	499	174	2,064
10	272	0	166	106	280
11	50	0	48	2	52
12	209	36	173	0	230
13	410	140	7	263	420
14	11,023	10,932	63	28	9,654
15	527	188	325	14	450
16	183	123	59	1	130

Tabla A. Datos de viajes y uso de suelo

Las consideraciones principales del análisis de regresión son:

1.- La varianza de los valores de  $Y_i$  con relación a la línea de regresión deberá ser la misma para todas las magnitudes de las variables independientes.

2.- La desviación de los valores de  $Y_i$  con respecto a la línea de regresión deberán ser independientes entre sí y tendrán una distribución normal.

3.- Los valores de  $X_i$  han sido medidos sin error.

4.- La regresión de la variable dependiente con relación a la variable independiente es lineal.

Considerando que los valores observados de la variable dependiente  $Y_i$  han sido obtenidos para  $N$  valores de una variable independiente  $X_i$  y que los datos han sido ajustados por medio de una ecuación de la fórmula:  $Y_e = a + bX_i$ . El subíndice  $e$  se refiere al hecho de que  $Y_e$  es una magnitud estimada diferente del valor observado  $Y$ . la referencia [7] indica que por medio del criterio de cuadrados mínimos se determina la magnitud de los parámetros  $a$  y  $b$  por medio de las siguientes expresiones:

$$b = \frac{\sum xy}{\sum x^2} \quad (2.2)$$

$$a = \bar{Y} - b\bar{X} \quad (2.3)$$

Donde:

$$x = X_i - \bar{X}$$

$$y = Y_i - \bar{Y}$$

$\bar{X}$ ,  $\bar{Y}$  = la media de los valores observados  $X_i$  y  $Y_i$  respectivamente. Se puede demostrar que [7]:

$$\sum y^2 = \sum Yd^2 + \sum Y_e^2 = \sum (Y_i - \bar{Y}_e)^2 + \sum (Y_e - \bar{Y})^2 = \sum (Y_i - \bar{Y})^2 \quad (2.4)$$

Donde la ecuación (2.4) establece que la suma de los cuadrados de las desviaciones de las observaciones y con respecto al valor medio es igual a la suma de los cuadrados de las desviaciones de  $Y$  con relación a la línea de

regresión más la suma de los cuadrados de las desviaciones de los valores estimados de  $Y_e$  con respecto a la media.

La suma de los cuadrados de los residuos  $\sum y_d^2$  proporciona una medida de la variabilidad de las observaciones con relación a la línea de regresión. Si  $\sum y_d^2$  es pequeño, entonces se considera que la ecuación se ajusta adecuadamente a los datos observados. La relación de la suma cuadrados explicados por la regresión con relación a la suma total de cuadrados se conoce como el coeficiente de determinación y usualmente se denota por medio del símbolo  $r^2$ :

$$r^2 = \frac{\sum y_e^2}{\sum y^2} = \frac{\sum (Y_e - \bar{Y})^2}{\sum (Y_i - \bar{Y})^2} \quad (2.5)$$

Esta relación puede considerarse como un valor que varía entre 0 y 1. Para una ecuación de regresión en la cual  $r^2 = 1$  podría ser que la no variación signifique que es inexplicada por la variable dependiente usada en la ecuación de regresión. Cuando  $r^2 = 0$ , la variable independiente usada no podría explicar cualquier variación de la variable dependiente.

La raíz cuadrada del coeficiente de determinación es usualmente conocido como el coeficiente de correlación. Una segunda medida de gran utilidad para juzgar la validez de una línea de regresión es el error estándar de la estima la cual es obtenida de:

$$\sigma_e = \sqrt{\sum Y_d^2 / (n - 2)} = \sqrt{\sum (Y_i - Y_e)^2 / (n - 2)} \quad (2.6)$$

Donde el denominador  $(n - 2)$  es conocido como el número de grados de libertad asociados a la suma de cuadrados.  $\sum y_d^2$ .

El número de grados de libertad puede ser determinado restando del número de observaciones  $n$ , el número de estadísticos que deben de ser calculados de la muestra con objeto de obtener la suma de cuadrados. Para una ecuación de regresión simple con una variable independiente, la medida de la variable dependiente y el coeficiente de regresión  $b$  tiene que ser estimados antes que la desviación  $Y_d$  pueda ser calculada.

El error estándar de la estima puede ser interpretada en la siguiente forma. De las observaciones originales el 68.3% se espera que caigan dentro de la zona de más o menos una desviación estándar a cada lado de la línea de regresión; o el 95% de las observaciones puede esperarse que caigan dentro de más o

menos 2 errores estándar a cada lado de la línea de regresión y así sucesivamente.

El coeficiente de regresión es un estimado estadístico y esta por lo tanto sujeto a error. El error estándar es el concepto usado para comunicar la magnitud de este error y es estimado de la siguiente expresión:

$$S_b = \frac{S_e}{S_x \sqrt{n-2}} \quad (2.7)$$

También conocido como error estándar del coeficiente de regresión.

Donde  $S_e$  ha sido definido en la ecuación (2.6) y  $S_x$  es la desviación estándar de la variable independiente.

Consideramos con relación a la confianza que podría ser depositada en un coeficiente de regresión estimado, puede ser obtenida del error estándar definido en la ecuación (2.7).

La prueba puede ser usada para determinar si un coeficiente de regresión estimado es significativo con base en la siguiente relación:

$$t = \frac{S_x \cdot (\text{coeficiente de regresión})}{\text{error estándar del coeficiente de regresión}} \quad (2.8)$$

Detalles relativos a la prueba t pueden ser obtenidos en la referencia [7].

Algunas veces los analistas pueden estar interesados en obtener una ecuación lineal que pase por el origen como la ecuación que se indica a continuación:

$$Y_e = b X_i \quad (2.9)$$

$$b = \frac{\sum xy}{\sum x^2} \quad (2.10)$$

Las ecuaciones de (2.2) a la (2.8) se utilizan en las ecuaciones de regresión simple en los que hay solo una variable independiente. Una ecuación de regresión múltiple o parcial tiene la forma:

$$Y_e = a + b_1X_1 + b_2X_2 + \dots + b_kX_k \quad (2.11)$$

En la que hay K variables independientes y los coeficientes de regresión  $b_1, b_2, \dots, b_k$ , se les conoce usualmente como los coeficientes de regresión parcial.

Las ecuaciones equivalentes a las ecuaciones (2.5 y 2.7) para las ecuaciones de regresión múltiple están dados a continuación:

$$R^2 = \frac{\sum(Y_e - Y)^2}{\sum(Y_i - \bar{Y})^2} \quad (2.12)$$

donde  $R^2$  se le conoce como el coeficiente de determinación múltiple y R se conoce como el coeficiente de correlación múltiple.

$$S_e = \sqrt{\sum Y_e^2 / [n - (k + 1)]} = \sqrt{\sum(Y_e - Y)^2 / [n - (k + 1)]} \quad (2.13)$$

$$S_b = \sqrt{S_e^2 / [S_x^2 n (1 - R_x^2)]} \quad (2.14)$$

donde  $S_x$  es la desviación estándar de la variable independiente  $X_i$  y  $R_x$  es el coeficiente de correlación múltiple entre  $X_i$  y todas las otras variables independientes, (k) es el número de variables independientes.

#### **Procedimiento para el análisis e regresión.**

El procedimiento para el análisis de regresión puede ser ilustrado usando los datos de la tabla A. Las ecuaciones de regresión pueden ser obtenidas siguiendo los siguientes pasos:

**Paso 1.-** Examine las relaciones entre la variable dependiente y cada una de las variables independientes con objeto de detectar la no linealidad. Si se detecta una no linealidad, las relaciones deberán ser linealizadas transformando la variable dependiente, la variable independiente o ambas.

La figura 2 ilustra los diferentes tipos de transformaciones que pueden ser usadas para convertir a líneas rectas las relaciones no lineales. La mayoría de los programas de computadoras para análisis

de regresión tienen un número de opciones para linealizar los datos antes de que se elabore el análisis de regresión.

Paso 2.- Examine la matriz de correlación simple con objeto de detectar: (1) aquellas variables independientes que tengan una asociación estadística con la variable dependiente y (2) fuentes potenciales de colinealidad entre pares de variables independientes. La tabla B muestra la matriz de correlación simple para los datos presentados en la tabla A. Esta matriz de correlación simple nos dice que el empleo total de la zona tiene un alto grado de asociación con la variable dependiente que viene dada por  $r = 0.996$ . El empleo industrial también tiene un alto grado de asociación con la variable dependiente ( $r = 0.958$ ) y los otros dos componentes no están altamente asociados con la variable dependiente. La matriz de correlación simple también revela un alto grado de asociación entre el empleo total y el empleo industrial lo cual es simplemente un reflejo del hecho de que el empleo industrial es el componente más importante del empleo total. Esto, es el empleo total y el empleo industrial son en gran medida la misma variable considerada y por consecuencia no deberán estar incluidos en la misma ecuación de regresión.

En este problema el analista tiene la opción de las siguientes ecuaciones de regresión:

$$Y = a + bX_1 \quad (A)$$

$$Y = a + bX_2 \quad (B)$$

$$Y = a + b_1X_2 + b_2X_3 \quad (C)$$

$$Y = a + b_1X_2 + b_2X_3 + b_3X_4 \quad (D)$$

Paso 3.- Estime los parámetros de cada una de las ecuaciones de regresión y lleve a cabo las siguientes pruebas:

1. ¿Cuál es la magnitud de  $R^2$ ?
2. ¿Los coeficientes de regresión parcial tienen el signo correcto y sus magnitudes son razonables?
3. ¿Los coeficientes de regresión parcial son significativos estadísticamente?
4. ¿Es razonable la magnitud  $a$ ?

Las cuatro ecuaciones de regresión anotadas anteriormente (ecuaciones (A) - (D)) fueron ajustadas con los datos obtenidos en la tabla A con los siguientes resultados:

$$Y = 61.4 + 0.93X_1$$

Error estándar de la estima = 288.4

Coefficiente de determinación = 0.992

Valor de T del coeficiente de regresión = 42

$$Y = 507.7 + 0.98X_2$$

Error estándar de la estima = 935.9  
Coeficiente de determinación = 0.921  
Valor de T del coeficiente de regresión = 14

$Y = 0.25.8 + 0.89X_2 + 1.29X_3$   
Error estándar de la estima = 199.4  
Coeficiente de determinación = 0.996  
Valor de T del coeficiente de regresión parcial = 52, 17

$Y = -69.9 + 1.26X_2 - 0.37X_3 + 0.02X_4$   
Error estándar de la estima = 142.6  
Coeficiente de determinación = 0.998  
Valores de T de los coeficientes de regresión parcial = 3, 7, 7, 1, 1, 0.06

Una revisión de la ecuación (A) revela que la magnitud de  $R^2$  está muy cercana a 1.000, el signo y la magnitud del coeficiente de regresión (+0.93) son satisfactorios y el valor de T es significativo para el 1% de nivel de significancia; tiene  $16 - 4 = 14$  grados de libertad asociados con el estimado b y una magnitud de distribución T del 1% da 2.98.

La ecuación (B) muestra que el empleo de manufactura usado en vez de el empleo total no permite una ecuación de predicción válida. La magnitud de  $R^2$  es baja y la magnitud de a no es razonable.

La ecuación (C) en la que se incorporan dos variables independientes, empleo industrial y empleo a menudeo es ligeramente una ecuación mejor estadísticamente que la ecuación (A). El error estándar de la estima es más pequeño en la ecuación (C) y los coeficientes de regresión parcial son significantes estadísticamente ( $T = 3.01$  para 13 grados de libertad en el 1% de nivel significancia). El término constante está más cercano a cero en la ecuación (C), indicando que podría ser mayor la sobrestimación de viajes de las zonas con menor empleo. Las ecuaciones (C) y (A) son aproximadamente comparables en términos de su validez estadística. La elección de una ecuación de predicción depende entonces de la disponibilidad de datos y de la facilidad con lo cual pueden ser pronosticadas las variables independientes.

En este caso, la ecuación (A) podría ser seleccionada probablemente, cada vez que es la más simple de las 2 ecuaciones.

Es importante revisar muy bien las características de la ecuación (D). La magnitud de  $R^2$  para esta ecuación es la más alta de las 4 ecuaciones sometidas a prueba. Sin embargo la ecuación presenta ciertos atributos que se advierten desde que se esta seleccionando como ecuación de predicción para viajes atraídos. Primero, el coeficiente  $X_3$  es -0.37, lo cual es irracional. Si los empleos al menudeo y de servicio de una zona fueron incrementados por 100 entonces la ecuación sugiere que los viajes atraídos podría disminuir en 37 viajes. Para 12 grados de libertad  $t = 3.06$  en el nivel de significancia del 1% y  $t = 2.68$  en nivel de significancia del 5%. Por lo tanto el coeficiente de regresión parcial de  $X_2$  es el único coeficiente que estadísticamente

significante. La ecuación (D) muestra con suficiente claridad el peligro de que se use  $R^2$  como el único criterio de validez de las ecuaciones de regresión.

El procedimiento para la obtención de las ecuaciones de predicción para generación de viajes ha sido usado frecuentemente en forma impropia en estudios de planificación del transporte. Los errores en la mayoría de los estudios han aparecido debido a 3 tipos de falla que son:

- \* El uso de coeficientes de determinación como el único criterio de validez estadística de la ecuación.
- \* La inclusión en las ecuaciones de regresión de variables independientes colineales, fenómeno de heterocedasticidad.

El concepto de colinealidad entre las variables independientes requiere un mayor tratamiento, ya que es probablemente el más común de los errores. La ecuación que se indica a continuación fue elaborada y usada en el estudio principal de planeación del Transporte Canadiense:

Viajes de trabajo producidos en la hora de Máxima demanda zonal =  $0.3036$  (familias por zona) +  $0.5638$  (población zonal); (2.15)

En este estudio la ecuación fue seleccionada en lugar de una ecuación de regresión más simple debido a que la ecuación (2.15), poseía un valor de  $R^2$  elevado. Una inspección de la matriz de correlación simple para este análisis de regresión reveló que el coeficiente de correlación simple entre las 2 variables independientes, familias y población, fue de 0.998. Esto indica que las 2 variables son colineales y una variable puede ser obtenida de una transformación lineal de la segunda. Esto es, el número de familias en una zona y la población de una zona puede ser considerada como una medida de la misma variable fundamental que es la fuerza de trabajo en la zona; y por consecuencia ambas variables no deberían estar incluida en la misma ecuación de regresión.

Los planificadores del transporte frecuentemente rechazan estos argumentos estadísticos y sostienen que una ecuación, tal como la (2.15), reproduce mejor las observaciones del año base, que la ecuación que deberá ser aceptada como la ecuación de predicción. La población de una zona y el número de familias en la zona están relacionadas por medio del número de personas promedio por familia. Si esta relación permanece constante entonces los errores en la producción de viajes al trabajo por medio de la ecuación (2.15) no ocurrirá. Sin embargo, esta relación está cambiando y al modificarse significativamente durante el periodo de planificación, los errores ocurrirán en el pronóstico, los que serán debidos a la inclusión de variables independientes colineales en la ecuación de predicción.

Las magnitudes de los coeficientes de regresión parcial adquieren irracionalidad cuando las variables independiente colineales están incluidas en la ecuación de predicción. La magnitud de los coeficientes de regresión parcial es interpretada en la siguiente forma: El tamaño de los coeficientes representa el cambio unitario en la variable dependiente inducido por un cambio unitario

en el número de familias en una zona sólo producirá 0.3 viajes de trabajo. La evidencia empírica indica que la variación verdadera es alrededor de 0.9 viajes de trabajo por familia.

Finalmente, quizá la más importante prueba de la ecuación de regresión para viajes es la de establecer si hay una base causal en la dependencia aparente entre las variables. La relación entre la demanda de viaje y la intensidad de las actividades humanas con base en el suelo es claramente directa y la validez de las ecuaciones de generación de viajes pueden ser evaluada con facilidad. En muchos estudios han sido elaboradas ecuaciones de viajes muy complicadas, las cuales son difíciles de justificar desde un punto de vista causal, no obstante su aparente validez estadística. Por ejemplo, el considerar la siguiente ecuación para un estudio de planeación del transporte:

Viajes atraídos que no tienen origen en el hogar =  $0.465$  (empleo industrial y de manufactura) +  $4310$  (empleo al menudeo y de servicio) +  $0.288$  (habitantes) +  $4.524$  (otros empleos). (2.16)

Se deberá notar en relación con la ecuación (2.16) que los viajes atraídos por trabajos, compras o actividades social-recreativas ya han sido considerados por otras ecuaciones de regresión.

Estabilidad de las ecuaciones de regresión.

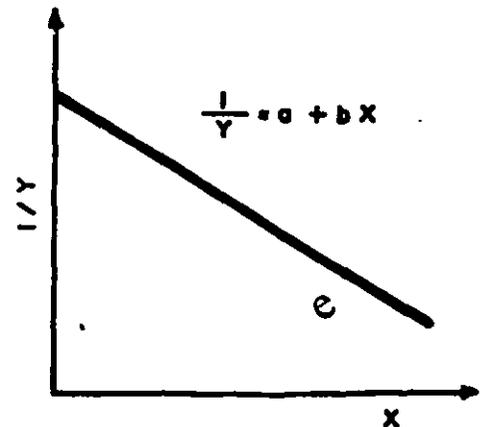
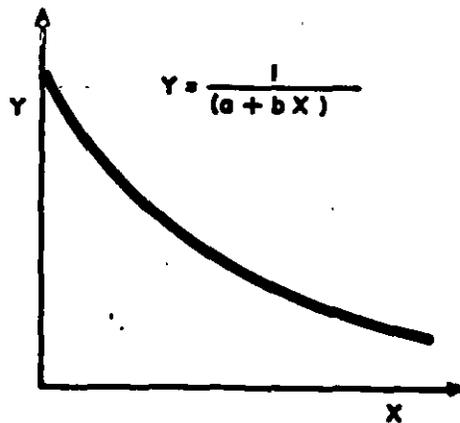
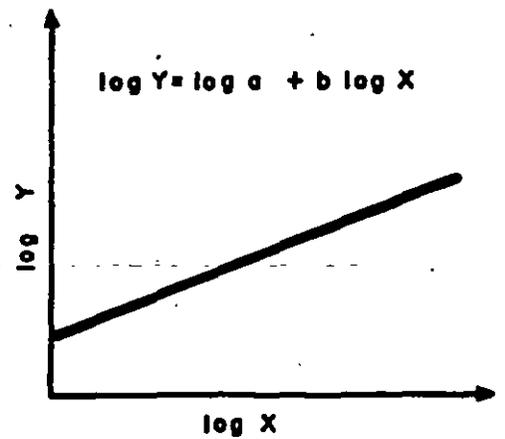
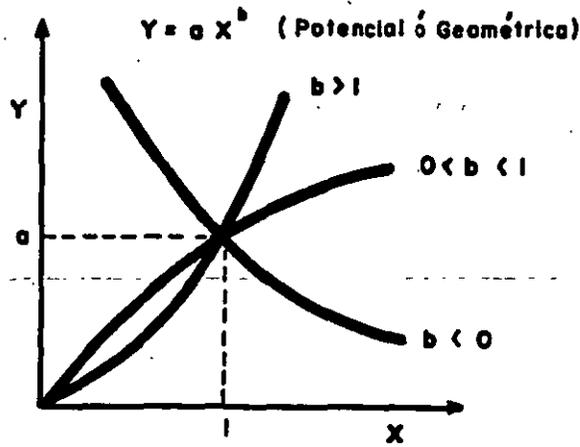
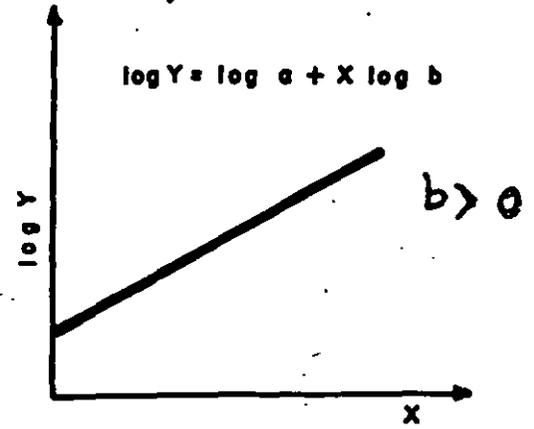
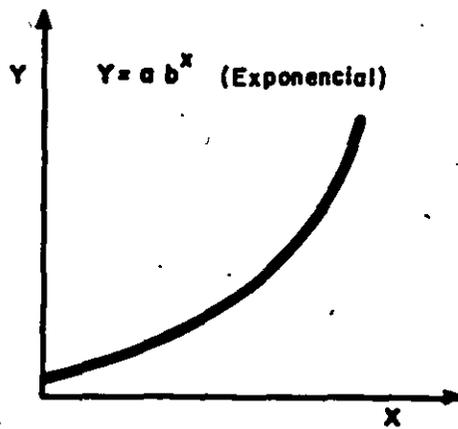
Las ecuaciones de generación de viajes son elaboradas de tal modo que los viajes producidos y los viajes atraídos asociados a un uso del suelo en el año de pronóstico puedan ser calculados. Para que el pronóstico sea útil, los coeficientes de regresión asociados a las variables independientes deberán ser invariables con respecto al tiempo. Considerados a continuación la siguiente ecuación de viajes atraídos que fue elaborada anteriormente:

Viajes atraídos en la hora de máxima demanda =  $61.2 + 0.93(\text{empleos})$

El coeficiente de regresión de 0.93 implica que el 93% de los empleados llegan a una zona de trabajo durante la hora de máxima demanda. El resto representa a los empleados que van al trabajo fuera de la hora de máxima demanda, empleados ausentes y los que están de vacaciones. Las tendencias en las oficinas y manufactura sugieren que durante los próximos 20 años la mayoría de los empleados alcanzarán semanas de trabajo de 4 días (en Canadá), mientras que la industria y oficina continuaran operando con una semana de 5 días de trabajo (en Canadá). Si el empleo total usado todavía como una variable independiente, el coeficiente de 0.93 podría sobrestimar los viajes en la hora de máxima demanda.

La magnitud de este coeficiente podría también estar influido por las continuas mejoras en los medios de comunicación. Es razonable esperar que cierto tipo de empleos podrán localizarse en la vivienda con accesos a oficinas centrales a través de medios de comunicación.

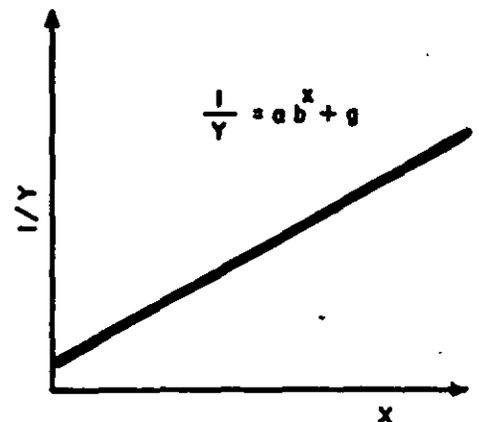
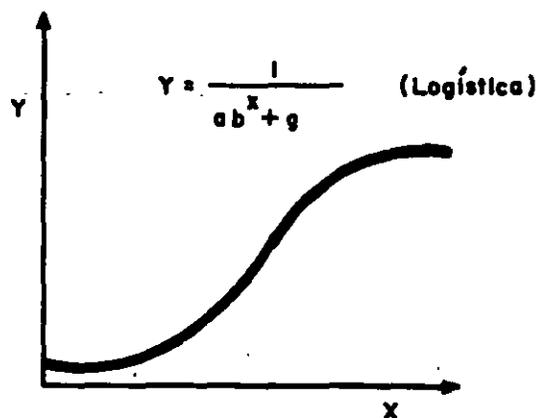
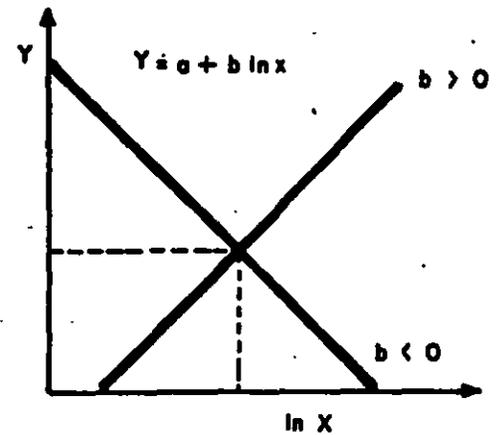
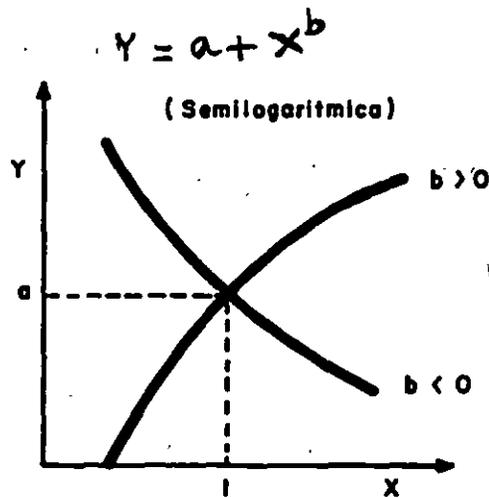
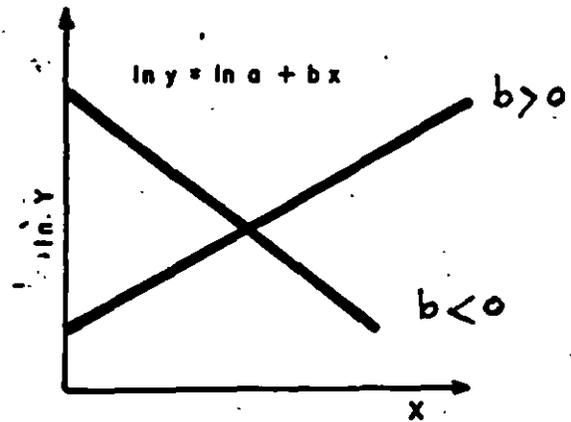
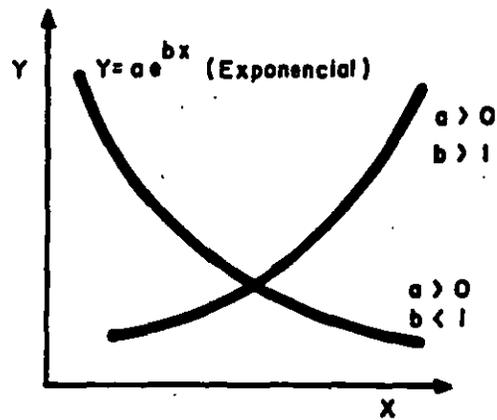
# Fig 2.- EJEMPLO DE LINEALIZACION POR MEDIO DE TRANSFORMACION DE VARIABLES



Fuentes. a) B.G. Hutchinson "Principles of Urban Transport System Planning - Ed. 1974 pag. 42

b) Applied Statistics Texas Instruments Incorporated. Ed. 1977 pag. 5-9

# Fig. 2a. EJEMPLO DE LINEALIZACION POR MEDIO DE TRANSFORMACION DE VARIABLES



Fuentes . a) Applied Statistics .Texas Instruments Incorporated Ed.1977 pag. 5 -9

b) Schaum "Estadística" Teoría y Problemas . Ed.1969 pag. 218

Pueden esperarse una gran inestabilidad en los coeficientes de regresión de las ecuaciones de pronóstico que se elaboren para los viajes que no tienen como base la vivienda, tales como los viajes de tipo social y recreativo. Al aumentar de habitantes urbanos y acortar las horas de trabajo probablemente dé como resultado un gran incremento en las tasas de los viajes cuyo propósito es diferente a los del trabajo. Mientras que, es difícil pronosticar con exactitud la inestabilidad potencial de los coeficientes de regresión, el analista deberá estudiarlos con cuidado para mejorar su aplicación.

	X1	X2	X3	X4	Yi
X1	1.000	0.978	0.486	0.11	0.996
X2		1.000	0.297	0.068	0.958
X3			1.000	0.073	0.552
X4				1.000	0.124
Y					1.000

En donde:

X1 = Empleo total

X2 = Empleo industrial

X3 = Empleo al menudeo y de servicios

X4 = Otros empleos

Y = Viajes atraídos en la hora de máxima demanda

Tabla B. Matriz de correlación simple.

- La correlación entre la variable de pendiente (Yi) y la variable independiente (Xi) deberá ser lo más cercano a uno. Si no es así, hay que eliminar.
- La correlación entre las variables independientes (Xi) deberá ser lo más cercanas a cero. Si no es así, hay que eliminar una de las variables.

### 3.- ANALISIS DE CATEGORIAS.

La mayoría de los análisis de tránsito por zonas contienen una mezcla de clases sociales y económicas. El uso de las ecuaciones de regresión con base en una mezcla zonal, mide las características más importantes de la zona para estimar la demanda de viajes. Para que los datos agregados usados en las ecuaciones de regresión zonal sean efectivas, es importante tener bastante homogeneidad como sea posible de las unidades de agrupación. Deberá recordarse que el propósito de las ecuaciones de regresión es el de explicar las variaciones de los viajes realizados entre zonas en términos de diversas variables independientes.

La tabla C muestra los resultados de un análisis de variación de los viajes producidos por familias en un área urbana para varias unidades de agrupación familiar [8]. El análisis de variación demuestra que una gran cantidad de variación en los viajes realizados, tiene lugar dentro de las diferentes unidades de área en lugar de que se de entre las unidades. Los datos en que se basaron para elaborar la tabla C, fue una ecuación de regresión zonal para pronóstico de viajes totales podría tratar con un poco más de 20% de la variación total en los viajes familiares realizados, con la variación restante se está perdiendo la agrupación. Algunos planificadores del transporte han propuesto que esta dificultad puede ser superada usando la familia y no la zona, como la unidad básica para el estudio de los viajes realizados.

Una técnica basada en la familia y sus características es conocida como análisis de clasificación cruzada o análisis de categorías [ 8, 9 ].

El análisis de categorías es simplemente una técnica para la estimación de los viajes producidos por las familias, las que han sido clasificadas en un número determinado de categorías de acuerdo a un conjunto de propiedades que caracterizan a la familia. Los análisis de categorías pueden también ser usados para estimar los viajes atraídos.

Unidades de área	Suma de cuadrados	Suma de cuadrados dentro de la unidad de área	Porcentaje	Suma de cuadrados entre unidades de área	Porcentaje
No de unidades	Total				
Sectores (10)	213 936	192 895	90.2	21 041	9.8
Anillos (16)	213 936	192 968	90.2	20 968	9.8
Censos (52)	213 936	180 226	84.2	33 710	15.8
Distritos (57)	213 936	184 864	86.4	29 072	13.6
Zonas(247)	213 936	170 270	79.6	43 666	20.4
Viviendas (5255)	213 936			213 936	100.0

Tabla C. Un análisis de variación de viajes realizados.

La tabla D muestra resultados de una análisis de categorías para viajes producidos al trabajo por familias en el área Metropolitana de Toronto [10 ]. Las familias han sido clasificadas en términos de 2 variables, personas por familia y automóviles por familia. La matriz de viajes producidos de la tabla D fue preparada ordenando todas las entrevistas familiares en el estudio de viajes en cada uno de los 18 cuadros. El número de viajes producidos por todas las familias, así como el número de familias, en cada cuadro, se sumaron. Las tasa de viaje para cada cuadro se estableció, dividiendo el número de viajes, entre el número el número de familias.

La información del tipo contenido en la tabla D puede ser fácilmente trasladada para estimar la producción de viajes zonas. El número de familias dentro de cada zonas analizada, que se espera estén contenidas dentro de cada celda de la matriz se multiplican por la tasa apropiada de viaje y finalmente se suman estos productos:

$$P_i^q = \sum h_i(c) tp(c) \quad (2.17)$$

donde:

$P_i^q$  = Número de viajes producidos en la zona y para el propósito q.

- Número de familias en la zona de la categoría (C).

$tp(c)$  = Tasa de producción de viajes de la familia en la categoría C (la sumatoria se realiza para todas las categorías y el propósito).

Los viajes zonales atraídos pueden ser estimados en una forma similar por medio de la siguiente expresión:

$$a_j = \sum b_j(c) ta(c) \quad (2.18)$$

donde:

- $a_j$  = número de viajes atraídos por trabajo, por la zona j.
- $b_j(c)$  = número de oportunidades de empleo en la categoría c.
- $ta(c)$  = tasa de viajes atraídos por los empleos en la categoría c (y la suma es el total de viajes atraídos por el empleo que están siendo estimados).

### 2.3.1. VARIABILIDAD DE LAS TASAS DE VIAJES EN LOS ANALISIS DE CATEGORIAS.

Las pruebas estadísticas que normalmente acompañan a los análisis de regresión permiten al analista juzgar sobre la confiabilidad de los coeficientes de regresión parcial. Se ha puntualizado en una sección anterior que la prueba t puede ser usada para probar si la magnitud de los coeficientes de regresión parcial es significativa desde el punto de vista estadístico. El planificador del transporte también deberá estar interesado en la confiabilidad de las tasas de viajes en cada celda de una matriz para un análisis de categorías.

En los estudios de planeación del transporte y redes viales una muestra de "n" familias, de un total de "N" familias, es seleccionada dentro de una área de

estudio. El planificador del transporte está interesado en la estimación de una tasa media de viajes dentro de una banda de confianza, para muestras grandes, en las cuales  $n = 730$ , el intervalo de confianza de la media verdadera esta dada por la siguiente expresión:

$$\bar{X} \pm Z \sigma_{\bar{X}} \quad (2.19)$$

- $\bar{X}$  = tasa media de viaje
- $\sigma_{\bar{X}}$  = error estándar de la media muestral, o el error de la estima, y:
- $Z$  = un coeficiente que varía con el nivel particular de confianza deseado

El error estándar de la media muestral esta dado por:

$$\sigma_{\bar{X}} = \frac{\sigma}{\sqrt{n}} \quad (2.20)$$

donde:

$\sigma$  = desviación estándar de la población de tasas de viaje familiar.

La ecuación (2.20) es para una población de tamaño infinito, la cual puede ser corregida en la siguiente forma para una población de tamaño finito  $N$ :

$$\sigma_{\bar{X}} = \frac{\sigma}{\sqrt{n}} = \frac{\sigma}{\sqrt{n}} \sqrt{\frac{N-n}{N}} \quad (2.21)$$

El margen de error de la ecuación (2.21) esta dado por:

$$d = Z \sigma_{\bar{X}} = Z \sigma \sqrt{\frac{1}{n} - \frac{1}{N}} \quad (2.22)$$

Vandertol [ 2 ] ha examinado el margen de error asociado con los análisis de categorías para generación de viajes de la Ciudad de Hamilton, Ontario. En este análisis, las familias fueron estratificadas en categorías de personas que trabajan por familias y niveles económicos zonales. Fue obtenida información relativa a familias con dos trabajadores y familias con dos trabajadores y familias localizadas en áreas de bajos ingresos:

Número de viajes observados al trabajo por familia	Frecuencia observada dentro de la muestra
0	12
1	26
2	29
3	2
4	1

		Personas por familia						
Automóviles		1	2	3	4	5	6	Total
0	A*	255	1231	1149	1111	827	1081	5654
	B+	828	1341	652	549	389	443	4202
	C++	0.308	0.92	1.76	2.03	2.13	2.44	1.35
1	A*	301	4844	5781	7466	4958	4879	28227
	B+	344	2793	2472	3092	2048	1889	12636
	C++	0.875	1.73	2.34	2.41	2.42	2.58	2.23
2+	A*	8	644	2220	3231	2424	3002	11521
	B+	5	294	717	1022	726	870	3634
	C++	1.6	2.16	3.10	3.16	3.24	3.45	3.17
TOTAL	A*	564	6719	9150	11808	8207	8962	45410
	B+	1177	4428	3841	4663	3161	3202	20472
	C++	0.48	1.52	2.38	2.53	2.60	2.80	2.215

Tabla D. Análisis de categoría de viajes producidos al trabajo

- \* Viajes producidos en la categoría
- + Número de familias en categoría.
- ++ Producción de viajes por familias en las categorías.

Fueron calculados los siguientes estadísticos de la información anterior:

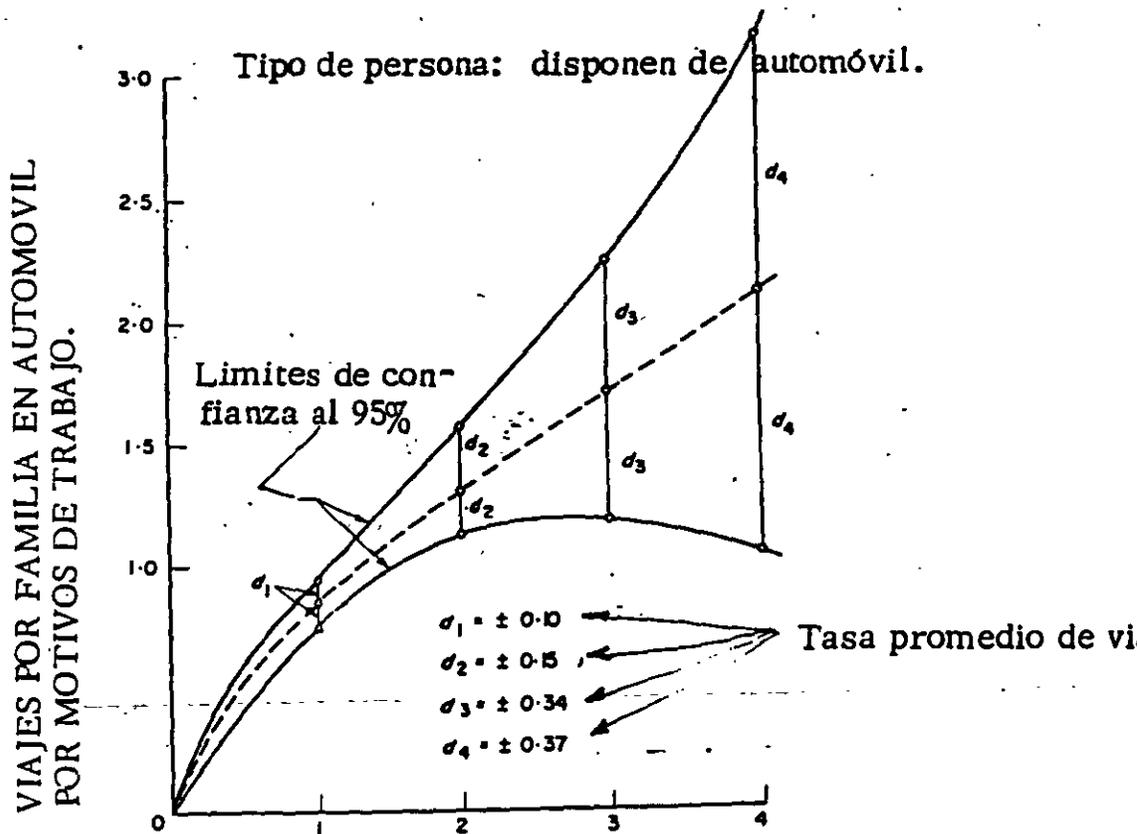
Tasa promedio de viajes	= 1.343 viajes por familia
Desviación estándar de la tasa de viajes	= 0.849 viajes por familia
Margen de error en el 95% de nivel de confianza	0.193 viajes por familia

La figura 3 muestra la variación del margen de error calculado por Vandertol para familias y diferentes categorías de trabajadores por familia y para familias localizadas en zonas de bajos ingresos. Es interesante notar que el margen de error varió de 10% de la tasa promedio de viaje, para familias con un trabajador hasta 37% de la tasa promedio de viaje, para familias con cuatro trabajadores. La razón principal del incremento en el porcentaje de error de debe a la disminución en el número de familias dentro de una categoría en la muestra de familias. El tamaño de la muestra disminuye de 183 familias con categoría de una persona que trabaja a 6 familias con categoría de cuatro trabajadores.

Tasa de viaje más estables pueden ser obtenidas en varias categorías familiares, incrementando el tamaño de la muestra para la categoría familiar dada. La ecuación (2.22) puede ser transformada para obtener la siguiente expresión que determina el tamaño de la muestra necesaria para permitir un margen de error definido:

$$n = \frac{Z^2 \sigma^2}{d^2 + (Z^2 \sigma^2) / N}$$

La figura 4 muestra que la variación en la tasa de la muestra necesaria para obtener un error permisible de  $\pm 15\%$  en la tasa de producción de viajes promedio al trabajo y en el 95% de nivel de confianza [2]. Esta tasa de muestreo aplica a un muestreo aleatorio simple de familias en toda la ciudad y la tasa de viajes se aplica a las personas cautivas del transporte público. La figura 2.4 muestra las tasa de muestreo varían de 19.1% para familias con una persona que trabaja, localizadas en zonas de alto ingreso, hasta 2% para



NUMERO DE PERSONAS QUE TRABAJAN  
POR VIVIENDA FAMILIAR.

Fig. 3 Variaciones en el margen de error de las tasas de viaje para familias que disponen de automóvil y viven en zonas de ingreso bajo.

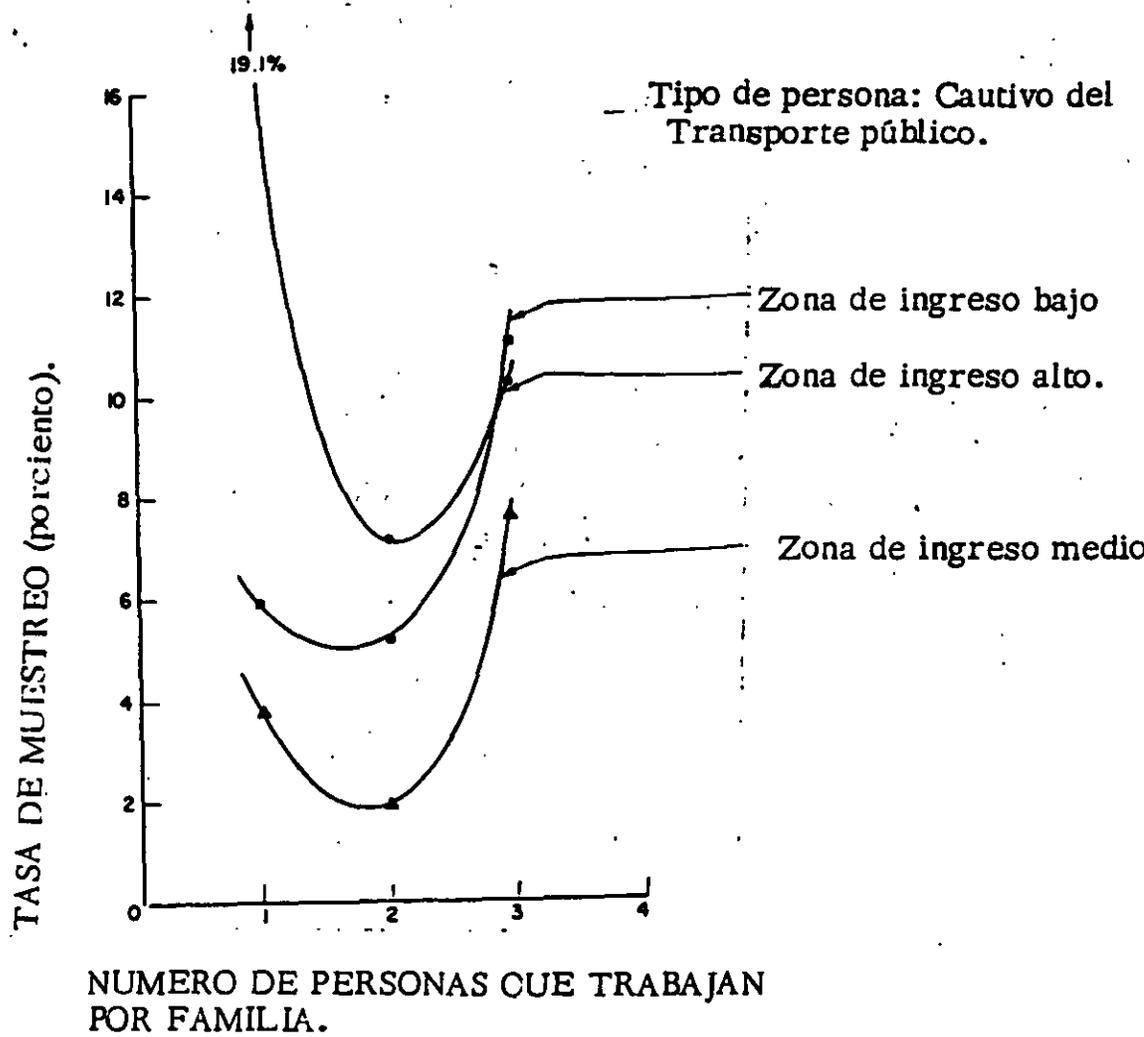


Fig. 4. Variaciones en las tasas de muestreo.

familias con dos personas que trabajan localizadas en zonas de ingreso medio. Esta amplia variación en las tasas de muestreo refleja simplemente el hecho de que las familias con una persona que trabaja y son elementos cautivos del transporte público, para zonas de altos ingresos, es realmente raro; y de que las personas cautivas del transporte público se encuentran más comúnmente en familias con dos personas que trabajan localizadas en zonas de ingreso medio.

### III.- APLICACION MATRICIAL A LA REGRESIÓN MÚLTIPLE. PRUEBA DE HIPÓTESIS.

1.- Datos para una regresión MULTIPLE.

a) Tabla de variables dependientes e independientes.

Y	X1	X2 .....	Xk
Y1	X11	X12 .....	Xk
Y2	X21	X22 .....	X2k
.	.	.	.
.	.	.	.
.	.	.	.
Yn	Xn1	Xn2 .....	Xnk

b) Con estos datos se calibrará la regresión múltiple:

$$Y_e = a_0 + b_1X_1 + b_2X_2 + \dots + b_kX_k$$

En forma matricial compactada queda:

$$Y = X\beta + \epsilon$$

c) Armar matrices: Y, X,  $\beta$ ,  $\beta$ , y  $\epsilon$

$$Y_o = a_o + b_1 X_1 + b_2 X_2 + \dots + b_k X_k$$

7.- Calcular el coeficiente de determinación múltiple ( $R^2$ ) o el coeficiente de correlación múltiple ( $R$ )

$$R^2 = \frac{\Sigma (Y_o - \bar{Y})^2}{\Sigma (Y_i - \bar{Y})^2} \quad R = \sqrt{R^2}$$

8.- Calcular el error estándar de la estima (Se)

$$S_o = \sqrt{\frac{\Sigma Y_o^2}{[n - (k + 1)]}} = \sqrt{\frac{\Sigma (Y_o - \bar{Y})^2}{[n - (k + 1)]}}$$

donde:

$n$  = número de observaciones

$k$  = número de variables independientes

9.- Cálculo del error estándar del coeficiente de regresión ( $S_b$ )

$$S_b = \sqrt{\frac{S_o^2}{[S_{x_i}^2 n - (1 - R_{x_i}^2)]}}$$

donde:

$S_{x_i}$  = desviación estándar de la variable independiente  $x_i$

$R_{x_i}$  = coeficiente de correlación múltiple entre  $x_i$  y todas las variables independientes

10.- Calcular valores para utilizarlos en pruebas de hipótesis:

$$Y = \begin{bmatrix} Y_1 \\ Y_2 \\ \vdots \\ Y_n \end{bmatrix} ; X = \begin{bmatrix} 1 & X_{11} & X_{12} & \dots & X_{1k} \\ 1 & X_{21} & X_{22} & \dots & X_{2k} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \dots & \vdots \\ 1 & X_{n1} & X_{n2} & \dots & X_{nk} \end{bmatrix}$$

$$\beta = \begin{bmatrix} a_0 \\ b_1 \\ \vdots \\ b_k \end{bmatrix} \quad \beta = \boxed{a_0} \quad b_1 \quad \dots \quad \boxed{b_k} \quad \epsilon = \begin{bmatrix} \epsilon_1 \\ \epsilon_2 \\ \vdots \\ \epsilon_n \end{bmatrix}$$

## 2.- SECUENCIA PARA UN ANALISIS DE REGRESIÓN MÚLTIPLE

- 1.- Armar la matriz X.
- 2.- Calcular y armar la matriz  $X^t X$ .
- 3.- Calcular y armar la matriz  $X^t Y$ .
- 4.- Invertir la matriz  $X^t X$ , esto es obtener  $[X^t X]^{-1}$
- 5.- Calcular la matriz de coeficientes de regresión  $\beta$  multiplicando las matrices

$$\beta = [X^t X]^{-1} [X^t Y] = \begin{bmatrix} a_0 \\ b_1 \\ b_2 \\ \vdots \\ b_k \end{bmatrix}$$

$$\beta^t = [a_0, b_1, b_2, \dots, b_k]$$

- 6.- Armar el modelo de regresión múltiple

$$\beta' [X' Y]$$

$$\sum_{i=1}^n (Y_i)^2$$

$$\frac{\sum_{i=1}^n (Y_i)^2}{n}$$

$$SSR = \beta' X' Y - \frac{\sum_{i=1}^n (Y_i)^2}{n} *$$

$$SSE = \sum_{i=1}^n Y_i^2 - \beta' X' Y *$$

$$SST = \sum_{i=1}^n Y_i^2 - \frac{\sum_{i=1}^n (Y_i)^2}{n} *$$

\* Como comprobación se deberá tener que:

1. Todos los valores deben ser positivos
2.  $SST = SSR + SSE$
3.  $SST = (Sy)^2 (n-1)$

$$\sigma^2 = \frac{SSE}{n-p} ;$$

$$R^2 = \frac{SSR}{SST}$$

## 11.- Prueba F de Fisher (General)

a) Forma tabla de ANOVA

Fuente de variación	Suma de cuadrados	de Grados libertad	de Cuadrado la media	de Fo
Regresión	SSR	k	MSR	MSR/MSE
Residual	SSE	n - k - 1	MSE	
Total	SST	n - 1		

$$b) \quad F = \frac{MSR}{MSE} = \frac{SSR / k}{SSE / (n - k - 1)}$$

(también llamada F calculada)

c) La hipótesis nula que se plantea es:

$$H_0 = \beta_1 = \beta_2 = \dots = \beta_k = 0$$

La hipótesis alternativa es:

Hi:  $\beta_1 \neq 0$ , por lo menos para una j

La F sacada de tabla es:  $F_{\alpha, u_1, u_2} = F_{\alpha, k, n - k - 1}$

si F calculada  $>$   $F_{\alpha, u_1, u_2}$  se rechaza la hipótesis nula, lo que implica que por lo menos uno de los coeficientes de regresión tiene un valor diferente de cero.

## 12.- Prueba t de student y F parcial

$$t_{bj} = \frac{\beta_j}{\sqrt{\sigma^2 C_{ij}}} ; \quad F_j \text{ parcial} = T_{bj}^2 \quad \begin{array}{l} F_{\alpha 0} = \\ F_{b1} = \\ F_{b2} = \end{array}$$

en donde:

$C_{ij}$  = elemento jj de la diagonal principal de la matriz  $[X'X]^{-1}$

La hipótesis nula que se plantea es:

$$H_0 = \beta_j = 0$$

La hipótesis alternativa es:

$$H_1: \beta_1 \neq 0$$

La hipótesis nula se rechaza si:

$$|t_{bj}| > t_{\alpha/2, n-k-1}$$

siendo:

$$|t_{bj}| \quad \text{la } t \text{ de student calculada}$$

$$t_{\alpha/2, n-k-1} \quad \text{la } t \text{ de student de tabla}$$

**NOTA IMPORTANTE:** Observe que ésta es realmente una prueba parcial o marginal debido a que el coeficiente de regresión  $\beta_j$  depende de todas las otras variables independientes  $x_i$ , ( $i \neq j$ ) que están contenidas en el modelo. Por lo tanto está es una prueba de la contribución de  $x_j$  conjuntamente con las variables independientes incluidas en el modelo.

### 3.- SIMBOLOGIA

$X$  = matriz, de orden  $(n * p)$

$X'$  = matriz transpuesta de  $X$ , de orden  $(p * n)$

$X'X$  = matriz, de orden  $(p * p)$

$Y$  = matriz, de orden  $(n * 1)$

$X'Y$  = matriz, de orden  $(p * 1)$

$\beta$  = matriz, de orden  $(p * i)$

$\beta'$  = matriz transpuesta de  $\beta$ , de orden  $(1 * p)$

$\varepsilon$  = matriz de residuales o errores, de orden  $(n * 1)$

$X_i$  = valor observado de la variable independiente

$Y_i$  = valor observado de la variable dependiente

$n$

$(\sum_{i=1}^n Y_i)^2$  = sumatoria del cuadrado de las observaciones  $Y_i$

$Y_o$  = valor suministrado, de la variable dependiente, por medio de la ecuación de regresión

—

$Y$  = media aritmética de los valores observados de la variable dependiente

$S_o$  = error estándar de la estima

$S_b$  = error estándar del coeficiente de regresión

$S_{x_i}$  = desviación estándar de la variable independiente  $X_i$

$R_{x_i}$  = coeficiente de correlación múltiple entre  $X_i$  y todas las otras variables independientes

$\sigma^2$  = varianza del error estándar de los errores o residuales

SSR = suma de cuadrados de la regresión

SSE = suma de cuadrados de los errores o residuales

SST = suma de cuadrados total

MSE = media del cuadrado de los errores

MSR = media del cuadrado de regresión

$n$  = número de observaciones

$p$  = número de variables independientes y dependientes =  $k + 1$

$k$  = número de variables independientes

$r$  = coeficientes de correlación simple

$r^2$  = coeficientes de determinación simple

$R$  = coeficiente de correlación múltiple

$R^2$  = coeficiente de determinación múltiple

$F_o$  = F de Fisher (calculado según tabla ANOVA)

$F_{\alpha, k, n-k-1}$  = F de tabla, para un nivel de significancia  $\alpha$  y grados de libertad  $v_1 = k$ ;  $v_2 = n - k - 1$

$t_{aj}$  = t de student calculado

$t_{\alpha/2, n-k-1}$  = t de student obtenida de tabla para un nivel de significancia  $\alpha$  y grado de libertad  $v_1 = n - k - 1$

$\beta_j$  = coeficiente de regresión j

$C_{jj}$  = elemento jj de la diagonal principal de la matriz  $[X^T X]^{-1}$

$F_j$  = F parcial calculado

## **RESUMEN:**

El propósito de la fase de análisis de generación de viajes en el proceso de pronóstico de la demanda es el de relacionar la intensidad de los viajes realizados a y desde diferentes zonas analizadas con el tipo e intensidad del uso de suelo dentro de las zonas. La tarea inicial en el análisis de generación de viajes es la de identificar el tipo de viajes de mayor importancia para una estudio de planificación en particular.

El método de análisis de generación de viajes comúnmente usado, es el de regresión múltiple. Los datos de uso de suelo y recorridos pueden ser analizados usando una secuela en base a programas de computadora para análisis de regresión. En la obtención de las ecuaciones de regresión el analista deberá estar seguro de no incluir variables independientes colineales en las mismas.

El coeficiente de determinación de una ecuación de regresión deberá ser usado como un indicador general de la validez estadística de la ecuación. La prueba de validez estadística más importante es la que determina si las magnitudes de los coeficientes de regresión parcial son estadísticamente significantes. Las magnitudes de los parámetros y los signos de una ecuación de regresión deberán someterse a una evaluación empírica simple para asegurarse de que son razonables.

Un segundo método para determinar la generación de viajes es el análisis de categorías. El análisis de categorías es una técnica simple para estimar las tasas de producción de viajes para familias las cuales han sido para estimar las tasas de producción de viajes para familias las cuales han sido clasificados en un número de categorías separadas de acuerdo a un conjunto de propiedades que caracterizan a las familias. El número de observaciones dentro de cualquier celda de una matriz de categorías que se necesitan para producir estimados de las tasas medias de viajes dentro de una margen específico de error, puede ser obtenido aplicando la teoría del muestreo. La muestra puede variar desde 2 a 20 por ciento dependiendo de la frecuencia con la cual la categoría familiar dada está representada dentro de una área urbana. Las muestras elevadas para los tipos familiares raros pueden ser reducidas a través de un muestreo estratificado aleatorio.



**FACULTAD DE INGENIERIA U.N.A.M.  
DIVISION DE EDUCACION CONTINUA**

**DIPLOMADO INTERNACIONAL DEL TRANSPORTE**

**MODULO II : "PLANIFICACION DEL TRANSPORTE URBANO"**

**TEMA**

**MODELOS DE DISTRIBUCION**

**ING. RITA BUSTAMANTE ALCANTARA**

## **DISTRIBUCION DE VIAJES**

## **CONTENIDO**

### **1. INTRODUCCION**

### **2. MODELOS CON BASE EN FACTORES DE CRECIMIENTO**

#### **2.1 MODELO DE FURNESS**

##### **2.1.1 BASES TEORICAS**

#### **2.2 MODELO FRATAR**

##### **2.2.1 BASES TEORICAS**

##### **2.2.2 EJEMPLO**

### **3. MODELOS PROBABILISTICOS**

#### **3.1 MODELO DE OPORTUNIDAD DE INTERVENCION**

##### **3.1.1 BASES TEORICAS**

#### **3.2 MODELO DE GRAVEDAD**

##### **3.2.1 BASES TEORICAS**

##### **3.2.2 EJEMPLO**

##### **3.2.3 CALIBRACION DEL MODELO Y DESARROLLO DE FACTORES DE FRICCION**

##### **3.2.4 EJEMPLO DE LA TECNICA DE CALIBRACION Y DESARROLLO DE FACTORES DE FRICCION**

### **4. MODELOS DE PROGRAMACION LINEAL**

#### **4.1 BASES TEORICAS**

### **5. COMPARACIONES ENTRE LOS DIVERSOS MODELOS DE DISTRIBUCION DE VIAJES**

### **6. BIBLIOGRAFIA**

# 1. INTRODUCCION

La fase de distribución es el siguiente paso en el proceso de pronóstico de demanda de viajes, después de haber obtenido el número de extremos de viajes en la fase de generación. En este punto se determinarán hacia donde serán atraídos los viajes producidos, se establecerán las conexiones entre zonas a través del número de viajes que cada una de ellas contenga, atendiendo a los objetivos o propósitos del viaje. En esta fase al igual que la anterior, las técnicas utilizadas para la obtención de resultados se basan en la utilización de modelos matemáticos específicamente desarrollados para la distribución de viajes.

De manera general, si en una zona  $i$  existen  $p_i$  extremos de viaje que son producciones y en la zona  $j$  se dan  $a_j$  extremos de viaje que representan atracciones, el objetivo de un modelo de distribución es determinar el número de viajes  $t_{ij}$  que se producirán de la zona  $i$  a la zona  $j$ . El modelo calcula la proporción de viajes producidos en la zona  $i$  que se dirigen a la zona  $j$ , consumiendo así una parte de la capacidad de atracción de la zona  $j$ .

La mejor forma de representar esta distribución es utilizar una matriz en la que cada elemento  $t_{ij}$  expresa el número de viajes producidos en la zona  $i$ , que se dirigen a la zona  $j$ . La suma de los elementos de la fila  $i$  corresponden al número de viajes  $p_i$ , producidos en la zona  $i$  y la suma de los elementos de la columna  $j$  corresponde al número de viajes  $a_j$ , atraídos por la zona  $j$ . Para una área dividida en  $n$  zonas la matriz tomará la forma siguiente:

	$a_1$	$a_2$	$a_3$	$a_j$	$a_n$	
$p_1$	$t_{11}$	$t_{12}$	$t_{13}$	.	.	$\sum_{j=1}^n t_{ij} = p_i$
$p_2$	$t_{21}$	$t_{22}$	$t_{23}$	.	.	
$p_3$	$t_{31}$	$t_{32}$	$t_{33}$	.	.	
.				.	.	
$p_i$	.	.	.	$t_{ij}$	.	
.				.	.	
$p_n$				.	.	

$$\sum_{i=1}^n t_{ij} = a_j$$

Durante los primeros estudios realizados al respecto, el número de zonas que se manejaban procuraba ser pequeño para facilitar los cálculos manuales, hoy en día el apoyo de la computadora permite trabajar un gran número de zonas, proporcionando un mayor acercamiento a la obtención de resultados confiables.

Existen actualmente tres grandes formas de agrupar los diferentes modelos desarrollados para resolver el problema de la distribución de viajes, estos son:

- ◆ Modelos con base en Factores de Crecimiento
- ◆ Modelos Probabilísticos, también denominados Modelos Sintéticos
- ◆ Modelos de Programación Lineal

El contenido de este trabajo, describe los fundamentos y las características principales en que se basan dichos modelos, elaborándose un ejemplo muy sencillo para modelos que caen dentro de las dos primeras categorías, con la finalidad de comprender el funcionamiento de la teoría y fórmulas que los explican.

## 2. MODELOS CON BASE EN FACTORES DE CRECIMIENTO

Las técnicas de Factores de Crecimiento son usadas para realizar proyecciones futuras de los actuales patrones de viajes determinados a través de encuestas de Origen-Destino. Estos factores de crecimiento se desarrollan para cada zona y a su vez para cada propósito de viaje dentro de la misma.

Los factores de crecimiento tienen su explicación como sigue: si existe un número de viajes con origen o destino en la zona  $i$  al cual se denomina  $V_i$  y además, el número de los que tienen un extremo en la zona  $i$  y otro en la zona  $j$  es  $V_{ij}$ , pasado un período de tiempo el número de viajes con origen o destino en  $i$  tenderá a crecer, siendo entonces  $F_i$  el factor de crecimiento.

Esto puede expresarse como:

$$F_i = \frac{\sum V_i'}{\sum V_i}$$

Donde  $V_i'$  es el número de viajes pronosticados en el año horizonte.

Se deduce entonces que  $V_{ij}' =$  número de viajes futuros entre las zonas  $i$  y  $j$ , es una función de los parámetros  $V_{ij}$ ,  $F_i$ ,  $F_j$ .

Cuando se calculan los  $V_{ij}'$  generalmente no se llega al número total de viajes  $V_i'$ , que proporciona el modelo de generación, para solucionar este inconveniente se ajustan los factores realizando procesos iterativos.

Al trabajar con Modelos de Factores de Crecimiento será necesario tomar en cuenta lo siguiente para lograr mejores resultados:

- Hacer ajustes sobre zonas actualmente no desarrolladas, pero en las que se espera que esto suceda.
- Realizar consideraciones especiales sobre aquellas zonas en las que se prevé un cambio sustancial en su actual uso de suelo.

Cabe aclarar que aún tomando en cuenta lo anterior, cuando un área urbana experimenta condiciones de crecimiento significativos, los ajustes que se realicen sobre los patrones de viajes actuales serán difíciles y especulativos.

Los puntos anteriores representan algunas de las condicionantes que se traducen en desventajas para el uso de este tipo de modelos, por otra parte entre sus aspectos positivos se encuentran:

- La ventaja de estas técnicas para reflejar de manera única las relaciones de viajes que existen en cualquier área urbana.
- La aplicación más exitosa de estos modelos se presenta en los siguientes casos:
  - \* Areas de crecimiento lento
  - \* Para propósitos de planeación a corto plazo
  - \* Para pronosticar viajes del tipo externo-interno o interno-externo

El uso de estos modelos queda limitado a las condiciones anteriores, por lo que no es muy común su utilización. La realidad es que muchas ciudades están experimentando crecimientos rápidos, estos cambios acelerados en el uso del suelo hacen necesarios ajustes al procedimiento.

Entre los modelos que destacan de este grupo se encuentran, el Modelo de Furness y el Modelo Fratar, siendo este último el más usado dentro de su grupo.

## 2.1 MODELO DE FURNESS

Los trabajos desarrollados sobre la teoría de este modelo se publicaron en 1965 a través de la revista inglesa Traffic Engineering + Control, dentro de su artículo denominado "Time Function Iteration".

### 2.1.1) BASES TEORICAS

En este modelo se trabajan dos etapas, en la primera se equilibran los flujos de producción de viajes y en la segunda se equilibran los flujos de atracción, ambos casos para cada una de las zonas, partiendo de la existencia de una matriz de datos actuales.

Su expresión matemática corresponde a las siguientes fórmulas:

$$t_{ij}' = t_{ij} \times P_i / p_i$$

$$t_{ij}'' = t_{ij}' \times \frac{A_j}{\text{viajes atraídos por } j \text{ en la primera iteración}}$$

$$t_{ij}''' = t_{ij}'' \times \frac{P_i}{\text{viajes producidos por } i \text{ en la segunda iteración}}$$

Donde:

$t_{ij}$  = flujo presente de i a j

$t'_{ij}$  = flujo futuro de i a j

$P_i$  = producción de viajes futuros de la zona i

$p_i$  = producción de viajes actuales de la zona i

$A_j$  = Atracción de viajes futuros hacia la zona j

Esta forma tan simplificada de distribuir los viajes es útil en casos en los que se trabaje con pequeñas encuestas y donde los factores de crecimiento para las diferentes zonas sean muy parecidos, además de no esperar la aparición de nuevos y grandes desarrollos.

## **2.2 MODELO FRATAR**

El Modelo Fratar fue el primer procedimiento iterativo para estimar la distribución de viajes futura. Su autor Thomas J. Fratar empezó a investigar la posibilidad de estimar una distribución de viajes por un método de aproximaciones sucesivas en 1944 a sugerencia del profesor Hardy Cross de la Universidad de Yale, pero el primer reporte formal del que se tiene referencia, corresponde a la revista "Traffic Quarterly" de enero de 1954.

### **2.2.1) BASES TEORICAS**

Fratar supone en su modelo que la distribución de viajes futura originados por una zona i es proporcional a la distribución actual, solo modificada por los factores de crecimiento de cada una de las zonas a donde son atraídos los viajes procedentes de i, incluyendo también el factor de crecimiento de la propia zona i.

En este modelo al igual que en el anterior es necesario:

- Contar con una tabla de viajes como dato de entrada.
- Estimar los factores de crecimiento para cada zona de origen y para cada zona de destino, si no se cuenta con la información referente a los factores de crecimiento en el destino, entonces se toman igual el de origen y el de destino.

El número de iteraciones será de acuerdo al criterio del analista, que deberá considerar el porcentaje de variación entre los resultados deseados y los calculados cuando ya sean irrelevantes las diferencias. Es posible apoyar tales decisiones recurriendo a pruebas estadísticas.

Los cálculos para estimar el número de intercambios de viajes entre zonas se debe realizar recurriendo a un propósito de viaje, por lo que se trabajarán tantas tablas de viajes como propósitos de viaje se tengan contemplados en el estudio.

Las expresiones matemáticas que definen este modelo son:

$$T_{ij(k+1)} = (T_{ijk} F_{jk}) F_{ik} \quad (1.F)$$

Donde a su vez

$$F_{jk} = \frac{T_j}{\sum_{i=1}^n T_{ijk}} \quad (2.F)$$

$$F_{ik} = \frac{T_i}{\sum_{j=1}^n (T_{ijk} F_{jk})} \quad (3.F)$$

Donde:

- $T_{ijk}$  = Viajes entre  $i$  y  $j$  para la iteración  $k$
- $T_j$  = Total de viajes deseados para el destino  $j$
- $T_i$  = Total de viajes deseados para el origen  $i$
- $F_{ik}$  = Factor de crecimiento en el origen  $i$  (fila)
- $F_{jk}$  = Factor de crecimiento en el destino  $j$  (columna)
- $i$  = Número de la zona de origen  $i = 1, 2, \dots, n$
- $j$  = Número de la zona de destino  $j = 1, 2, \dots, n$
- $k$  = Número de iteración  $k = 1, 2, \dots, m$
- $n$  = Cantidad de zonas
- $m$  = Cantidad de iteraciones

Como se observa el procedimiento de cálculo implica comenzar por la fórmula (2.F) obteniendo  $F_{jk}$  valor con el que podemos entrar a la fórmula (3.F) para definir  $F_{ik}$  y finalmente realizar el cálculo de la expresión (1.F).

Previamente deberán obtenerse los valores  $T_i$  y  $T_j$ . Para facilitar el procedimiento tomemos en cuenta la siguiente secuencia de cálculo que representaría el algoritmo del modelo.

### Secuencia de Cálculo.

Paso (0). Establezca su matriz de viajes iniciales (matriz de datos de entrada), así como su tabla de factores de crecimiento.

Encuentre los valores  $T_i$  y  $T_j$  aplicando los factores de crecimiento según corresponda, es decir los factores de origen afectarán los totales por renglón, los factores de destino afectarán los totales por columna.

Paso (1). Cálculo de  $F_{jk}$ . Aplicación de la fórmula (2.F).

Cuando  $k=1$  los valores a considerar dentro de las fórmulas corresponden a los de la tabla de inicio.

Paso (2). Cálculo de  $T_{ijk}$   $F_{jk}$ . Aplicación de factores columna.

Paso (3). Cálculo de  $F_{ik}$ . Aplicación de la fórmula (3.F).

Paso (4). Cálculo de la matriz de resultados. Aplicación de la fórmula (1.F).

Revisión y comparación de los valores totales obtenidos por fila y columna con los valores deseados o pronosticados  $T_i$  y  $T_j$  respectivamente (Paso (0)). Si los valores alcanzan la confiabilidad deseada termina el proceso, sino se incrementa  $k=k+1$  y se regresa al Paso (1).

Para aclarar el manejo de estas fórmulas se plantea el siguiente ejemplo:

### 2.2.2) EJEMPLO

Considere una matriz de  $3 \times 3$  y una tabla de factores de crecimiento con valores para zonas de origen y de destino.

Paso (0). Condiciones de Inicio.

Tabla (A). Tabla de viajes de Inicio

destino \ origen	1	2	3	total
1	6	9	7	22
2	11	7	8	26
3	9	6	7	22
total	26	22	22	70

Tabla (B). Factores de Crecimiento

ZONA	1	2	3
Factores para Origen $F_i$	2.0	3.0	4.0
Factores para Destino $F_j$	3.0	4.0	2.0

Tabla (C). Resultados Deseados o Pronosticados

destino origen	1	2	3	total
1	?	?	?	44
2	?	?	?	78
3	?	?	?	88
total	78	88	44	210

Paso (1). Cálculo de  $F_{jk}$ . Aplicación de la fórmula (2.F).

$k=1$

Tabla 1.1F

ZONA DE DESTINO	1	2	3
$T_j$ = Total de columna deseada o pronosticada	78	88	44
$\sum T_{ijk}$ = Total de la columna actual	26	22	22
$F_{jk}$ = Factor de columna	3.0	4.0	2.0

\* Cuando  $k=1$  estos valores corresponden a los de la Tabla de Viajes de Inicio, para este ejemplo la Tabla (A).

Paso (2). Cálculo de  $T_{ijk} F_{jk}$ . Aplicación de factores columna.

Tabla 1.2F

destino origen	1	2	3	total
1	18	36	14	68
2	33	28	16	77
3	27	24	14	65
total	78	88	44	210

Ejemplo de cálculo, sobre los datos de la primera columna:

Para  $F_{11} = 3.0$  con  $i=1,2,3$   $j=1$   $k=1$   
 $T_{111} * F_{11} = 3.0 (6) = 18$   
 $T_{211} * F_{11} = 3.0 (11) = 33$   
 $T_{311} * F_{11} = 3.0 (9) = 27$

Paso (3). Cálculo de  $F_{ik}$ . Aplicación de la fórmula (3.F).

Tabla 1.3F

ZONA DE ORIGEN	1	2	3
$T_i$ = Total de fila deseada o pronosticada	44	78	88
$\Sigma (T_{ijk} F_{jk})$ = Total de la fila actual	68	77	65
$F_{ik}$ = Factor de fila	0.65	1.01	1.35

Paso (4). Cálculo de la matriz de resultados. Aplicación de la fórmula (1.F).

Revisión y comparación de los valores totales obtenidos por fila y columna con los valores deseados o pronosticados  $T_i$  y  $T_j$  respectivamente (Paso (0)). Si los valores alcanzan la confiabilidad deseada termina el proceso, sino se incrementa  $k=k+1$  y se regresa al Paso (1).

Se multiplican los valores de la tabla 1.2F con los de la tabla 1.3F.

Tabla 1.4F

destino origen	1	2	3	total
1	12	23	9	44
2	33	28	16	77
3	36	32	19	87
total	81	83	44	208

Comparación con los valores deseados no satisfactoria, se incrementa  $k=k+1=2$  y se retorna al paso 1.

Paso (1). Cálculo de  $F_{jk}$ . Aplicación de la fórmula (2.F).

$k=2$

Tabla 2.1F

ZONA DE DESTINO	1	2	3
$T_j =$ Total de columna deseada o pronosticada	78	88	44
$\sum T_{jk} =$ Total de la columna actual	81	83	44
$F_{jk} =$ Factor de columna	0.96	1.00	1.0

Los valores de la segunda fila se encuentran en la tabla 1.4F.

Paso (2). Cálculo de  $T_{ijk}$   $F_{jk}$ . Aplicación de factores columna.

Tabla 2.2F

destino origen	1	2	3	total
1	11.52	24.38	9	44.9
2	31.68	29.68	16	77.36
3	34.56	33.92	19	87.48
total	77.76	87.98	44	209.74

Ejemplo de cálculo, sobre los datos de la primera columna:

Para  $F_{11} = 0.96$  con  $i=1,2,3$   $j=1$   $k=1$   
 $T_{111} * F_{11} = 0.96 (12) = 11.52$   
 $T_{211} * F_{11} = 0.96 (33) = 31.68$   
 $T_{311} * F_{11} = 0.96 (36) = 34.56$

Paso (3). Cálculo de  $F_{ik}$ . Aplicación de la fórmula (3.F).

Tabla 2.3F

ZONA DE ORIGEN	1	2	3
$T_i$ = Total de fila deseada o pronosticada	44	78	89
$\sum (T_{ijk} F_{jk})$ = Total de la fila actual	44.9	77.36	87.48
$F_{ik}$ = Factor de fila	0.98	1.01	1.01

Paso (4). Cálculo de la matriz de resultados. Aplicación de la fórmula (1.F).

Revisión y comparación de los valores totales obtenidos por fila y columna con los valores deseados o pronosticados  $T_i$  y  $T_j$  respectivamente (Paso (0)). Si los valores alcanzan la confiabilidad deseada termina el proceso, sino se incrementa  $k=k+1$  y se regresa al Paso (1).

Se multiplican los valores de la tabla 2.2F con los de la tabla 2.3F.

Tabla 2.4F

destino origen	1	2	3	total
1	11	24	9	44
2	32	30	16	78
3	35	34	19	88
total	78	88	44	210

Comparación con los valores deseados satisfactoria, termina el proceso.

### 3. MODELOS PROBABILISTICOS

También llamados Modelos Sintéticos, estos modelos analizan los datos existentes para establecer las relaciones entre viajes en términos de la producción, atracción y resistencia al viaje. La ventaja más importante de estos es que permiten además de ser utilizados como predictivos, obtener flujos para el año base sin necesidad de recopilar datos para todos los elementos de la matriz de viajes, lo cual se traduce en un ahorro en costos y representa una de las justificantes del porque estos modelos han reemplazado poco a poco a los modelos de factores de crecimiento.

Otra característica de ellos es que la producción y atracción de actividades son medidas en términos de un viaje iniciado o terminado, además como ya se mencionó los intercambios de viaje están en función de la producción y atracción potencial de cada zona y de la separación espacial entre ellas (esto último es lo que determinará la llamada resistencia al viaje).

Estos modelos deben someterse a técnicas de calibración y ajuste, de forma tal que lo calculado en teoría represente la situación real. Estas pruebas permiten medir la capacidad de los modelos para reproducir los patrones de viajes existentes, si esto se logra, entonces el modelo es apto para predecir las distribuciones de viajes futuras.

En este grupo de modelos existen básicamente tres tipos: el Modelo de Gravedad, el Modelo de Oportunidad de Intervención y el Modelo de Oportunidad Competitivo. A su vez el Modelo de Gravedad tiende a ser el más utilizado no solo de su grupo, sino en general de todos los modelos de distribución de viajes y por tanto es del que se tiene mayor información.

### 3.1 MODELO DE OPORTUNIDAD DE INTERVENCION

Este modelo fue desarrollado por Morton Schneider, especialmente para un estudio de transporte en la ciudad de Chicago en 1955 y su teoría fue publicada en 1960 dentro del artículo titulado "Panel Discussion on Inter-Area Travel Formulas" en el Highway Research Board Bulletin 253.

#### 3.1.1) BASES TEORICAS

Este modelo no toma la variable separación espacial entre zonas, directamente sino que considera solamente el orden en que estas separaciones pueden clasificarse y se basa en el principio de que un viaje realizado con un propósito determinado y cuyo origen es la zona i, presentará ciertas probabilidades de cumplir su propósito, que son máximas al llegar a una zona j y a partir de ahí disminuirán. Es decir un individuo buscará hacer el mínimo desplazamiento que le permita lograr el objetivo de su viaje.

Su expresión matemática se define como:

$$T_{ij} = O_i P(D_j) \dots\dots\dots(1.0)$$

Donde:

$T_{ij}$  = Viajes entre la zona de origen i y la zona de destino j

$O_i$  = Total de viajes producidos y originados en la zona i

$D_j$  = Total de viajes atraídos por el destino de la zona j

$P(D_j)$  = Probabilidad de que cada viaje con origen en i encuentre un destino en j, en un término aceptable. esta expresada también como una función de  $D_j$

Como se observa a través de su expresión matemática, el modelo considera que la distribuciones de viajes entre una zona de origen y una zona de destino ( $T_{ij}$ ), es igual al total de viajes que salen del origen ( $O_i$ ) multiplicados por la probabilidad de que cada viaje originado encuentre una terminal aceptable en un destino  $P(D_j)$ .

Los puntos importantes de consideración para el modelo son dos características zonales:

- 1.- El tamaño del destino
- 2.- El orden en el cual es encontrado

El parámetro  $P(D_j)$  se puede expresar como:

$$( P(A) - P(B) )$$

Esto es, la diferencia de la probabilidad entre los viajes originados en i, que encuentran un fin deseable en uno de todos los destinos respecto de su cercanía a i incluyendo j y la probabilidad de que encuentren un fin deseable en todos los destinos, excepto en j.

De esta forma si sustituimos la expresión anterior en la fórmula 1.0 será:

$$T_{ij} = O_i ( P(A) - P(B) ) \dots\dots\dots(2.0)$$

donde

A = Suma de todos los destinos para zonas entre i y j, en términos de su cercanía, incluyendo a j.

B = Suma de todos los destinos para zonas entre i y j, pero excluyendo a j.

De aquí observamos que:

$$A = B + A_j \dots\dots\dots(3.0)$$

A partir de este punto es posible determinar una función de P. Para establecer la expresión matemática de esta, se define que la probabilidad de un viaje de terminar en una zona con cierto número de destinos, es igual a la probabilidad de que en esta zona exista un destino aceptable multiplicado por la probabilidad de que antes de llegar a la zona en cuestión no se haya encontrado un destino aceptable.

Ya que estas probabilidades variarán de punto a punto, el problema puede representarse a través de una ecuación diferencial como:

$$dP = (1-P) LdV \dots\dots\dots(4.0)$$

que se interpreta de la siguiente forma; P representa la probabilidad de que un viaje haya terminado en un cierto punto ( $P=P(V)$ ), donde para llegar a este haya sido necesario pasar por V puntos de destino. L por su parte representa la "densidad de probabilidad o grado de probabilidad" de encontrar un destino en el punto considerado.

Además si L es constante la ecuación 4.0 queda:

$$P = 1 - Ke^{-LV} \dots\dots\dots(5.0)$$

donde

K = Constante de integración

e = Base de los logaritmos naturales o neperianos equivalente a 2.71828

y como P = 0 cuando V= 0 entonces se deduce que la constante de integración K=1 y la ecuación 5.0 se transforma en:

$$P = 1 - e^{-LV} \dots\dots\dots(6.0)$$

La función obtenida en 6.0 se sustituye en la ecuación 2.0 quedando finalmente como:

$$T_{ij} = O_i (e^{-LB} - e^{-LA}) \dots\dots\dots(7.0)$$

Esta última expresión representa la formulación estándar del Modelo de Oportunidad de Intervención.

Una de las condicionantes básicas para trabajar este modelo, es la referente a que las zonas de destino deberán ser ordenadas de acuerdo a su cercanía en tiempo, respecto al origen considerado.

En este modelo al igual que en el Modelo de Gravedad es necesario utilizar una técnica iterativa para ajustar los destinos totales calculados con respecto a los valores deseados o valores de inicio, para lograr este objetivo al término de cada iteración se calculan los ajustes de los totales de destino por medio de la siguiente formula:

$$D_{jk} = \frac{D_j}{C_j^{(k-1)}} D_j^{(k-1)} \dots\dots\dots(8.0)$$

donde:

$D_{j,k}$  = Totales de los destinos ajustados para la zona de destino (columna ) j, iteración k

$C_{j,k}$  = Total del destino actual (columna) para la zona j, iteración k

k = Número de la iteración, k=1,2,...,m

m = Cantidad de iteraciones

Estos valores ajustados serán los nuevos datos para alimentar la siguiente iteración del modelo.

Los Modelos de Oportunidad de Intervención, tienen una base lógica y entre sus ventajas destaca el que no se necesiten encuestas de Origen-Destino muy elaboradas, aún sus cálculos pueden resultar no muy complejos, pero entre sus desventajas esta la necesidad de la elección arbitraria de la función de probabilidad, además de existir menos experiencia desarrollada para estos en comparación a los Modelos de Gravedad.

### 3.2 MODELO DE GRAVEDAD

Los modelos de este tipo se han desarrollado extensamente y en opinión de algunos especialistas son actualmente, los únicos modelos de distribución que permiten obtener una mayor eficiencia en los resultados. Estos modelos tienen su origen en campos distintos al análisis de la demanda de viajes, generalmente se les encuentra relacionados en sus inicios a estudios sociológicos y de industria telefónica.

En los primeros estudios de aplicación a aspectos de transporte realizados en Inglaterra, se midieron la producción y atracción de viajes en términos de la población y el empleo por zonas, donde la función de resistencia al viaje se consideraba asociada a una función inversa de la distancia similar a la Ley de la Gravedad de Newton.

La ecuación quedaba:

$$t_{ij} = k \frac{P_i E_j}{d^n}$$

donde:

$t_{ij}$  : representa los viajes entre la zona i y j

k : se define como constante

$P_i$  : población en la zona i

$E_j$  : empleo en la zona j

d : distancia entre zonas

n : constante que describe el efecto de la distancia

Este fue en un principio una de las formas más simple de representar los modelos de gravedad en relación a los problemas de determinación de intercambios de viajes entre zonas.

En estos estudios iniciales se observó que el exponente de la distancia en la función de resistencia no era el mismo para todas las áreas, también se detectó que incluso para cada una de estas áreas el exponente no era el mismo para todos los tipos de viajes. Con esta evidencia se condujo a clasificar los viajes en función a sus propósitos, este concepto perdura aún hoy en día y se usa invariablemente en todas las fases del proceso de modelado.

### 3.2.1) BASES TEORICAS

Actualmente el Modelo de Gravedad sigue teniendo el enfoque análogo que conlleva su nombre, es decir se basa en el supuesto de que: " el número de viajes entre dos zonas es directamente proporcional a las actividades en las zonas representadas por la generación de viajes e inversamente proporcional a la separación espacial entre las mismas".

La separación espacial puede estar dada en función al tiempo, distancia, costo del modo elegido o una combinación de estos parámetros. Un término más ampliamente utilizado para representar lo anterior se denomina "Impedancia".

De acuerdo a lo anterior es de esperarse que zonas con altos niveles de actividad tienden a intercambiar más viajes y a su vez zonas más separadas tiendan a recibir menor número de viajes. Además se ha agregado otro parámetro al planteamiento original del modelo, este es, la consideración de un factor socioeconómico que refleje las características de las zonas y su efecto sobre los patrones de viaje, sin embargo la poca facilidad que existe para su cálculo, provoca que su uso sea escaso y tenga que justificarse ampliamente.

La relación puede expresarse matemáticamente como sigue:

$$T_{ij} \propto P_i A_j F_{ij} K_{ij} \dots\dots\dots(1.G)$$

donde :

$T_{ij}$  = Viajes producidos en la zona i y atraídos por j

$\propto$  = Símbolo de proporcionalidad

$P_i$  = Cantidad total de viajes producidos en la zona i

$A_j$  = Cantidad total de viajes atraídos por la zona j

$F_{ij}$  = Término de calibración para el intercambio ij, también conocido como factor de fricción

$K_{ij}$  = Factor de ajuste socioeconómico para el intercambio ij

i = Número que identifica una zona de origen,  $i=1,2,\dots,n$

j = Número que identifica una zona de destino,  $j=1,2,\dots,n$

n = Cantidad de zonas consideradas en el área de estudio

En esta fórmula existen cuatro parámetros que se requieren para alimentar un Modelo de Gravedad, dos de ellos, las producciones  $P_i$  y las atracciones  $A_j$  son datos de entrada provenientes de los resultados de la fase de generación de viajes o de la propia encuesta según se requiera. Los otros dos parámetros restantes lo constituyen sus factores y estos se tienen que calcular.

Un supuesto importante a considerar en la forma de trabajar del Modelo de Gravedad se refiere a que este modelo en particular distribuye los viajes producidos en una zona, hacia la zona de atracción y no de una zona de origen a una zona de destino. Por lo anterior es necesario definir las producciones y atracciones clasificando los viajes, como:

**Viajes con base en el hogar.**- que se consideran producidos en el extremo hogar y son atraídos hacia el extremo diferente al hogar, independientemente de que inicien o terminen en el extremo hogar.

**Viajes con base diferente al hogar.**- los cuales siempre se producen en la zona de origen y son atraídos hacia la zona de destino.

Existen también otras categorías para caracterizar viajes, por ejemplo, viajes interno-externo, cuando uno de los extremos del viaje queda comprendido dentro del área de estudio y el otro fuera de ella, viajes externo-externo, cuando ambos extremos del viaje quedan fuera del área de estudio.

El uso de estos conceptos puede mejorar la confiabilidad de los modelos, pues se ha encontrado que existe una estrecha relación entre producción con respecto a las características familiares y entre atracción y parámetros de uso de suelo. Además recurrir a estos conceptos facilita el tratamiento de los datos, pues es posible utilizar una matriz no direccional en lugar de dos direccionales. Antes se requería trabajar con dos matrices direccionales diferentes Origen-Destino, para describir por ejemplo, los viajes de casa al trabajo y del trabajo a casa. Usando los conceptos producciones y atracciones, solo se ocupa una matriz no direccional, de producciones (siempre extremos residenciales) a atracciones (siempre extremos diferentes al hogar).

Retomando las variables que requiere el modelo encontramos el factor  $F_{ij}$  (término de calibración para el intercambio  $ij$  también conocido como factor de fricción o factor de impedancia), este representa dentro de la fórmula a la parte que establece la separación espacial entre zonas, que como ya se mencionó puede ser medida en función a varios parámetros, de los cuales el tiempo de viaje es el más representativo.

El tiempo de viaje es un parámetro que incluye no solo la distancia de manejo o de traslado entre zonas, sino que además adiciona los tiempos empleados en iniciar o finalizar el viaje, como por ejemplo, el tiempo de caminata y/o tiempo de estacionamiento. Con esta adición de tiempos se logra una medición más real de la separación espacial entre zonas en función al tiempo de viaje.

Se sugiere que los datos se obtengan de la siguiente forma:

- Los tiempos de manejo o traslado son más confiables si se toman de los obtenidos para la fase de asignación, que si se utilizan los de las encuestas.
- Los tiempos de inicio y fin de un viaje se obtienen a partir de los datos sobre distancias promedio recorridas disponibles en encuestas o se puede recurrir a una estimación a criterio.

Es necesario hacer las mismas consideraciones en cuanto al cálculo del tiempo de viaje para el caso de tiempos de viaje intrazonales.

$F_{ij}$  representa entonces el factor de tiempo de viaje e indica la resistencia en los viajes interzonales debido a la separación espacial entre estas.

Se estima que los factores de tiempo de viaje permanecen constantes para una condición futura, esta situación podría resultar desventajosa si reflexionamos en que al paso del tiempo y con el crecimiento natural de la demanda de viajes, las condiciones en cuanto a capacidad vial se vieran deterioradas. Para sensibilizar el modelo al respecto de esta situación será necesario realizar una revisión al final de la fase de asignación sobre los valores que en esta tomen los tiempos de viaje y si estos resultan significativamente diferentes a los aplicados para el Modelo de Gravedad en la fase de distribución, este último tendrá que ser recalculado para producir una nueva tabla de viajes que presente una mayor aproximación a los resultados encontrados en la fase de asignación.

La determinación de los factores de tiempo de viaje o de fricción, se realiza durante el proceso de calibración ( de esto deriva que también se les denomine término de calibración ) o se toma de otras áreas con características similares. El factor  $F_{ij}$  describen comúnmente una función exponencial inversa de la resistencia al viaje (impedancia).

La última de las variables que integran la expresión matemática del Modelo de Gravedad se refiere al factor  $K_{ij}$ , este pretende reflejar el efecto que pudieran tener las condiciones de tipo social y económico, que no son tomadas en cuenta por los factores de tiempo de viaje. El factor  $K_{ij}$  tiene mayor aplicación en áreas urbanas grandes donde se presentan contrastes de estos dos aspectos y a diferencia del factor  $F_{ij}$  toma un valor exclusivo para cada intercambio  $ij$ . Cuando no se cuenta con información sobre el valor que puede tomar este factor se asume para fines de cálculo que  $K_{ij}=1$ .

La expresión 1.G puede representarse como una ecuación adicionando el parámetro C (constante):

$$T_{ij} = CP_i A_j F_{ij} K_{ij} \dots\dots\dots(2.G)$$

Un valor para la constante C en cualquier zona de origen i,  $C_i$ , puede establecerse cuando se especifique que todos los  $T_{ij}$  para el origen i, deberán ser iguales a  $P_i$ , de modo que:

$$P_i = \sum_{j=1}^n T_{ij} = \sum_{j=1}^n (C_i P_i A_j F_{ij} K_{ij})$$

$$P_i = C_i P_i \sum_{j=1}^n (C_i P_i A_j F_{ij} K_{ij}) \quad i=1,2,\dots,n$$

de esta forma

$$C_i = \frac{1}{\sum_{j=1}^n (A_j F_{ij} K_{ij})} \quad i=1,2,\dots,n$$

y 2.G queda:

$$T_{ij} = \frac{P_i A_j F_{ij} K_{ij}}{\sum_{j=1}^n (A_j F_{ij} K_{ij})} \dots\dots\dots(3.G)$$

Esta relación corresponde a la fórmula estándar del Modelo de Gravedad y se lee:

Viajes entre i y j = viajes producidos en i x  $\frac{\text{Características de atractividad y accesibilidad de j}}{\text{Características de atractividad y accesibilidad de todas las zonas del área}}$

De esta forma una determinada zona j toma solo una parte de las producciones de viajes de la zona i en función a sus características propias comparadas con las de todas las zonas del área de estudio.

La utilización de la expresión 3.G nos permite obtener los viajes totales producidos por filas en forma correcta, esto se debe a la estructura de la ecuación, pero en cambio los viajes totales atraídos se desbalancean con respecto a los valores deseados o pronosticados, para remediar esto se aplica un proceso iterativo que afine estas diferencias, el proceso termina hasta que los valores de viajes totales atraídos se acerquen a los resultados deseados.

Los factores de atracción ajustados se obtienen después de cada iteración mediante la ecuación:

$$A_{j(k+1)} = \frac{A_j}{C_{jk}} A_{jk} \quad j=1,2,\dots,n \text{ y } k=1,2,\dots,m \quad \dots\dots\dots(4.G)$$

$A_{jk}$  = Factor de atracción ajustado para la zona de atracción j, de la iteración k  
 $A_{jk} = A_j$  cuando  $k=1$

$A_j$  = Total de atracciones deseadas para la zona de atracción j

$C_{jk}$  = Total de atracciones actuales para la zona j, de la iteración k

j = Número de zona de atracción

n = Cantidad de zonas

k = Número de iteración

m = Cantidad de iteraciones

Es necesario recordar que se deberá desarrollar un proceso de modelado para cada propósito de viaje, debido a que diferentes propósitos tendrán diferentes características de distribución, de tal forma que 3.G se redefine como:

$$( T_{ij} = \frac{P_i A_j F_{ij} K_{ij}}{\sum_{j=1}^n (A_j F_{ij} K_{ij})} )^p \quad \dots\dots\dots(5.G)$$

donde el nuevo subíndice p, recuerda que el proceso completo se debe realizar para cada motivo de viaje.

Para resumir el procedimiento tomemos en cuenta la siguiente secuencia de cálculo:

#### Paso (0)

Establecer los datos de inicio para el arranque del proceso, estos datos son:

- una matriz conteniendo las producciones y atracciones totales por zona y por motivo de viaje.
- una tabla de factores de fricción o factores de impedancia.
- una matriz de tiempos de viaje o impedancias.

#### Paso (1)

Con la finalidad de facilitar el manejo de datos convertir la matriz de impedancias en una matriz de factores de fricción que nos servirá de consulta en cada iteración, esto se logra sustituyendo los valores de la matriz de impedancias por su correspondiente factor de fricción de acuerdo con la tabla proporcionada.

#### Paso (2)

Aplicación de la fórmula 5.G.

Generando cada elemento de la matriz de viajes, en este punto si no se cuenta con valores para el factor socioeconómico  $K_{ij}$  se asume que tiene un valor igual a 1 ( $K_{ij} = 1$ ). Una vez construida la matriz se comparan los totales por zona tanto de  $P_i$  como de  $A_j$  y se define si es necesario seguir al paso 3.

#### Paso (3)

Aplicación de la fórmula 4.G.

Cálculo de viajes atraídos ajustados. En este paso deben ajustarse la suma de todas las atracciones en las diferentes zonas para que cierre con el valor que representa el gran total.

- Considerar que si  $k=1$  entonces  $A_{jk} = A_j$ .
- Incrementar  $k = k + 1$  y se regresa al paso (2).

El proceso finaliza cuando en el paso (2) la matriz obtenida en la última iteración, es idéntica en sus valores totales por zona a los valores deseados o cuando las diferencias son suficientemente pequeñas de acuerdo a alguna medida de confiabilidad establecida que la califique como aceptable.

### 3.2.2) EJEMPLO

El desempeño del modelo a través de sus fórmulas se hace más entendible con el siguiente problema. Se trata de una pequeña área dividida en tres zonas, para este caso ya se proporcionan los factores F mismos que se aplicarán a los valores mostrados en la matriz de tiempos de viaje.

Paso (0). Establecimiento de datos iniciales.

Tabla A. Producción y Atracción de Viajes  
(Datos Pronosticados)

ZONA	2	3	
Producciones	78	88	
Atracciones	78	88	44

Tabla B. Factores de Fricción

Tiempo en minutos (Impedancia)	Factor F
1	82
2	52
3	50
4	41
5	39
6	26
7	20
8	13

Tabla C. Matriz de Tiempos de Viaje o Matriz de Impedancias

ZONA	1	2	3
1	8	3	2
2	1	6	7
3	4	5	4

Paso (1). Obtención de la Matriz de Factores de Fricción.

Tabla D. Matriz de Factores de Fricción

ZONA	1	2	3
1	13	50	52
2	82	26	20
3	41	39	41

Paso (2). Aplicación de la Fórmula 5.G, para cada elemento de la matriz de viajes

$$T_{ij} = \frac{P_i A_j F_{ij} K_{ij}}{\sum_{j=1}^n (A_j F_{ij} K_{ij})} P_j$$

iniciando con k=1.

En este ejemplo no se consideran valores para el Factor K (Factor socioeconómico) por tanto K=1.

T.G1. Primera iteración. Obtención de T<sub>ij</sub>

Atrac. \ Produc.	1	2	3	Total
1	6	25	13	44
2	52	19	7	78
3	33	36	19	88
Total	91	80	39	210

Ejemplo de utilización de la expresión 5.G para determinar el valor de los elementos  $t_{ij}$  en la matriz anterior.

$$T_{11} = \frac{P_1 A_1 F_{11} K_{11}}{A_1 F_{11} + A_2 F_{12} + A_3 F_{13}} = \frac{(44)(78)(13)(1)}{(78)(13) + (88)(50) + (44)(52)} = \frac{44616}{7702} = 5.79 \approx 6$$

$$T_{12} = \frac{P_1 A_2 F_{12}}{A_1 F_{11} + A_2 F_{12} + A_3 F_{13}} = \frac{(44)(88)(50)}{7702} = 25.14 \approx 25$$

$$T_{13} = \frac{P_1 A_3 F_{13}}{A_1 F_{11} + A_2 F_{12} + A_3 F_{13}} = \frac{(44)(44)(52)}{7702} = 13.07 \approx 13$$

$$T_{21} = \frac{P_2 A_1 F_{21}}{A_1 F_{21} + A_2 F_{22} + A_3 F_{23}} = \frac{(78)(78)(82)}{9564} = 52.16 \approx 52$$

$$T_{22} = \frac{P_2 A_2 F_{22}}{A_1 F_{21} + A_2 F_{22} + A_3 F_{23}} = \frac{(78)(88)(26)}{9564} = 18.65 \approx 19$$

$$T_{23} = \frac{P_2 A_3 F_{23}}{A_1 F_{21} + A_2 F_{22} + A_3 F_{23}} = \frac{(78)(44)(20)}{9564} = 7.18 \approx 7$$

$$T_{31} = \frac{P_3 A_1 F_{31}}{A_1 F_{31} + A_2 F_{32} + A_3 F_{33}} = \frac{(88)(78)(41)}{8434} = 33.37 \approx 33$$

$$T_{32} = \frac{P_3 A_2 F_{32}}{A_1 F_{31} + A_2 F_{32} + A_3 F_{33}} = \frac{(88)(88)(39)}{8434} = 35.81 \approx 36$$

$$T_{33} = \frac{P_3 A_3 F_{33}}{A_1 F_{31} + A_2 F_{32} + A_3 F_{33}} = \frac{(88)(44)(41)}{8434} = 18.82 \approx 19$$

Paso (3). Aplicación de la fórmula 4.G. Cálculo de Viajes Atraídos Ajustados.

**T.G2.** Primera iteración. Cálculos de  $A_{j(k+1)}$

ZONA	1	2	3
$A_j$ = Total de viajes atraídos deseados o pronosticados	78	88	44
$C_{jk}$ = Total de viajes atraídos actuales	91	80	39
$A_{jk}$ = Factores de atracción ajustados para esta iteración	78	88	44
$A_{j(k+1)}$ = Factores de atracción ajustados para la siguiente iteración	66	95	49

Ejemplo de utilización de la expresión 4.G. Construcción de la tabla anterior. Recuerdese que cuando  $k=1$ ,  $A_{jk} = A_j$

$$A_{j(k+1)} = \frac{A_j}{C_{jk}} \cdot A_{jk}$$

$$A_{12} = \frac{78}{91} \cdot 78 = 66$$

Incremento de  $k=k+1=2$ . Regreso al paso (2).

Paso (2). Aplicación de la Fórmula 5.G, para cada elemento de la matriz de viajes

$$T_{ij} = \frac{P_i A_j F_{ij} K_{ij}}{\sum_{j=1}^n (A_j F_{ij} K_{ij})} \cdot p$$

iniciando con k=2.

En este ejemplo no se consideran valores para el Factor K (Factor socioeconómico) por tanto K=1.

T.G3. Segunda iteración. Obtención de T<sub>ij</sub>

Atrac. \ Produc.	1	2	3	Total
1	4	<u>26</u>	<u>14</u>	44
2	47	<u>22</u>	9	78
3	<u>28</u>	39	<u>21</u>	88
Total	79	87	44	210

Ejemplo de utilización de la expresión 5.G para determinar el valor de los elementos ij en la matriz anterior (solo se incluyen los valores subrayados en la matriz).

$$T_{12} = \frac{P_1 A_2 F_{12}}{A_1 F_{11} + A_2 F_{12} + A_3 F_{13}} = \frac{(44)(95)(50)}{8156} = 25.63 \approx 26$$

$$T_{13} = \frac{P_1 A_3 F_{13}}{A_1 F_{11} + A_2 F_{12} + A_3 F_{13}} = \frac{(44)(49)(52)}{8156} = 13.75 \approx 14$$

$$T_{22} = \frac{P_2 A_2 F_{22}}{A_1 F_{21} + A_2 F_{22} + A_3 F_{23}} = \frac{(78)(95)(26)}{8862} = 21.7 \approx 22$$

$$T_{31} = \frac{P_3 A_1 F_{31}}{A_1 F_{31} + A_2 F_{32} + A_3 F_{33}} = \frac{(88)(66)(41)}{8420} = 28.3 \approx 28$$

$$T_{33} = \frac{P_3 A_3 F_{33}}{A_1 F_{31} + A_2 F_{32} + A_3 F_{33}} = \frac{(88)(49)(41)}{8420} = 20.9 \approx 21$$

Los valores totales por columna no se consideran satisfactorios con respecto a los valores deseados por lo que se continua con el proceso.

Paso (3). Aplicación de la fórmula 4.G. Cálculo de Viajes Atraídos Ajustados.

**T.G4.** Segunda iteración. Cálculos de  $A_{j(k+1)}$

ZONA	1	2	3
$A_j$ = Total de viajes atraídos deseados o pronosticados	78	88	44
$C_{jk}$ = Total de viajes atraídos actuales	79	87	44
$A_{jk}$ = Factores de atracción ajustados para esta iteración	66	95	49
$A_{j(k+1)}$ = Factores de atracción ajustados para la siguiente iteración	65	96	49

Ejemplo de utilización de la expresión 4.G. Construcción de la tabla anterior.

$$A_{j(k+1)} = \frac{A_j}{C_{jk}} \cdot A_{jk}$$

$$A_{13} = \frac{78}{79} \cdot 66 = 65.2 \approx 65$$

Incremento de  $k=k+1=3$ . Regreso al paso (2).

Paso (2). Aplicación de la Fórmula 5.G, para cada elemento de la matriz de viajes

$$\left( T_{ij} = \frac{P_i A_j F_{ij} K_{ij}}{\sum_{j=1}^n (A_j F_{ij} K_{ij})} \right) p$$

iniciando con k=3.

En este ejemplo no se consideran valores para el Factor K (Factor socioeconómico) por tanto K=1.

**T.G5.** Tercera iteración. Obtención de  $T_{ij}$

Atrac. \ Produc.	1	2	3	Total
1	4	<u>26</u>	<u>14</u>	44
2	47	<u>22</u>	9	78
3	<u>28</u>	39	<u>21</u>	88
Total	79	37	44	210

Ejemplo de utilización de la expresión 5.G para determinar el valor de los elementos  $ij$  en la matriz anterior (solo se incluyen los valores subrayados en la matriz).

$$T_{12} = \frac{P_1 A_2 F_{12}}{A_1 F_{11} + A_2 F_{12} + A_3 F_{13}} = \frac{(44)(96)(50)}{8193} = 25.78 \approx 26$$

$$T_{13} = \frac{P_1 A_3 F_{13}}{A_1 F_{11} + A_2 F_{12} + A_3 F_{13}} = \frac{(44)(49)(52)}{8193} = 13.68 \approx 14$$

$$T_{22} = \frac{P_2 A_2 F_{22}}{A_1 F_{21} + A_2 F_{22} + A_3 F_{23}} = \frac{(78)(96)(26)}{8806} = 22.1 \approx 22$$

$$T_{31} = \frac{P_3 A_1 F_{31}}{A_1 F_{31} + A_2 F_{32} + A_3 F_{33}} = \frac{(88)(65)(41)}{8418} = 27.85 \approx 28$$

$$T_{33} = \frac{P_3 A_3 F_{33}}{A_1 F_{31} + A_2 F_{32} + A_3 F_{33}} = \frac{(88)(49)(41)}{8418} = 21.00 = 21$$

Los valores totales por columna no se consideran satisfactorios con respecto a los valores deseados por lo que se continua con el proceso.

Paso (3). Aplicación de la fórmula 4.G. Cálculo de Viajes Atraídos Ajustados.

T.G6. Tercera iteración. Cálculo de  $A_{ij(k+1)}$

ZONA	1	2	3
$A_i$ = Total de viajes atraídos deseados o pronosticados	78	88	44
$C_{jk}$ = Total de viajes atraídos actuales	79	87	44
$A_{jk}$ = Factores de atracción ajustados para esta iteración	65	96	49
$A_{j(k+1)}$ = Factores de atracción ajustados para la siguiente iteración	64	97	49

Ejemplo de utilización de la expresión 4.G. Construcción de la tabla anterior.

$$A_{j(k+1)} = \frac{A_i}{C_{jk}} A_{jk}$$

$$A_{14} = \frac{78}{79} 65 = 64.17 \approx 64$$

$$A_{24} = \frac{88}{87} 96 = 97.1 \approx 97$$

Incremento de  $k=k+1=4$ . Regreso al paso (2).

Paso (2). Aplicación de la Fórmula 5.G, para cada elemento de la matriz de viajes

$$T_{ij} = \frac{P_i A_j F_{ij} K_{ij}}{\sum_{j=1}^n (A_j F_{ij} K_{ij})} ) p$$

iniciando con  $k=4$ .

En este ejemplo no se consideran valores para el Factor K (Factor socioeconómico) por tanto  $K=1$ .

**T.G7.** Cuarta iteración. Obtención de  $T_{ij}$

Atrac. / Produc.	1	2	3	Total
1	4	<u>26</u>	<u>14</u>	44
2	47	<u>22</u>	9	78
3	<u>27</u>	<u>40</u>	<u>21</u>	88
Total	78	88	44	210

Ejemplo de utilización de la expresión 5.G para determinar el valor de los elementos  $ij$  en la matriz anterior

(solo se incluyen los valores subrayados en la matriz).

$$T_{12} = \frac{P_1 A_2 F_{12}}{A_1 F_{11} + A_2 F_{12} + A_3 F_{13}} = \frac{(44)(97)(50)}{8230} = 25.9 \approx 26$$

$$T_{13} = \frac{P_1 A_3 F_{13}}{A_1 F_{11} + A_2 F_{12} + A_3 F_{13}} = \frac{(44)(49)(52)}{8230} = 13.62 \approx 14$$

$$T_{22} = \frac{P_2 A_2 F_{22}}{A_1 F_{21} + A_2 F_{22} + A_3 F_{23}} = \frac{(78)(97)(26)}{8750} = 22.48 \approx 22$$

$$T_{31} = \frac{P_3 A_1 F_{31}}{A_1 F_{31} + A_2 F_{32} + A_3 F_{33}} = \frac{(88)(64)(41)}{8416} = 27.4 \approx 27$$

$$T_{32} = \frac{P_3 A_2 F_{32}}{A_1 F_{31} + A_2 F_{32} + A_3 F_{33}} = \frac{(88)(97)(39)}{8416} = 39.56 \approx 40$$

$$T_{33} = \frac{P_3 A_3 F_{33}}{A_1 F_{31} + A_2 F_{32} + A_3 F_{33}} = \frac{(88)(49)(41)}{8416} = 21.01 = 21$$

Comparando los resultados de la matriz en esta última iteración, se observa que los valores totales por columna se consideran satisfactorios con respecto a los valores deseados por lo que no es necesario continuar con el proceso.

### **3.2.3 CALIBRACION DEL MODELO Y DESARROLLO DE LOS FACTORES DE FRICCION**

El término calibración se define como: "Un proceso generalmente matemático, mediante el cual los datos procedentes de la información previa son utilizados para establecer las relaciones entre dos o más variables".

Para fines de este tema, el proceso de calibración representa una posibilidad de crear un duplicado de los viajes para el año en el que se tienen datos disponibles. A este año se le conoce como año base, durante este período se realizan encuestas que arrojan información acerca de las características de los viajes en un área determinada. Este proceso no es exclusivo de la fase de distribución, sino que también debe tomarse en cuenta para las otras fases del modelo de pronóstico de demanda de viajes, con sus correspondientes formas de aplicación, enfocándose a comprobar si los resultados obtenidos a través de sus modelos representan adecuadamente los datos observados.

En el caso de la fase de distribución de viajes y particularmente cuando se utiliza el Modelo de Gravedad, la calibración se complementa por medio del desarrollo de los Factores de Fricción o Factores de Impedancia, cuyo objetivo es medir el efecto que el tiempo de viaje o la impedancia tienen sobre la distribución de viajes.

Si se analizan las variables que integran la fórmula del Modelo de Gravedad, se observa que los únicos valores moldeables a los datos observados, lo constituyen sus factores, muy especialmente los factores de fricción, así que su papel dentro de la calibración será actuar como variables de control que lleven el proceso de modelado a reproducir los valores reales observados.

Estos ajustes a los factores de fricción pueden medirse a través de indicaciones tales como distribución de la frecuencia de tiempos de viajes y tiempos promedio de viajes (ver fig. A).

La información básica para iniciar un proceso de calibración es:

- Tabla de viajes iniciales con sus respectivos valores de producción  $P_i$  y atracción  $A_j$  de viajes (datos de la encuesta).
- Tiempos de viaje entre pares de zonas, incluyendo los tiempos de viajes intrazonales, si se utilizan la combinación de más variables, por ejemplo tiempo y costo, se deberá hablar en términos de impedancia.
- Factores iniciales de fricción para cada incremento de tiempos de viaje o impedancia, estos factores pueden basarse en el criterio del usuario, utilizarse los factores usados en áreas semejantes o calcularse por programa.

La figura B presenta un diagrama del proceso secuencial para calibrar un modelo de gravedad.

FIGURA A. EJEMPLO DE CALIBRACION

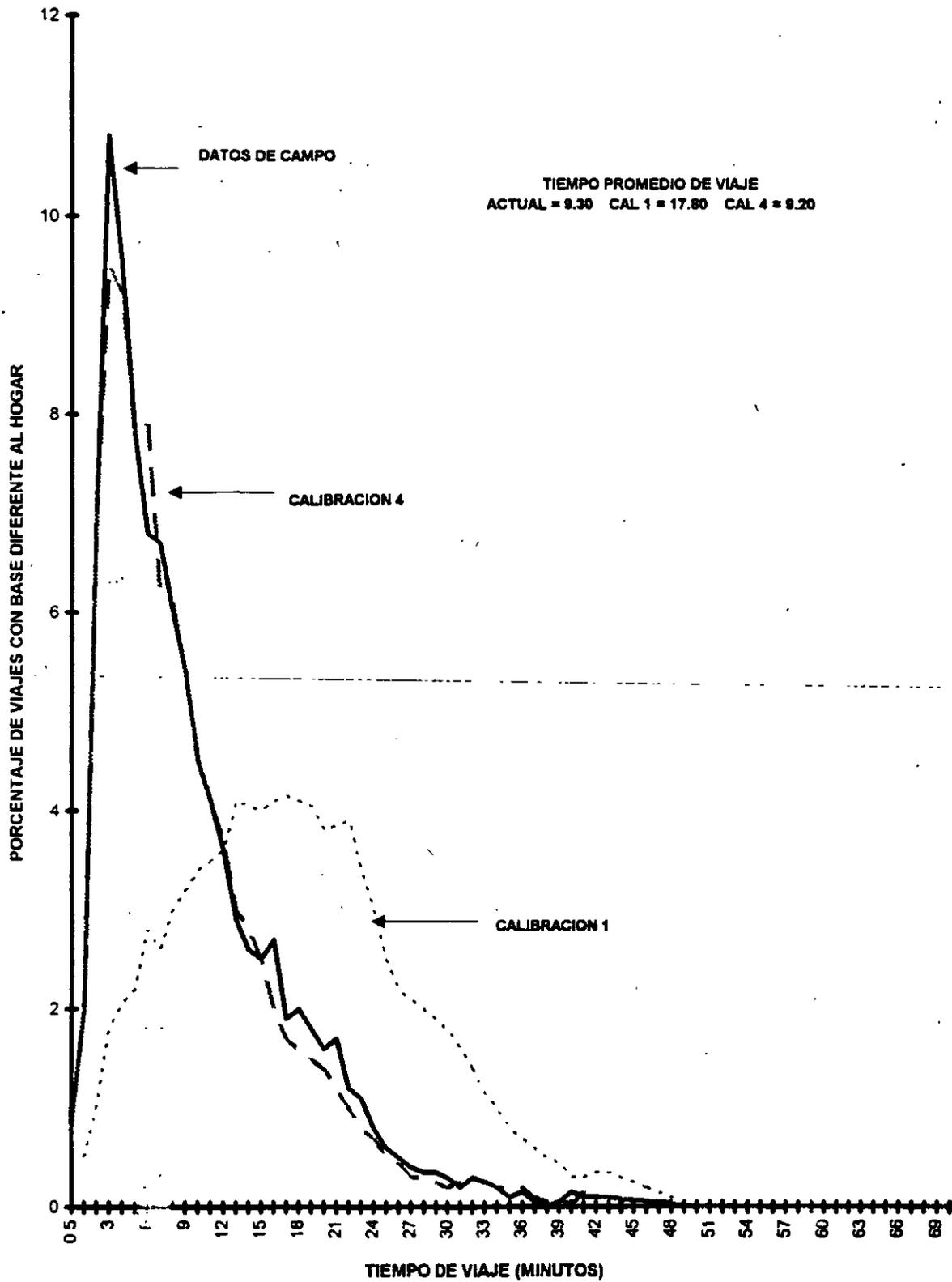
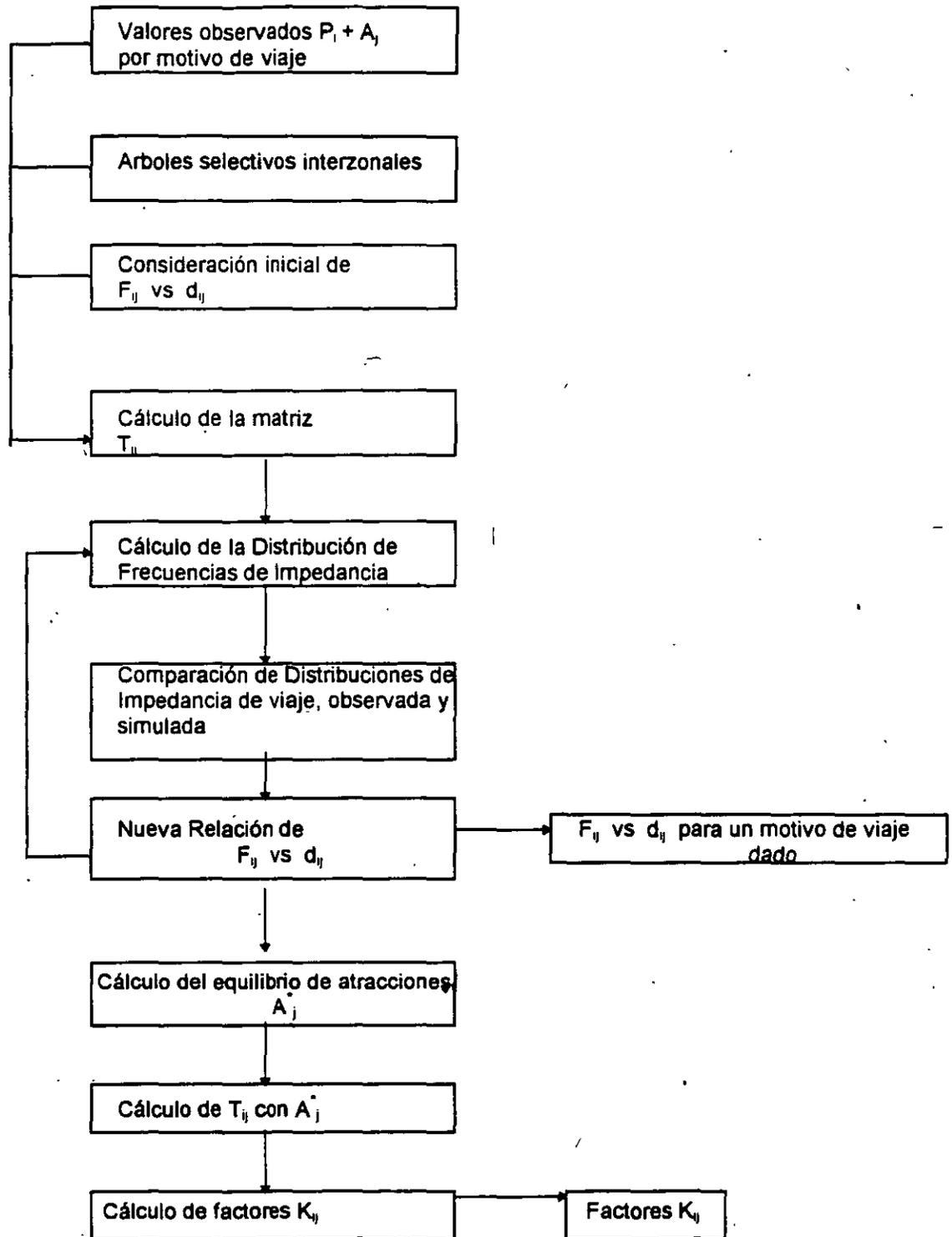


FIGURA B. SECUENCIA DE ACTIVIDADES INVOLUCRADAS EN LA CALIBRACION DE UN MODELO DE GRAVEDAD



El método para ajustar los factores de fricción puede expresarse matemáticamente como:

$$F'_{rk} = F_{r(k-1)} \frac{T_r}{\sum_r T_{ij(k-1)}} \dots\dots\dots(1.C)$$

$r=1,2,\dots,f$      $k=1,2,\dots,m$   
 $i=1,2,\dots,n$      $j=1,2,\dots,n$

pero:

si  $F'_{rk(\min)} \geq 1$   $\Rightarrow F_{rk} = ( F'_{rk} )$  ente.  $\dots\dots\dots(2.C)$

y

si  $F'_{rk(\min)} < 1$   $\Rightarrow F_{rk} = ( \frac{F'_{rk}}{F'_{rk(\min)}} )$  entero  $\dots\dots\dots(3.C)$

donde:

- $T_r$  = Total de viajes deseado, para el intercambio del grupo r
- $T_{ijk}$  = Total de viajes obtenido, para el intercambio del grupo r y calibración k; obtenido por medio de la fórmula del Modelo de Gravedad.
- $F_{rk}$  = Factor de tiempo de viaje o Factor de Fricción, asociado con el grupo de intercambio r en la calibración k. Cuando k=1,  $F_{rk}$ =valor inicial considerado
- $F'_{rk(\min)}$  = Valor más pequeño generado en la ecuación 1.C
- i = Número que identifica a una zona de producción de viajes,  $i=1,2,\dots,n$
- j = Número que identifica a una zona de atracción de viajes,  $j=1,2,\dots,n$
- n = Cantidad de zonas
- r = Conjunto de intercambios zonales que poseen el mismo factor  $F_{rk}$ , porque tienen impedancias similares,  $r=1,2,\dots,f$
- f = Cantidad de grupos de los intercambios zonales para los que se obtienen los factores de fricción. Los intercambios deben ser incluidos una sola vez, en uno de estos grupos. Existen un total de  $n^2$  intercambios.
- k = Número de la calibración
- m = Cantidad de calibraciones

La palabra "entero" en las ecuaciones 2.C y 3.C indican que los valores del parámetro  $F_{rk}$  son un conjunto de valores que deben ajustarse a números enteros.

Se ha insistido en que los valores  $F_{rk}$  graficados contra los tiempos de viaje o valores de impedancia, deberán representar las ordenadas de una curva suave. En particular para la calibración del Modelo de Gravedad, esto se realiza al uniformizar los valores obtenidos en las ecuaciones 2.C o 3.C por medio de la utilización de mínimos cuadrados.

$$F_{rk} = a l_r^b e^{-c l_r} \quad r=1,2,\dots,f \dots\dots\dots(4.C)$$

donde:

- $l_r$  = Tiempo de viaje (valor de la impedancia) asociado al grupo  $r$  de intercambios zonales
- $e$  = Base de los logaritmos naturales o neperianos. Valor constante aproximadamente igual a 2.71828
- $a, b, c$  = Constantes para este conjunto en particular de  $F_{rk}$ . Estas constantes se obtienen de la ecuación 1.C por medio de la técnica de mínimos cuadrados.

Estos valores uniformizados, producto de la ecuación 4.C, se reutilizan en la ecuación 1.C para calcular nuevamente los factores ajustados, que volverán hacer uniformizados, estableciéndose un ciclo iterativo que terminará hasta que los valores obtenidos no presenten más cambios o se acerquen suficientemente a una condición establecida.

La fig. C presenta las formas que puede tomar la función expresada en la ecuación 4.C, siendo la forma que más se asocia con la función de los factores de fricción aquella donde  $b \leq 0$ .

El siguiente ejemplo demuestra la calibración del Modelo de Gravedad y el desarrollo de los factores de fricción.

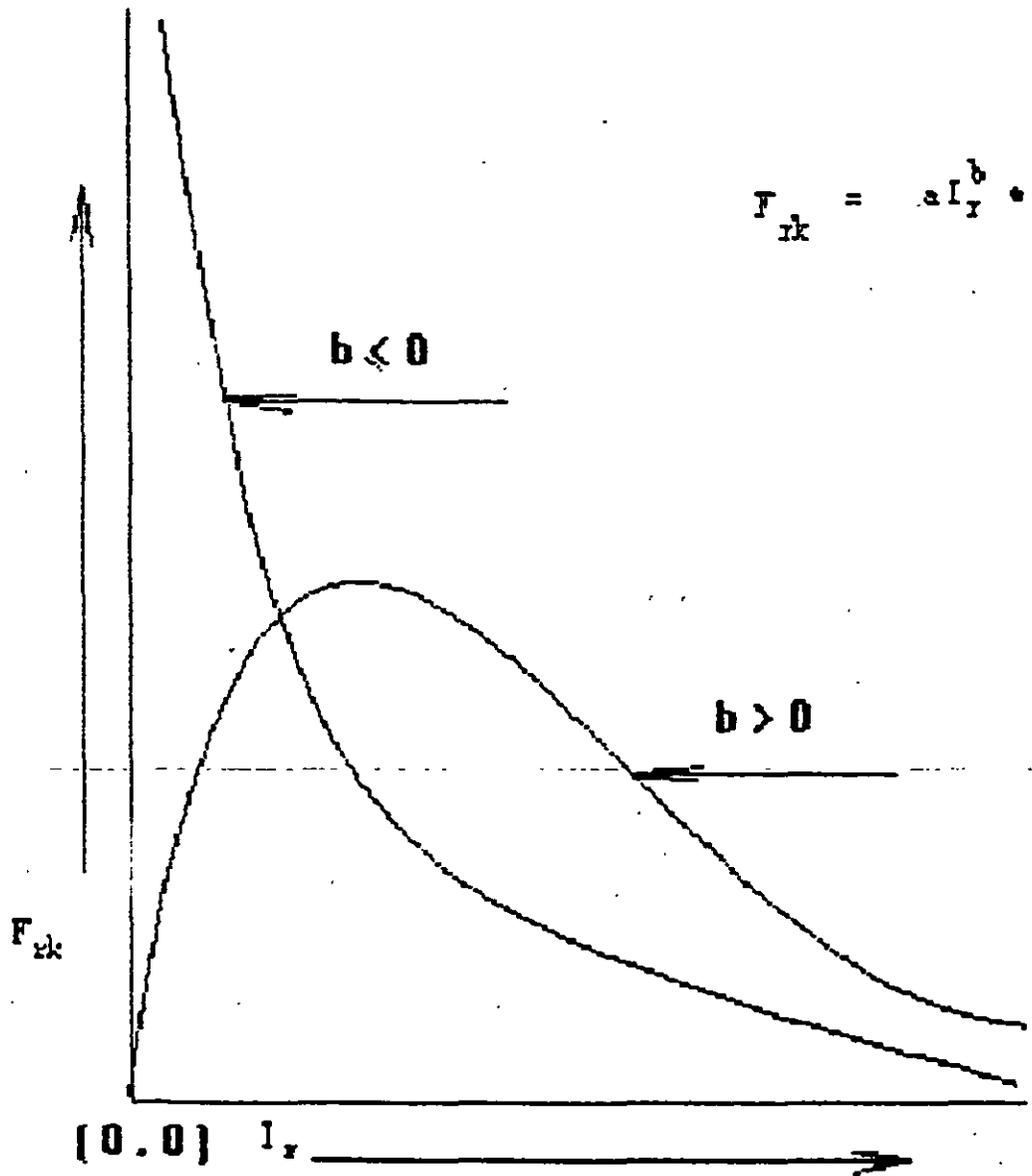


FIGURA C

FORMA DE LA FUNCION UNIFORME CONSIDERADA PARA EL FACTOR F

### 3.2.4 EJEMPLO DE LA TECNICA DE CALIBRACION Y DESARROLLO DE FACTORES DE FRICCIÓN<sup>(6)</sup>

Considere los datos aportados por las siguientes tablas:

Tabla A. Producciones y Atracciones en el Año Base

ZONA	1	2	3
Producción	7	11	7
Atracción	11	7	7

Tabla B. Matriz de Impedancias  
(Tiempos de Viaje)

ZONA	1	2	3
1	8	1	4
2	3	6	5
3	2	7	4

Tabla C. Distribución de Impedancias de Viaje

UNIDADES DE IMPEDANCIA (I <sub>r</sub> ) (MINUTOS)	VIAJES (T <sub>r</sub> )
1	4
2	4
3	6
4	4
5	3
6	2
7	1
8	1

Éstos datos son proporcionados para un determinado propósito de viaje.

En este ejemplo se asume que los valores de inicio para los factores de impedancia son 1, esto es, en un principio se supone que la impedancia no tiene efecto sobre los intercambios de viaje, aunque esto no es cierto, permite empezar el proceso de calibración cuando no se cuenta con alguna otra información sobre estos parámetros.

El proceso inicia aplicando la fórmula del Modelo de Gravedad con los datos proporcionados en las tablas anteriores. Los resultados se presentan en la tabla T.C1. Se considera el valor del factor  $K=1$ .

**T.C1** Primera Calibración. Viajes obtenidos con el Modelo de Gravedad

Atracciones \ Producciones	1	2	3	Total
1	3	2	2	7
2	5	3	3	11
3	3	2	2	7
Total	11	7	7	25

$$T_{12} = \frac{P_1 A_2 F_{12}}{A_1 F_{11} + A_2 F_{12} + A_3 F_{13}} = \frac{(7)(7)(1)}{11(1) + 7(1) + 7(1)} = 1.96 \approx 2$$

$$T_{21} = \frac{P_2 A_1 F_{21}}{A_1 F_{21} + A_2 F_{22} + A_3 F_{23}} = \frac{(11)(11)(1)}{11(1) + 7(1) + 7(1)} = 4.84 \approx 5$$

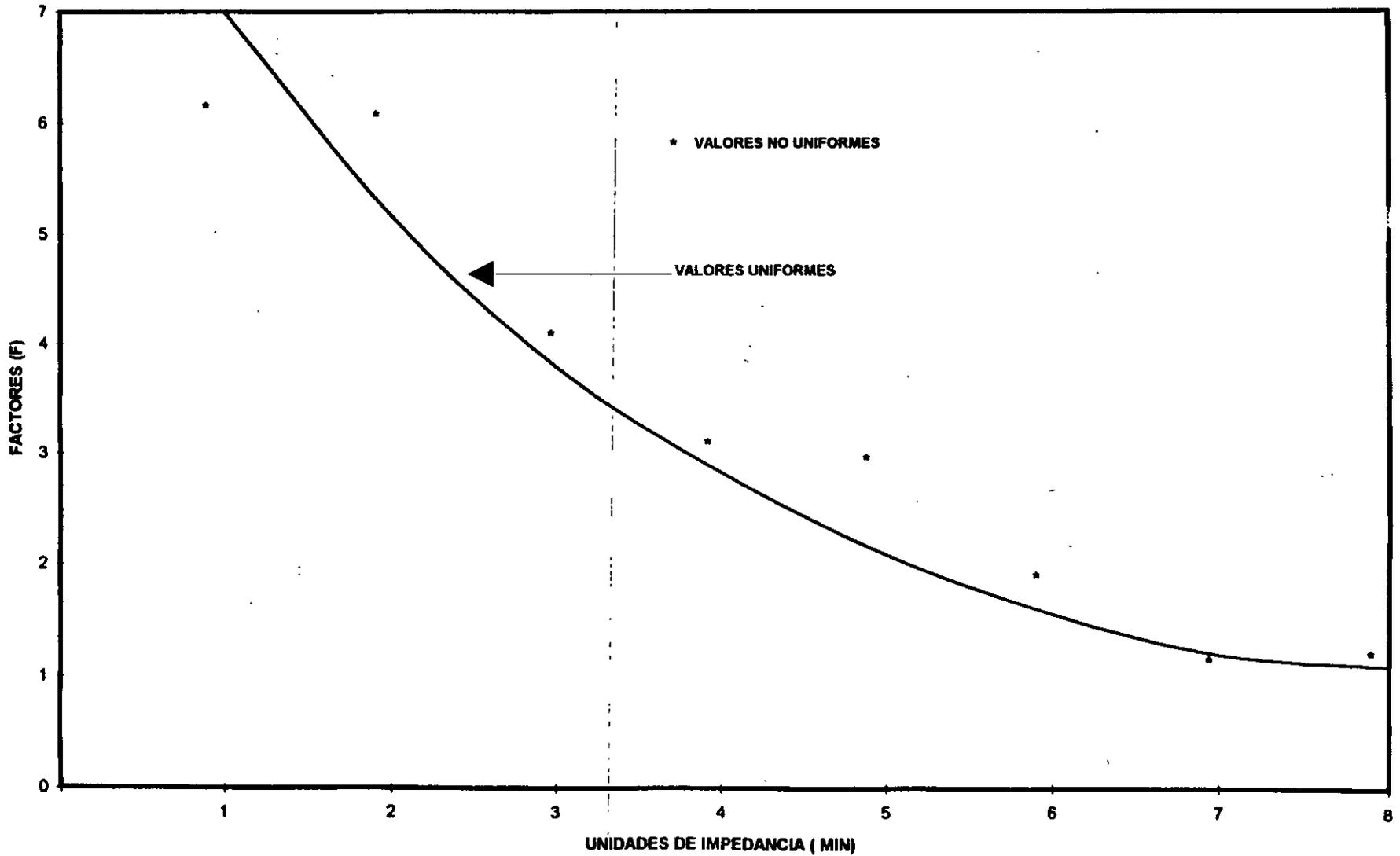
La comparación entre la distribución de viajes dada y la distribución de viajes calculada por el modelo se representa en la tabla T.C2, contrastando las columnas II y IV. Los factores  $F_{rk}$  ajustados se encuentran en la columna V de la misma tabla, su cálculo se realiza aplicando la ecuación 1.C lo que equivale a multiplicar la columna III por la relación de las columnas II y IV y ajustando de acuerdo a la ecuación 3.C en este caso, para obtener valores enteros.

Posteriormente los valores  $F_{rk}$  ajustados (columna V) son uniformizados (valores correspondientes a la curva ajustada que describen los  $F_{rk}$  ajustados), los datos se tabulan en la columna VI de la tabla T.C2, así mismo la figura D muestra la graficación de los valores  $F_{rk}$  ajustados y la curva obtenida a partir de estos. La presentación se muestra en la misma escala por simplicidad, pero lo normal es que los factores  $F_{rk}$  se tabulen en escala logarítmica, mientras que las unidades de impedancia se presentan en escala uniforme. También cabe aclarar que utilizando programas de computadora se pueden obtener los factores F uniformes con el desarrollo de la ecuación 4.C.

**T.C2** Primera Calibración. Cálculo de Factores F Ajustados

I Unidades de Impedanci a ( $t_r$ ) min.	II Viajes dados ( $T_r$ )	III Ultimos Factores F $F_{r(k-1)}$	IV Viajes Calculado s $\sum T_{r(k-1)}$	$F'_{rk}$ de fórmula (1.C)	V Factores F Ajustados $F_{rk}$ de fórmula (3.C)	VI Factores F Uniforme s (obtenido
1	4	1	2	2	6	7
2	4	1	2	2	6	5
3	6	1	5	5/6	4	4
4	4	1	4	1	3	3
5	3	1	3	1	3	2
6	2	1	3	2/3	2	2
7	1	1	3	1/3	1	1
8	1	1	3	1/3	1	1
Total	25	-	25	-	-	-

FIGURA D.- PRIMERA CALIBRACION. FACTORES F AJUSTADOS Y UNIFORMES



NO ESTA GRAFICA SE MUESTRA CON EJES EN ESCALA UNIFORME EN CONDICIONES NORMALES EL EJE Y DEBE ESTAR EN ESCALA LOGARITMICA.

402

Después de todo este proceso se inicia una nueva iteración (en este caso la 2ª). Nuevamente se aplica la fórmula del Modelo de Gravedad a la tabla de datos iniciales pero esta vez los factores F ya no tendrán valor= 1, sino que se utilizarán los últimos valores encontrados, estos son, los de la columna VI de la tabla T.C2. Los resultados de la segunda iteración se resumen en la tabla T.C3.

**T.C3 Segunda Calibración. Viajes obtenidos con el Modelo de Gravedad**

Atracciones \ Producciones	1	2	3	Total
1	1	4	2	7
2	7	2	2	11
3	5	0	2	7
Total	13	6	6	25

Ejemplo del cálculo de los valores de esta matriz:

$$T_{12} = \frac{P_1 A_2 F_{12}}{A_1 F_{11} + A_2 F_{12} + A_3 F_{13}} = \frac{(7)(7)(7)}{11(1) + 7(7) + 7(3)} = 4.23 \approx 4$$

$$T_{21} = \frac{P_2 A_1 F_{21}}{A_1 F_{21} + A_2 F_{22} + A_3 F_{23}} = \frac{(11)(11)(4)}{11(4) + 7(2) + 7(2)} = 6.72 \approx 7$$

$$T_{31} = \frac{P_3 A_1 F_{31}}{A_1 F_{31} + A_2 F_{32} + A_3 F_{33}} = \frac{(7)(11)(5)}{11(5) + 7(1) + 7(3)} = 4.64 \approx 5$$

Estos datos se vuelven a presentar en una distribución de impedancias como se especifica en la tabla T.C4. Los factores  $F_{rk}$  (columna V/Tabla T.C4) son ajustados bajo el mismo procedimiento que se dio para la 1ª iteración, con la observación de que en este caso la condición de "entero" queda referida a la fórmula 2.C. Los factores F uniformes también se obtienen con el procedimiento descrito.

La figura E presenta la curva descrita a partir de los factores  $F_{rk}$  ajustados de la cual se sacan los valores F uniformes de esta segunda iteración.

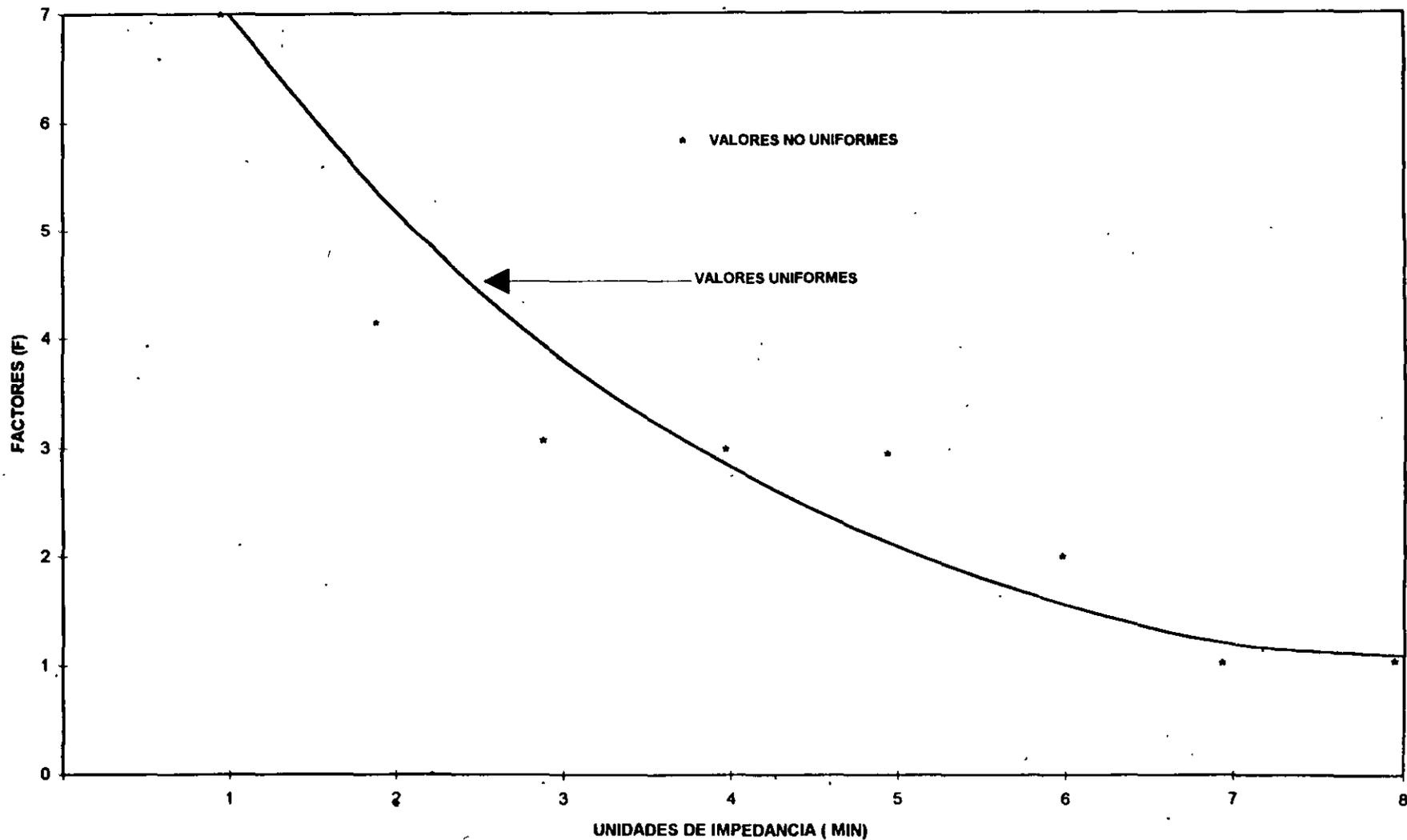
En este ejemplo el proceso termina aquí, puesto que de continuarse con una nueva iteración el proceso no mejoraría, esto se observa al comparar las ordenadas de la curva de factores uniformes para la 1ª. y 2ª. iteración.

Ahora es posible comparar para este último conjunto de factores de fricción, su distribución de impedancias de viaje asociada con la distribución dada, observándose que se aproxima lo suficiente a esta última (Ver fig.F), con lo que se concluye que el Modelo de Gravedad queda calibrado para el propósito de viaje. Por su parte los factores obtenidos se pueden usar para realizar estimaciones futuras de distribuciones de viajes.

**T.C4 Segunda Calibración. Cálculo de Factores F Ajustados.**

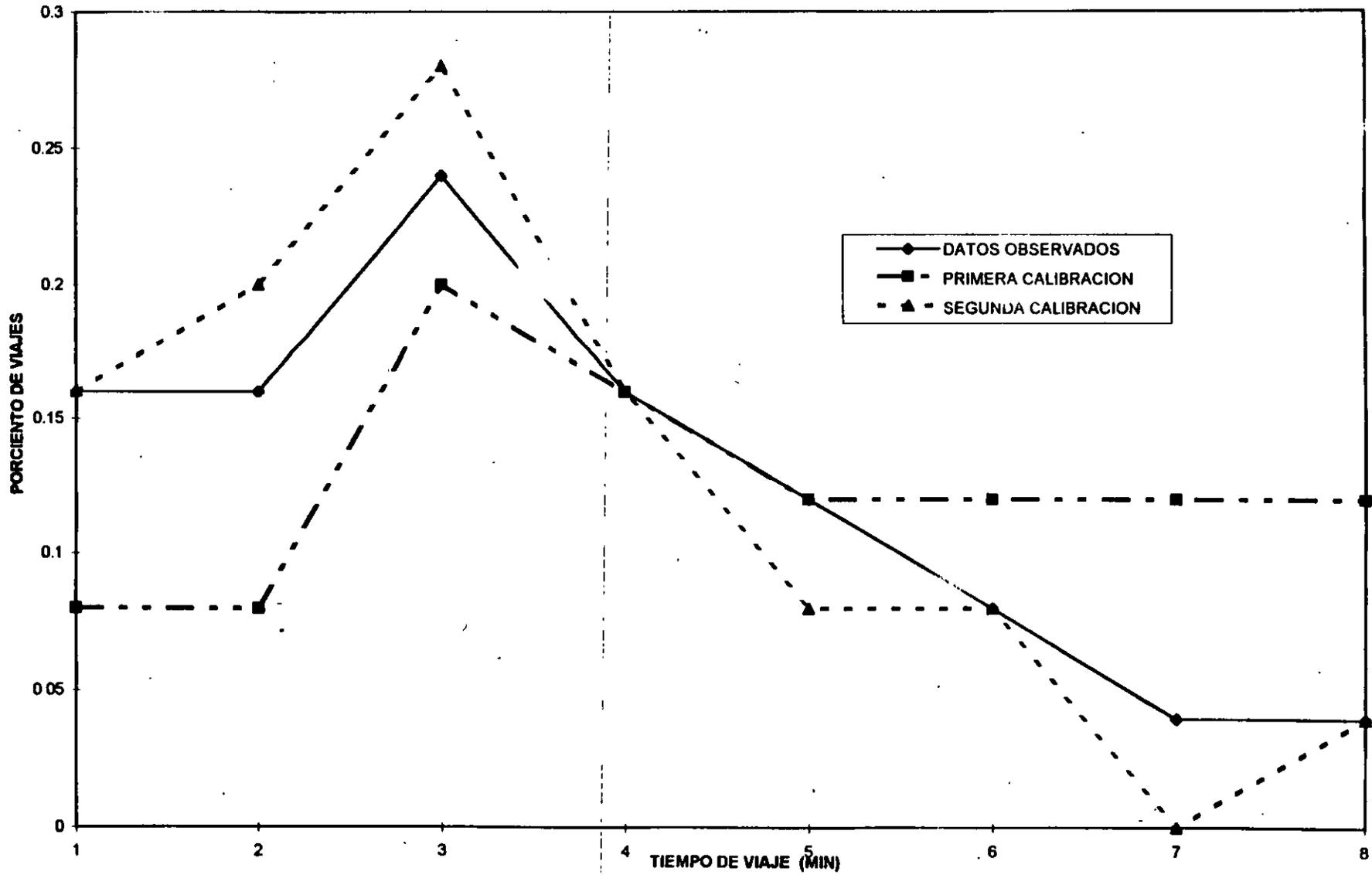
I Unidades de Impedanci a (I <sub>r</sub> ) min.	II Viajes dados (T <sub>r</sub> )	III Ultimos Factores F F <sub>r(k-1)</sub>	IV Viajes Calculado s $\sum T_{ij(k-1)}$	F <sub>rk</sub> de fórmula (1.C)	V Factores F Ajustados F <sub>rk</sub> de fórmula (2.C)	VI Factores F Uniforme s (obtenido)
1	4	7	4	7	7	7
2	4	5	5	4	4	5
3	6	4	7	3	3	4
4	4	3	4	3	3	3
5	3	2	2	3	3	2
6	2	2	2	2	2	2
7	1	1	0	1	1	1
8	1	1	1	1	1	1
<b>Total</b>	<b>25</b>	<b>-</b>	<b>25</b>	<b>-</b>	<b>-</b>	<b>-</b>

FIGURA E.- SEGUNDA CALIBRACION. FACTORES F AJUSTADOS Y UNIFORMES



NOTA: ESTA GRAFICA SE MUESTRA CON EJES EN ESCALA UNIFORME, EN CONDICIONES NORMALES EL EJE Y DEBE ESTAR EN ESCALA LOGARITMICA.

FIGURA F.- DISTRIBUCION DE IMPEDANCIAS DE VIAJE



GRAFICA ELABORADA PARA UN EJEMPLO DE CALIBRACION

## 4. MODELO DE PROGRAMACION LINEAL

La Programación Lineal es una rama de la Investigación de Operaciones que data de 1947 con los trabajos desarrollados por George Dantzing sobre el Método Simplex para Programación Lineal.

Aunque en sus inicios esta disciplina estuvo orientada a solucionar problemas de logística militar, y posteriormente se le enfocó a problemas de tipo industrial, en décadas recientes ha tenido una amplia aplicación en algunas cuestiones referentes a la planificación del transporte. Una de estas nuevas orientaciones a este campo, lo constituye el desarrollo de modelos de distribución de viajes.

### 4.1) BASES TEORICAS

Todo problema modelado a través de la programación lineal se tiene que adaptar a las partes que lo integran, es decir en un modelo de este tipo encontramos:

- 1.- Variables de decisión: son las incógnitas a ser determinadas.
- 2.- Parámetros: representan información de entrada al modelo, también se les conoce como las variables controlables del sistema.
- 3.- Función Objetivo: es la medida de efectividad del sistema, relaciona matemáticamente las variables de decisión con algún subconjunto de los parámetros.
- 4.- Restricciones: son las ecuaciones o desigualdades que relacionan a las variables de decisión con las limitantes de recursos.

A estos modelos se les conoce también como Modelos de Optimización, pues su objetivo los lleva a encontrar no solo una solución a un problema planteado, sino a obtener de todo el conjunto de soluciones posibles, la mejor solución.

El término "Lineal" que recibe este modelo, se le otorga porque las relaciones que se presentan entre variables y parámetros, son precisamente lineales, es decir el exponente al que están elevados cada uno de los términos es igual a 1.

La estructura general para cualquier modelo de este tipo es:

Minimizar o Maximizar  $f(x) = c_1 x_1 + c_2 x_2 + \dots + c_j x_j + \dots + c_n x_n$  } Función Objetivo

Sujeta a:

$$g_i(x) : a_{i1} x_1 + a_{i2} x_2 + \dots + a_{ij} x_j + \dots + a_{in} x_n \leq b_i$$

Restricciones

$$x_1, x_2, \dots, x_n \geq 0$$

Variables

$i=1,2,\dots,m$   
 $j=1,2,\dots,n$   
Factor de recursos

donde:

$a_{ij}, b_i, c_j$  son parámetros.

Para expresar lo anterior hacia un problema de distribución de viajes, es necesario determinar cada una de las partes del modelo en función al mismo:

1.- Determinar la variable o variables, es decir que deseamos encontrar. En este problema específicamente  $t_{ij}$ , el número de viajes producidos en la zona  $i$  y atraídos por la zona  $j$ .

2.- Establecer los parámetros. Para este caso la información conocida la constituyen:

- cantidad de producciones  $P_i$  con  $i=1,2,\dots,n$
- cantidad de atracciones  $A_j$  con  $j=1,2,\dots,n$
- la medida de la separación espacial entre zonas  $d_{ij}$  (dada usualmente en forma de tiempo de viaje)
- el número de zonas "n"

3.- Definir cual será la función objetivo. Básicamente, si el parámetro conocido que puede relacionarse con la variable planteada  $t_{ij}$ , es la medida de separación espacial entre zonas  $d_{ij}$ , es obvio pensar que de las dos opciones con que se cuenta (Maximizar y Minimizar), se debe inclinar por la Minimización. Así pues queda establecido que en el problema de distribución de viajes, la función objetivo será Minimizar la separación espacial entre zonas.

4.- Establecer las restricciones. Para lograr esto es necesario reflexionar sobre lo que representarían las limitantes de recursos, para este problema en particular.

Se sabe que  $t_{ij}$  representa los intercambios zonales entre  $i$  y  $j$  y que dichos intercambios se pueden dar en cantidad suficiente mientras no se rebase por un lado las producciones existentes en  $i$  y por otro las atracciones existentes en  $j$ , pues de otra forma se produciría un desequilibrio al interior de los valores generados por la zona, así como para los intercambios entre zonas.

Además en este punto se establece una restricción que es común a todos los Modelos de Programación Lineal, se trata de la restricción de no negatividad que obliga a la variable de decisión y a las limitantes de recursos a no tomar valores negativos. El sentido que guarda esto es comprensible si se entiende que sería erróneo obtener por ejemplo, un valor de  $t_{ij} = -100$ , ya que esto no representa nada en la situación real.

Antes de expresar los puntos anteriores en términos matemáticos, es necesario tomar en cuenta dos condiciones específicas para el problema de distribución, estas son:

$$a) \sum_{i=1}^m P_i = \sum_{j=1}^n A_j$$

esto significa que debe existir una equivalencia entre producciones y atracciones, partiendo del supuesto de que un viaje producido en una zona  $i$  debe llegar necesariamente a un punto atractor  $j$ , es decir un intercambio de viaje esta compuesto de dos extremos uno en  $i$  y otro en  $j$ .

b) En la zonificación realizada para llevar a cabo estudios origen-destino, se utilizan "n" zonas, cada una de las cuales se analiza desde el punto de vista de origen pero también de destino, debido a esta situación la matriz de datos será del orden  $n \times n$ ; igual número de columnas e igual número de filas, por lo tanto en la nomenclatura general del modelo  $m=n$ .

c) Los viajeros seleccionan un origen y un destino para un propósito específico de viaje y en forma colectiva minimizan la cantidad total del tiempo de viaje.

La formulación del problema de distribución de viajes por medio de un Modelo Programación Lineal queda de la siguiente forma:

Función Objetivo:

$$\text{Minimizar } Z = \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n d_{ij} t_{ij}$$

Sujeta a las siguientes restricciones:

$$\sum_{j=1}^n t_{ij} = P_i \quad j=1,2,\dots,n$$

$$\sum_{i=1}^m t_{ij} = A_j \quad i=1,2,\dots,m$$

$t_{ij} \geq 0$ , Restricción de no negatividad

donde:

- Z = Función objetivo
- $d_{ij}$  = Medida de la separación espacial entre zonas  $ij$  ( generalmente en minutos)
- $t_{ij}$  = Número de viajes producidos en la zona  $i$  y atraídos por la zona  $j$
- $P_i$  = Número de viajes producidos en la zona  $i$
- $A_j$  = Número de viajes atraídos por la zona  $j$
- $i$  = Número de zonas de origen
- $j$  = Número de zonas de destino
- $m$  = Cantidad de filas
- $n$  = Cantidad de columnas

Recuérdese que  $m=n$  donde  $n$  también representa el número de zonas.

A este planteamiento matemático se le conoce como problema Primal, sin embargo en la teoría aplicada a Modelos de Programación Lineal se ha desarrollado un método recíproco a este, conocido como Dual, que se construye a partir de un planteamiento primal y por tanto guarda estrecha relación con este último.

Esta técnica tiene por tanto utilidad metodológica como interpretativa. En el primer caso por ejemplo, podemos citar la aplicación del algoritmo PRIMAL-DUAL, a casos específicos de problemas de transporte, por lo que respecta a la utilidad interpretativa, en el caso del problema de distribución de viajes, las variables Duales indicarán el incremento o disminución de la cantidad de viajes; por ejemplo, la actividad de transporte que resultará de un cambio marginal en los patrones de uso de suelo.

Para una mejor comprensión en la aplicación de la metodología tanto Primal como Dual, se requiere que el especialista este familiarizado con términos, técnicas y teoría relativa a esta rama de la Investigación de Operaciones.

Uno de los principales cuestionamientos que se han hecho a la aplicación de este modelo, parte de una de sus condicionantes referente a que la selección de un origen y un destino para un propósito de viaje, se realiza de tal forma que colectivamente se minimizan la cantidad total de tiempo de viaje utilizado en un sistema de transporte, siendo que en la realidad los viajeros no actúan de esa manera, sino más bien influidos por sus características socioeconómicas.

Es posible que algunos ajustes o nuevas consideraciones planteadas al modelo en función al problema tratado, lleven en el futuro a obtener un acercamiento más preciso de la realidad.

## **5. COMPARACIONES ENTRE LOS DIVERSOS MODELOS DE DISTRIBUCION DE VIAJES**

El objetivo fundamental de la fase de distribución de viajes, es estimar el reparto de viajes entre las diferentes zonas a partir de los datos proporcionados por la fase de generación y haciendo uso de técnicas matemáticas para lograr un adecuado patrón de intercambio, dichas técnicas matemáticas están referidas a sus respectivos modelos. Los fundamentos básicos de los principales modelos de distribución de viajes se han planteado a lo largo de este documento en forma resumida.

Puede resultar instructivo comparar los modelos hasta ahora descritos, desde diferentes aspectos y con base a informes documentados en experiencias de este tipo.

Los modelos de factores de crecimiento como el Modelo Fratar, demuestran ser adecuados para predecir los viajes en áreas estables, pero pierden validez en áreas que experimentan cambios importantes en el uso del suelo, siendo a un más específicos, estos modelos tampoco son sensibles a los cambios en las características de las redes de transporte.

No se ha encontrado una diferencia importante entre el Modelo de Fratar y el de Fumes excepto en la forma de realización de los ajustes a los viajes.

Con respecto a los modelos Probabilísticos o Sintéticos analizados, estos determinan los patrones de distribución de viajes, a través de una matriz que contiene las posibilidades de que un viaje producido en una zona de origen dado, encuentre una oportunidad de ser atraído hacia zona de destino específica. Las probabilidades se obtienen a partir del desarrollo de distribuciones de oportunidades de atracción, del tiempo de viaje y de las propiedades del área analizada.

En el modelo de gravedad, el punto más crítico del procedimiento es la definición de la función de los factores de impedancia. Por otra parte en este modelo, se obtienen mejores resultados en las estimaciones de intercambios de viaje, si su aplicación se hace sobre viajes que han sido divididos en grupos socioeconómicos.

Por lo que respecta al Modelo de Oportunidad de Intervención, se puede decir que su procedimiento de calibración no está suficientemente desarrollado como el del Modelo de Gravedad.

Se ha encontrado que la exactitud de los Modelos de Gravedad en la simulación de las previsiones para las condiciones en el año base, es ligeramente mayor que la de los modelos de oportunidad de Intervención, esto probablemente debido a la aplicación de factores socioeconómicos de ajuste en la calibración. Se estima que el uso de factores en el Modelo de Gravedad le produce menos errores, aunque aumenta su dificultad en la calibración.

Un argumento utilizado a favor de uno u otro modelo, es el que se desprende de su concepto filosófico. En este se sugiere que el modelo más adecuado sería aquel que describiera con mayor exactitud la conducta humana. Esta hipótesis probablemente sea cierta, pero al llevarlo a un modelo específico pierde valor, debido a que aun cuando se reproduzca fielmente la conducta individual lo que verdaderamente se persigue es una descripción del comportamiento del grupo.

En ocasiones se ha sostenido que los Modelos de Oportunidad representan el proceso de decisiones individuales, pero también se ha afirmado que el Modelo de Gravedad no proporciona descripción de conductas, sino una relación transitoria que abstrae hechos observados, incluso se ha mostrado al Modelo de Gravedad como un tipo especial de Modelo de Demanda.

El Modelo de Programación Lineal es de reciente aplicación al problema específico de distribución de viajes y en la forma en que se plantea se le reconoce como un modelo determinístico. Su función objetivo busca minimizar los intercambios de viajes asociados con una medida de separación espacial, las restricciones se agrupan en tres grandes grupos, uno que se ajusta a las producciones otro a las atracciones y la restricción de no-negatividad.

Se han realizado comparaciones entre los resultados arrojados por un Modelo de Programación Lineal y uno de Gravedad, obteniendo valores muy similares en los patrones de las líneas de deseo.

Por lo que se refiere a una comparación de la facilidad y costo del cálculo, esto puede depender de la magnitud de la calibración y del modelo utilizado. Es difícil encontrar grandes diferencias puesto que todos los modelos necesitan calibración, interacción para balancear filas y columnas en la matriz de viajes, así como el mismo volumen de análisis numéricos para determinar el valor de cada uno de los elementos de la matriz.

En resumen los estudios indican que el uso de un modelo Probabilístico o de Síntesis y particularmente el Modelo de Gravedad, proporcionan un tratamiento más directo y eficaz de la distribución de viajes para áreas urbanas en desarrollo.

## 6. BIBLIOGRAFIA

1. Analytical Transport Planning. Robert Lanes Timothy, Paul Prestwood Smith; John Wiley & Sons; New York.
2. Principles of Urban Transport Systems Planning. B.G. Hutchinson; McGraw-Hill Book Company; 1974.
3. Manual de Operación del Sistema de Planeación del Transporte Urbano UTPS (Traducción). Departamento de Transportes, EUA.;1987.
4. The Land Use/Transport System (Analysis and Synthesis). W.R.Bluden; Pergamon Press First Edition; 1971.
5. Modelling Transport. L. G. Willumsen and J. de Dios-Ortuzar; John Wiley & Sons LTD; 1990.
6. Modelos Matemáticos para Distribución de Viajes. Ing. Román Vázquez Berber; S.C.T. (I.M.T.), Publicación Técnica No. 31; Querétaro, México; 1991.
7. Introducción a la Investigación de Operaciones. Taha; Ed. Alfaomega; México; 1991.
8. Principios de Modelado y Métodos en Optimización. Parte I: Programación Lineal. Juan Gaytan Iniestra; ITESM (Campus Toluca); Toluca, México; 1992.



**FACULTAD DE INGENIERIA U.N.A.M.  
DIVISION DE EDUCACION CONTINUA**

**DIPLOMADO INTERNACIONAL DEL TRANSPORTE**

**MODULO II : "PLANIFICACION DEL TRANSPORTE URBANO"**

**TEMA**

**MODELOS DE REPARTICION MODAL  
APOYO DOCUMENTAL**

**ING. ANGEL ALCEDA HERNANDEZ**

# MODELOS DE REPARTICION MODAL

Ing. Angel Alceda Hernández  
Expositor

## 1. Introducción

Por lo común se sostiene que cuando bajo ciertas hipótesis se da cierta demanda de viajes entre dos puntos, esta demanda debe ser acomodada de alguna manera en los sistemas de transporte que conectan los dos puntos. La aseveración se basa en la idea de que la demanda puede ser representada por alguna cantidad absoluta. De hecho la demanda de viajes siempre se autocorrigie espontáneamente hasta conseguir adaptarse de algún modo a la dotación de transporte existente.

Luego entonces, la *asignación de viajes a los medios de transporte* no es una fase fácilmente definible. Generalmente no se apega a soluciones determinísticas.

En los estudios iniciales sobre el transporte no se tomaba mayormente en cuenta la asignación de los viajes a los medios, porque no se comprendía muy bien en qué medida compiten entre sí los distintos modos de transporte. Los modelos de asignación de viajes a los medios de transporte *—modelos de asignación modal—* se han comenzado a aplicar mucho más recientemente; ello ha ocurrido de dos maneras: i) efectuando la asignación a los medios *antes*, o bien ii) *después* de la distribución general de los viajes.

En los modelos en los que la asignación modal se trata antes de la distribución general, se dice que ciertos parámetros tales como el motivo del viaje y el tipo de medio adecuado afectan la elección, y no es extraño tampoco que se adopten los esquemas de asignación modal prevalecientes. Mientras que en los modelos en que se trata la asignación modal después de la distribución general, influyen en la selección del tipo de medio factores tales como los costos generalizados del viaje y los tiempos relativos según los distintos modos.

## 2. Factores que influyen en la asignación de los viajes a los medios de transporte

Uno de los primeros estudios en los que se introdujo la asignación de viajes según el medio después de la distribución del número de viajes, fue el de la *Traffic Research Corporation (TRC)* realizado sobre Washington. En el modelo de la *TRC* se estableció una serie de categorías para cada variable y se calibraron las curvas de diversificación para expresar el porcentaje previsto de uso del transporte público en función de las variables elegidas.

Otros modelos iniciales se basaron en una tesis sobre tipología familiar para tomar en cuenta los tres principales factores que sabidamente influyen en la movilidad urbana: la *posesión de vehículos*, la *renta o ingreso* y la *estructura familiar* (la tesis llevó a requerir del establecimiento de 108 tipos de familias, lo que la hizo totalmente impráctica).

Es admitido entonces *—ello ha sido ampliamente estudiado—* que hay factores tales como la población, la renta y el empleo que afectan directamente la demanda futura de viajes, pero

nada se ha dicho sobre los propios medios; veamos pues qué efecto produce la dotación misma de medios. Los cambios esperados en los medios de transporte, junto con los cambios en la renta, la población y el empleo discutidos anteriormente, determinarán el uso futuro de cualquier sistema de transporte.

En la *London Traffic Survey* se estableció que la accesibilidad a una zona por autobuses era directamente proporcional al número de unidades de ese tipo que atravesaban dicha zona, e inversamente proporcional al perímetro de la misma. La accesibilidad por ferrocarril urbano se definió de modo similar, mediante el número de trenes con paradas en la zona, el número de estaciones en las que estos trenes paran y el área de la zona. Así se llegó a establecer que la *accesibilidad a los medios* era un factor de la mayor importancia en la selección del medio idóneo.

### 3. El diseño de los medios futuros de transporte

El factor más importante en la planificación de los sistemas de transporte es la relación entre el transporte y la planificación global de las ciudades y su desarrollo. Cualquier cambio en la red básica del transporte muy probablemente afectará en profundidad las líneas generales del desarrollo urbano <sup>1</sup>.

Ciertos trabajos tales como el *London Transportation Study* han demostrado la necesidad de planificar con el máximo detalle el desarrollo del transporte público, a la vez que es necesario imponer restricciones severas en el uso del vehículo privado. En otro estudio, muy interesante por su diseño teórico, se sugirió que la forma más eficaz y económica de transporte para todas las ciudades, excepto para las más densas y grandes, resulta ser el autobús. Las rutas de autobuses pueden actuar de un modo programado aun en el centro de la ciudad, como en un servicio de Metro pero con estaciones más próximas, mientras que en el área restante lo harán de un modo bastante flexible y adecuándose a la estructura urbana <sup>2</sup>.

Conviene recordar que a la hora de diseñar o modificar la red inicial del transporte habrá que tener presente que se dispone de recursos limitados. No sirve de nada diseñar un sistema de transporte cuya realización suponga un gasto de varios cientos de millones si no hay ninguna esperanza de disponer de esta suma.

Uno de los resultados inmediatos de las restricciones presupuestarias es el de que bien puede resultar imposible acomodar toda la demanda en vehículos privados. En Gran Bretaña, el *Informe Buchanan* precisó el gasto y la destrucción que supondría el promover la motorización total en las ciudades, y algunos proyectos de gran envergadura, tales como el *Bay Area Rapid Transit Scheme -BART-*, o el de la ampliación del Metro de Londres, demuestran la importancia del transporte público frente a la multiplicación del vehículo privado.

---

<sup>1</sup> Desde la década de los 20s se reconoce que los cambios en la red del Metro afectan los usos del suelo urbano.

<sup>2</sup> Una referencia interesante lo constituyó el proyecto mexicano de la Red Ortogonal.

### **3.1. La asignación a los transportes públicos**

Las redes de transporte público difieren bastante de las redes viales ya que por lo común se refieren a un sistema de servicio fijo, siguiendo rutas determinadas y generalmente a intervalos regulares. El procedimiento de asignación de las rutas para estas redes sigue los mismos principios aceptados, y el tránsito entre zonas tenderá a realizarse por la ruta más rápida o más barata. Sin embargo, al utilizar el tiempo de viaje como factor de optimización de recorrido en los tramos, los tiempos de espera en los puntos de transbordo y los tiempos de caminata empleados para el arribo a las paradas o al destino final deberán tenerse en cuenta.

Los tiempos de espera se fijan a partir de funciones que varían entre dos valores: el intervalo fijado entre las salidas de dos servicios consecutivos —para servicios de alta frecuencia—, o bien, la mitad de ese intervalo.

Otra cuestión importante relativa a los tiempos de espera es que existe un tiempo máximo más allá del cual el público no aguarda por el servicio, sino que, si puede organizará su llegada a la estación para coincidir con la salida o tomará otro medio.

### **4. La asignación de viajes según el medio en el modelo de transporte.**

El propósito de los análisis para la asignación de viajes a los medios consiste en determinar el número de viajes realizados en transportes públicos, en oposición a los efectuados en vehículos privados. El transporte público satisface a volúmenes mayores con un costo mucho más bajo que lo que se puede alcanzar con los vehículos privados. Está claro que en áreas urbanas con altas densidades de población y empleo, es un factor primordial y decisivo en la política de transporte la proporción de las inversiones en transportes públicos frente a las dedicadas a los medios privados.

Los parámetros que influyen en la asignación modal de viajes se pueden clasificar en dos grupos: los *parámetros asociados a la generación*, tales como el objetivo del viaje o el medio adecuado, y los *parámetros asociados a las rutas posibles y al destino*, tales como los costos relativos del viaje o el costo y el tiempo empleados en estacionarse. Así, si se incluye la asignación de viajes según el medio en la fase de generación, se omitirán las características de los viajes, y si se realizara después de la distribución general del número de viajes, se omitirían los factores implicados en la etapa de generación.

En el proceso de asignación modal ligado a los puntos de generación de los viajes se suele analizar el efecto causado por la estructura demográfica. Para ello las familias se dividen en poseedoras y no poseedoras de vehículo privado. Se supone entonces que en familias sin vehículo privado los viajes se realizan en transportes públicos —los *cautivos del transporte*—, dependiendo así tales viajes de la red de transportes. Por otro lado, los viajes de las familias poseedoras de vehículo se clasifican a su vez en viajes en vehículo particular y viajes en transportes públicos, asignables en función de los índices de ingresos y de la accesibilidad de la zona.

La generación de viajes resultante, separada ya en transportes públicos y en vehículo privados, se distribuye entre las zonas en función de la atraktividad del conjunto, según se establezca en el proceso de distribución, y ulteriormente será asignada a las redes respectivas –red vial y red de transporte–, de acuerdo con el mínimo costo o el mínimo tiempo del trayecto.

Aunque esta metodología supone un considerable avance metodológico pueden hacerse varias críticas:

- En primer lugar, a pesar de que este método de estimar el medio adecuado pudiera resultar satisfactorio para el año base, resultará menos fiable en cuanto se produzcan cambios en la accesibilidad de las zonas.
- En segundo lugar, no se considera la atracción particular de alguna zona sobre los individuos que se desplazan.
- En tercer lugar, el llevar al cabo la asignación modal de viajes antes de la distribución general, asume que los viajes resultantes, ya sean en transportes públicos o en vehículos privados, se distribuyen utilizando tiempos de recorrido homogéneos.

### 5. Una aplicación. El caso del Modelo de transporte de Buenos Aires (1972).

La asignación modal en el Modelo de Transporte de Buenos Aires –MTBA– se centró en la definición del volumen de viajes que se realizaría en el futuro en automóvil particular a partir de los polos generadores, obteniéndose por defecto el volumen que correspondería al resto de los medios públicos. Para ese propósito se adoptó la siguiente función lineal:

$$z_{ij} = a + b m_i + c D c_{ij} + f D t_{ij} \quad (\text{ecuación 1})$$

siendo:

- $z_{ij}$  = proporción del total de viajes entre  $i$  y  $j$  que se realizan en automóvil;
- $m_i$  = tasa de motorización de la zona  $i$  donde se produce el viaje;
- $Dc_{ij}$  = diferencia de los costos de los viajes entre  $i$  y  $j$  en auto particular y en los medios públicos;
- $Dt_{ij}$  = diferencia de los tiempos de duración de los viajes entre la zona  $i$  y  $j$ , en auto privado y en medios públicos;
- $a, b, c, f$  = constantes paramétricas.

La calibración del modelo se realizó por etapas, sobre la base de los datos de la encuesta de origen y destino disponible, que incluía la proporción de viajes en automóvil particular para cada par de zonas, las tasas de motorización y las diferencias de tiempos y costos de los viajes entre los distintos medios.

Surgieron así cuatro clases de viajes según estos fueran internos a cada uno de dos agrupamientos de zonas –agrupamiento de zonas del centro y agrupamientos de la periferia– (ver adelante los ajustes que se dieron durante la calibración) o bien tuvieran su origen en uno de ellos y el destino en los restantes. A cada uno de los tipos de movimiento le correspondió una ecuación determinada.

Las ecuaciones obtenidas se transcriben en seguida, junto con los coeficientes de correlación alcanzados, referidos a los datos de la encuesta.

Movimiento centro-centro:

$$z_{ij} = (5.78 + 0.58 m_i - 4.86 D c_{ij} + 0.21 D t_{ij}) 10^{-2}$$

$$(\rho = 0.54)$$

Movimiento centro-periferia:

$$z_{ij} = (11.02 + 0.85 m_i - 3.83 D c_{ij} + 0.33 D t_{ij}) 10^{-2}$$

$$(\rho = 0.70)$$

Movimiento periferia-centro:

$$z_{ij} = (-6.16 + 1.06 m_i - 2.13 D c_{ij} + 0.35 D t_{ij}) 10^{-2}$$

$$(\rho = 0.75)$$

Movimiento periferia-periferia:

$$z_{ij} = (2.32 + 0.67 m_i - 1.25 D c_{ij} + 0.18 D t_{ij}) 10^{-2}$$

$$(\rho = 0.69)$$

La aplicación de las ecuaciones a la información del año base utilizada para la calibración, permitió comprobar que para valores de z comprendidos en el extremo inferior de su espectro de variabilidad, las proporciones de viajes en automóvil observadas eran superiores a las calculadas; que para los ubicados en la zona central, prácticamente coincidían y que para los del extremo superior, resultaban inferiores. Ello sugirió la conveniencia de ajustar la proporción *observada* de viajes en automóvil con los valores *calculados* de z, mediante una curva logística de la siguiente ecuación:

$$p = \frac{\exp(a z + b)}{1 + \exp(a z + b)} \quad \text{(ecuación 2)}$$

donde:

$p$  = proporción observada de viajes en automoviles, con respecto al total.

En la tabla siguiente se transcriben los resultados finales de la calibración que, como puede observarse, tienen un nivel teórico de aplicabilidad bastante bueno.

Viajes	a	b	correlación
Centro-centro	6.93	2.94	$\rho = 0.88$
Centro-periferia	3.73	1.91	$\rho = 0.81$
Periferia-centro	5.13	2.53	$\rho = 0.92$
Periferia-periferia	6.67	2.89	$\rho = 0.99$

Fuente: *Modelos matemáticos de la estructura espacial urbana*. Marcial Echenique. Ediciones SIAP. 1975

Lo interesante del análisis radica en la resolución adoptada en cuanto al momento en que se efectúa la selección del modo de transporte. Se asume en el modelo que la posesión misma de automóvil particular conlleva la decisión de usarlo siempre. Sin que pueda negarse tal tipo de decisión en la gran mayoría de los casos, es posible que esa hipótesis no pueda ser generalizable, ni aun en otras ciudades del mismo país.

## 6. Proyecciones sobre los índices futuros de posesión de vehículos

El factor que influye de un modo decisivo sobre el nivel de posesión de vehículos en un área es el ingreso de los residentes. Varios estudios llevados al cabo en Inglaterra indicaron que la posesión de vehículos era muy sensible a la variación de la renta cuando ésta se encontraba entre las 1,000 y las 2,000 libras esterlinas (para un valor del dinero referido a la mitad de la década del 60s). Sin embargo, en los últimos años se ha producido un aumento tan espectacular en la posesión de autos que se ha llegado a pensar en la posibilidad de una congestión intolerable de las vías. Esta afirmación carece de sentido, ya que la gente no utilizara el auto cuando su empleo deje de ser rentable, aunque lo que sí es preocupante son los niveles de contaminación que hubiera que controlar.

Para predecir los futuros niveles de posesión de automóviles generalmente se usan dos métodos. El más simple consiste en examinar las tendencias pasadas y en comparar las condiciones existentes con las de Estados Unidos. Otro tipo de análisis es el que consiste en suponer que la posesión de coches alcanzará un nivel de saturación preestablecido y que dicho crecimiento básicamente puede representarse por una curva logística como la de la figura 2, obtenida a partir de los índices históricos de crecimiento.

Otro método utilizado para predecir el nivel de posesión de autos consiste en una variante del análisis de categorías ya comentado (ver el apartado 2). Según ese planteamiento los cambios partirán de la posesión vehicular actual en los distintos tipos de familia, y a continuación se supone que el nivel de posesión futuro de autos será el que le corresponde en la actualidad otro grupo, al que tendería a asemejarse el referido actual. Esto dejaría la esencia de la predicción a cargo de la evolución de los grupos familiares.

El método es riesgoso ya que presupone una alta correlación entre la clase social y la renta. A pesar de todo, básicamente esta tesis de las categorías es en la que se apoya el método de la extrapolación de las tendencias pasadas. Las distintas variaciones locales que no puedan ser explicadas por las diferencias de renta en las áreas son fácilmente reconocibles y, en consecuencia, será fácil tomarlas en cuenta. Así, si la posesión de autos en una zona es más baja que la que se podría esperar a partir de la distribución de categorías de los residentes, esta diferencia se deberá seguramente a características locales específicas, tales como una alta densidad residencial o una elevada accesibilidad de los transportes públicos. Esto fue perfectamente utilizado en el estudio de Buenos Aires que ya se comentó.

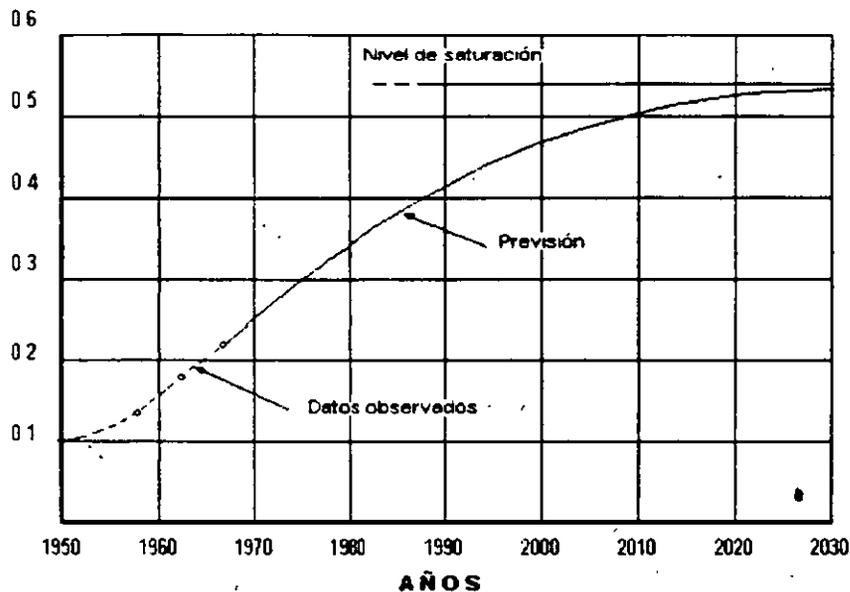


Figura 2. Curva de crecimiento del parque automotor

En algunos estudios recientes se ha introducido un factor de ajuste adicional denominado *factor de tendencia* para tener en cuenta el hecho, comprobado por primera vez por Wootton y Pick, de que la posesión de autos, al contrario que el uso del coche, aumenta a mayor velocidad de lo explicable por el aumento de las rentas. Existen dos razones para ello: en primer término se ha producido una baja relativa en el precio de los autos, y en segundo término, la actual generación siente una mayor atracción hacia los autos que las anteriores. Para una misma renta real, los miembros más jóvenes de la población actual comprarán un automóvil con más probabilidad que sus padres.

## 7. Otro caso. El Plan Rector de Vialidad y Transportes de la ZMCM. México. 1981

La asignación por medios de transporte implicada en el PRVT aludido se hizo empíricamente, habiéndose basado en las siguientes hipótesis:

"La población de la ZMCM es predominantemente usuaria del transporte colectivo y mu, probablemente continuará siéndolo".

"La asignación del uso de los medios está en proporción de su disponibilidad. De ahí que puede presuponerse la mejor proporción de acuerdo con el interés público".

El corolario de tales hipótesis se tradujo en la decisión de dotar a la ciudad de un sistema de transporte público diseñado a partir del esquema de distribución de viajes, y según la proporción deseable de transporte público vs automóviles (que en esa época era de 80% vs 20%).

## 8. Modelos Predictivos desagregados.

Corresponden a esta modalidad de análisis los procesos de asignación realizados *después* de la distribución de los viajes. En estos casos, la distribución misma no se ve afectada por la índole de la asignación modal, sino que deja la decisión a las circunstancias prevalecientes en los trayectos. Como en el caso anterior, el método tiene asimismo su propia lógica.

### 8.1. El modelo desagregado de selección modal

Consideraremos aquí el ejemplo de un *modelo de demanda desagregada* el cual se empleará para ensayar su empleo en la predicción de la probable respuesta de los usuarios ante diferentes opciones de viaje. Debe resaltarse que en este caso el viaje ya está establecido mas no el medio para efectuarlo.

Asúmase el siguiente modelo de selección modal de transporte, constituido por:

a) La expresión de la *probabilidad de selección* de un modo  $m$  dado:

$$p(m: M) = \frac{e^{U_m}}{\sum_{m \in M} e^{U_m}} \quad (\text{ecuación 3})$$

y donde

$p(m: M)$  = probabilidad de una selección individual del modo  $m$ ;

b) Más una segunda expresión que representa una *función de utilidad* que ha de ser optimizada.

$$U_m = \theta_m + \theta_1 t_m + \theta_2 \frac{x_m}{d} + \theta_3 \frac{c_m}{y} \quad (\text{ecuación 4})$$

y en donde, a su vez,

$t_m$  = tiempo de viaje abordo (en minutos y en un sentido);  
 $x_m$  = tiempo de viaje en exceso (acceso y espera en minutos);  
 $d$  = distancia (en kilómetros y en un sentido);  
 $c_m$  = costo en dinero (tarifa en pesos y centavos y por sentido);  
 $y$  = ingreso anual del usuario (en pesos);  
 $m$  = modo de transporte (A) automóvil o (T) transporte público.

Los parámetros  $\theta_1$ ,  $\theta_2$  y  $\theta_3$  son los mismos para ambos modos;  $\theta_m$  es específico para cada modo.

Si desarrollamos la función de utilidad para dos modos T y A, se sigue:

$$p(m = T) = \frac{e^{U_T}}{e^{U_T} + e^{U_A}} = \frac{1}{1 + e^{U_A - U_T}} = \frac{1}{1 + e^{G(S)}} \quad (\text{ecuación 5})$$

Haciendo lo propio para la función de utilidad, si se asume que

$$G(S) = U_A - U_T \quad (\text{ecuación 6})$$

se consigue que,

$$U_A - U_T = (\theta_A - \theta_T) + \theta_1 (t_A - t_T) + \frac{\theta_2}{d} (x_A - x_T) + \frac{\theta_3}{y} (c_A - c_T) \quad (\text{ecuación 7})$$

Para nuestra aplicación a dos modos se han determinado además los siguientes valores de los parámetros  $\theta_1$ ,  $\theta_2$  y  $\theta_3$ :

$$\theta_1 = -0.030; \quad \theta_2 = -0.34; \quad \text{y} \quad \theta_3 = -75$$

El valor de la constante específica  $\theta_m$  refleja las características socioeconómicas del usuario y del área de residencia y vale:  $\theta_A = 0.19$  y  $\theta_T = 0$ .

Apliquémoslo al siguiente ejemplo:

### Problema.-

Encontrar las probabilidades de selección modal (entre automóvil A y transporte público T) de dos posibles usuarios, habitantes respectivos de las dos zonas cuyas características  $\theta_A$  se establecen a continuación, y con los ingresos (y) que también se consignan.

- 1) Caso A: Residencia tipo A con  $\theta_A = -0.13$  e  $y_A = \$ 5,000/\text{mes}$ ;
- 2) Caso B: Residencia tipo B con  $\theta_T = 0$  e  $y_B = \$ 10,000/\text{mes}$ .

Asumiendo también el siguiente cuadro de variables operativas de los dos modos considerados:

VARIABLES	AUTOMOVIL	TRANSPORTE PUBLICO
Tiempo abordo $t$ en un sentido	11.3 min	14.0 min
Tiempo excedente $x$ de acceso y espera	5 min	8 min
Costo $c$ (tarifa kilométrica)	\$3.22	\$0.20
Distancia $d$	7.25 kilómetros	7.25 kilómetros
Parámetro específico $\theta_m$	- 0.19	0

**Solución:**

1) Caso A -

De la ecuación 7, referida a la función de utilidad, tenemos que, aplicando los valores asignados a los parámetros del caso:

$$U_A = - 0.19 - 0.03 t_A - 0.34 \frac{x_A}{d} - 75 \frac{c_A}{5,000}$$

Aplicando el vector de variables del automóvil, se tendría:

$$U_A = -0.19 - 0.03 \times 11.3 - 0.34 (5/7.25) - 75 (3.22/5,000)$$

o sea:

$$U_A = - 0.81$$

y por lo consiguiente, para el transporte público:

$$U_T = - 0 - 0.03 t_T - 0.34 \frac{x_T}{d} - 75 \frac{c_T}{5,000}$$

y aplicando el vector de variables del transporte público, se tendrá:

$$U_T = - 0.03 \times 14.0 - 0.34 (8/7.25) - 75 (0.20/5,000)$$

o sea:

$$U_T = - 0.80$$

De ahí que, como primer resultado se infiere que en el caso A, el pronunciamiento se dará hacia el transporte público ya que  $U_T < U_A$ .

2) Caso B.-

De la misma ecuación 7, referida a la función de utilidad tenemos que, aplicando los valores asignados a los parámetros del caso (por cierto, lo único que cambia numéricamente hablando, es el valor de  $y_B$ ). Así:

$$U_A = -0.13 - 0.03 t_A - 0.34 \frac{x_A}{d} - 75 \frac{C_A}{10,000}$$

Aplicando el vector de variables del automóvil, se tendría:

$$U_A = -0.19 - 0.03 \times 11.3 - 0.34 (5/7.25) - 75 (3.22/10,000)$$

o sea:

$$U_A = -0.79$$

y por lo consiguiente, para el transporte público:

$$U_T = -0 - 0.03 t_T - 0.34 \frac{x_T}{d} - 75 \frac{C_T}{10,000}$$

y aplicando el vector de variables del transporte público, se tendrá:

$$U_T = -0.03 \times 14.0 - 0.34 (8/7.25) - 75 (0.20/10,000)$$

o sea:

$$U_T = -0.80$$

Al contrario que el caso anterior, para el usuario B la selección tiende a inclinarse hacia el automóvil particular, ya que  $U_T > U_A$ .

Prosiguiendo con el análisis, deberemos estimar con qué probabilidad se darían tales selecciones. Un camino obvio estriba en usar el valor de  $G(S) = U_A - U_T$ . Entonces tendremos:

En el caso A:

$$G(S) = -0.81 + 0.80 = -0.01$$

Luego entonces, aplicando la ecuación 3, se tiene:

$$p_T = \frac{1}{1 + e^{-0.01}} = 0.50; \text{ de donde: } p_A = 0.50$$

Lo cual nos muestra que para las condiciones analizadas, sólo el 50% optaría por el transporte público. O sea, en un grupo de 100 personas similares se esperaría que la mitad de ellas seleccionaran para su traslado el transporte público, y la otra mitad el automóvil.

En el caso B, la situación es prácticamente la misma.

$$p_T = \frac{1}{1 + e^{0.01}} = 0.50; \text{ de donde: } p_A = 0.50$$

Ejercicios.-

1. ¿Qué pasaría si el costo del transporte  $c_T$  se incrementa 100%? Todos los demás valores permanecen igual. ¿Cuánto valdrían  $U_A$ ,  $U_T$ ,  $p_A$  y  $p_T$ ?

R =

2. ¿Qué pasaría si los gastos de automóvil  $c_A$  se incrementaran 75%?

R =

3. Analizar qué ocurre en distancias mayores. Digamos, si  $d = 20$  km. Aplicarlo a los datos del ejercicio 2.

R =



**FACULTAD DE INGENIERIA U.N.A.M.  
DIVISION DE EDUCACION CONTINUA**

**DIPLOMADO INTERNACIONAL DEL TRANSPORTE**

**MODULO II : "PLANIFICACION DEL TRANSPORTE URBANO"**

**TEMA**

**MODELOS DE ASIGNACION  
APOYO DOCUMENTAL**

**ING. ANGEL ALCEDA HERNANDEZ**

# MODELOS DE ASIGNACION

Ing. Angel Alceda Hernández  
Expositor

## 1.- Generalidades

El **Modelo de Asignación de Viajes** es una herramienta que permite determinar en cada movimiento de origen-destino, el mejor recorrido sobre el sistema vial o de transporte que esté estudiándose. Los datos con que se suele alimentar el modelo son: la *matriz de movimientos* –es decir, la matriz de origen y destino planteada entre los puntos de la región–; la *red* sobre la que ocurrirán los desplazamientos y, finalmente, una serie de *parámetros de control* que ayudan a reflejar la realidad. Por su parte, los resultados de la aplicación del modelo consisten en *las rutas* que siguen los trayectos que comunican las parejas de orígenes y destinos, *las cargas* –los volúmenes de movimiento– sobre los arcos de la red, y algunas otras cifras cuya obtención se haya previsto durante la instrumentación de las partes del modelo.

Esta descripción, que se apega al funcionamiento del modelo tradicional, puede ser aplicable a cualquier tipo de modelo o a cualquier procedimiento tendiente a determinar las rutas por las cuales hayan de transitar los volúmenes de usuarios.

Hasta antes del desarrollo de las computadoras, la asignación de movimientos a la red se hacía de manera empírica, usando razonamientos lógicos apoyados en el conocimiento práctico de la ciudad, más una buena dosis de sensibilidad por parte del proyectista.

En 1952 la técnica de asignación de viajes fué resumida por M.E. Campbell de la siguiente manera: «...La asignación de viajes en el transporte colectivo es fundamental para justificar una proposición. Aún así, la asignación se considera más un arte que una técnica»<sup>1</sup>.

El manejo metodológico se solía hacer partiendo del conjunto de *líneas de deseo* que habrían sido trazadas en un plano de la red. Adicionalmente, se representaba, a manera de curvas de nivel –las *curvas isócronas*–, el tiempo de recorrido, medido a partir de algunos puntos importantes, lo que daba un apoyo geográfico más al proceso de deducir los trayectos buscados.

Las *líneas de deseo* son trazados rectos entre cada pareja de origen y destino, sobre los que se representa, a una escala adecuada, la cantidad de viajes que se hacen entre esos mismos puntos, en tanto que las *curvas isócronas* son envolventes de los puntos con igual tiempo de recorrido. (ver Figura 1).

Al igual que las curvas isócronas, actualmente se siguen empleando las líneas de deseo, pero ahora se usan únicamente como figuras ilustrativas de un fenómeno.

---

<sup>1</sup> M.E. Campbell. "A Mechanical Method for Assigning Traffic to Expressways". 1952.

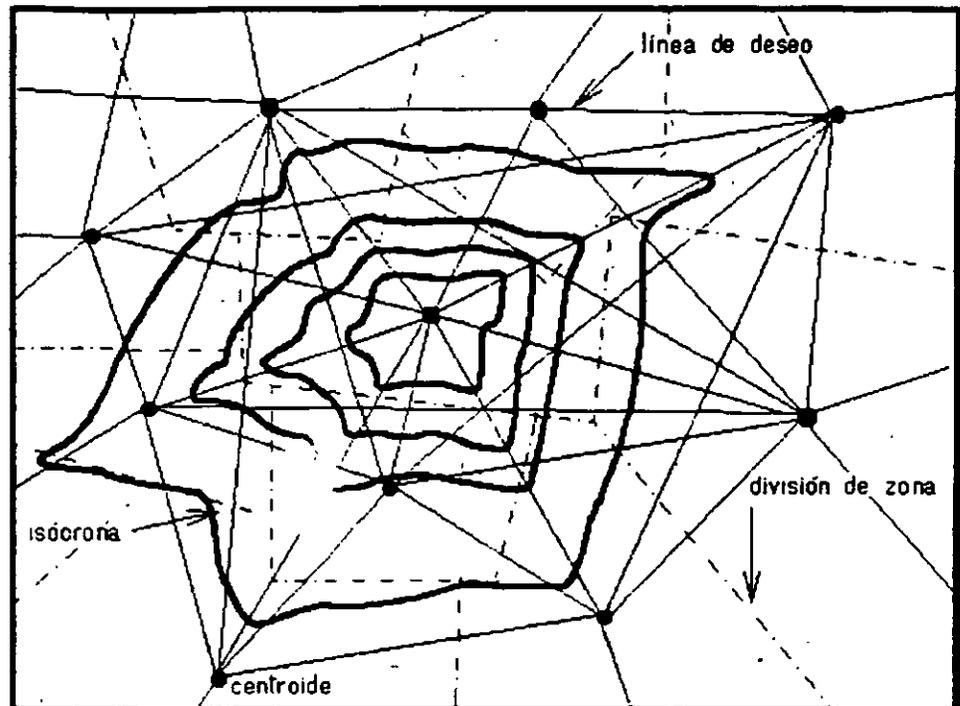


Figura 1. Esquematización de Líneas de deseo e Isócronas

## 2. Antecedentes históricos del Modelo de asignación

El primer intento de racionalización metodológica sobre el trazado de trayectorias lo documenta Peter Haggett, en un capítulo de uno de sus libros dedicado precisamente a la localización de rutas migratorias<sup>2</sup>. Menciona ahí que en la obra de A. M. Wellington "The economic theory of the location of railways" (1877), se describe el método empleado por dicho ingeniero en 1886, para determinar el trazado del ferrocarril México - Veracruz. «Consiste –dice Haggett–, en un problema de optimización de la relación entre la longitud de la vía ferrea, cuanto más corta mejor, y el volumen de tránsito, cuando más grande mejor».

Según lo afirma Haggett, Wellington planteó tres aseveraciones básicas, a saber: «...(i) si todos los puntos intermedios tuvieran la misma capacidad generadora y se encontraran uniformemente espaciados, el tránsito variaría con el cuadrado del número de puntos comunicados; (ii) si los puntos intermedios fueran "pequeñas villas rurales" sin la competencia de otro ferrocarril, el efecto de situar la estación lejos de la villa sería la reducción de las entradas brutas en un 10% por cada milla de distancia entre la estación y el centro de la villa; y (iii) si los puntos intermedios fueran "grandes ciudades industriales" con comunicaciones ferroviarias competitivas, la reducción sería de 25% menos por cada milla...».

<sup>2</sup> Peter Haggett. "Análisis Locacional en la Geografía Humana". Gustavo Gili. 1975. pp 82 - 84.

A partir de ahí Haggett hace en su libro un planteamiento hipotético, que luego trata como si manejara un problema de evaluación de alternativas, para después concluir: «El valor de este antiguo análisis ... ilustra la clase de problemas locacionales con que se tropieza en la construcción de rutas.»

En un principio los métodos analíticos de asignación fueron utilizados en forma limitada y haciendo uso de técnicas que eran propias de la física; en su momento fue bastante conocido el análisis locacional por el *método de los momentos*. Se usaba, y así se menciona en alguna bibliografía <sup>3</sup>, para la localización de puentes carreteros o la construcción de terminales. Se trataba de herramientas básicamente analógicas que a menudo apenas si lograban resolver adecuadamente los problemas.

Otro método interesante, que aunque mucho más reciente cae aún dentro de la calificación de método analógico, es el de las "*Líneas de Tendencia o de las Direcciones Baricéntricas*". Se menciona en el texto de Giorgio Boaga <sup>4</sup>, aunque no se indica el uso que se le haya dado.

Contando desde la década de los 50s, y sobre todo desde la realización de un estudio de transporte hecho en Chicago, EUA - "*The Chicago Area Transportation Study*". 1956-, se sucedieron una multitud de estudios que fueron dándose a conocer poco a poco y que se resumieron, entre otras muchas publicaciones, en un compendio metodológico editado por el Instituto Tecnológico de Massachussetts en 1962 <sup>5</sup>. De él se tomó lo siguiente:

«... entre dos zonas hay normalmente un cierto número de rutas posibles que pueden ser seleccionadas por el usuario; cada una de ellas tendrá sus propias características de distancia, tiempo de recorrido, velocidad, nivel de servicio, etc. las cuales determinarán las bases para la selección».

Y, más adelante, se expresa:

«El movimiento general de personas tenderá a distribuirse... entre los diversos medios y entre las diversas rutas que tengan igual origen y destino...».

Así pues, de esa época se describen a continuación algunos métodos de definición de alternativas de movimiento:

- A) Método absoluto.- Consiste en asignar todo el movimiento que se realiza de una zona a otra, a la vía o medio de transporte que implica el menor tiempo.« .. y suponer que las alternativas restantes no son utilizadas...».
- B) Método de la relación de tiempos de recorrido.- Un producto del Bureau of Public Roads, que llegó a la conclusión en 1952 de que existe una relación definida entre el uso de una arteria urbana «... y la razón entre el tiempo de recorrido correspondiente, y el que resulta de usar otra alternativa».

---

<sup>3</sup> T. Matson, W. Smith & F. Hurd. "*Traffic Engineering*". McGraw Hill. 1955. pp 102 - 107

<sup>4</sup> Giorgio Boaga. "*Diseño de Tráfico y Forma Urbana*". G Gili. pp 204 - 207.

<sup>5</sup> Brian V. Martin. "*Principles and Techniques of Predicting Future Demand for Urban Transportation*". MIT Press. 1962.

El mayor obstáculo que hubo que superar fue precisamente la definición del mecanismo que pudiera identificar los caminos más cortos de entre todas las posibles conexiones de la red. Dicha herramienta estuvo disponible hasta 1957, cuando por caminos separados E.F. Moore, con su trabajo "The Shortest Path Trough a Maze" y G. Dantzig, con otro divulgado con el título "The Shortest Route Problem", iniciaron realmente la era de las técnicas modernas de asignación.

El objetivo de la **fase de asignación** de un modelo de transporte es el de simular la elección de la ruta. En esta fase se pueden considerar dos partes: primero la determinación de las rutas individuales, y después su integración en los recorridos seleccionados. Puede suponerse que la persona que viaja selecciona su ruta para minimizar los costos del viaje. La hipótesis básica en todos los procedimientos de asignación es que todos los viajes tienen origen y destino en los **centroides de zona**, y que la elección individual de una ruta en particular se realiza en función de varios parámetros asociados a los costos de viaje.

### 2.1. Algoritmo de Moore

Muchos programas de asignación del tránsito se basan en el Algoritmo de Moore.

El ejemplo siguiente ilustra el procedimiento seguido para identificar la ruta más corta entre dos puntos, utilizando la red de la Figura 2. El problema consiste en establecer el árbol de tiempos de recorrido mínimo para el **centroide A**.

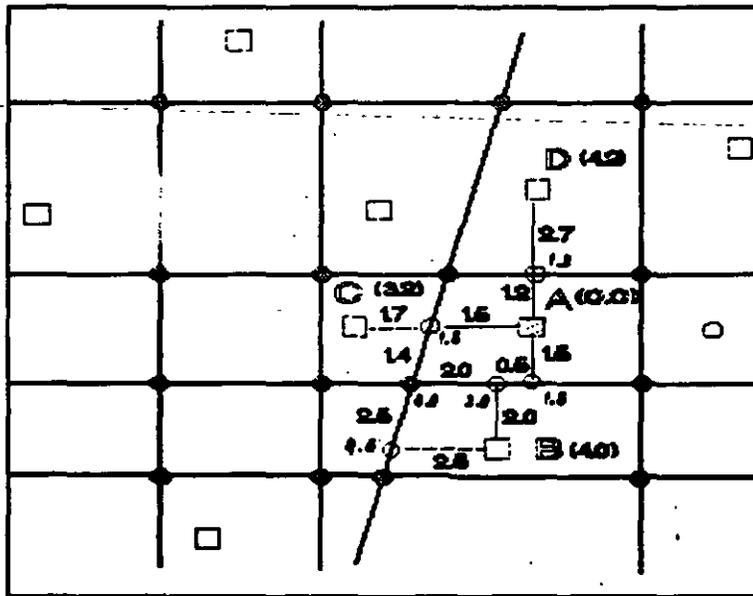


Figura 2. Esquematinización del Algoritmo de Moore

En México fue habitual el uso de la metodología empírica apuntada, hasta épocas tan recientes como la planeación de las primeras líneas del Metro de la Ciudad en 1967. El estudio que se hizo en Monterrey a principio de la década de los años 60s usó también ese método, así como otros casos de proyectos importantes que sería prolijo mencionar.

El método de Boaga, (ver la Figura 3) —adaptado y mejorado—, se empleó con éxito en la ciudad de Mérida, Yucatán en 1977, rebautizándolo con el nombre de "Método Yucatán"<sup>6</sup>.

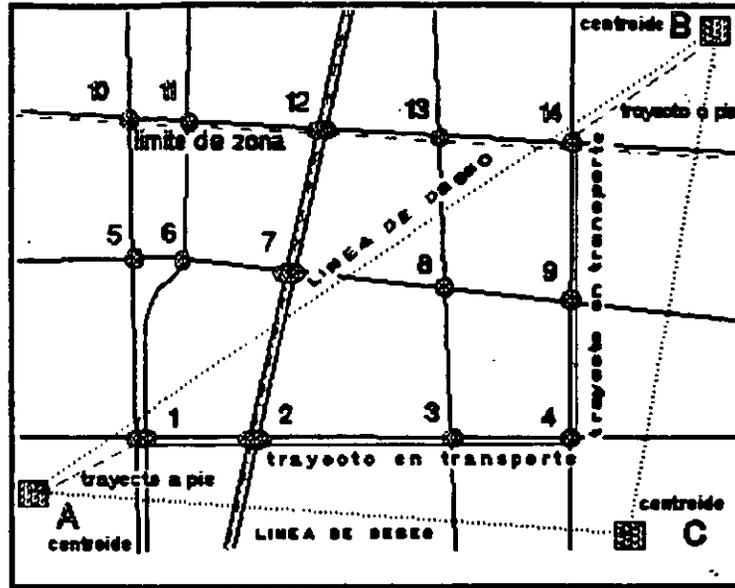


Figura 3. Método de Boaga

El manejo de procedimientos más modernos se inició en México hasta 1980, dentro del Plan Rector de Vialidad y Transportes de 1981, y a raíz de la planeación de la tercera etapa del Metro.

La batería de modelos del PRVT incluyó tres paquetes de tales herramientas.

- I. Un modelo para predecir la generación de viajes;
- II. Un modelo para predecir su distribución; y
- III. Un modelo para asignar los viajes a la red de transporte.

Dentro de ese paquete se hallaba ya el modelo de asignación que, con pequeños cambios, se empleó en las subsiguientes versiones del Programa Maestro del Metro<sup>7</sup>. De su configuración y empleo dan cuenta algunas publicaciones de la época.

### 3. Descripción del Modelo de asignación clásico

La asignación de rutas consiste en el proceso de transferencia de los viajes potenciales de la gente a las trayectorias de los medios de transporte. Esa manera de definir la acción de convertir un esquema de movimiento en volúmenes de viajes sobre los arcos de una red de transporte apareció en el reporte "Urban Transportation Planning", editado por la

<sup>6</sup> A. Alceda y T. Hernández. "Reestructuración del transporte urbano de Mérida, Yucatán". 1977.

<sup>7</sup> A. Alceda, A. Díaz y A. Huerta. "Los modelos matemáticos del Plan Rector de Vialidad y Transportes". Revista de Ingeniería. Vol III. Núm 1. 1982. pp 222 - 231.

American Society of Civil Engineers en 1968. Aunque la misma definición pudiera admitir diferentes interpretaciones, lo cierto es que parece quedar claro que de lo que se trata es de adjudicar un conjunto de viajes, con orígenes y destinos variados, sobre los trayectos específicos de los transportes.

El trabajo se consigue mediante varias etapas que, con algunas pequeñas variantes, se apegan al siguiente patrón (ver la Figura 4):

- 1) Establecimiento de la red.
- 2) Determinación de las rutas óptimas.
- 3) Adjudicación de volúmenes de movimiento (aquí se dá por descontada la existencia previa de una matriz de origen y destino asociada a la red) y
- 4) Identificación de los corredores de transporte.

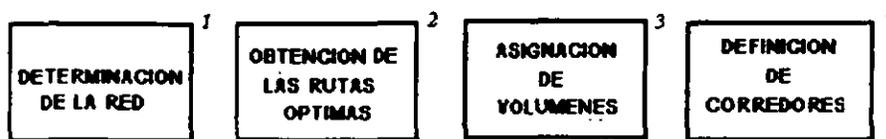


Figura 4. Proceso general de asignación

No obstante su aparente simplicidad, el proceso posee varias sutilezas que es necesario indicar. Además, debe quedar claro que existen muchas maneras de interpretar y definir una red: aquí se detalla una de ellas, cuya principal virtud pretende ser la sencillez. Para mayores y mejores explicaciones puede consultarse la bibliografía<sup>8</sup>. Los conceptos que se cubren en los enunciados son los siguientes:

#### 1) Establecimiento de la red.-

Esto debe interpretarse como la tarea de identificar los arcos o enlaces de que consta la retícula por la que habrá de transitarse, definiéndose en el mismo momento los *nodos* o puntos de intersección de los arcos. Dentro del conjunto de nodos quedan incluidos aquellos que son orígenes y destinos de los movimientos: a estos se les suele denominar "*centroides*".

Una vez reconocidos los arcos o segmentos de la red, es preciso obtener sus propiedades geométricas y operativas, o sean, para cada arco, su orientación, su longitud, su capacidad o el nivel de servicio al que debiera operar, el tiempo o la velocidad (comercial o de trayecto) del medio de transporte asociado con el arco, etc. Estos valores cumplen en su momento con la función selectiva del modelo.

Siendo la red uno de los insumos o datos de entrada del modelo, durante la etapa de establecimiento habrá de ser codificada y almacenada en un archivo magnético al que tenga acceso el módulo de búsqueda de rutas óptimas.

<sup>8</sup> F. Jauffred, A. Moreno y J. Acosta. "*Métodos de Optimización*". 1971. pp 445 - 517.

## 2) Determinación de las rutas óptimas.-

La *ruta óptima* entre dos nodos es aquella que justamente optimiza una función seleccionada para el efecto. Dicha función puede adquirir muchas formas, básicamente de acuerdo con el o los parámetros que vayan a usarse para seleccionar las rutas; en general se le conoce con el nombre de *impedancia* y es manejada como una resistencia de los arcos en contra de los desplazamientos.

Comúnmente, en las aplicaciones a problemas de transporte la impedancia queda asociada al parámetro del tiempo de viaje, aunque en algunas ocasiones llega a manejarse con más eficiencia el concepto de distancia. En otras más la impedancia puede adquirir conformaciones complejas que simultáneamente asocian entre sí varios parámetros.

La selección de cada una de las rutas se hace mediante una pauta de búsqueda que puede ser parafraseada de la manera siguiente:

- a) A partir del nodo inicial, se localiza el nodo más próximo al que pueda llegarse directamente (próximo en cuanto al tiempo implicado en alcanzarlo): Queda así definida la ruta más corta hasta ese nodo inmediato y puede entonces marcarse, destacándolo de las opciones por determinar.
- b) Desde ese nodo ya marcado, se calculan los tiempos requeridos para alcanzar todos los nodos conectados con él. De entre todas las opciones posibles, se debe escoger aquella que implique nuevamente el menor tiempo, lo cual representará la mejor alternativa de trayecto entre ese segundo punto y el nodo inicial.
- c) Al constituir el segundo nodo la opción de mínimo tiempo de acceso desde el nodo inicial, también puede marcarse para sustraerlo de los puntos por encontrar.

Los pasos b y c deben repetirse hasta alcanzar el nodo final, y así la ruta encontrada constituirá la ruta óptima que es la solución del problema.

(En ocasiones por razones prácticas el algoritmo de búsqueda suele manejarse en forma inversa).

Este procedimiento de búsqueda de la ruta óptima se debe a Vic Hasselblad<sup>9</sup>. Está basado en un planteo teórico, presentado en 1959 por E. W. Dijkstra en la publicación "*Numerische Mathematik*".

## 3) Adjudicación de volúmenes de movimiento.-

Las rutas óptimas por sí solas no son más que un detalle curioso de cada red; para extraer de ellas una utilidad práctica es preciso darles un uso congruente con los fines del análisis. Tal es el caso de la aplicación a ellas de los volúmenes de movimiento que contiene la matriz de viajes. Así, a cada ruta óptima se le puede asociar con los viajes

---

<sup>9</sup> V. Hasselblad. "*Highways*". Nibble Magazine. Abril 1985 pp 15 - 23.

que deban hacerse entre el punto inicial y final de su trazado. Luego, los movimientos transitarán por los canales más eficientes de la red.

Este proceso implicará que en cada arco de una ruta dada, se presente una carga equivalente al volumen que se mueva a través de ella. Esto tiene un gran significado: en virtud de que muchos arcos pueden pertenecer a más de una ruta óptima, al final del proceso de adjudicación sus cargas serán la suma de los volúmenes que muevan las rutas que los usen.

#### 4) Identificación de corredores de transporte.-

Al cabo de la etapa anterior, extendida a la totalidad de las variantes origen-destino de la matriz, los arcos de la red mostrarán una gran diversidad de cargas debido a la acumulación, en cada uno de ellos, de los volúmenes derivados del proceso de adjudicación.

A partir de ahí, la identificación de los corredores de transporte puede seguir dos caminos:

- i). Según los trazados de los transportes existentes. Esto es recomendable cuando se están buscando las cargas en las líneas actuales tal y como están; es decir: la búsqueda de los polígonos de carga de las líneas actuales de transporte.
- ii). Según los trazados que presenten las propias cargas. O sea, intentando determinar esquemas continuos de carga, con el propósito de deducir de ahí las rutas de transporte que pudieran satisfacer esa demanda.

De una u otra forma, la tarea concluye con la definición de ciertos trazados específicos sobre la red, cada uno con su correspondiente polígono de carga, que no son otra cosa sino los conductos prioritarios por los que habrían de trasladarse los volúmenes de viajeros cuyo esquema de origen destino se está tratando de atender.

Cuando se esta manejando la primera posibilidad, lo que generalmente se hace para verificar las cargas en los sistemas vigentes en algún horizonte futuro, se está haciendo una labor estricta de planeación analítica. Provisto así el sistema de una matriz de origen y destino futura, los corredores de transporte, identificados con los sistemas en operación, mostrarán los polígonos que presentarian tales transportes de mantenerse las rutas sin cambios en sus trazados.

Por ejemplo: al obtener el polígono de carga de alguna ruta de autobuses, con la aplicación de la matriz O-D de un horizonte varios años adelante, podría constatarse si los vehiculos debieran sólo incrementarse en número o se haria necesario incluir otro medio de más capacidad.

Cuando se escoge o se maneja la segunda posibilidad, es decir, cuando se están buscando los conductos por los que se moveria la gente si existiera ahí el transporte adecuado, los esquemas de trazado pueden identificarse según vanos niveles de carga máxima. Es posible así dar cabida a diseños particulares, de acuerdo con los medios de transporte.

Por ejemplo: al seleccionar únicamente los corredores de intensidad de carga comprendida entre 10,000 o 40,000 viajeros por hora, se están detectando rutas propias de los *transportes de capacidad intermedia*. Asimismo, si la intensidad de carga estuviera comprendida entre 1,500 a 3,500 pasajeros/hora, se estaría hablando de rutas para ser operadas con autobuses.

El modelo que se ha descrito, tal y como se indicó antes, usa un algoritmo que determina una ruta óptima que es única por definición entre cada pareja de nodos de O y D. Esta modalidad, la cual es conocida con el nombre de "*modelo determinístico o de selección todo o nada*", implica ciertas imprecisiones que es necesario comentar".

En primer lugar, resulta obvio que cuando entre dos puntos hay más de una ruta para moverse, salvo que alguna de ellas sea impracticable o sensiblemente deficiente, todas tendrán cierta probabilidad de ser utilizadas por una fracción del volumen que busca moverse. Sea por motivos de accesibilidad a los puntos de abordaje, por aspectos de costo, o simplemente por cuestiones de preferencia personal, los usuarios de los transportes tienden a comportarse de acuerdo con patrones de selección que a menudo escapan al más racional de los análisis. De hecho los modelos de selección modal resultan ser al mismo tiempo los más complejos y los menos confiables.

Los conjuntos de viajeros urbanos no siguen pues rutas únicas al moverse. Lo hacen, globalmente hablando, conforme *haces de trayectos* que se apegan a una distribución normal de frecuencia, donde la ruta óptima constituye el trayecto de máxima probabilidad.

De lo dicho pareciera obligado inferir que el modelo de "todo o nada" es impropio para encarar el problema de la asignación de volúmenes a la red. Así sería si no existieran más razones que su relativa sencillez; es decir, aunque es el más simple de todos, ello quizá no bastara para justificar su empleo, de no haber situaciones atenuantes que, si bien no remedian sus inconvenientes, si los hacen similares a los defectos que yacen semiocultos en otros modelos en uso, tan prácticos y al mismo tiempo tan imprecisos como él.

Los modelos de reparto modal y aún el modelo de distribución más socorrido —el modelo gravitacional— padecen de serios problemas de imprecisión a la hora de aplicarlos. Lo que pasa es que, como ya se sugirió, los sesgos son menos obvios y al paso del tiempo se ha desarrollado tal costumbre de usarlos que ya nadie se detiene a razonar sobre sus reales méritos. En un trabajo <sup>10</sup> que editó hace muchos años la Northwestern University, Oi y Shuldiner hicieron un cuidadoso análisis de la calidad del modelo gravitacional y de su principal insumo, la encuesta de origen y destino, habiendo destacado un sinnúmero de pequeños defectos de fondo en el método. Este texto sirvió de apoyo para un trabajo propio que fué presentado en 1970 en el VI Congreso de Ingeniería Civil <sup>11</sup> titulado "*Un Análisis Crítico de las Encuestas de Origen y Destino*" que intentó alertar sobre el tema a los técnicos mexicanos y que, desde luego, pasó casi totalmente desapercibido.

---

<sup>10</sup> W. Oi, P. Shuldiner. "*An Analysis of Urban Travel Demands*". Northwestern University Press. 1967.

<sup>11</sup> A. Alceda. "*Un análisis crítico de las encuestas de origen y destino*". 1970.

Luego entonces, no es de preocupar el grado de aproximación del modelo determinístico de asignación, ya que su precisión es semejante a la de otros que le son antecedentes. En otro apartado se revisa cómo se ha intentado zanjar el problema. Como dato curioso, el mismo razonamiento que manejaron Oi y Shuldiner en su trabajo sirvió a A. Voorhees (esto sí, en EUA) para desarrollar su notable método simplificado de planeación del transporte<sup>12</sup>.

De la observación hecha sobre la manera como se distribuyen los viajes entre la ruta óptima y las subóptimas existentes, surgió la idea que dió paso al modelo de manejo estocástico de la asignación. En él, como resulta fácil de suponer, los viajes se aplican a las rutas posibles de acuerdo con una función de probabilidad que pondera la proporción adjudicada a cada ruta.

El algoritmo que lo hace viable, aparte de ser mucho menos simple de comprender y de manejar, introduce nuevos y quizá más serios inconvenientes. El principal de ellos es el de la particular dificultad que presenta el modelo para calibrarlo. Es extremadamente difícil conseguir para él una calibración dentro de rangos aceptables, sobre todo cuando se quiere operar con restricciones en la capacidad de los arcos simultáneamente.

El segundo problema del modelo tradicional consiste en su poco realismo en lo tocante al manejo de la capacidad de los arcos. Sencillamente, es muy impráctico manejarlo bajo la suposición de que los arcos tienen una capacidad límite que, una vez alcanzada, los anula para cualquier nueva asignación. La razón de su impracticidad estriba en la manera en cómo se lleva al cabo el proceso de asignación, y de lo cual se habló antes: (i) se define la red, (ii) se identifican los puntos de inicio y término de los viajes, (iii) se determinan las rutas óptimas, (iv) se adjudican los volúmenes de tránsito y, finalmente, (v) se establecen los corredores de movimiento.

Como puede verse, el hecho de que primero se obtengan las rutas óptimas y después se apliquen a ellas los volúmenes de movimiento, hace muy complicado, si no totalmente impráctico, encontrar una secuencia que vaya cancelando las rutas en la medida de su saturación. Cuando se constata la saturación de los arcos de la red, las rutas óptimas ya han sido totalmente definidas. La eventual cancelación de algún arco saturado conlleva la necesidad de recalcular todas las rutas que se sirvan de él, y ello obliga a establecer alguna fórmula de precedencia en la adjudicación de los volúmenes a los arcos y por consiguiente a las rutas.

En la Ciudad de Buenos Aires se intentó utilizar una versión probabilística del modelo. M. Echenique<sup>13</sup>, hubo de comentar así los resultados:

«... se intentó la asignación de viajes con el método estocástico, que presenta la ventaja de considerar varios recorridos, y permite además actuar por medio de un parámetro sobre la función que calcula los viajes asignados a cada uno de ellos... el uso de restricciones de capacidad en forma simultánea no ofreció mejoras sensibles y fue prácticamente imposible controlar los resultados obtenidos...» Y luego dice «... se optó

---

<sup>12</sup> A. Voorhees & R. Morris. "Estimating and Forecasting Travels for Baltimore by use of a Mathematical Model" Highways Research Record. Bulletin 224. pp 105 - 123.

<sup>13</sup> M. Echenique y otros. "Modelos matemáticos para la estructura espacial urbana". 1975. p 95.

finalmente por subdividir las zonas [para lograr ] una asignación más uniforme y cercana a la realidad».

Este problema está muy lejos de haber sido satisfactoriamente resuelto. Curiosamente, incluso algunos modelos que se asume poseen la característica de manejar restricciones en las capacidades de los arcos, en realidad no la tienen. Excepto aquellos que recurren al artificio que se describe adelante, todos trabajan sin límites en la capacidad.

Hay todavía un tercer grupo de problemas en el modelo usual que también tienden a soslayarse en obvio de una sencillez bien entendida. Están estos referidos a las propiedades de los arcos; al efecto que causan en la asignación sus propios parámetros operativos. Veamos en que consiste esto:

Entre las principales características de los arcos están su capacidad y su velocidad —esta última se traduce en el tiempo que se requiere para recorrer el arco de un extremo al otro—; ambas cosas derivadas del medio de transporte alojado en el arco. Pues bien, no parece posible definir ruta óptima alguna sin que ésta nazca ligada ya al conjunto de modos cuyos datos paramétricos sirvieron para seleccionarlos. O sea, el proceso de asignación alberga una perceptible tautología: primero se fijan los medios de transporte para poder contar con un juego de parámetros operativos que adjudicarlo a la red, después se obtienen las rutas óptimas (ligadas por fuerza a esos medios) para, posteriormente, inferir qué medios de transporte han de implantarse, de modo que sean capaces de mover los volúmenes de viajeros aplicados a las rutas óptimas.

La solución a estos problemas se ha buscado por diversos caminos. Dos de ellos son los más lógicos y más prometedores, a saber:

- El *ajuste de zona*. Pensado para atender el determinismo de la solución.
- El *ajuste secuencial*. Diseñado para resolver el problema de la falta de restricción en la capacidad de los arcos.

El ajuste de zona consiste en admitir que el problema del sesgo que acarrea la ruta óptima puede atenuarse afinando la posición de los orígenes y destinos. Si se logra reducir la superficie de las zonas en los extremos de los viajes, subdividiéndolas en áreas homogéneas de menor extensión, la selección del primer tramo de las rutas óptimas se establecerá de una manera más fina, y por ende más precisa, diversificando en su conjunto los trayectos entre las zonas. Esto no siempre es posible ya que por lo común la zonificación de partida queda fija desde la concepción de la encuesta de origen y destino. No obstante, siempre podrá intentarse alguna subdivisión apoyada en datos indirectos.

El ajuste secuencial, por su parte, consiste en establecer un orden apropiado para la aplicación de volúmenes. Para ello se asume que, al momento de la adjudicación, los mayores volúmenes tienen más prioridad que los volúmenes más reducidos. Este proceso no altera el orden en que se lleva a cabo la adjudicación (cuando ya se han calculado las rutas) y permite ir verificando la presencia de arcos saturados con la consecuente anulación de las rutas que los contienen, dejando que sean los volúmenes menores los que encuentren reducidas las opciones de traslado. Como en el caso

precedente, este ardid no es simple ni totalmente eficaz (tampoco es del todo lícito) pero puede ensayarse para mejorar el resultado.

Aunque los modelos de asignación no son ni raros ni escasos, lo cierto es que no parecen estar al alcance de todos. Esa afirmación, que no es extraña para los enterados, es posible que sí lo sea para el técnico no especialista. Ciertamente, en teoría cualquiera podría conseguir un paquete de cómputo que le permitiera manejar procesos de asignación, con tal que se supiera a quién o a dónde dirigirse.

#### 4. Un modelo doméstico: el **MOSART**

En nuestro medio hay varios paquetes disponibles. Numerosas empresas e instituciones se han ocupado de diseñar o adquirir alguno. Uno de tales paquetes es el "*Modelo de Simulación para Asignar Rutas de Transporte*" (M.O.S.A.R.T.) cuya manufactura es declaradamente local. Es descendiente por línea directa de un ilustre antecesor, que vivió sus mejores momentos (el antecesor) durante la planeación de la tercera y cuarta etapas del Metro de la Ciudad de México.

Del MOSART existen varias versiones. Ninguna de ellas es comercial pero poseen cierta disponibilidad.

La versión 2.0: diseñada para redes de hasta 5,000 nodos, y operable en computadora PC o compatibles con 640 Kb. Data de 1988.

La versión 3.0: concebida para determinar rutas óptimas con paso obligado por ciertos nodos predeterminables. Data de 1989.

La versión 5.0: desarrollada para manejo de redes gigantes (de más de 10,000 nodos) y operable en microcomputadoras PC de la serie 386 y superiores. Data de 1990.

La primera versión del MOSART fué desarrollada para utilizarse en las micros más populares del momento (las Apple IIe). Emplea el algoritmo de Hasselblad, con apenas algunos cambios en el entorno, y al que se le modificaron el acceso a la red y el manejo de los resultados.

(En la versión original el programa los datos de los nodos se presentaban en un conjunto interno y fijo de instrucciones DATA. Por la parte del resultado, este aparecía sólo en pantalla, sin opciones al almacenamiento o impresión).

(Con los cambios introducidos después, la red se ubicó en un archivo independiente, por lo cual pueden manejarse tantas redes distintas como lleguen a requerirse. Además, son susceptibles de manejarse altas y bajas de los arcos, así como de incluir un factor de impedancia distinto en cada arco, lo que hace viable una adecuada calibración, nada de lo cual era posible en el programa original de Hasselblad).

Sus limitaciones son manifiestas: posee un límite en cuanto a las dimensiones de la red que soporta. Esto es debido a que, para mejorar su manejo, el análisis se procesa en el seno de un *arreglo* (*array*) que incluye a la vez todas las características de los arcos.

Para casos en donde su limitación no constituye un obstáculo, se logra aprovechar la ventaja que da su sencillez y su muy considerable economía.

La versión 2.0 del MOSART se aparta totalmente del algoritmo de Hasselblad: su concepción está apoyada en un manejo recursivo de los datos básicos de los arcos. Esa peculiaridad, aunada a un cambio muy considerable del método de análisis, tendiente a simplificar el proceso de asignación de las redes, lo hace útil casi para cualquier tarea.

Es sumamente rápido, lo que le da ventaja sobre las versiones creadas para las grandes máquinas y adaptadas para máquinas de escritorio.

La versión 3.0 introdujo una modalidad totalmente nueva en los análisis de las redes. Surgió de la conveniencia de ampliar el rango de uso de las técnicas de asignación, poniendo énfasis en ciertos problemas de movilidad más generales, como pueden ser los esquemas de distribución de bienes.

Obtiene, desde luego, las rutas óptimas entre parejas de puntos dados, pero lo hace agregando la opción de preseleccionar otros nodos más, que deban de ser tocados obligatoriamente por la propia ruta óptima. Las ventajas implicadas en ello son obvias, por ejemplo, al tratar con la definición de rutas de un servicio de carga, o uno de pasajeros sobre diseño como fuera el "dial-a-bus".

Conviene asentar que la especificación de nodos obligados trae el peligro de crear ciclicidades en el análisis. Para reducir ese riesgo se optó por manejar externamente un orden de acceso a los puntos obligados, lo cual no representa un inconveniente serio y le agrega cierta lógica muy difícil de incorporar de manera automática.

La versión 4.0 nuevamente fué producto de la lógica analítica. El motivo que la originó fué el reconocimiento de la *no invariancia* de la impedancia a lo largo de un proceso. Digamos por ejemplo, el tiempo o la velocidad sobre los arcos pueden llegar a cambiar mientras dura el período de asignación. Esto obliga a modificar la impedancia oportunamente para adecuar más el análisis a la realidad. Eso es lo que maneja esta versión del MOSART: durante el proceso de asignación, un reloj propio del programa cambia el valor de ciertos parámetros, a medida que lo sugiere una norma preestablecida.

La versión 5.0 es una reconfiguración de la segunda, para aprovecharse de las ventajas del microprocesador 80386 y, al mismo tiempo, poder acceder a redes gigantes. Con 4 Mb de memoria en RAM se está en capacidad de manejar la más complicada de las redes; y 66 MHZ o más de velocidad, hacen el proceso lo suficientemente cómodo para considerarlo práctico.

La mayoría de las versiones de MOSART ya han sido probadas en numerosos casos reales. Son modelos confiables que, además de constituir una adecuada herramienta de trabajo, han permitido un mejor conocimiento del proceso de asignación

## 5. Otros métodos de asignacion

Los métodos iterativos no son los únicos que pueden lograr un resultado aceptable del prorrateo de los volúmenes sobre las redes. La historia documentada del tema muestra algunos que, inclusive, recurren a mecanismos distributivos completamente diferentes a los explicados antes, aunque hay que reconocer que siempre está presente alguna función que tipifica el modo de efectuar el reparto de las cargas sobre los arcos, llámese ésta "función económica", a la manera de la Investigación de Operaciones, o "relación de equilibrio", conforme a las nuevas corrientes de análisis del transporte. En ellos se persiste por rigor analítico y por necesidad, en el manejo de fórmulas ad hoc para lograr la asignación.

Algunos, que tienen el indiscutible mérito de haber sido pioneros del actual racionalismo, diviniéron clásicos de la materia. Tal es el caso del ultra conocido Modelo del Transporte de Ford y Fulkerson, obligadamente presente en todos los textos de la Investigación de Operaciones. O también, el menos conocido Modelo de Rea<sup>14</sup>, pensado según su autor específicamente para tratar con las redes de transporte.

(J. Rea afirma que los modelos usuales tienen el defecto de haber sido concebidos para las redes viales, lo cual los hace impropios de origen para analizar los transportes).

Y más reciente aún, el método simplificado de Vaughan<sup>15</sup>, curiosamente muy parecido al método de J. Rea, que se presenta con un sugerente comentario sobre su idoneidad.

Es perfectamente comprensible que muchas de esas metodologías resulten más adecuadas de utilizar en problemas particulares, precisamente porque la precisión del resultado lo permite. El ahorro de recursos y de tiempo son importantes sobre todo en aquellas etapas de proyecto en que lo que se requiere es una imagen inicial aproximada del fenómeno de los flujos sobre la red.

Un método muy sencillo y efectivo (para las condiciones del caso) se aplicó en 1979 para tener una idea de la asignación de tránsito en la red de los Ejes Viales, que ya estaba haciéndose, y cuyas especificaciones no dependían del tránsito esperado. El método se empleó para discriminar, de entre las vías del sistema secundario, aquellas que hubieran de reforzar a la red primaria en su conducción de flujos importantes y que, debido a eso, se harían acreedoras de restricciones en el estacionamiento lateral de vehículos<sup>16</sup>.

La norma de tipificación del reparto de flujos era a la vez sencilla y congruente con su propósito. Especificaba que:

- i). Las vías del sistema vial secundario atraerian flujos de tránsito del sistema primario cuando fueran adyacentes y su grado de ocupación no superara el nivel de servicio D.

---

<sup>14</sup> J.C. Rhea. "Designing Urban Travel Systems". Highway Research Record. Núm 417.

<sup>15</sup> R. Vaughan. "Optimal Sample Sizes for Transportation". Transportation Science. Mayo 1972. pp 180 - 194.

<sup>16</sup> A. Alceda y J. Garduño. "Plan de Vialidad". Cinco planes correlativos con los Ejes Viales. 1980

- ii). A su vez, las vias del sistema primario (ejes viales y vias de acceso controlado), expulsarían tránsito hacia las calles secundarias si el nivel de servicio superaba su capacidad (nivel de servicio E).
- iii). Por último, los niveles de servicio de vias adyacentes de distintos sistemas (primario y secundario) deberían diferir *en un punto* (nivel de servicio E vs nivel de servicio D), en contra de las primarias.

En el seno de la "Tri-State Transportation Commission" de Nueva York, se desarrolló un método que enfoca el tema de manera significativamente distinta. Se le conoció en su momento con la denominación DAM, o sea, "Direct Assignment Model", y fue una creación de Morton Schneider, quien también incluye en su haber otra importante arma de planeación: el Modelo de Oportunidad, utilizado en los procesos de distribución de viajes como una alternativa del Modelo Gravitacional.<sup>17 18</sup>

Los datos de entrada del DAM son la red codificada y además, «...una superficie de densidad de destinos de viaje» –"a trip-end density surface for the study area"– del área de estudio. La estimación de los volúmenes de movimiento se deriva solamente de tales insurmos, eliminando la fase de distribución de viajes.

No pueden dejar de mencionarse dos paquetes de simulación que sucesivamente aparecieron en México: el UTPS y el EMM2.

El UTPS se trajo al país a mediados de los años 80s y desde entonces se estuvo intentando su utilización en el ámbito de la planeación urbana local. Por razones no totalmente explicadas no fue aplicado con la amplitud y seriedad que recomendaría su fama, por lo que, cuando menos en lo que toca a México, se ignoran su nivel de efectividad y sus alcances reales.

Parece tratarse de un paquete integral de planeación con dos opciones de manejo: una para los enfoques globales de poca precisión, y otra para los trabajos de tipo general y de detalle. En cuanto al método de asignación que maneja, todo indica que se trata de alguno de los algoritmos usuales para obtener las rutas óptimas.

En cuanto al EMM2, en otro módulo del Diplomado se expondrán sus características por lo que, además de su mención, no se ve la necesidad de abundar en él.

La planeación de los transportes está viviendo una etapa muy singular. Los enfoques están tomando una orientación más del orden conceptual y menos relativa al instrumental de trabajo. Se ha dado tácitamente por sentado que con las herramientas que existen, y quizá un poco de sentido común, se puedan obtener las soluciones buscadas. Es posible que tal razonamiento tenga justificación ... al menos por ahora.

---

<sup>17</sup> Tri-State Transportation Commission. "Direct Estimation of Traffic Volume at a Point". Reporte ITR - 4019 - 1320.

<sup>18</sup> R.S. Scott. "Analytic Assignment Models". The Eno Foundation. Traffic Quarterly. Abril 1974. pp 389 - 400.



**FACULTAD DE INGENIERIA U.N.A.M.  
DIVISION DE EDUCACION CONTINUA**

**DIPLOMADO INTERNACIONAL DEL TRANSPORTE**

**MODULO II : "PLANIFICACION DEL TRANSPORTE URBANO"**

**TALLER :  
USO DEL PAQUETE EMME/2**

# **DIPLOMADO INTERNACIONAL DE TRANSPORTE**

**Módulo II. Planificación de Transporte Urbano**

---

## **TALLER DE USO DEL PAQUETE EMME/2**



---

**INRO CONSULTANTS, INC  
CAL Y MAYOR Y ASOCIADOS, S.C.**

## INDICE

¿Qué es EMME/2 ?	3
Modelos para Representación de Sistemas de Transporte	3
Modelos vs. Programas de Computo para Planeación de Transporte	4
Toma de Decisiones Racionales con el Uso de EMME/2	5
EMME/2 - Un Poco de su Historia	6
Capacidad de EMME/2	6
¿ En qué Tipo de Aplicaciones se Puede Utilizar EMME/2 ?	7
Modelando con EMME/2	8
Banco de Datos de EMME/2	9
Principales Categorías de Datos - Redes	10
Principales Categorías de Datos - Redes	11
Principales Categorías de Datos - Matrices	12
Principales Categorías de Datos - Funciones	13
Trabajando con Escenarios	14
Módulos de EMME/2	14
Editor de Redes	15
Representación de la Red Vial Básica	16
Representación de Giros en Intersecciones	17
Representación de Rutas de Transporte Público	17
Editor de Matrices	18
Gráficas de "Chimeneas"	19
Líneas de Deseo	19
Histogramas de Distribución del Tiempo de Viaje	20
Editor de Funciones	21
Procedimientos de Asignación	22
Resultados de Asignación	23
Macros	27
Ejemplo de Aplicación	28
Crear Banco de Datos	29
Entrada de Datos	30
Estructura de Archivos de Entrada de Datos	31
Entrada Interactiva de Modos	33
Entrada por Archivos en Lote	35
Entrada de Datos Utilizando Macro	35
Crear Copias del Escenario Base	37
Generación de Viajes	38
Distribución de Viajes	41
Comparación de Número de Viajes - Año Base vs. 1998	43
Asignación de Autos para 1998 - Escenario Sin Puente	45
Volúmenes Resultantes de Asignación de Autos para 1998	46
Adicionar Puente a la Red Vial	48
Preparar Select Link Analysis - Crear Atributo Extra @cul1	48
Preparar Select Link Analysis - Copiar Atributo ul1 en @cul1	49
Preparar Select Link Analysis - Hacer ul1=0	50
Preparar Select Link Analysis - Marcar ul1=1 para Puente	52
Realizar Asignación de Autos para 1998 - Escenario con el Puente	52

<b>Análisis de Resultados - ¿Quiénes Utilizan el puente?</b>	<b>54</b>
<b>Análisis de Resultados - Comparación de Volúmenes</b>	<b>55</b>
<b>Análisis de Resultados - Comparación de Histogramas</b>	<b>57</b>
<b>Análisis de Resultados - Tiempo Ahorrado</b>	<b>59</b>
<b>Análisis de Resultados - Tiempo Ahorrado</b>	<b>60</b>
<b>Comentarios Finales</b>	<b>60</b>

## **¿Qué es EMME/2 ?**

- ◇ EMME/2 es un sistema de planeación de transporte urbano (y regional) multimodal interactivo gráfico. Ofrece al usuario un conjunto de herramientas para la modelación de la demanda, la modelación y análisis de redes multimodales y la implementación de procedimientos de evaluación.
- ◇ Su banco de datos está estructurado para permitir la descripción, análisis y comparación simultánea de varios escenarios, los cuales pueden reflejar cambios en la red o en las características socio-económicas del área de estudio.
- ◇ EMME/2 proporciona un marco general, apoyado por una interfase del usuario consistente, para implementar una gran variedad de procedimientos para el pronóstico de la demanda de viajes. Estos van desde el modelo de las cuatro fases hasta modelos más refinados y su integración con procedimientos de equilibrio multimodal.
- ◇ Una vez preparado el banco de datos, el usuario puede introducirse en el proceso de planeación con una visualización instantánea de los datos y resultados. La información se puede importar, modificar o consultar interactivamente en cualquier momento.

## **Modelos para Representación de Sistemas de Transporte**

---

- ◇ Un modelo puede ser definido como la representación de una parte del mundo real - el sistema de interés.
- ◇ Se utilizan modelos tanto para representar situaciones pasadas, como para predecir futuras, mediante la observación del comportamiento histórico y actual del sistema de interés. En el segundo caso, los modelos se muestran de gran valía, pues permiten evaluar las consecuencias de acciones sobre el sistema y así ahorrar recursos, evitando la toma de decisiones equivocadas.
- ◇ Los modelos pueden ser de dos tipos: los físicos y los abstractos. En la primera categoría se encuentran por ejemplo los modelos hidráulicos y los arquitectónicos, que son básicamente utilizados en proyectos. La categoría de los abstractos incluye los modelos mentales que todos usamos en nuestras interacciones diarias con el mundo, para representaciones formales y abstractas del sistema de interés y de como éste funciona. Los

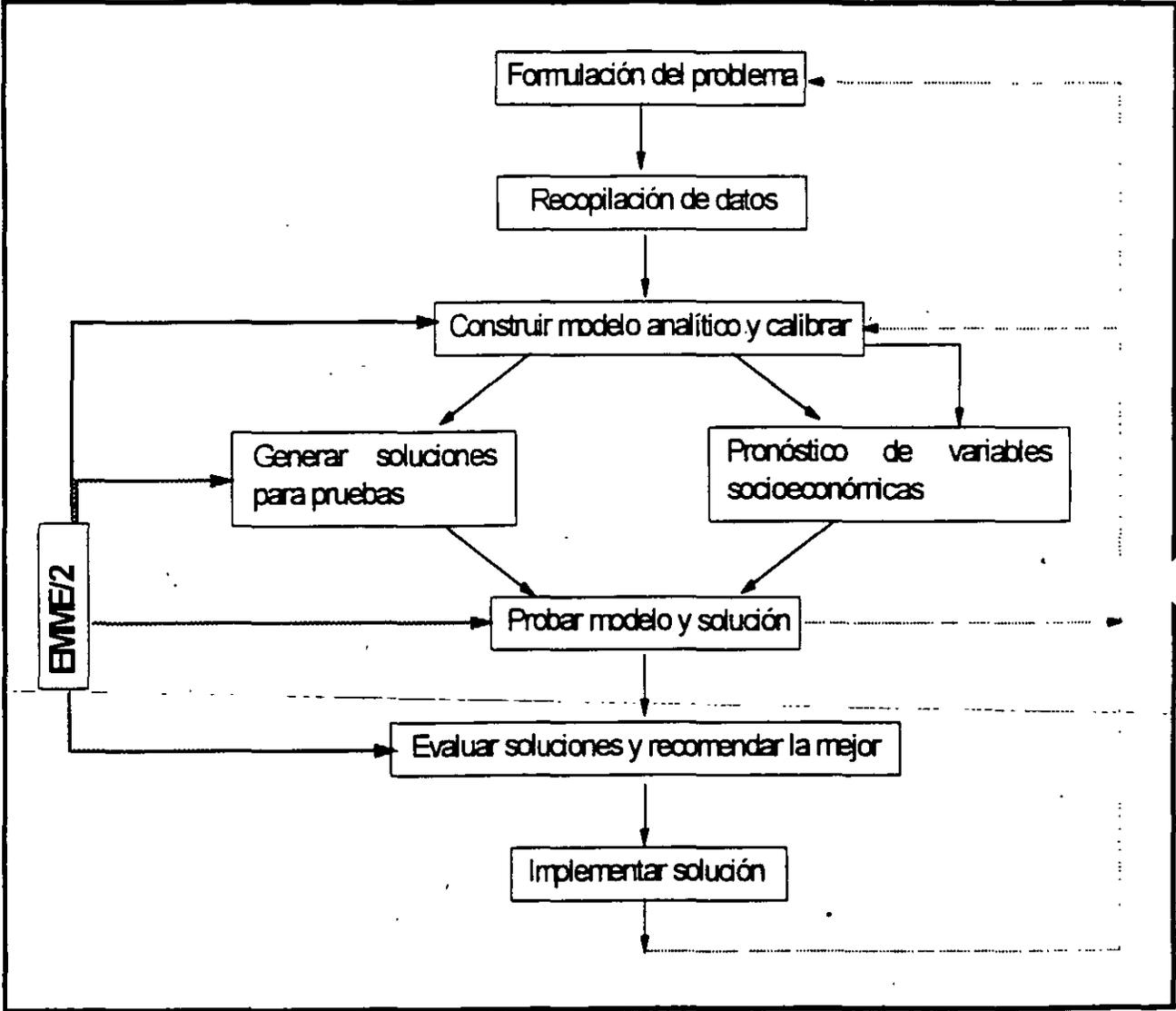
modelos mentales desempeñan un importante papel en la comprensión e interpretación del mundo real y de nuestros modelos analíticos.

- ◇ Para representar los sistemas de transporte se utilizan modelos abstractos, específicamente matemático, que intentan replicar su comportamiento por medio de ecuaciones basadas en la teoría específica. Estos modelos no son determinísticos, pues describen el comportamiento humano frente a la necesidad de desplazamiento para la realización de actividades y satisfacción de sus necesidades. Aún siendo representaciones simplificadas de la realidad, los modelos generalmente son complejos y requieren de gran cantidad de información.

## **Modelos vs. Programas de Computo para Planeación de Transporte**

- ◇ La complejidad de la formulación matemática y la gran cantidad de datos a ser procesados llevaron a la necesidad de desarrollar herramientas flexibles que permitan almacenar la información en una forma ordenada y adecuada y realizar los cálculos matemáticos requeridos para la implementación de los modelos .
- ◇ Un modelo es realista solamente desde un enfoque o punto de vista específicos. Puede ser razonable utilizar un tenedor y un cuchillo sobre una mesa para representar la posición de dos coches antes de una colisión, pero no para representar sus características mecánicas o su patrón de viajes. Lo mismo es verdadero para modelos analíticos: su valor es limitado para un rango de problemas bajo condiciones específicas. Un modelo es adecuado dependiendo del contexto en que es utilizado. La habilidad de escoger y adaptar modelos para contexto particulares es uno de los elementos más importantes para obtener resultados congruentes con la realidad.
- ◇ Un modelo es adecuado o no a una situación dependiendo de:
  - ¿ Qué se quiere analizar ?
  - ¿ Qué variables se puede controlar ? (Frecuencias, tarifas, prioridad de derecho de vía)
  - ¿ Qué información se puede disponer ? (Aforos vehiculares, encuestas origen-destino)

# Toma de Decisiones Racionales con el Uso de EMME/2



## **EMME/2 - Un Poco de su Historia**

- ◇ Los métodos utilizados para la planeación del transporte urbano han evolucionado rápidamente en las últimas dos décadas. En los años 60 y 70 los modelos de cuatro etapas (generación, distribución, división modal y asignación) constituían el método aceptado para llevar a cabo estudios de planeación.
- ◇ Sin embargo, el progreso alcanzado en los modelos de pronóstico de viajes y en los modelos de elección de rutas resultó en la introducción y utilización de diversas variantes del modelo clásico de cuatro etapas. En la medida en que los planificadores empezaron a adaptar los modelos de pronóstico de viajes a sus aplicaciones específicas y datos disponibles, se incrementó la necesidad de un paquete de cómputo más flexible, que posibilitara la implementación de varios modelos.
- ◇ El EMME/2 fue diseñado para permitir el desarrollo de un ambiente de modelación flexible para la especificación, implementación y aplicación eficiente de los métodos de planeación del transporte regional y urbano.
- ◇ El EMME/2 se creó en el Centro de Investigaciones de Transporte de la Universidad de Montreal, Canadá, a principios de los años 80. Su desarrollo subsecuente y el apoyo técnico de EMME/2 se lleva a cabo en la actualidad por la empresa INRO Consultants, Inc.
- ◇ Las iniciales EMME/2 son la abreviación de "Equilibre Multimodal, Multimodal Equilibrium", lo cual se refiere en francés e inglés, a la teoría de equilibrio de la red; el 2 indica que a su desarrollo precedió el del EMME, el cual fue un paquete experimental.

## **Capacidad de EMME/2**

- ◇ El nivel de detalle del estudio a ser realizado es muy importante para determinar las dimensiones del paquete de cómputo que se debe utilizar. Para realizar un estudio a nivel estratégico para la Ciudad de México, por ejemplo, se puede determinar que cada Delegación/Municipio constituya una zona de tránsito y considerar solamente la red vial primaria. De la misma forma, se puede desear un estudio mucho más detallado, donde cada Ageb constituya una zona y se represente la red vial a nivel local.

- ◊ De acuerdo a las dimensiones del sistema y del grado de detalle del estudio, se determinan el número de zonas, nodos y enlaces de la red vial, giros y rutas de transporte público a ser representados. Al escoger el paquete de cómputo a ser utilizado, es importante verificar que se disponga de la capacidad necesaria.
- ◊ La capacidad del EMME/2 depende del tamaño de la licencia utilizada:

Tamaño	Zonas	Nodos	Enlaces	Giros	Rutas TP	Segmentos Rutas TP
1	200	1,600	4,000	4,000	200	5,000
2	400	3,200	8,000	8,000	400	10,000
3	600	4,800	12,000	12,000	600	15,000
4	800	6,400	16,000	16,000	800	20,000
5	1,000	8,000	20,000	20,000	1,000	25,000
6	1,200	9,600	24,000	24,000	1,200	30,000
7	1,400	11,200	28,000	28,000	1,400	35,000
8	1,600	12,800	32,000	32,000	1,600	40,000
9	1,800	14,400	36,000	36,000	1,800	45,000
10	2,000	16,000	40,000	40,000	2,000	50,000
11	2,200	17,600	44,000	44,000	2,200	55,000
12	2,400	19,200	48,000	48,000	2,400	60,000
13	2,600	20,800	52,000	52,000	2,600	65,000
14	2,800	22,400	56,000	56,000	2,800	70,000

## ¿ En qué Tipo de Aplicaciones se Puede Utilizar EMME/2 ?

- ◊ Se puede emplear el EMME/2 para la planeación a nivel Estratégico y Táctico, pero no a nivel Operativo.
- ◊ Para posibilitar la evaluación de los efectos sobre el sistema de transporte de:

### **Construcción de nuevas infraestructuras:**

- Construcción de una autopista
- Ampliación de una vialidad ya existente
- Nueva línea del Metro

### **Implementación de políticas de transportes:**

- Priorización de la circulación de transporte público
- Incremento/Reducción de tarifa de transporte público / estacionamientos
- Cambio de la flota de microbuses por autobuses
- Prohibición de estacionamientos en ciertas áreas de la ciudad

### **Situaciones de contingencia:**

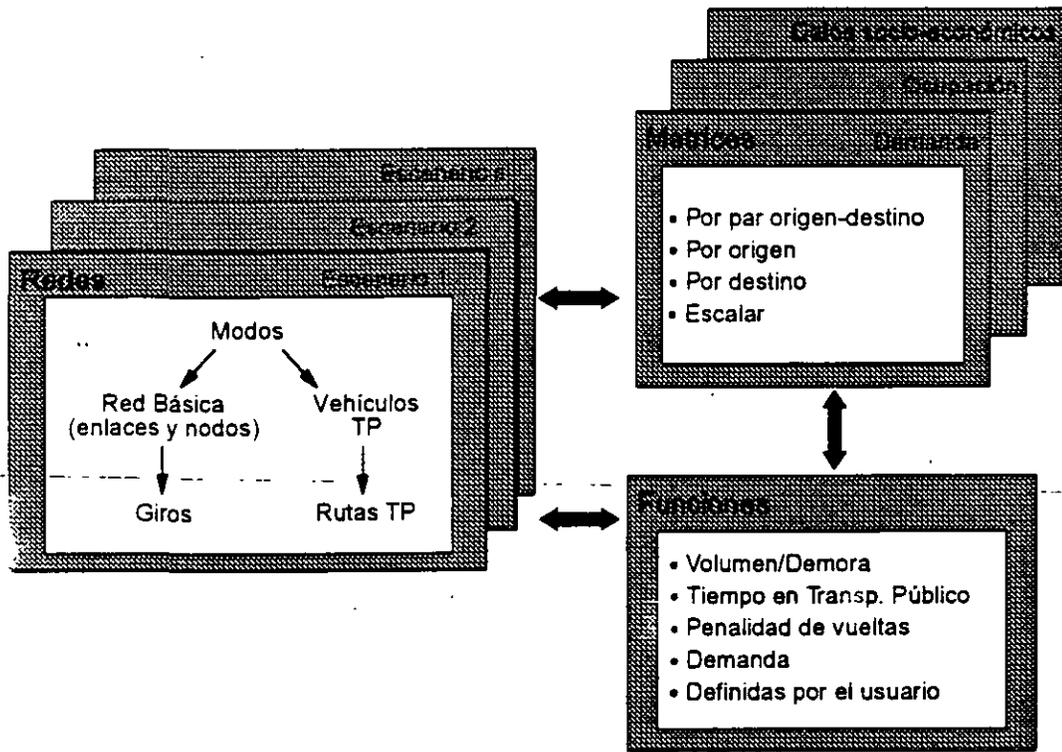
- Impedimento de circulación debido a la construcción de nueva infraestructura
- Impedimento de circulación debido al mantenimiento de la infraestructura existente

## Modelando con EMME/2

- ◇ Para fines de la modelación de los sistemas de transporte, éstos se dividen en dos partes:
- ◇ La oferta de transporte, que consiste en la infraestructura de transporte disponible, los vehículos utilizados y las políticas y reglas implementadas para regular la circulación.
- ◇ La demanda de transporte es la necesidad o deseo de realizar un viaje unido a su capacidad de realizarlo. Es derivada, pues el transporte nos es un fin por si mismo, sino que existe debido a la necesidad de las personas y bienes de cumplir con un fin en su destino.
- ◇ Los procedimientos de equilibrio determinan el equilibrio entre la demanda y el desempeño de la oferta y predicen los flujos de vehículos y personas en las redes de transporte.
- ◇ En EMME/2 la oferta de transporte se modela usando el editor de redes. El "desempeño de la oferta" se describe por medio de funciones de demora o costo, las cuales se manejan en el editor de funciones. La demanda de transporte es modelada utilizando operaciones matriciales, que se efectuan utilizando el editor de matrices, y funciones de demanda, que se especifican en el editor de funciones.
- ◇ Los procedimientos de equilibrio son las asignaciones (métodos de selección de ruta) que se llevan a cabo en EMME/2. Los flujos y niveles de servicio resultantes de las asignaciones son guardados en el banco de datos del programa para posibilitar el análisis de los resultados obtenidos.

## Banco de Datos de EMME/2

- ◇ El banco de datos es la representación de la infraestructura de transporte, las actividades económicas y las características socio-económicas de la población en el área estudiada. En EMME/2, el banco de datos es un archivo que contiene los escenarios, las matrices y las funciones.



## Principales Categorías de Datos - Redes

Tres categorías principales de datos: REDES, MATRICES Y FUNCIONES

### REDES

◇ Los elementos de una red son:

◇ Modos

Auto

Auto auxiliar: camiones, autobuses turísticos

Transporte público: autobús, tranvía, metro

Transporte público auxiliar: peatón, rutas alimentadoras

◇ Red básica

Centroides

Nodos regulares

Enlaces

Vueltas

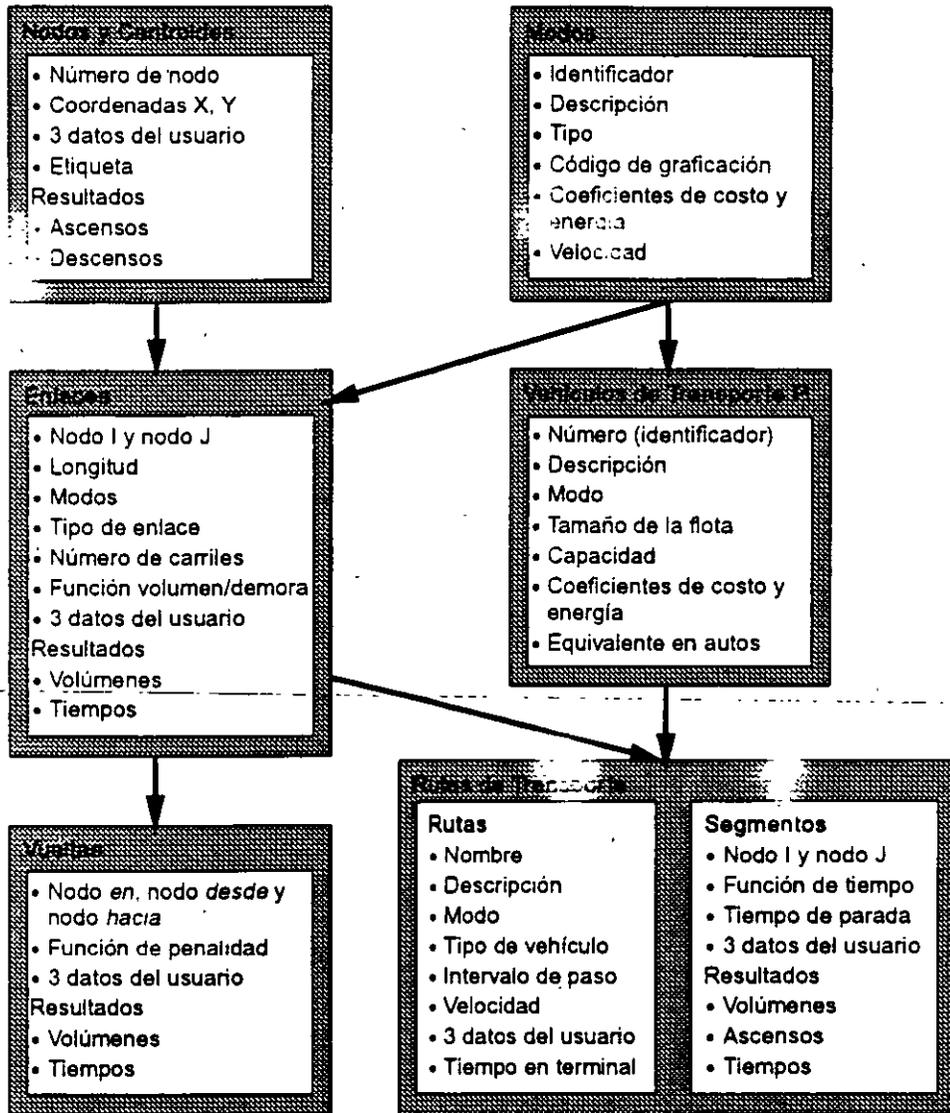
Vehículos de transporte público

Rutas de transporte público

Segmentos

# Principales Categorías de Datos - Redes

◊ Elementos de la Red: Jerarquía y atributos



## Principales Categorías de Datos - Matrices

Tres categorías principales de datos: REDES, MATRICES Y FUNCIONES

### MATRICES

◇ En EMME/2, las matrices son los elementos para almacenar todos los datos relacionados con las zonas, tales como número de viajes, tiempos, ocupación vehicular, etc.

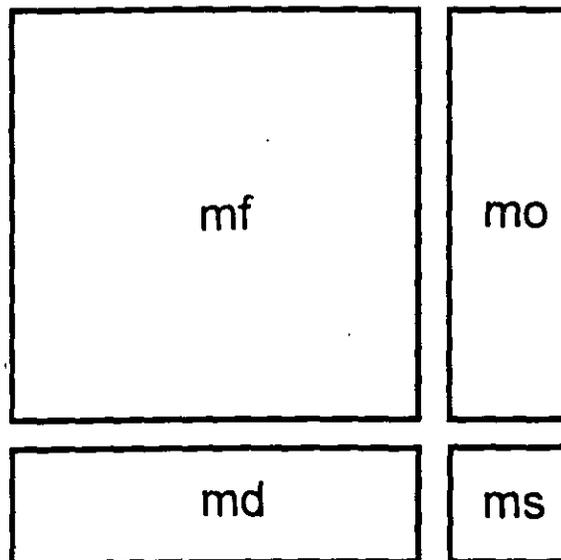
◇ Se tienen cuatro tipos de matrices:

Total (mf)

Por origen (mo)

Por destino (md)

Escalar (ms)



◇ Los atributos de una matriz son:

Identificador

Nombre

Descripción

Valores para cada celda

## Principales Categorías de Datos - Funciones

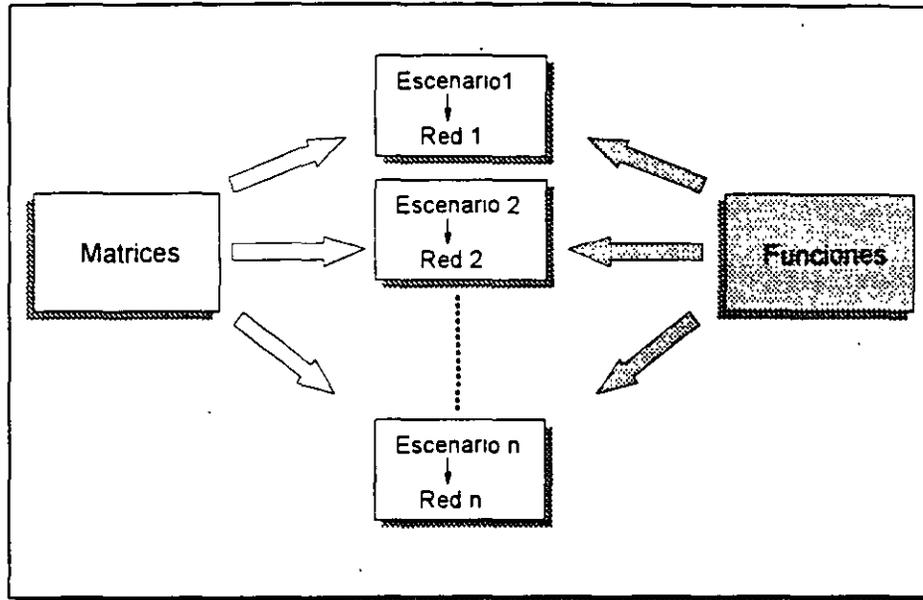
Tres categorías principales de datos: REDES, MATRICES Y FUNCIONES

### FUNCIONES

- ◇ Una función es una estructura de datos que contiene una expresión algebraica que describe una relación funcional.
- ◇ El EMME/2 permite seis tipos de funciones que son:
  - Volumen/demora en auto (en minutos)
  - Penalidad de giros (en minutos)
  - Tiempo en los segmentos de rutas de transporte público (en minutos)
  - Demanda en auto (en personas)
  - Demanda en transporte público (en personas)
  - Del usuario
- ◇ Las expresiones algebraicas usadas para definir las funciones pueden contener:
  - Nombres de variables (del EMME/2)
  - Constantes reales o enteras, positivas o negativas
  - Hasta 20 niveles de paréntesis
  - Operadores algebraicos, relacionales y lógicos
  - Funciones intrínsecas:  $\text{abs}(x)$ ,  $\text{int}(x)$ ,  $\text{sqrt}(x)$ ,  $\ln(x)$ ,  $\text{sin}(x)$ ,  $\text{cos}(x)$ , etc.

## Trabajando con Escenarios

◇ Banco de Datos del EMME/2



## Módulos de EMME/2

Licence E428: CMA/2...INRO CAL Y MAYOR Y ASOCIADOS  
EMME/2 Project: EMME/2 STANDARD DEMONSTRATION AND TEST DATA BANK  
Scen 3000(--- A-): copia del escen 2000

1. UTILITIES
    - 1.11 Direct data bank manipulations
    - 1.21 Log book consultation
    - 1.22 Scenario manipulations
    - 1.23 Modify titles and units
    - 1.41 Input / modify / display demarcation lines
  - 2 NETWORK EDITOR
  3. MATRIX EDITOR
  - 4 FUNCTION EDITOR
  5. ASSIGNMENT PROCEDURES
  - 6 RESULTS
  - 9 END OF SESSION
- Enter: Next module=

## **Editor de Redes**

- ◇ La infraestructura de transporte que existe en el área de estudio se representa en EMME/2 por una red multimodal. La red se describe usando nodos, enlaces, modos, vueltas, vehículos de transporte y rutas de transporte público. Estos datos pueden ser modificados en cualquier momento, siempre que la jerarquía de la estructura de los datos sea respetada.

### **Representación de la red vial básica**

- ◇ La red básica es definida por nodos y enlaces utilizados por los modos definidos. Cada enlace es direccional y puede ser utilizado por diversos modos como carros, autobuses y peatones. Otros atributos como número de carriles y el índice de la función de restricción de capacidad son utilizados para modelar el desempeño de la red vial. El EMME/2 posee un módulo gráfico que permite adicionar y eliminar interactivamente nodos y enlaces de la red básica y modificar cualquiera de sus atributos.

### **Representación de giros en las intersecciones**

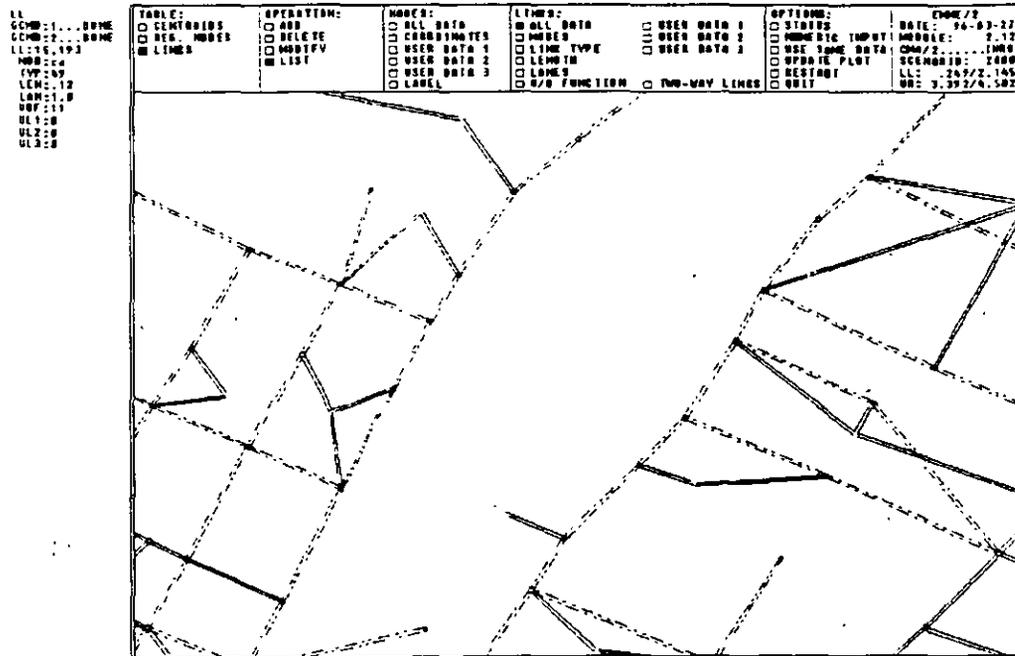
- ◇ Los movimientos direccionales (giros) en intersecciones pueden modelarse, especificándose como giros de enlace a enlace en los nodos seleccionados. A cada uno de los movimientos en una intersección se le puede asociar una función de penalización.

### **Representación de las rutas de transporte público**

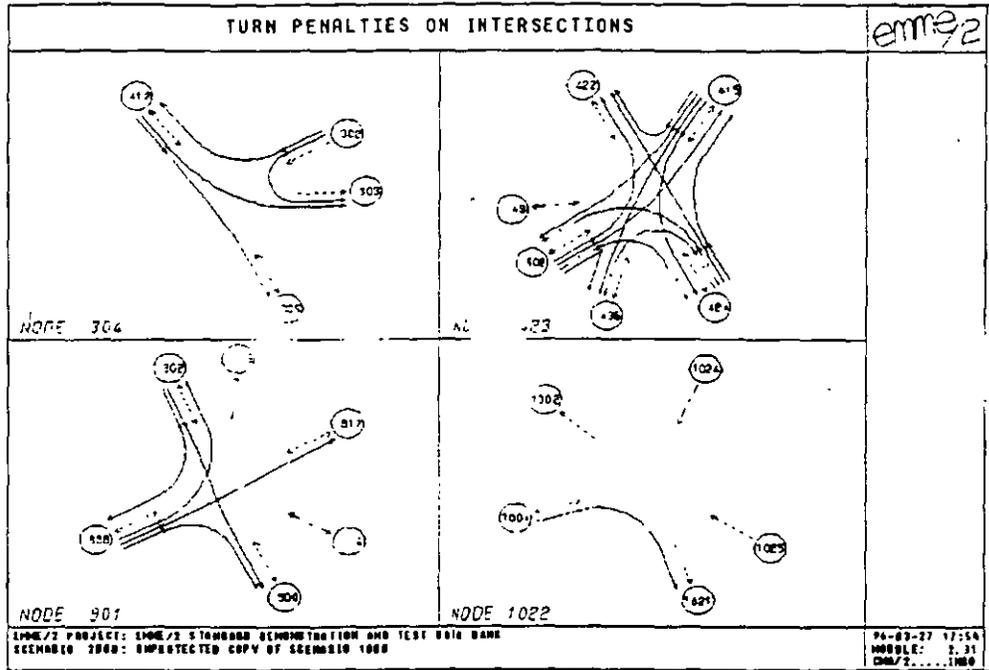
- ◇ Los servicios de transporte público de un escenario se describen especificando los modos de transporte público, asociando vehículos propios de cada modo y especificando los atributos e itinerarios de las rutas. Un itinerario de ruta de transporte público se define como la secuencia de nodos (paradas) dentro de la red.
- ◇ El tiempo de viaje en las rutas de transporte público puede ser definido utilizando una velocidad promedio o por funciones de demora específicas. Estas funciones especifican el tiempo en cada segmento de la ruta y pueden estar correlacionadas con el tiempo en auto del mismo enlace.

- ◊ Un módulo gráfico permite la entrada y modificación interactivas de los itinerarios de las rutas de transporte público, así como la edición de los atributos de la ruta y de cada uno de sus segmentos.

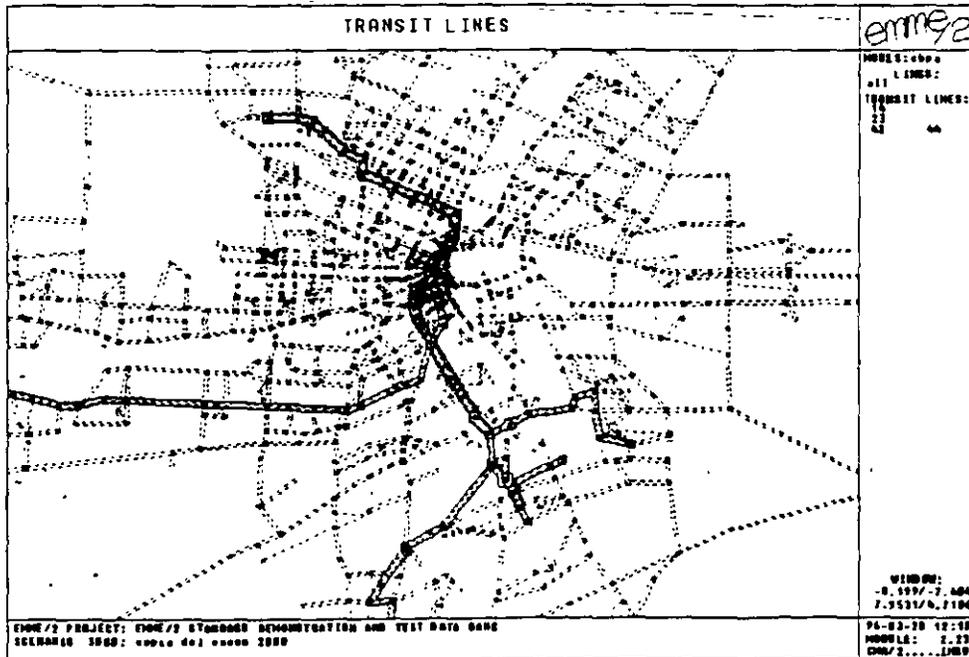
## Representación de la Red Vial Básica



# Representación de Giros en Intersecciones



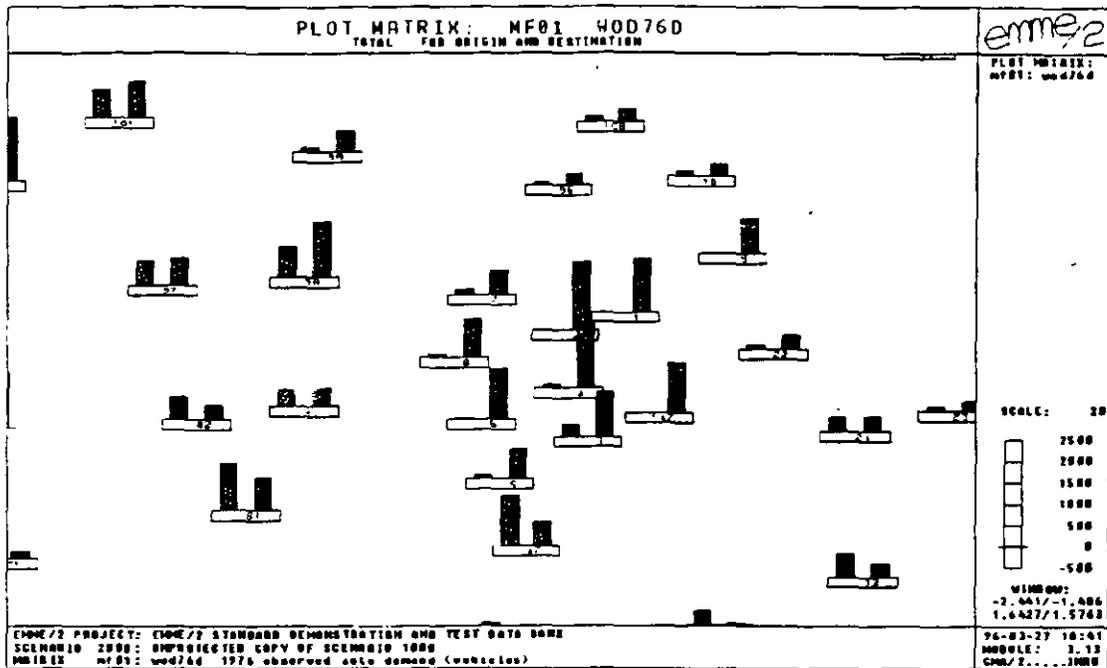
# Representación de Rutas de Transporte Público



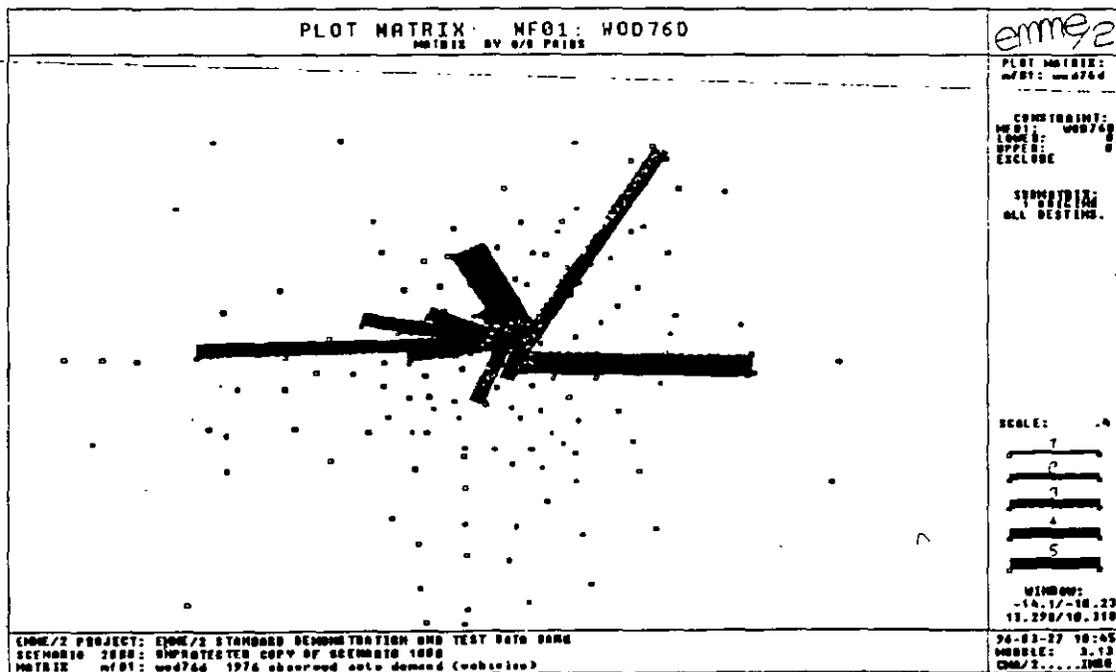
## Editor de Matrices

- ◇ Para fines de estudios de planeación el área de estudio considerada es dividida en zonas y los datos relacionados con variables socioeconómicas y con la demanda de viaje son guardados por zonas, las matrices son de fundamental importancia en el banco de datos del EMME/2.
- ◇ Los módulos del editor de matrices permiten la importación, modificación y despliegue gráfico de las matrices. El editor de matrices ha sido diseñado para guardar las matrices de la forma más apropiada y compacta. Una matriz constante, por ejemplo, puede ser almacenada como una matriz escalar.
- ◇ Las zonas de una matriz pueden ser agregadas en grupos de zonas. Por ejemplo, colonias pueden ser agregadas en delegaciones, y se puede hacer consultas a este nivel. De otra forma, se pueden agregar las colonias de la ciudad de acuerdo a nivel de ingreso promedio.
- ◇ El editor de matrices también incluye módulos que efectúan cálculos con matrices, tales como suma, multiplicación o balanceo de matrices en dos y tres dimensiones.
- ◇ El balanceo de matrices permite la implementación de varios modelos de distribución de viajes.
- ◇ Las matrices pueden ser visualizadas a través de representaciones gráficas como chimeneas (producciones y atracciones) o como líneas de deseo.
- ◇ Se pueden graficar histogramas de frecuencia, que son útiles para observar la distribución de los tiempos de viaje.

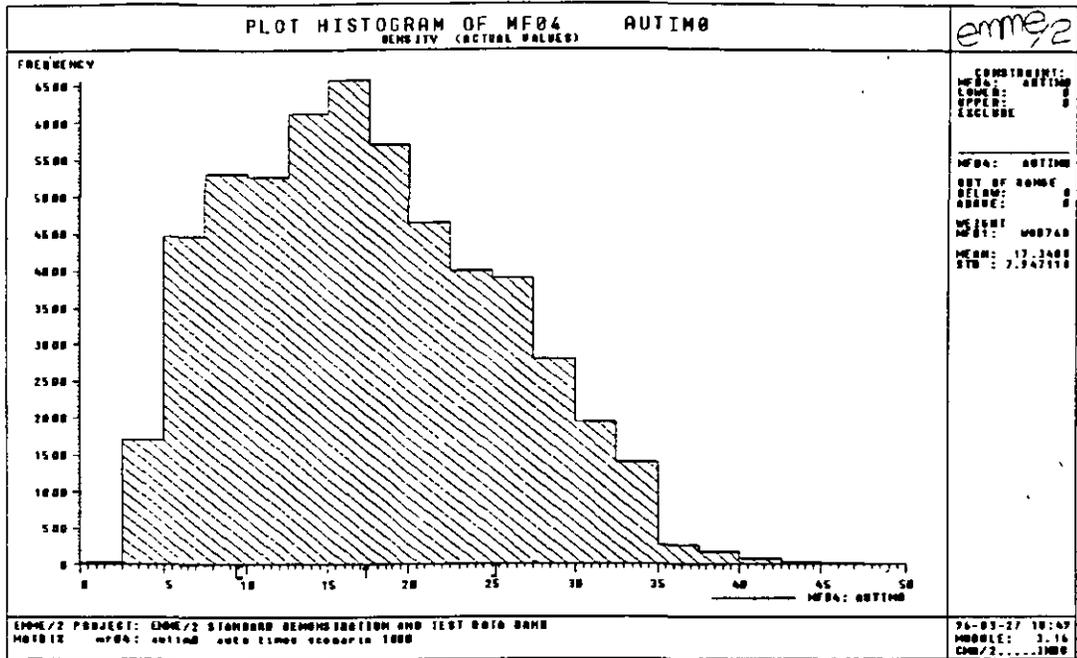
# Gráficas de "Chimeneas"



# Líneas de Deseo

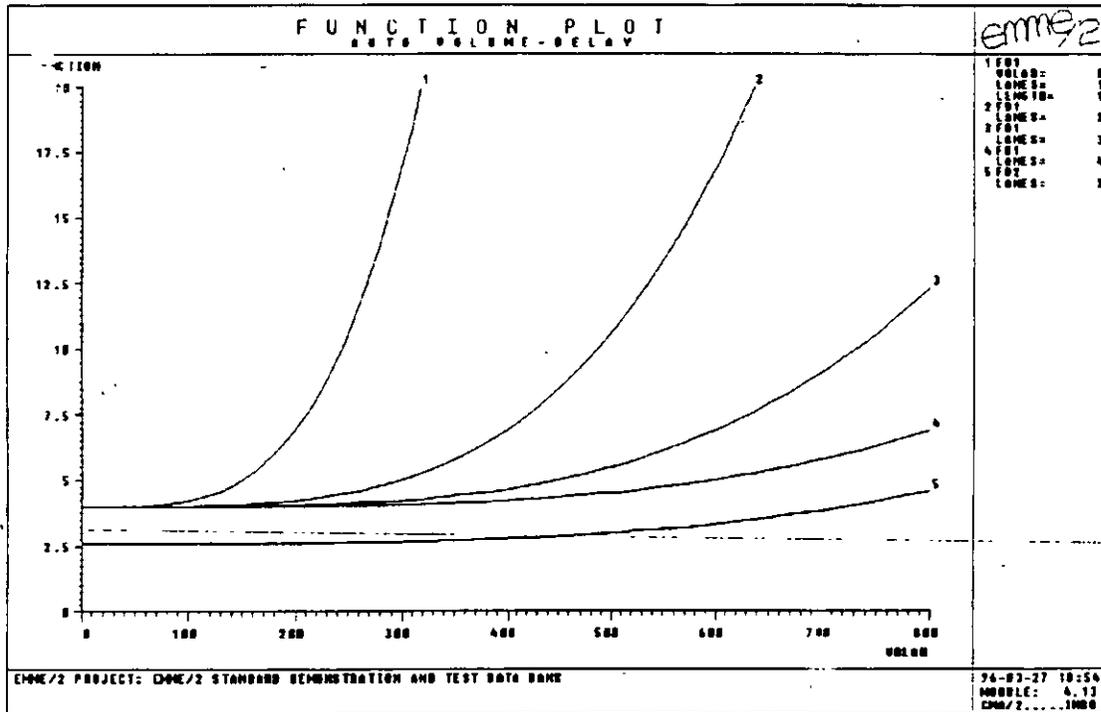


# Histogramas de Distribución del Tiempo de Viaje



## Editor de Funciones

- ◊ Todas las funciones usadas por los procedimientos de asignación de EMME/2, tales como las funciones volumen/demora, penalidad de giros, tiempo de viaje y funciones de demanda, se especifican por el usuario como expresiones algebraicas.

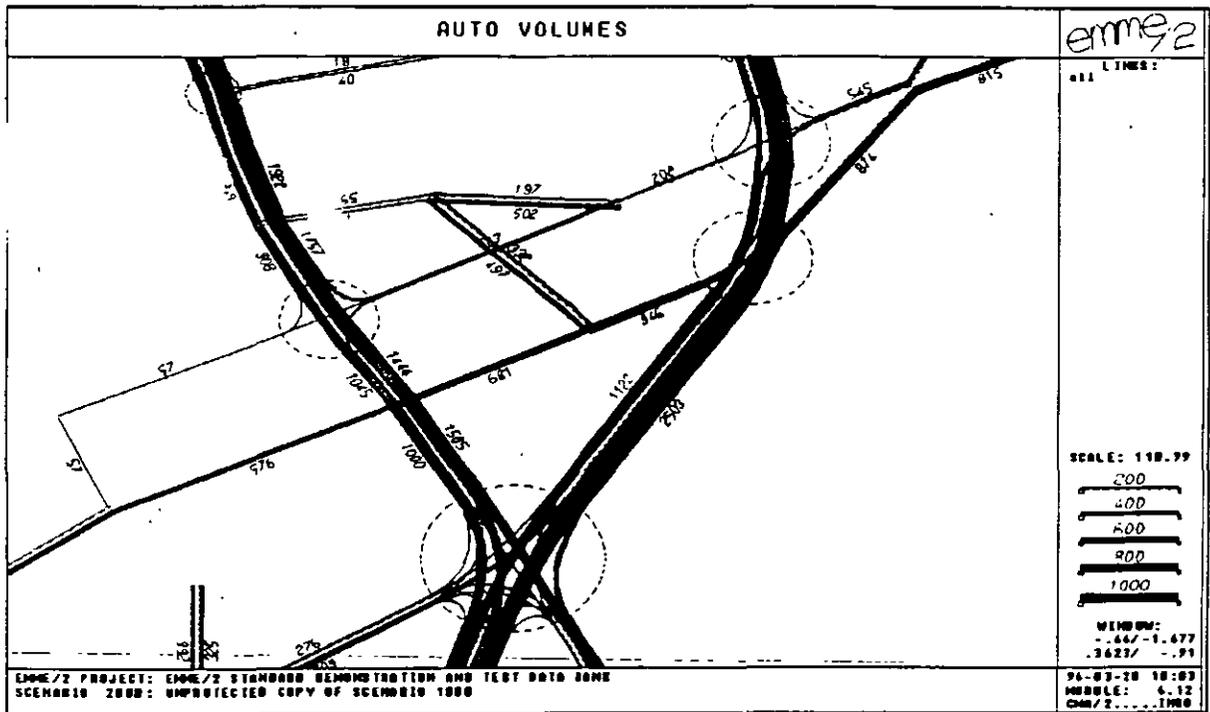


## Procedimientos de Asignación

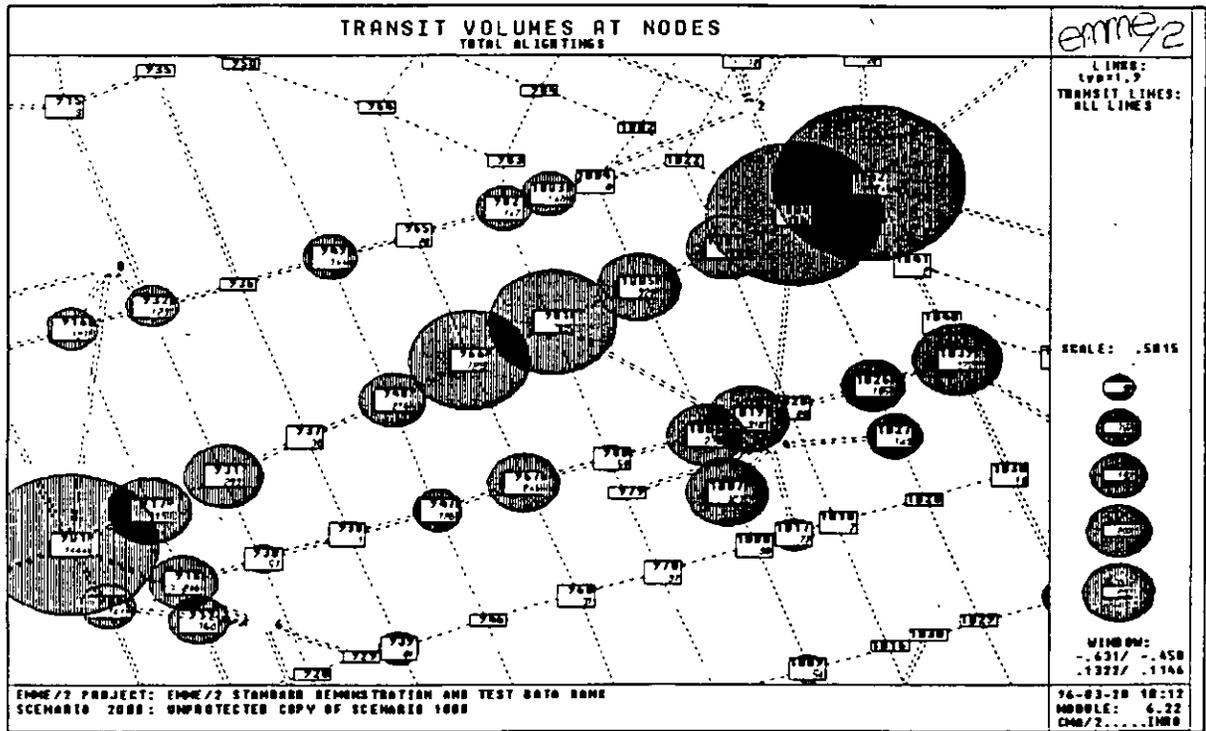
- ◇ El procedimiento de asignación por equilibrio parte del principio que cada usuario usa la ruta que le permite minimizar su tiempo viaje. Por consiguiente, si existe un camino con un tiempo más corto, el usuario lo utilizará. Se dice que se llega al equilibrio cuando no se puede disminuir más el tiempo de viaje de los usuarios. El modelo describe el comportamiento del individuo, minimizando los costos individuales y no del sistema.
- ◇ En la práctica, la asignación por equilibrio se realiza mediante un proceso iterativo de programación lineal.
- ◇ La asignación del transporte público está basado en el concepto de "estrategia" que es una generalización del concepto de elección de rutas. Se asume que el usuario busca minimizar su tiempo de viaje (incluyendo tiempo de espera, tiempo en el vehículo y tiempo caminando). Para lograrlo, un usuario del sistema de transporte público considera una serie de "rutas atractivas, se sube al primero vehículo que llega de cualquiera de estas rutas y baja en un nodo determinado por el algoritmo.
- ◇ El EMME/2 permite realizar diversos tipos de asignación:
  - Asignación por equilibrio de usuarios de vehículos, con una o más clases de usuarios y con demanda fija.
  - Asignación por equilibrio de usuarios de vehículos, con una o más clases de usuarios y con demanda variable.
  - Asignación de transporte público, con demanda fija.
  - Asignación de transporte público desagregada para viajes individuales.

## Resultados de Asignación

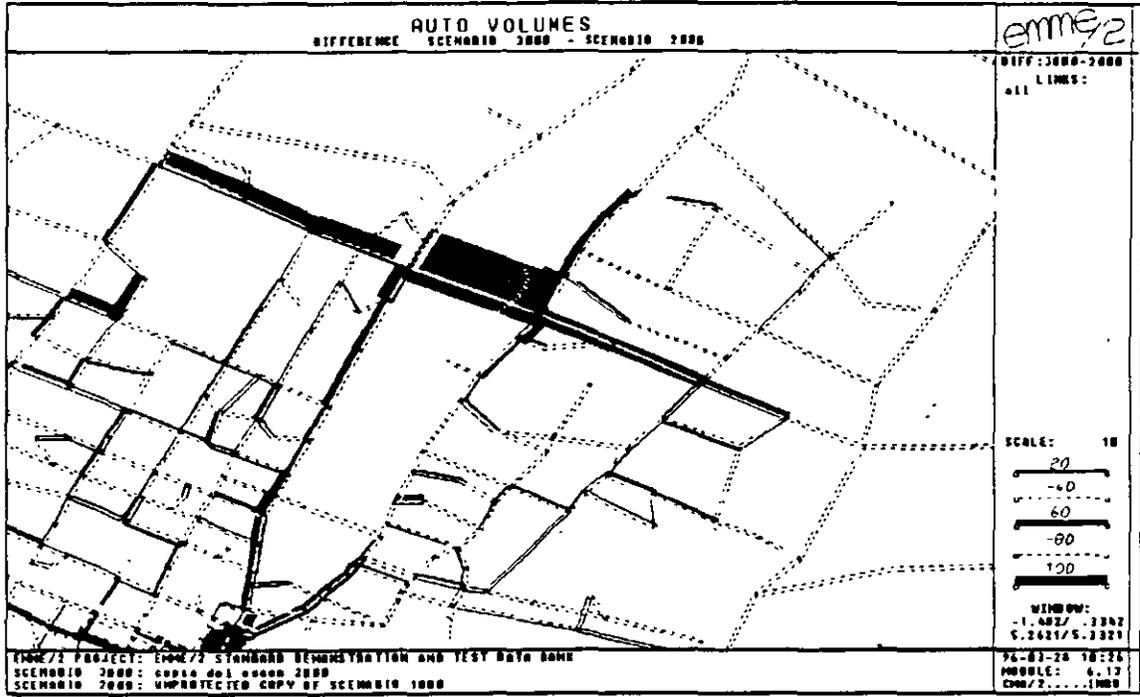
- ◇ Se pueden desplegar los volúmenes de autos en la red, con o sin movimientos direccionales en las intersecciones, así como tiempos de viaje y velocidades.



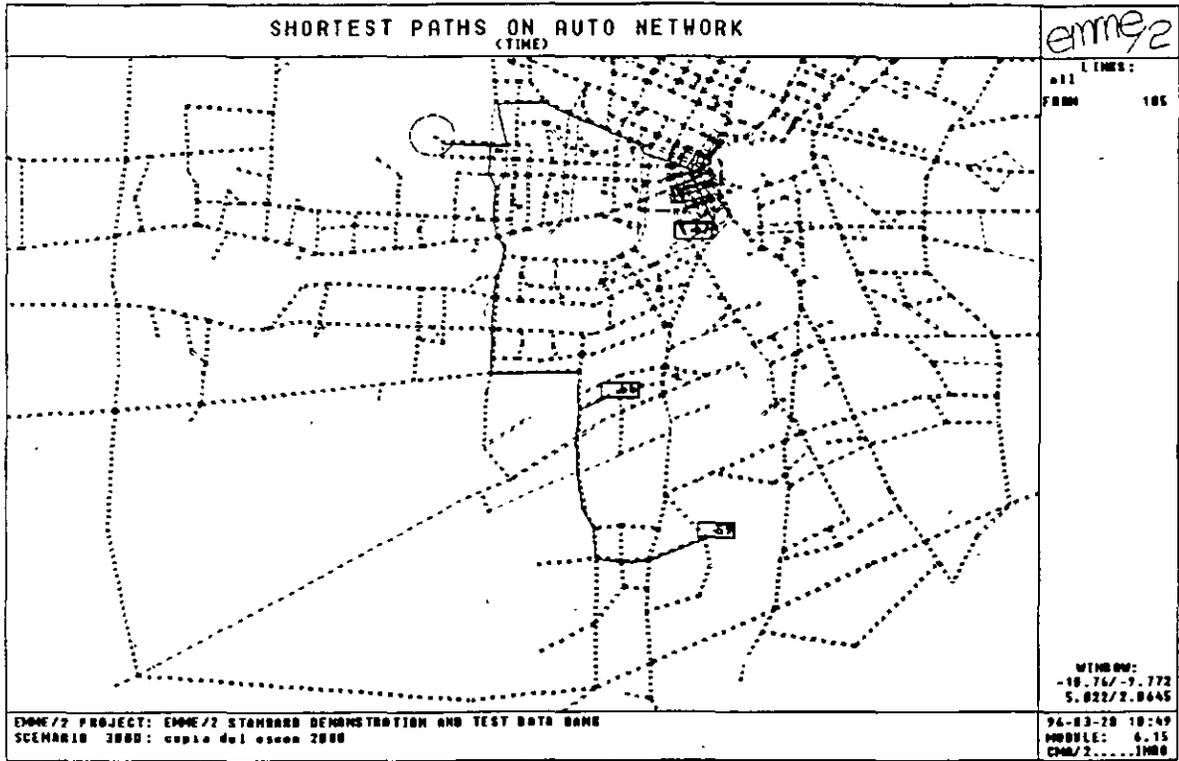
- ◊ En la red de transporte público, se pueden desplegar los volúmenes para un conjunto seleccionado de rutas, así como los ascensos y descensos en las paradas.



- ◊ Una característica particular del EMME/2 es la comparación gráfica de resultados entre escenarios. Se pueden comparar volúmenes, tiempos, velocidades, capacidades, frecuencias, ascensos y descensos.



- ◇ También existe un módulo para calcular trayectorias mínimas entre nodos.



## Macros

◇ Un archivo macro de diálogo ...

contiene las respuestas a los diálogos de EMME/2  
puede crearse al contestar el diálogo por primera vez  
puede crearse o editarse usando un editor de texto  
puede llamarse cuando sea necesario

◇ El comando para guardar macros ~>nombre.de.macro

hace que todas las respuestas subsecuentes se guarden en un archivo de diálogo  
es efectivo hasta que se ejecute otro comando ~>  
~> (sin un nombre de macro) termina cualquier comando activo para guardar macros

◇ El comando para llamar macros ~<nombre.de.macro

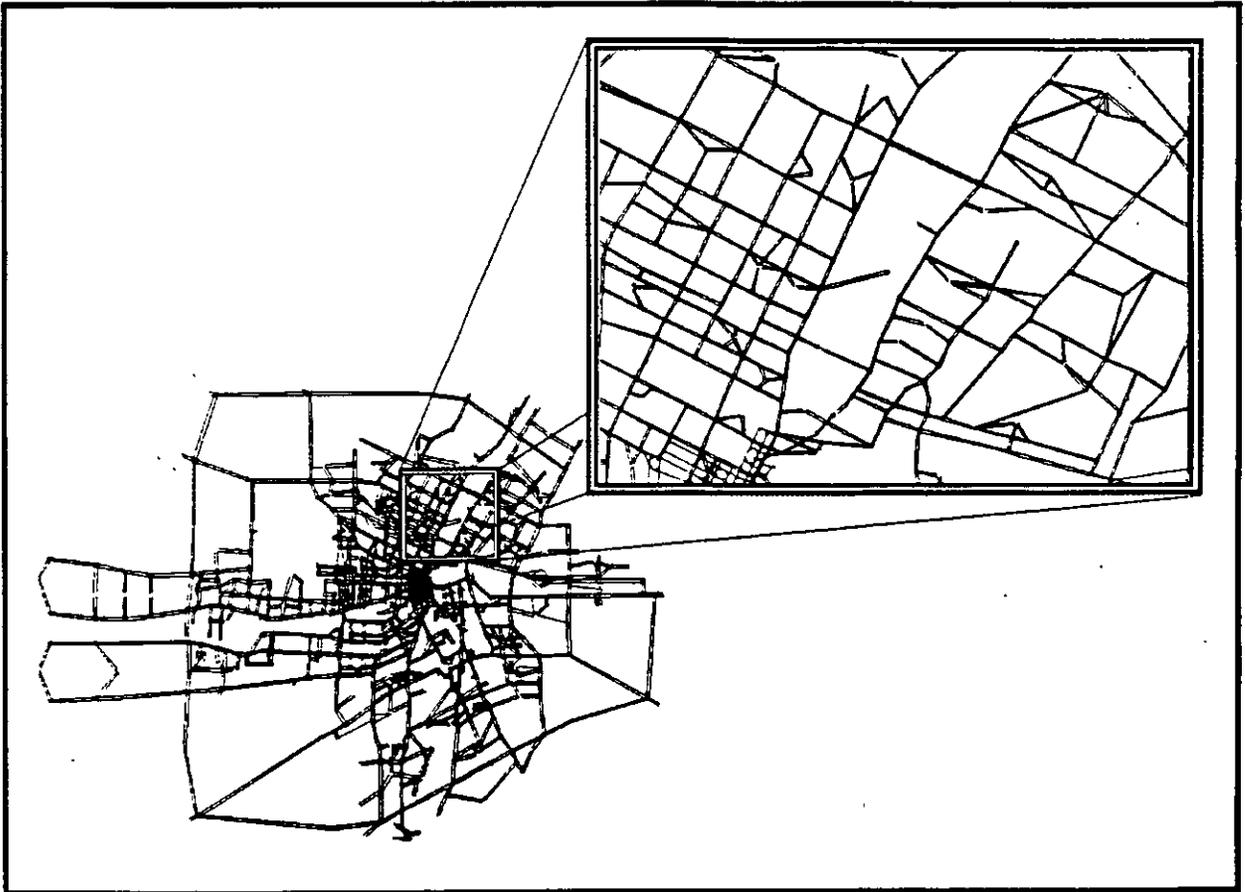
hace que las respuestas subsecuentes se tomen del macro hasta que:

- a) se llegue al final del macro, o
- b) las respuestas del macro ocasionen un error en EMME/2

hace que las respuestas sean desplegadas en la terminal, precedidas por los caracteres ~<

## Ejemplo de Aplicación

- ◇ Cúal es el efecto de la construcción de un puente en la ciudad de Winnipeg que entrará en operación en 2 años?



## Crear Banco de Datos

◇ Crear un banco de datos con las siguientes dimensiones:

- 10 network scenarios
- 165 zones or centroids
- 1200 nodes incl. centroids
- 3000 directional links
- 1000 turn table entries
- 30 transit vehicle types
- 70 transit lines or routes
- 100 transit line segments
- 10 matrices of type mf
- 10 matrices of type mo
- 20 matrices of type md
- 20 matrices of type ms
- 50 functions per function class
- 500 operators per function class
- 1000 log book entries
- 200 demarcation entries per set
- 30825 words for extra attributes
  - + node labels (yes)
  - + user data on transit segments (yes)

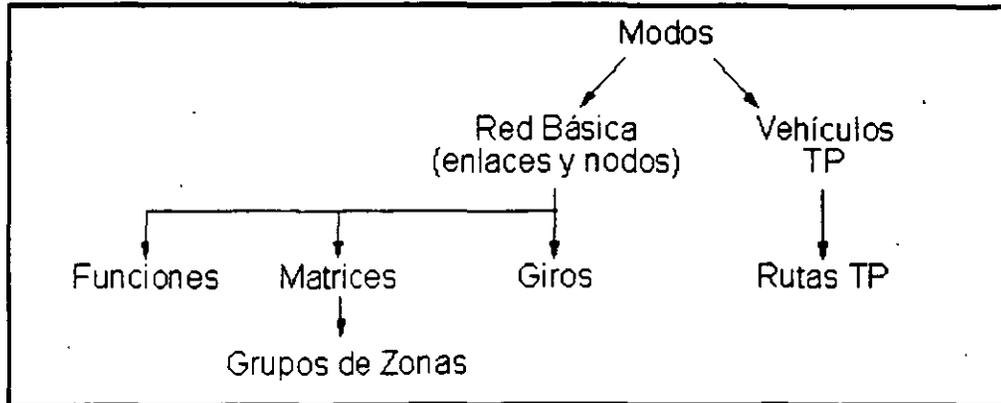
◇ Comando para crear un banco de datos:

.. emme2 newbank \_\_\_\_\_

---

## Entrada de Datos

- ◇ Hay que observar la jerarquía de los datos:



- ◇ Se puede entrar con los datos a través de archivos texto con formatos específicos (entrada por lotes) o de forma interactiva. Usualmente la entrada de los datos de la red, las matrices y las funciones se hace utilizando entrada por lotes. La entrada de los modos, vehículos de transporte público, itinerarios de las rutas y los giros se hace interactivamente.
- ◇ La entrada por lotes permite introducir datos de otras fuentes, como por ejemplo de algún SIG.

## Estructura de Archivos de Entrada de Datos

### ◇ MODOS DE TRANSPORTE

t modes unit										
mode description				mode	operating costs				energy consump	speed
				type	(\$/hr)	(\$/mi)	(\$/hr)	(\$/mi)	(mi/hr)	
a	c	car	1	1	0.00	0.00	0.00	0.00		
a	b	bus	2	25						
a	p	pedestrian	3	54	0.00	0.00	0.00	0.00	3.00	
a	a	tr_access	3	33	0.00	0.00	0.00	0.00	3.00	

### ◇ RED - NODOS Y ENLACES

t nodes unit									
	cent	node	coordinates		data 1	data 2	data 3	node	
		number	x	y				label	
a	*	1	172	166	0	0	0	CENT	
a	*	2	-088	068	0	0	0	MERC	
a	*	3	01	-.5	0	0	0	AERO	
a		4	-.071	-.24	0	0	0		
a		5	-.364	-.727	0	0	0		

t links unit										
	from	to	length	modes	link	no. of	v/d	data 1	data 2	data 3
	node	node	(mi)		type	lanes	fct			
a	1	1042	.15	a	9	1	11	0	0	0
a	1	1046	.15	ca	9	1	11	0	0	0
a	1	1060	.19	ca	9	1	11	0	0	0
a	2	985	.14	ca	9	1	11	0	0	0
a	2	1000	.14	ca	9	1	11	0	0	0

### ◇ VEHÍCULOS DE TRANSPORTE PÚBLICO

t vehicles									
vehicle	mode	fleet	capacity	operating costs		energy consump		auto	
no.	description	size	(s/t)	(\$/hr)	(\$/mi)	(\$/hr)	(\$/mi)	equiv	
a 1	autobus	b 999	51/60	0.00	0.00	0.00	0.00	2.50	
a 2	onion	b 999	31/37	0.00	0.00	0.00	0.00	2.00	

## ◇ MATRICES

```
t matrices int
a matrix= m001 wod76d 0 1976 observed auto demand (vehicles)
2 59.4
3 1:4 2:5 3:6 4:6 5:5
3 6:5 7:18 24:13 26:6 30:6
3 42:5 47:5 55:6 58:6 59:5
3 60:6 67:5 72:5 81:5 84:12
3 85:6 89:6 98:26 99:6 102:5
3 103:32 104:2 105:5 106:5 111:6
3 112:13 114:13 139:5 146:6 147:6
4 4:6 6:5 24:5 30:10 52:6
4 80:6 85:6 95:6 99:6 100:6
4 103:6 105:6 114:13 146:6 147:12
```

## ◇ FUNCIONES

```
t functions int
a fd1 = length*(4.0000+(0.0067040*(volau+volad)/ares)^3.6596)
a fd2 = length*(2.6087+(0.0030490*(volau+volad)/ares)^3.5038)
a fd3 = length*(2.6087+(0.0019260*(volau+volad)/ares)^4.4683)
a fd4 = length*(2.4000+(0.0012580*(volau+volad)/ares)^5.1644)
a f1 = timau
a f2 = timau+2.15*length
a f3 = timau + length*2.1*sqrt(timau/length)
a f4 = timau
a fpl = .5
```

## ◇ GRUPOS DE ZONAS

```
t groups int
ga0: 1 2 3 4 5 6 7 8 9 147
gal: 47 48 49 50 51 52 80 81 82 83 84
ga1: 85 96 97 98 99 100 101
ga2: 86 87 88 89 90 91 92 93 94 95 103
ga2: 104 105 125 128 129 130 131
ga3: 10 102 106 107 108 109 110 111 112 113 114
```

## Entrada Interactiva de Modos

### 2.01 INPUT / MODIFY / OUTPUT MODES

Scenario 1000 currently comprises:  
0 modes (max. 30)

Select: 1= input modes using batch entry  
2= add a mode interactively  
3= delete a mode interactively  
4= modify a mode interactively  
5= list modes  
6= punch modes  
7= initialize mode table  
8= end  
2

Select: Mode type  
1= auto  
2= transit  
3= auxiliary transit  
4= auxiliary auto  
1

Enter: Mode (1 char.)=c

Enter: Mode description (10 char.)=car

Enter: Plot code=1

Enter: Cost/time coefficient (\$ /hr

Enter: Cost/distance coefficient (\$ /km)=0

Enter: Energy/time coefficient (mJ/hr)=0

Enter: Energy/distance coefficient (mJ/km)=0

Select: Mode type  
1= auto  
2= transit  
3= auxiliary transit  
4= auxiliary auto  
2

Enter: Mode (1 char.)=b

Enter: Mode description (10 char.)=bus

Enter: Plot code=25

Select: Mode type  
1= auto  
2= transit

3= auxiliary transit  
4= auxiliary auto  
3

Enter: Mode (1 char.)=a  
Enter: Mode description (10 char.)=tr\_access  
Enter: Plot code=33  
Enter: Cost/time coefficient (\$ /hr)=0  
Enter: Cost/distance coefficient (\$ /km)=0  
Enter: Energy/time coefficient (mj/hr)=0  
Enter: Energy/distance coefficient (mj/km)=0  
Enter: Speed (km/hr) or time factor=3

Select: Mode type  
1= auto  
2= transit  
3= auxiliary transit  
4= auxiliary auto  
3

Enter: Mode (1 char.)=p  
Enter: Mode description (10 char.)=pedestrian  
Enter: Plot code=54  
Enter: Cost/time coefficient (\$ /hr)=0  
Enter: Cost/distance coefficient (\$ /km)=0  
Enter: Energy/time coefficient (mj/hr)=0  
Enter: Energy/distance coefficient (mj/km)=0  
Enter: Speed (km/hr) or time factor=3

## Entrada por Archivos en Lote

### 2.11 INPUT / MODIFY BASE NETWORK USING BATCH ENTRY

Select: List device

1= Terminal

2= Printer

1

EMME/2 Module: 2.11 Date: 96-04-00 18:26 User: E428/CMA/2.....aal  
Project: EMME/2 STANDARD AND DEMONSTRATION DATA BANK  
Scenario 1000: escenario base

---

```
1: t nodes init /@(&#) d211.in 1.2@(&#)
Node table initialized.
1058 node cards read ( 1057a/ 0d/ 0n), error count= 0
1060: t links init
Link table initialized.
2976 link cards read ( 2975a/ 0d/ 0n), error count= 0
-->
```

## Entrada de Datos Utilizando Macro

Licence E428: CMA/2.....aal CAL Y MAYOR Y ASOCIADOS

EMME/2 Project: EMME/2 DEMONSTRATION BANK

Scen 2000(--- AA): UNPROTECTED COPY OF SCENARIO 1000

### 1. UTILITIES

1.11 Direct data bank manipulations

1.21 Log book consultation

1.22 Scenario manipulations

1.3 Modify titles and units

1.41 input / modify / display demarcation lines

2. NETWORK EDITOR

3. MATRIX EDITOR

4. FUNCTION EDITOR

5. ASSIGNMENT PROCEDURES

6. RESULTS

9. END OF SESSION

Enter: Next module==<entdata

◇ Macro:

```
2.02 /##### read in vehicle table
1
~?b=1
2 / report to print file
q
2.14 /##### output base network
3 / list base network summary
~?b=1
2 / report to print file
q
2.21 /##### read in transit lines
~?b=1
2 / report to print file
2.24 /##### output transit lines
1 / transit line summary
all / all transit lines
~?b=1
2 / report to print file
q
2.31 /##### read in intersection table
2
~?b=1
2 / report to print file
q
3 01 /##### read in zone groups
1
~?b=1
2 / report to print file
q
3.11 /##### read in matrices
~?b=1
2 / report to print file
4.11 /##### read in functions
~?b=1
2 / report to print file
```

## Crear C opias del Escenario Base

- ◇ Copiar escenario base 1,000 a los escenarios 3,000 y 4,000.

### 1.22 SCENARIO MANIPULATIONS

Data bank currently comprises:

- 2 scenarios (max. 3)

Select: 1= create a scenario

2= delete a scenario

3= copy a scenario

4= list scenarios

5= change protection flags of current scenario

6= end

3

Enter: Scenario to be copied=1000

Scenario 1000: WINNIPEG 1981 ROAD AND TRANSIT NETWORK

Enter: Scenario to hold the copy=3000

Enter: Title of scenario 3000

=escenario 1998

Is Scenario 3000 to become the new current scenario?y

---

Select: 1= create a scenario

2= delete a scenario

3= copy a scenario

4= list scenarios

5= change protection flags of current scenario

6= end

3

Enter: Scenario to be copied=1000

Scenario 1000: WINNIPEG 1981 ROAD AND TRANSIT NETWORK

Enter: Scenario to hold the copy=4000

Enter: Title of scenario 4000

=escenario 1998 puente

Is Scenario 4000 to become the new current scenario?y

## Generación de Viajes

- ◇ Consideraremos un ejemplo sencillo en que cada grupo de zonas poseé un crecimiento constante, como expresado en la matriz mo1:
- ◇ Leer la matriz de crecimiento mo1.

### 3.11 INPUT MATRICES USING BATCH ENTRY

Select: List device

1= Terminal

2= Printer

1

- ◇ Calcular el vector md1=mo1'

### 3.21 MATRIX CALCULATIONS

Select: 1= matrix calculations

2= end

1

Save result?y

Result matrix

Enter: Matrix=md1

md01 not initialized.

Do you want to initialize it?y

Enter: Name (6 char)=credem

Enter: Description (max 40 char)=crecimiento demanda 96/98

Enter: Default value=

md01 header modified

md01 initialized

Enter: Algebraic expression

=mo1'

=

md01 = mo01'

Constraint matrix

Enter: Matrix=

Submatrix?n

Select: List device

1= Terminal

2= Printer

1

- ◇ Los vectores de totales de viaje para el año de 1998 serán los resultantes de multiplicar las matrices de usuarios de auto y de transporte público por el vector de crecimiento.

### 3.21 MATRIX CALCULATIONS

Select: 1= matrix calculations

2= end

1

Save result?y

Result matrix

Enter: Matrix=mo6

mo06 not initialized.

Do you want to initialize it?y

Enter: Name (6 char)=ori98

Enter: Description (max 40 char)=matriz origenes 98

Enter: Default value=

mo06 header modified

mo06 initialized

Enter: Algebraic expression

=mf1\*mo1

=

mo06 = mf01 \* mo01

Constraint matrix

Enter: Matrix=

Submatrix?n

Aggregation over destinations

Enter: Binary operator (+)=

Select: List device

1= Terminal

2= Printer

1

### 3.21 MATRIX CALCULATIONS

Select: 1= matrix calculations

2= end

1

Save result?y

Result matrix

Enter: Matrix=md6

md06 not initialized.

Do you want to initialize it?y

Enter: Name (6 char)=des98

Enter: Description (max 40 char)=matriz destinos 98

Enter: Default value=

md06 header modified

md06 initialized

Enter: Algebraic expression

=mf1\*md1

=

md06 = mf01 \* md01

Constraint matrix

Enter: Matrix=

Submatrix?n

Aggregation over origins

Enter: Binary operator (+)=

Select: List device

1= Terminal

2= Printer

1

## Distribución de Viajes

◇ Para calcular la distribución de viajes, utilizaremos el modelo de Fratar.

### 3.22 MATRIX BALANCING

Select: 1= matrix two-dimensional balancing

2= matrix three-dimensional balancing

3= change module parameters

4= end

1

Matrix two-dimensional balancing

Matrix to be balanced

Enter: Matrix=mfl

mf01: wod76d 1976 observed auto demand (vehicles) (96-03-27 12:50)

Totals on origins

Enter: Matrix( ms mo )= mo6

mo06: ori98 matriz origenes 98 (96-04-02 11:36)

Totals on destinations

Enter: Matrix( ms md )= md6

md06: des98 destinos 98 (96-04-02 11:39)

Submatrix?n

---

Total on origins = 58370.8

Total on destinations = 58454.7

Relative difference on totals = .0014

Do you want to continue?y

Constraint matrix

Enter: Matrix=mfl

mf01: wod76d 1976 observed auto demand (vehicles) (96-03-27 12:50)

Enter: Constraint interval ( 0, 0,exclude) =

Select: List device

1= Terminal

2= Printer

1

two-dimensional balancing

matrix to be balanced: mf01

constraint matrix mf01: wcd76d 1976 observed auto demand (vehicles)  
interval lower: 0  
upper: 0 exclude

maximum number of iterations for balancing = 10  
maximum relative error on totals for balancing = .0001

all origins all destinations

productions on origins: md06  
total of productions on origins = 58370.0

attractions on destinations: md06  
total of attractions on destinations = 58454.7

relative difference on totals = .00144

iteration	1	maximum current error on totals =	1
iteration	2	maximum current error on totals =	.0103
iteration	3	maximum current error on totals =	.0007
iteration	4	maximum current error on totals =	.0001

-->

End of two-dimensional balancing

Select: 1= save balanced matrix  
2= save balancing coefficients  
3= save balanced matrix and balancing coefficients  
4= no saving

1

Save balanced matrix

Enter: Matrix( mf )= mf6

mf06: aut98 autos 98

(96-04-02 11:48)

Change header information?n

Select: List device /

1= Terminal

2= Printer

1

## Comparación de Número de Viajes - Año Base vs. 1998

- ◇ Calcular el incremento porcentual de la matriz de 1998 y la base y observar la matriz resultante.

### 3.13 PLOT MATRICES

Select: 1= by origin-destination pairs

2= by origin centroids

3= by destination centroids

4= by origin and destination centroids

5= change module parameters

6= end

4

Enter: Matrix=mf10

mf10: convol comparacion volumen base/1998 (96-04-09 10:40)

Submatrix?n

Constraint matrix

Enter: Matrix=

Select: Measure

1= total

2= mean

3= maximum

4= minimum

2

Plot dispersion about the mean?n

Plot matrix?y

Display numeric values?n

Display centroid numbers?y

Enter: Scale factor ( 0.085)=

Plot base network?n

Enter: Selected link types or attributes (from, to)  
=all

Window?y

Select: 1= using coordinates  
2= using nodes  
3= centered on a node  
4= use predefined window  
5= use same window as before  
5

### 3.21 MATRIX CALCULATIONS

Select: 1= matrix calculations  
2= end  
1

Save result?y  
Result matrix  
Enter: Matrix=mf10  
mf10 not initialized.  
Do you want to initialize it?y  
Enter: Name (6 char)=comvol  
Enter: Description (max 40 char)=comparacion volumen bvase/1998  
Enter: Default value=  
mf10 header modified  
mf10 initialized

Enter: Algebraic expression  
=((mf6/mf1)-1)\*100  
=

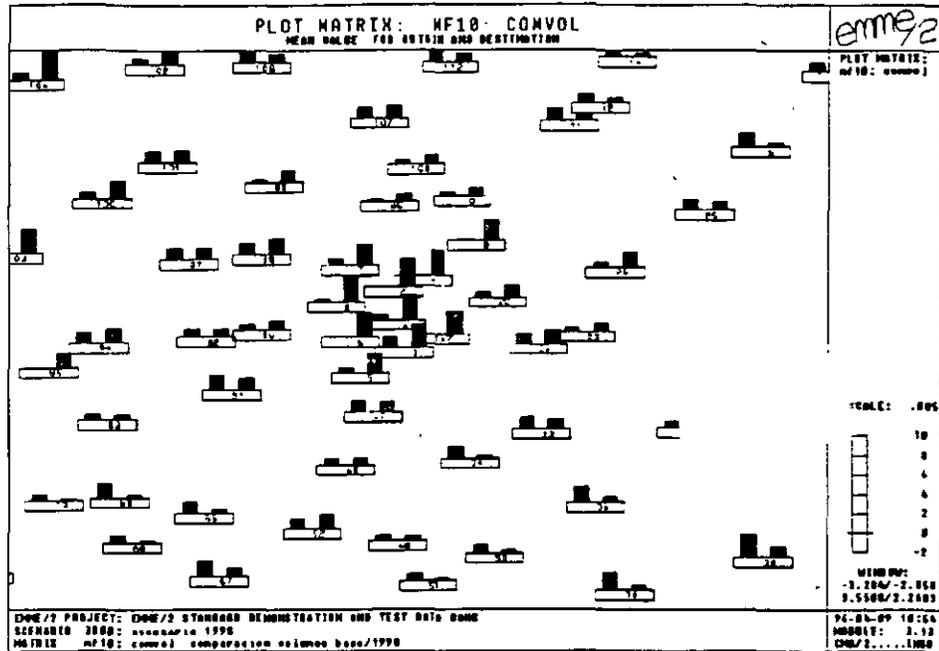
$mf10 = ((mf06 / mf01) - 1) * 100$

Constraint matrix  
Enter: Matrix=mf1  
mf01: wod76d 1976 observed auto demand (vehicles)  
Enter: Constraint interval ( 0, 0,exclude) =

Submatrix?n

Select: List device  
1= Terminal  
2= Printer  
1

$$\diamond \text{mf10} = ((\text{mf06} / \text{mf01}) - 1) * 100$$



## Asignación de Autos para 1998 - Escenario Sin Puente

### 5.11 PREPARE SCENARIO 3000 FOR ASSIGNMENT

Select: Type of assignment \_\_\_\_\_

- 1= fixed demand auto assignment
  - 2= fixed demand transit assignment
  - 3= variable demand auto assignment
  - 4= end
- 1

Select: 1= single class assignment on auto mode

- 2= single class assignment with generalized cost
  - 3= multiclass assignment
  - 4= multiclass assignment with generalized cost
- 1

Select: Source for additional auto volumes

- 1= no additional volumes
  - 2= auto equivalent of transit vehicles
  - 3= user data on links and turns
  - 4= transit vehicles and user data
  - 5= assign additional demand (additional options assignment)
- 1

Demand in persons

Enter: Matrix=mf6

mf06: aut98 autos 98

(96-04-02 11:49)

Vehicle occupancy in persons/veh (optional)

Enter: Matrix=

Additional demand in auto equivalents (optional)

Enter: Matrix=

Matrix to hold travel times (optional)

Enter: Matrix( mf )= mf7

mf07 not initialized.

Do you want to initialize it?y

Enter: Name (6 char)=tau98

Enter: Description (max 40 char)=tiempo auto 98

Enter: Default value=

mf07 header modified

mf07 initialized

Enter: Max. number of iterations ( 15)=

Enter: Stopping criterion for relative gap ( 0.50%)=

Enter: Stopping criterion for normalized gap (avg time difference)  
( 0.50 min)=

## 5 21 AUTO ASSIGNMENT

Select: List device

1= Terminal

2= Printer

## **Volúmenes Resultantes de Asignación de Autos para 1998**

### 6.12 PLOT AUTO TIMES AND VOLUMES

Select: Information to be displayed

1= auto volumes

2= additional volumes on auto network

3= total volumes on auto network

4= auto times

5= auto speed

6= change module parameters

7= end

1

Select: Type of display

- 1= plot bars
  - 2= display numeric values
  - 3= bars and numeric values
- 1

Display node numbers?n

Plot turning movements on intersection nodes?n

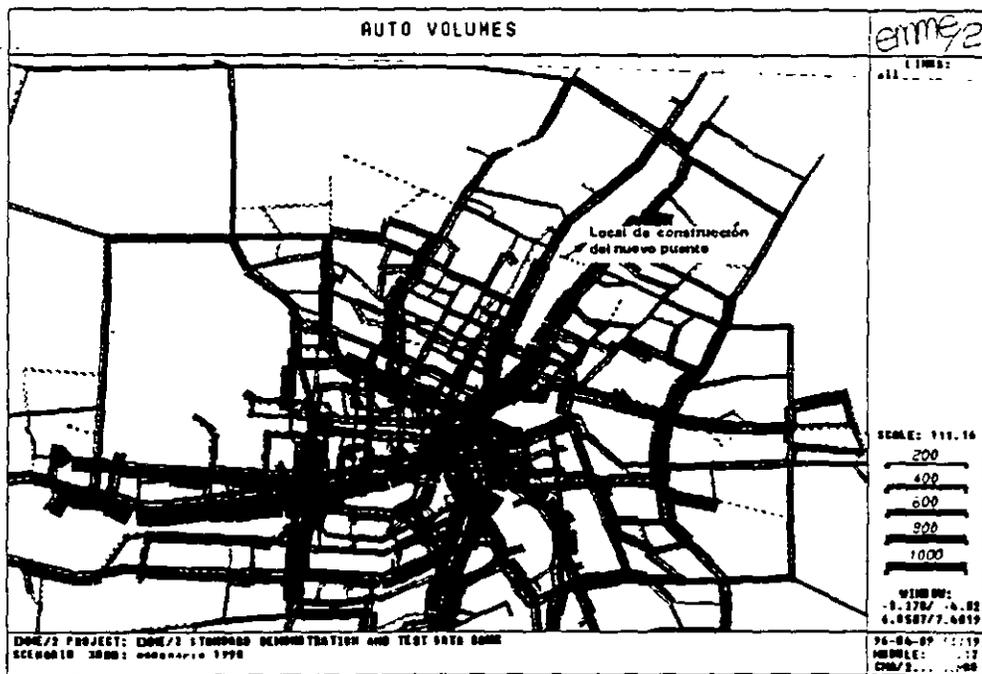
Plot auto network?y

Enter: Selected link types or attributes (from, to)  
=all

Window?y

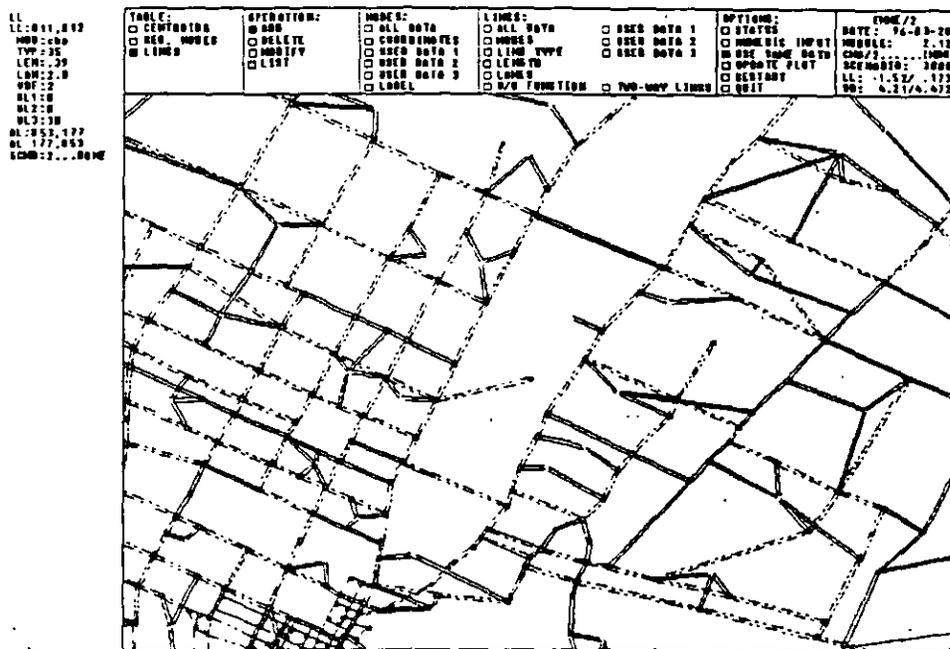
- Select: 1= using coordinates  
2= using nodes  
3= centered on a node  
4= use predefined window  
5= use same window as before
- 5

Enter: Scale factor in automobiles/coord.unit(111.16)=



## Adicionar Puento a la Red Vial

- ◇ En el escenario 4000.



## Preparar Select Link Analysis - Crear Atributo Extra @cul1

- ◇ El EMME/2 admite 3 atributos de usuario: ul1, ul2 y ul3. Solamente estos atributos pueden ser modificados utilizando el editor de redes. En el ejemplo, estos 3 atributos tienen valores atribuidos.
- ◇ Para realizar el Select Link Analysis, es necesario utilizar un atributo para marcar todos los enlaces con 0, excepto el puente, que se debe marcar con 1.
- ◇ Para no perder la información anterior, se creará un atributo extra y se copiará el contenido de ul1.
- ◇ Se atribuirá valor zero al atributo ul1 de todos los enlaces y, con el editor de redes, se modificará el valor de ul1 a 1 para el enlace que representa el puente.

## 2.42 EXTRA ATTRIBUTE MANIPULATIONS

Scenario 3000 currently contains:

Extra attributes: 0 ( 0L/ 0L/ 0T/ 0S/ 0P)

Total number of words used: 0 (max. 30825)

Select: 1= initialize extra attribute table

2= create attribute

3= delete attribute

4= modify attribute description / default value

5= list extra attribute directory

6= end

2

Select: Attribute type

1= node (I)

2= link (L)

3= transit line (T)

4= transit segment (S)

5= turn (P)

2

Enter: Attribute name (@xxxxx)=@cul1

Enter: Description (max. 40 chars)=copia ul1

Enter: Default value=

## Preparar Select Link Analysis - Copiar Atributo ul1 en @cul1

---

## 2.41 NETWORK CALCULATIONS

Select: 1= network calculations and mode changes

2= copy attribute from another scenario

3= input attribute using batch entry

4= prepare temporary transit link attribute

5= change module parameters

6= end

1

Save result?y

Enter: Attribute to save result in=@cul1

L: @cul1 copia ul1 96-04-09 11:23

Change description of attribute '@cul1 '?n

Available attributes:

I: i ui1 ui2 ui3 xi yi

J: j uj1 uj2 uj3 xj yj

K: k uk1 uk2 uk3 xk yk

L: lan len timau type ul1 ul2 ul3 vdf volad volau @cul1  
R: lanr lenr timaur typer ul1r ul2r ul3r vdfv voladr volaur @cul1r  
M: lanm lenm timaum typem ul1m ul2m ul3m vdfm voladm volaum @cul1m  
T: hdwy lay1 lay2 nsegt nseg1 speed ut1 ut2 ut3 veh  
V vauteq vcaps vcapt vcohr vcolu venhr venlu vfleet  
S: dwfac dwt noali noboa ttf tft us1 us2 us3  
N: dwfacn dwtn noalin noboan tftn tftn us1n us2n us3n  
P: pvolau pvolad ptimau tpf up1 up2 up3  
-: index1 index2

Enter: Expression to calculate @cul1

=ul1  
=

@cul1 = ul1

Enter: Selected link types or attributes (from, to)

=all

Select: Type of output to be generated

- 1= full report
  - 2= summary report
  - 3= punch
  - 4= none
  - 5= save summary in scalars
- 2

Select: List device

- 1= Terminal
  - 2= Printer
- 1

## Preparar Select Link Analysis - Hacer ul1=0

### 2.41 NETWORK CALCULATIONS

Select: 1= network calculations and mode changes

- 2= copy attribute from another scenario
  - 3= input attribute using batch entry
  - 4= prepare temporary transit link attribute
  - 5= change module parameters
  - 6= end
- 1

Save result?y

Enter: Attribute to save result in=ul1

Available attributes:

I: i ui1 ui2 ui3 xi yi

J: j uj1 uj2 uj3 xj yj

K: k uk1 uk2 uk3 xk yk

L: lan len timau type ul1 ul2 ul3 vdf volad volau @cull

R: lanr lenr timaur typer ul1r ul2r ul3r vdfv voladr volaur @cul1r

M: lanm lenm timaum typem ul1m ul2m ul3m vdfm voladm volaum @cul1m

T: hdwy lay1 lay2 nsegt nsegl speed ut1 ut2 ut3 veh

V: vauteq vcaps vcapt vcohr vcolu venhr venlu vfleet

S: dwfac dwt noali noboa ttf ttft us1 us2 us3

N: dwfacn dwtm noalin noboan ttfm tn us1n us2n us3n

P: pvolau pvolad ptimau tpf up1 up2 up3

·: index1 index2

Enter: Expression to calculate ul1

=0

=

ul1 = .0

Enter: Selected link types or attributes (from, to)

=all

---

Select: Type of output to be generated

1= full report

2= summary report

3= punch

4= none

5= save summary in scalars

2

Select: List device

1= Terminal

2= Printer

1

## Preparar Select Link Analysis - Marcar ul1=1 para Puento

LL: 859,177  
 NL: 859,177  
 ML: 177,853

TABLE:	OPERATION:	MODE:	LINKS:	OPTIMUM:	ENGINE
<input type="checkbox"/> CENTROID	<input type="checkbox"/> ADD	<input type="checkbox"/> ALL DATA	<input type="checkbox"/> ALL DATA	<input type="checkbox"/> STATUS	DATE: 96-04-09
<input type="checkbox"/> DEL. NODES	<input type="checkbox"/> DELETE	<input type="checkbox"/> COORDINATES	<input type="checkbox"/> MOVE	<input type="checkbox"/> ANIMIC INPUT	MODEL: 2.12
<input checked="" type="checkbox"/> LINKS	<input type="checkbox"/> MODIFY	<input type="checkbox"/> USER DATA 1	<input type="checkbox"/> LINK TYPE	<input type="checkbox"/> USE SOME DATA	CHG/2: 1000
	<input type="checkbox"/> LIST	<input type="checkbox"/> USER DATA 2	<input type="checkbox"/> LENGTH	<input type="checkbox"/> UPDATE PLOT	SCENARIO: 4000
		<input type="checkbox"/> USER DATA 3	<input type="checkbox"/> LEVEL	<input type="checkbox"/> RESTART	LL: 2.24/-1.54
		<input type="checkbox"/> LEVEL	<input type="checkbox"/> W/D FUNCTION	<input type="checkbox"/> QUIT	OB: 4.574/0.566

## Realizar Asignación de Autos para 1998 - Escenario con el Puento

### 5.11 PREPARE SCENARIO 4000 FOR ASSIGNMENT

Select: Type of assignment

- 1= fixed demand auto assignment
- 2= fixed demand transit assignment
- 3= variable demand auto assignment
- 4= end

1

Select: 1= single class assignment on auto mode

- 2= single class assignment with generalized cost
- 3= multiclass assignment
- 4= multiclass assignment with generalized cost

1

Select: Source for additional auto volumes

- 1= no additional volumes
- 2= auto equivalent of transit vehicles
- 3= user data on links and turns
- 4= transit vehicles and user data
- 5= assign additional demand (additional options assignment)

5

Demand in persons

Enter: Matrix=mf6

mf06: aut98 autos 98

(96-04-02 11:49)

Vehicle occupancy in persons/veh (optional)

Enter: Matrix=

Additional demand in auto equivalents (optional)

Enter: Matrix=

Matrix to hold travel times (optional)

Enter: Matrix( mf )= mf8

mf08 not initialized.

Do you want to initialize it?

Enter: Name (6 char)=tau98p

Enter: Description (max 40 char)=tiempo auto 98 - con puente

Enter: Default value=

mf08 header modified

mf08 initialized

Select: Source for additional link attribute

1= user data UL1

2= user data UL2

3= user data UL3

4= link length

5= none (no additional path attributes calculated)

6= extra link attribute

1

Enter: Operator to compute additional path attributes= max.

Enter: Lower, upper threshold for active paths=.9,1.1

Matrix to hold additional O-D attributes (optional)

Enter: Matrix( mf )= mf09

mf09 not initialized.

Do you want to initialize it?y

Enter: Name (6 char)=slapue

Enter: Description (max 40 char)=select link analysys puente

Initialize data?y

Enter: Default value=

mf09 header modified

mf09 initialized

Select: Type of additional O-D attribute

- 1= additional path attributes
  - 2= active additional path attributes
  - 3= active path attributes weighted by additional demand
  - 4= active additional demand
- 4

Enter: Max. number of iterations ( 15)=

Enter: Stopping criterion for relative gap ( 0.50%)=

Enter: Stopping criterion for normalized gap (avg time difference)  
( 0.50 min)=

## 5.21 AUTO ASSIGNMENT

Select: List device

- 1= Terminal
- 2= Printer

## **Análisis de Resultados - ¿Quienes Utilizan el puente?**

### 6.12 PLOT AUTO TIMES AND VOLUMES

Select: Information to be displayed

- 1= auto volumes
  - 2= additional volumes on auto network
  - 3= total volumes on auto network
  - 4= auto times
  - 5= auto speed
  - 6= change module parameters
  - 7= end
- 1

Select: Type of display

- 1= plot bars
  - 2= display numeric values
  - 3= bars and numeric values
- 1

Display node numbers?n

Plot turning movements on intersection nodes?n

Plot auto network?y

Enter: Selected link types or attributes (from, to)  
=all

Window?y

Select: 1= using coordinates

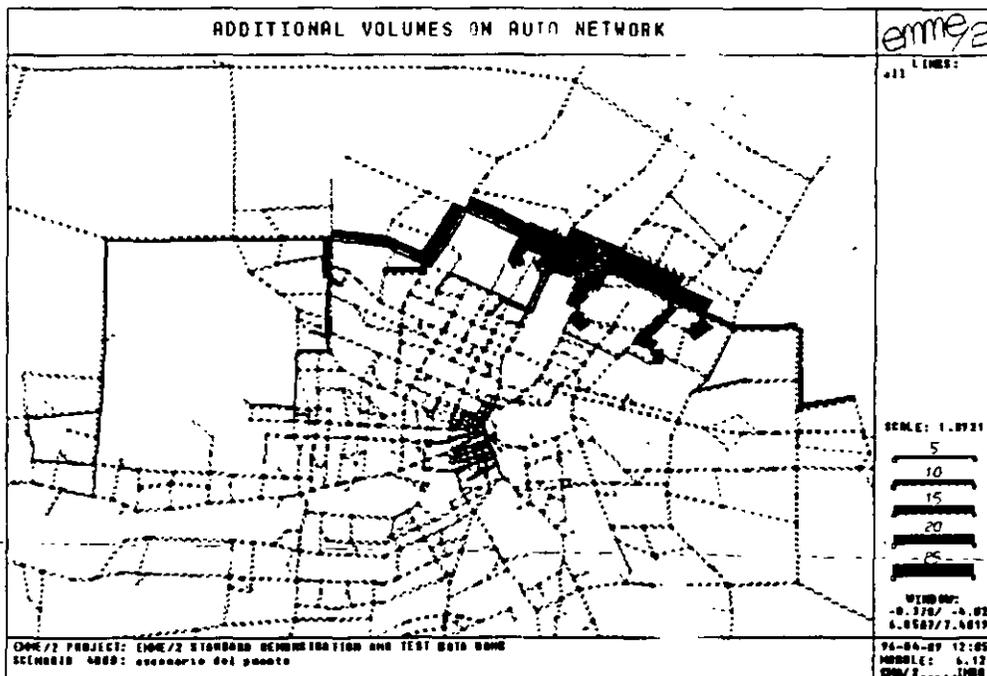
2= using nodes

3= centered on a node

4= use predefined window

5= use same window as before

5



## Análisis de Resultados - Comparación de Volúmenes

### 6.13 COMPARE AUTO TIMES AND VOLUMES

Select: Information to be compared

1= auto volumes

2= additional volumes on auto network

3= total volumes on auto network

4= auto times

= auto speeds

= change module parameters

= end

1

Enter: Scenario to be compared with scenario 4000=3000

Scenario 4000: escenario del puente

Scenario 3000: escenario 1998

Select: Type of display

1= plot bars

2= display numeric values

3= bars and numeric values

1

Select: Type of comparison

1= actual difference

2= relative difference in %

1

Display node numbers?n

Plot auto network?y

Enter: Selected link types or attributes (from, to)

=all

Window?y

Select: 1= using coordinates

2= using nodes

3= centered on a node

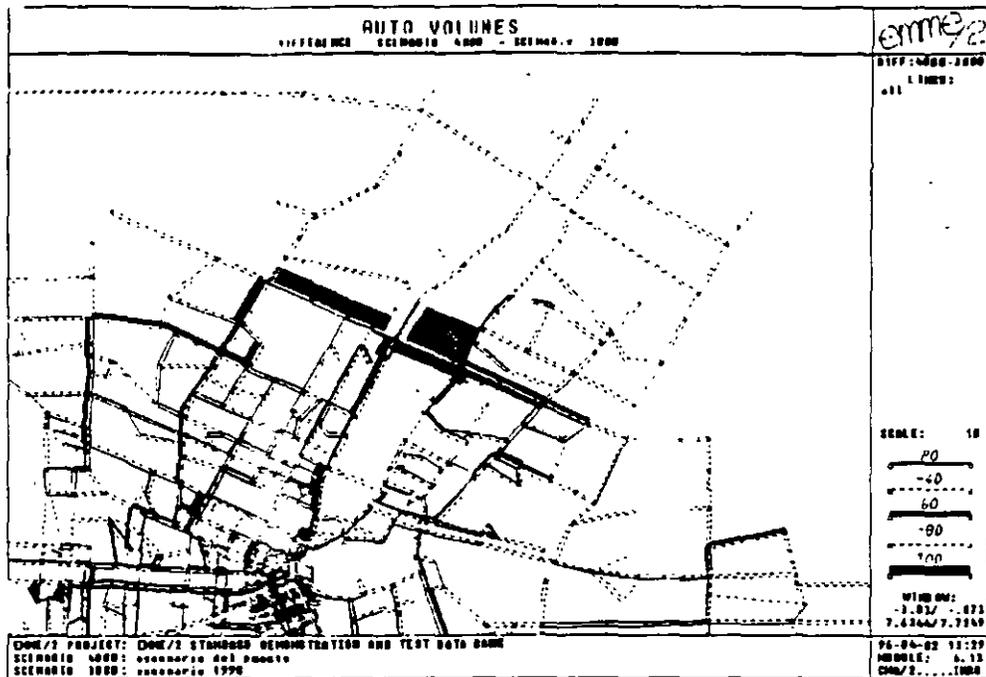
4= use predefined window

5= use same window as before

5

Enter: Scale factor in automobiles/coord.unit=

Enter: Lower,upper threshold(-\*\*\*\*\*,\*\*\*\*\*)=



## Análisis de Resultados - Comparación de Histogramas

### 3.16 PLOT HISTOGRAM OF MATRICES

Select: 1= plot histogram of matrix

2= compare histograms of two matrices

3= difference between two matrix histograms

4= list histogram of matrix

5= change module parameters

6= end

2

Compare histograms of two matrices

Data matrix 1

Enter: Matrix=mf7

mf07: tau98 tiempo auto 98 (96-04-02 13:25)

Weight matrix 1 ?y

Enter: Matrix=mf6

mf06: aut98 autos 98 (96-04-02 11:49)

Submatrix ?n

Data matrix 2

Enter: Matrix=mf8

mf08: tau98p tiempo auto 98 - con puente (96-04-02 13:27)

Weight matrix 2 ?y

Enter: Matrix=mf6

mf06: aut98 autos 98

(96-04-02 11:49)

Submatrix?n

Constraint matrix

Enter: Matrix=mf6

mf06: aut98 autos 98

(96-04-02 11:49)

Enter: Constraint interval ( 0, 0,exclude) =

Select: 1= density

2= cumulative

1

Select: 1= normalized values

2= actual values

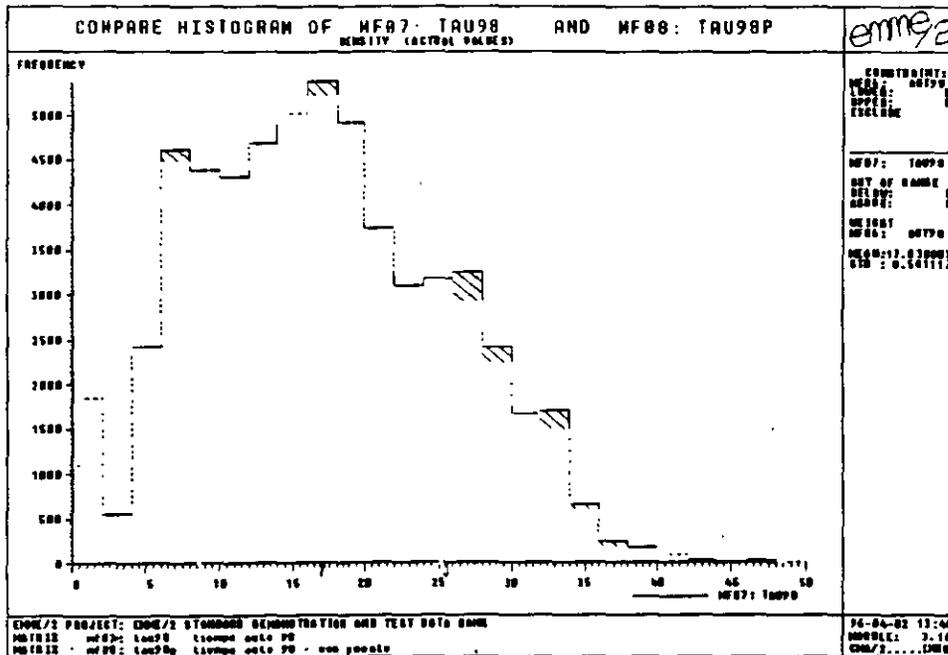
2

Enter: Value range ( 0.00, 1000.00) = 0,50

Enter: Interval ( 50.000) = 2

Frequency range on vertical axis is: 0,58412.74

Automatic range on vertical axis? y



## Análisis de Resultados - Tiempo Ahorrado

- ◇ ¿Cuál es el tiempo total ahorrado por los usuarios de la red debido a la construcción del puente ?

### 3.21 MATRIX CALCULATIONS

Select: 1= matrix calculations

2= end

1

Save result?y

Result matrix

Enter: Matrix=ms1

ms01 not initialized.

Do you want to initialize it?y

Enter: Name (6 char)=tahor

Enter: Description (max 40 char)=tiempo ahorrado puente

Enter: Default value=

ms01 header modified

ms01 initialized

Enter: Algebraic expression

=mf6\*(mf7-mf8)

=

ms01 = mf06 \* (mf07 - mf08)

---

Constraint matrix

Enter: Matrix=

Submatrix?n

Aggregation over origins

Enter: Binary operator (+)=

Aggregation over destinations

Enter: Binary operator (+)=

Select: List device

1= Terminal

2= Printer

1

## Análisis de Resultados - Tiempo Ahorrado

EMME/2 Module: 3.21 Date: 96-04-02 13:58 User: E428/CMA/2....INDO  
Project: EMME/2 STANDARD DEMONSTRATION AND TEST DATA BANK

---

### MATRIX CALCULATIONS

Expression:

ms81 = mf86 \* (mf87 - mf88)

Result matrix: ms81: tabor tiempo ahorrado puente (96-04-02 13:49:01)

Data matrices: mf86: aut98 autos 98 (96-04-02 11:49:32)  
mf87: tau98 tiempo auto 98 (96-04-02 13:25:43)  
mf88: tau98p tiempo auto 98 - con puente (96-04-02 13:27:55)

Constraint matrix: none

Submatrix: all origins all destinations

Aggregation over origins: +

Aggregation over destinations: +

Number of expression evaluations: 23716  
Minimum expression value: -69.843826  
Maximum expression value: 441.069152  
Average expression value: .367472  
Sum of expression values: 8714.955878

Result: 8714.956

->

## Comentarios Finales

- ◇ Formular soluciones para un problema de transporte, según Florian et al. (1988), es simultáneamente:
- ◇ identificar el nivel apropiado de análisis para la situación en cuestión
- ◇ adoptar una perspectiva que determine que es endógeno y que es exógeno a esta situación.
- ◇ Para resolver un problema de planeación de transporte es necesario, una vez formulada su solución, escoger los modelos específicos adecuados y los algoritmos computacionales que permiten obtener una respuesta aceptable para el problema considerado.
- ◇ El EMME/2 es una herramienta versátil para la implementación de los modelos determinados como adecuados por el analista de transporte.
- ◇ La obtención de resultados coherentes con la realidad y que permitan el análisis de situaciones hipotéticas depende de la adecuación de los modelos utilizados, así como de

los datos usados en su construcción. Los mejores algoritmos pueden producir malos resultados si no son adecuadamente alimentados y utilizados en el contexto adecuado.

- ◇ Es muy importante analizar con cuidado los resultados arrojados por el modelo, pues frecuentemente indican la existencia de errores e inconsistencias en los datos de entrada, en los cálculos realizados, necesidad de mejorar la calibración o, inclusive, la inadecuación de los modelo utilizados.



**FACULTAD DE INGENIERIA U.N.A.M.  
DIVISION DE EDUCACION CONTINUA**

**DIPLOMADO INTERNACIONAL DEL TRANSPORTE**

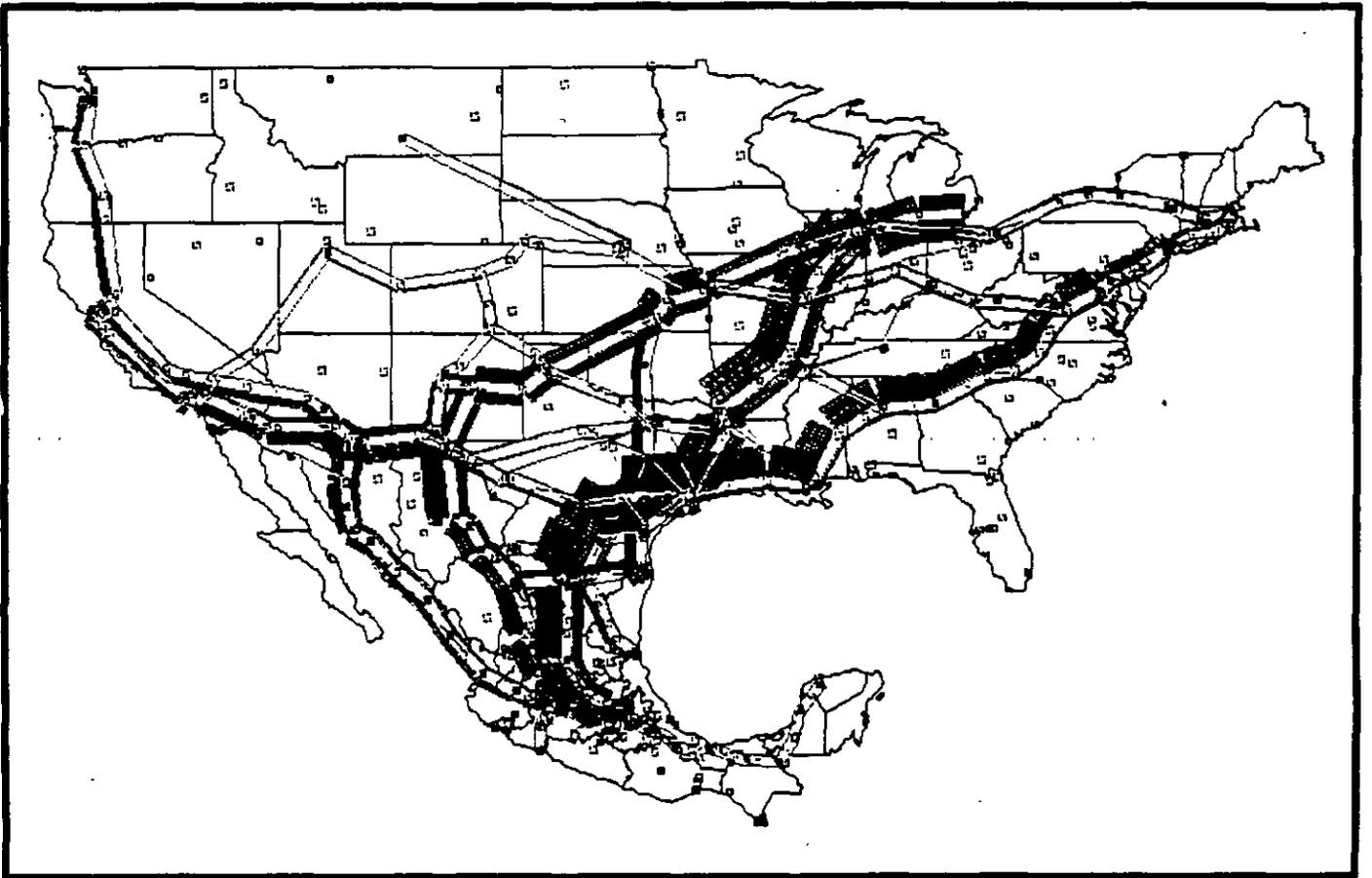
**MODULO II : "PLANIFICACION DEL TRANSPORTE URBANO"**

**TALLER :  
USO DEL PAQUETE STAN**

# DIPLOMADO INTERNACIONAL DE TRANSPORTE

---

## TALLER DE USO DEL PAQUETE STAN



---

**INRO CONSULTANTS, INC.  
CAL Y MAYOR Y ASOCIADOS, S.C.**

**ÍNDICE**

<b>INTRODUCCIÓN</b>	<b>3</b>
<b>I. ANTECEDENTES</b>	<b>3</b>
<b>II. MODELANDO CON STAN</b>	<b>4</b>
<b>III. EL BANCO DE DATOS DE STAN</b>	<b>4</b>
<b>IV. EL EDITOR DE REDES</b>	<b>5</b>
<b>V. EL EDITOR DE MATRICES</b>	<b>8</b>
<b>VI. EL EDITOR DE FUNCIONES</b>	<b>11</b>
<b>VII. PROCEDIMIENTO DE ASIGNACIÓN</b>	<b>12</b>
<b>VIII. RESULTADOS DE LA ASIGNACIÓN</b>	<b>13</b>
<b>IX. FACILIDADES GENERALES DE STAN</b>	<b>14</b>
Comandos gráficos, anotaciones y demarcaciones	15
Macros	15
Otras facilidades generales	15
<b>X. UTILIDADES INDEPENDIENTES</b>	<b>15</b>
<b>XI. USANDO STAN</b>	<b>16</b>
<b>XII. ATRIBUTOS DE LA RED</b>	<b>16</b>
Modos	17
Nodos	17
Enlaces	17
Productos	17
Vehículos	18
Transferencias	18
Conjuntos de función	18
<b>XIII. MATRICES</b>	<b>18</b>
<b>XIV. FUNCIONES</b>	<b>19</b>
<b>XV. ESCENARIOS</b>	<b>19</b>
<b>XVI. LOS MÓDULOS DE STAN</b>	<b>20</b>
Parámetros del módulo	20
Pregunta Yes/No	20
Pregunta de selección	20
Pregunta de entrada	21
Salida temporal al sistema operativo	21
<b>XVII. GRÁFICAS</b>	<b>21</b>
<b>XVIII. COMANDOS DE MENÚ</b>	<b>24</b>
<b>XIX. EJERCICIOS</b>	<b>24</b>
1. Crear un nuevo banco de datos	24
2. Construir una red de transporte	26
3. Hacer algunas operaciones con la red	31

4. Hacer algunas operaciones con matrices	34
5. Funciones	37
6. Asignación	39
7. Resultados	41
<i>REFERENCIAS</i>	<i>44</i>

### *ÍNDICE DE FIGURAS*

<i>Figura 1. Esquema del banco de datos</i>	<i>5</i>
<i>Figura 2. Red de simulación en la península de Yucatán</i>	<i>6</i>
<i>Figura 3. Nodos de Transferencia</i>	<i>7</i>
<i>Figura 4. Diagrama de dispersión</i>	<i>9</i>
<i>Figura 5. Matriz o-d como líneas de deseo</i>	<i>10</i>
<i>Figura 6. Matriz o-d como barras</i>	<i>10</i>
<i>Figura 7. Gráfica de función</i>	<i>12</i>
<i>Figura 8. Volúmenes por ferrocarril</i>	<i>13</i>
<i>Figura 9. Trayectorias mínimas desde la Cd. de México</i>	<i>14</i>
<i>Figura 10. Tipos de matrices</i>	<i>19</i>
<i>Figura 11. Números de nodos en la red</i>	<i>22</i>
<i>Figura 12. Etiquetas de nodos en la red</i>	<i>22</i>
<i>Figura 13. Vehículos en la red (escala 2000)</i>	<i>23</i>
<i>Figura 14. Vehículos en la red (escala 200)</i>	<i>23</i>

### *INTRODUCCIÓN*

STAN es un paquete de planeación de transporte interactivo gráfico diseñado especialmente para el análisis y la planeación estratégica nacional y regional del transporte de carga multimodal multiproducto. El nivel estratégico de planeación implica horizontes de mediano a largo plazo y un nivel poco detallado para la representación de los servicios de transporte proporcionados, ya que la meta es obtener una estimación completa de los movimientos de carga de la mayoría (o de todos) los productos, por la mayoría (o todos) los modos disponibles.

STAN ofrece un marco comprensivo y flexible de modelación junto con técnicas algorítmicas actualizadas y capacidades computacionales eficientes. Permite al analista enlazarse con el proceso de planeación usando terminología con la cual está familiarizado y minimiza el procesamiento de datos de las tareas. Una vez que el banco de datos está armado, el analista no necesita conocer o interesarse en detalles técnicos de programación o de sistemas de cómputo.

Un uso típico de STAN es la comparación y evaluación de alternativas. Las alternativas contempladas representan usualmente variaciones anticipadas o pronosticadas de las demandas origen-destino para los productos considerados, cambios mayores de la infraestructura o la tecnología de transporte, o modificaciones al entorno reglamentario o económico (ej.: precios del combustible). Usualmente, la situación actual se describe por uno de los escenarios del banco de datos (escenario base), y se lleva a cabo una simulación de los flujos de carga. Las situaciones futuras se describen por otros escenarios, los cuales se construyen y están contenidos en el mismo banco de datos. En estos escenarios también se lleva a cabo la simulación de flujos de carga. Luego, se pueden comparar los flujos, costos y demoras en enlaces, embarques intermodales y otros indicadores de funcionamiento con los del escenario base a fin de llevar a cabo varios análisis y comparaciones.

### *I. ANTECEDENTES*

El acrónimo STAN se deriva de "Strategic Transportation ANalysis". La versión inicial de STAN se desarrolló a fines de los 80's en el Center for Research on Transportation (CRT) de la Universidad de Montreal, Canadá. Actualmente, el soporte técnico y el desarrollo de STAN se lleva a cabo por INRO Consultants.

Aunque su diseño presenta muchas similitudes con el EMME/2, el cual es un método interactivo gráfico para la planeación urbana y regional multimodal de transporte de personas, STAN está diseñado específicamente para el análisis y la planeación de transporte de carga. Estas similitudes facilitan el uso conjunto de los dos métodos para una planeación integrada de un sistema de transporte.

## ***II. MODELANDO CON STAN***

STAN es un marco general de modelación y análisis, y un sistema de cómputo interactivo gráfico.

Como marco de modelación, STAN ofrece la capacidad de representar y manipular los elementos funcionales principales del sistema de transporte que uno tiene que considerar al llevar a cabo análisis estratégicos. Por un lado, las redes representan la infraestructura y los servicios que forman el lado de la oferta de cualquier sistema de transporte: modos para especificar como funcionan las actividades de transporte, nodos y enlaces para representar la disposición espacial del sistema de transporte, y transferencias para capturar las operaciones de transferencia intermodal características de estos sistemas. Por otro lado, tiene que definirse la demanda de transporte: los productos particulares o grupos de productos por analizar, las zonas de producción y consumo que confeccionan la región en estudio, así como la demanda por producto, esto es, las cantidades de cada producto que tienen que moverse de una zona a otra.

Dos tipos de elementos, vehículos y funciones, enlazan las representaciones de la oferta y la demanda. Los vehículos, algunas veces agrupados en convoyes, se requieren para ejecutar las operaciones de transporte necesarias para satisfacer la demanda. De aquí, para propósitos de planeación, STAN requiere que se definan los vehículos y convoyes para cada producto y modo de transporte.

Las funciones intentan capturar los criterios usados para determinar como se mueve el tránsito en la red, y pueden incluir factores relativos al costo y tiempo de viaje, fenómenos de congestionamiento, distribución de flujos, precios de la energía o cualquier otra medida del funcionamiento. Finalmente, un modelo de asignación multimodo multiproducto ofrece los medios para simular el comportamiento del tránsito, y el funcionamiento del sistema de transporte: cómo se satisface la demanda al mover las cantidades de productos especificadas en las matrices origen-destino (O-D) sobre la red multimodal dada, de acuerdo con los criterios especificados en las funciones.

El sistema STAN se compone de una serie de módulos usados para manejar la información pertinente. Los módulos corresponden a los principales elementos del sistema de transporte y las categorías de datos relacionadas ya mencionadas: redes, matrices, funciones, asignación y resultados.

## ***III. EL BANCO DE DATOS DE STAN***

Un aspecto esencial de cualquier esfuerzo de planeación de transporte es la creación del banco de datos que sustenta el análisis y la evaluación cuantitativa de la evolución planeada o pronosticada del sistema.

El banco de datos de STAN contiene toda la información que es necesaria para integrarse con la planeación estratégica del transporte de carga. Contiene representaciones del sistema de transporte y la especificación de la demanda de transporte en el área estudiada, así como modelos de los criterios socioeconómicos que explican la distribución de esta demanda en la red. En STAN, esta información se representa como redes, matrices y funciones. La figura 1 representa un esquema del banco de datos.

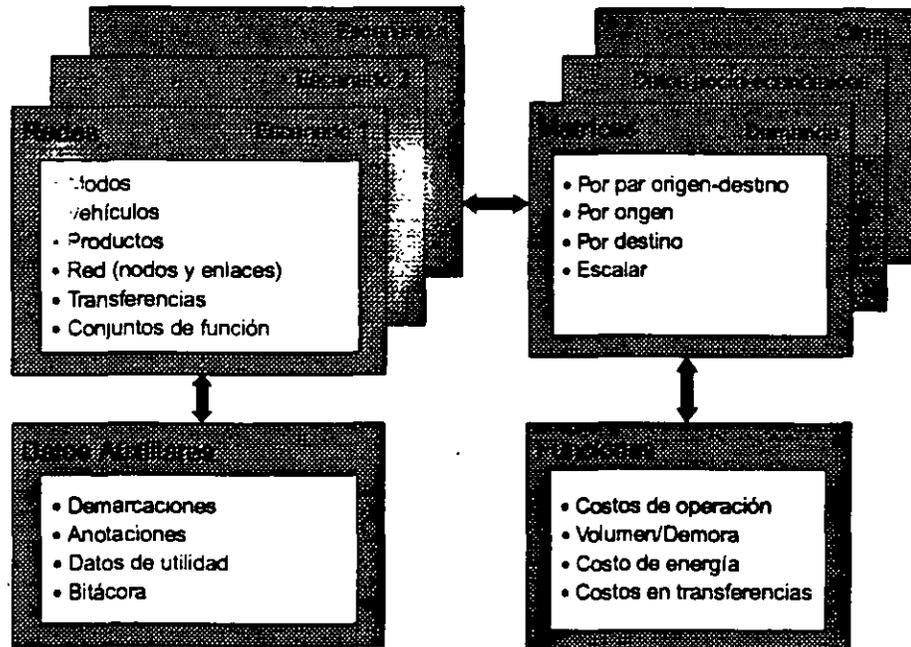


Figura 1

#### IV. EL EDITOR DE REDES

Los módulos del editor de redes ofrecen al usuario herramientas para construir, desplegar y modificar una representación de la infraestructura o servicios de transporte, disponibles o contemplados, en el área de estudio. El marco de modelación que STAN ofrece para esta representación es el de una red multimodal, estructurada con modos, nodos, enlaces y transferencias. En esta red, se van a mover múltiples productos, especificando los vehículos y convoyes entre puntos origen y destino dados, de acuerdo con criterios, costo, tiempo, consumo de energía, emisiones, etc., capturadas por las funciones por enlace y transferencia.

Los **modos** son centrales para el modelo. Contribuyen significativamente con la especificación de la representación de la red a través de las definiciones de enlaces y transferencias, y ofrece una manera privilegiada de hacer cumplir selecciones modales exógenas. Específicamente, un modo es una manera particular de transporte que tiene sus propias características, tales como tipo de vehículo, capacidad, costo, funciones de demora, etc. Dependiendo del alcance y nivel de detalle del estudio, un modo puede representar a una empresa de transporte, un servicio o línea de transporte, una agregación de varias redes

de transportistas, o infraestructuras de transporte específicas, tales como carreteras o puertos.

La red base se compone de nodos y enlaces. El conjunto de nodos incluye centroides y nodos regulares. Los **centroides** son nodos simulados que corresponden a subdivisiones regionales; toda la demanda de transporte que se origina o termina en una región particular se 'concentra' en el centroide asociado. Los **nodos regulares** representan localizaciones físicas de la red: ciudades y villas, patios de clasificación de trenes, estaciones, puertos, instalaciones especializadas de carga/descarga, instalaciones de transferencia intermodal, etc.

Los **enlaces** representan las conexiones físicas (vías férreas, segmentos de caminos, secciones de ductos, etc.) o conceptuales (líneas aéreas o de navegación) entre dos nodos. Los enlaces tienen varios atributos (longitud, capacidad, etc.) que pueden usarse para especificar las funciones de costo. La red se compone de enlaces direccionales, con un modo permitido para cada enlace. Se permiten enlaces paralelos cuando varios modos sirven a los nodos adyacentes. Algunos, o todos estos enlaces paralelos pueden compartir la misma infraestructura o capacidad. La figura 2 muestra la red de simulación para la península de Yucatán.

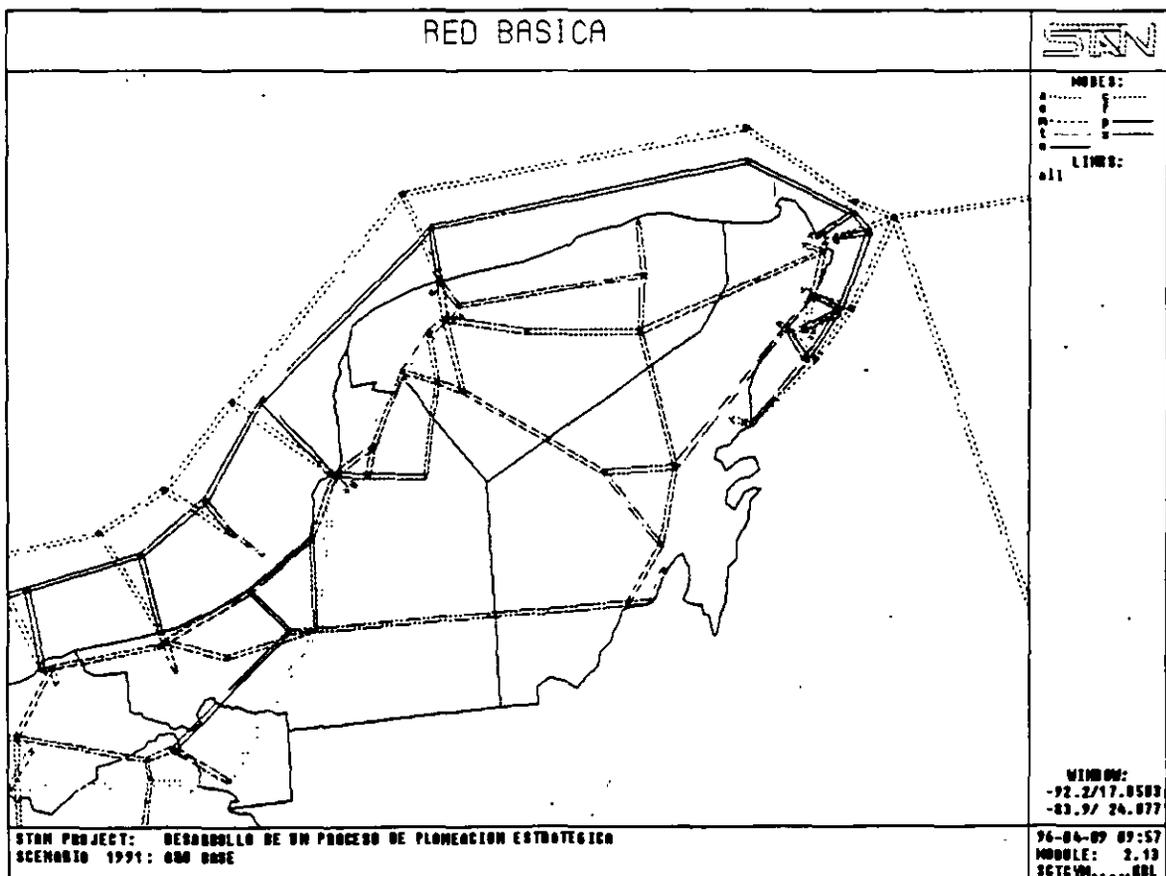


Figura 2

Las transferencias representan los movimientos intermodales en los nodos, y pueden usarse para modelar una amplia gama de instalaciones: plataformas intermodales, estaciones ferroviarias, puntos de carga/descarga, puertos, estaciones de bombeo de ductos, puntos de unión entre diferentes compañías ferroviarias o entre vías de diferente ancho, etc. Los nodos de transferencia se pueden resaltar en la red, en donde pueden seleccionarse para desplegarse gráficamente, tal como lo muestra la figura 3.

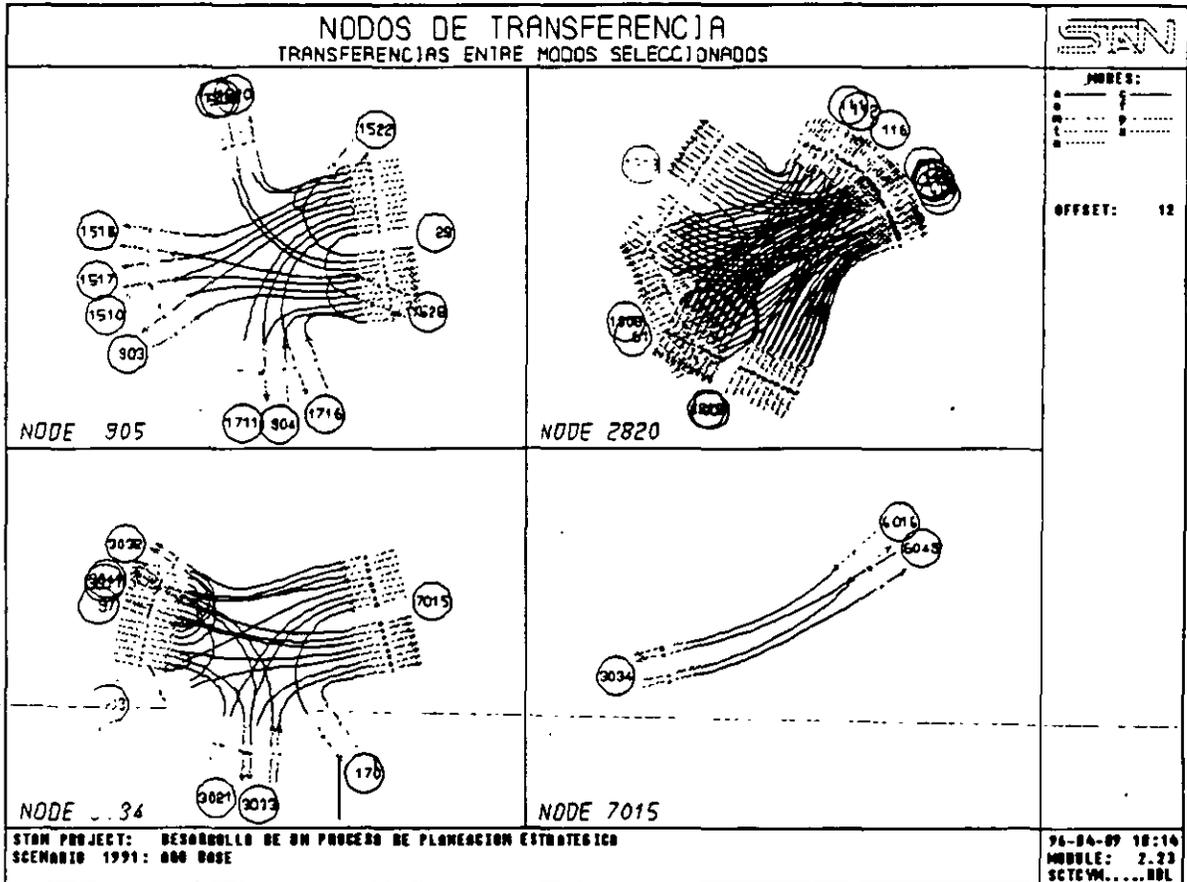


Figura 3

La infraestructura de la red sustenta al transporte de varios productos en varios modos. Un **producto** es un artículo o mercancía (conjunto de bienes similares o pasajeros) para la cual se define una demanda de tráfico, y que genera flujos específicos en la red. A fin de poder determinar como se mueven los productos en la red, uno define el **vehículo** típico (y el **convoy** asociado, cuando sea apropiado) que lleva a cada producto en cada modo, y las **funciones** que captan los criterios de funcionamiento que determinan el patrón de tránsito. Las funciones se asocian con los enlaces y las transferencias, para todos los productos definidos, por medio de los **conjuntos de función**.

STAN tiene la capacidad de modificar la red y las transferencias de manera interactiva, usando despliegues gráficos. Cualquiera de sus datos pueden modificarse cuando sea.

Al trabajar con STAN, uno siempre opera en un ambiente definido por el escenario actual. Un **escenario** está formado por un conjunto de modos, vehículos, productos, conjuntos de función, nodos, enlaces y transferencias. Se pueden definir varios escenarios diferentes en un mismo banco de datos. Por ejemplo, se puede definir un escenario base con la red de carreteras de 1996 y un escenario que incorpora las carreteras y/o autopistas programadas para el año 2000.

A cada modo, nodo, enlace, transferencia, producto y vehículo se asocian tres tipos de atributos: estándar, extra y resultados de la asignación. Los **atributos estándar** se usan para especificar los elementos de la red, tales como coordenadas del nodo, longitud del enlace, peso del vehículo, etc. También incluyen tres atributos del usuario para cada elemento de la red, los cuales pueden contener valores numéricos. Todos los atributos estándar pueden usarse como variables en las funciones matemáticas usadas por los procedimientos de asignación. Los **atributos extra** son opcionales y pueden crearse explícitamente por el usuario. Los atributos extra se pueden usar para mantener datos asociados con la red actual (flujos observados, número de accidentes, condiciones del pavimento, etc.), sin embargo, no pueden usarse como variables de funciones.

El editor de redes contiene un módulo que lleva a cabo los cálculos de **trayectoria mínima** en la red, usando la longitud de los enlaces. Las trayectorias encontradas se despliegan gráficamente. Estos cálculos son útiles para propósitos de validación de la red, como calculador de distancias y como herramienta de análisis que puede servir en el proceso de diseño de la red.

Se pueden llevar a cabo **cálculos de la red** usando los datos disponibles de la red. Estos cálculos evalúan expresiones algebraicas y lógicas que combinan los atributos de modo, nodo, enlace, producto y vehículo, incluyendo los atributos extra, y los resultados de las asignaciones para uno o más escenarios. Este módulo es una parte importante de las herramientas de manipulación de la red, ya que puede usarse para calcular estadísticas de funcionamiento de la red (índices volumen/capacidad, vehículos en subredes, etc.) e implementar análisis de impacto.

Por último, se pueden graficar **diagramas de dispersión** por nodo y enlace. Algunos de los usos potenciales de esta característica son: análisis de volúmenes observados contra modelados para calibración de la asignación multimodal, comparación de tiempos de viaje entre los enlaces de diferentes modos, y muchos otros. En la figura 4 se muestra un diagrama de dispersión de vehículos modelados contra pronosticados.

### ***V. EL EDITOR DE MATRICES***

Las matrices que se pueden usar en STAN pueden ser matrices totales (O-D), matrices origen, matrices destino y matrices escalares. Pueden contener varios datos relacionados con el área estudiada: demanda origen-destino observada o pronosticada por producto,

niveles de producción por origen y consumo por destino, estadísticas socioeconómicas tales como población, densidad industrial, etc.

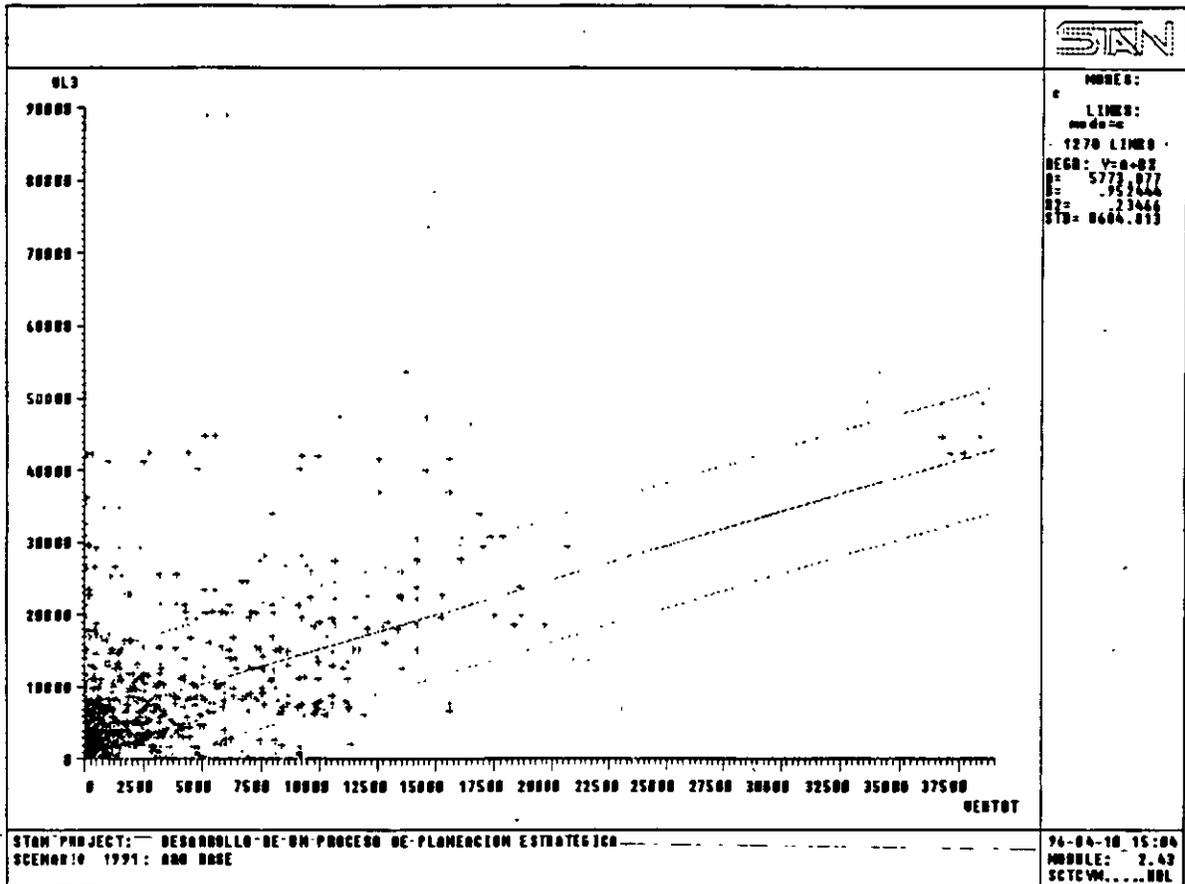


Figura 4

El despliegue gráfico de una matriz se lleva a cabo por medio de barras de ancho proporcional al valor asociado con un par origen-destino o con un nodo, considerado como un origen o un destino. Las figuras 5 y 6 muestran una matriz origen-destino como líneas de deseo y como barras, respectivamente.

El editor de matrices no define las matrices por omisión, la definición de una matriz y su contenido se deja al usuario. Así, si una rutina de asignación espera que existan matrices origen-destino para ciertos productos, el usuario tiene que definir las y asegurarse que contienen los datos correctos. Además, cualquier escenario puede usarse con cualquiera de las matrices presentes en el banco de datos; el usuario especifica las matrices relevantes para un análisis dado. Esto proporciona gran flexibilidad al evaluar el funcionamiento de un sistema de transporte dado para diferentes niveles de demanda.

Las zonas pueden agruparse por cualquier criterio que el usuario desee en grupos de zonas. Por ejemplo, los centroides que se encuentran dentro de un Estado se agrupan en un sólo conjunto, pudiendo analizar así movimientos de Estado a Estado.

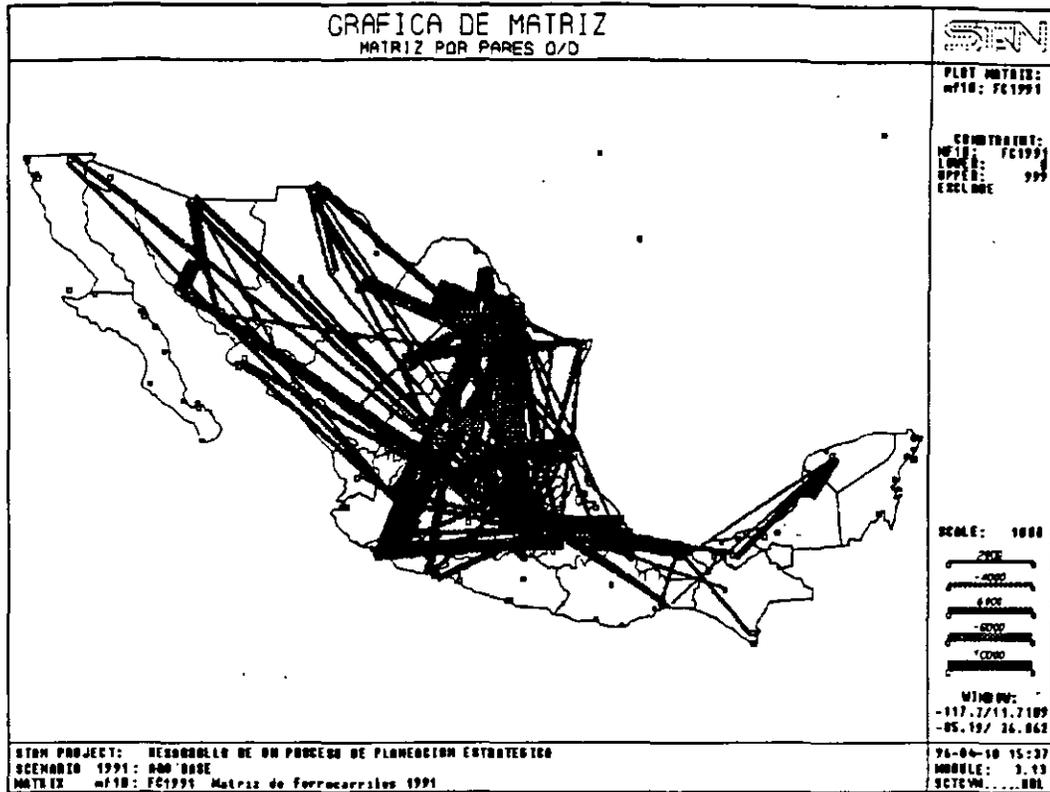


Figura 5



Figura 6

El editor de matrices también incluye módulos que llevan a cabo cálculos de matrices, operaciones de matrices especiales por tipo de producto y balanceo en dos o tres dimensiones. Estos módulos son los elementos principales proporcionados por STAN para implementar modelos de demanda de varios tipos. El procedimiento de balanceo de matrices en dos dimensiones permite balancear una matriz de entrada con los totales por renglón y por columna y, en el caso de balanceo en tres dimensiones, con el total de un tercer criterio que define subconjuntos de elementos de la matriz.

### *VI. EL EDITOR DE FUNCIONES*

STAN permite al usuario el uso de una amplia variedad de funciones, las cuales pueden especificarse para enlaces y transferencias, para representar varios factores tales como costo, tiempo, confiabilidad, energía, etc., que determinan el funcionamiento del sistema de transporte al mover la demanda. Se pueden especificar hasta tres funciones en un enlace o transferencia para cada producto definido en el escenario actual. Las funciones de enlace o transferencia son **funciones de costo unitario**; se multiplican por los volúmenes de producto y se combinan de acuerdo a especificaciones del usuario para formar la función objetivo de costo generalizado usada para asignar los productos a la red multimodal.

Las funciones tienen que especificarse por el usuario como expresiones algebraicas, utilizando los operadores y palabras clave (variables) de STAN, cada una de las cuales representa un atributo de la red (características del vehículo, propiedades del enlace, datos del usuario, etc.) o una combinación específica de flujos de carga (flujos totales por enlace o transferencia, número de vehículos o convoyes, etc.). Cualquier función puede asociarse a cualquier escenario del banco de datos.

El usuario puede especificar las funciones que desee, sin embargo, frecuentemente se requieren ciertas clases de función en los estudios de carga multimodal regionales o nacionales: funciones de demora en vías férreas, en donde la congestión varía con las características de la vía (longitud, capacidad, restricciones de peso, etc.), los atributos del modo y del producto (capacidad del vehículo, peso muerto, velocidad, peso máximo, longitud del tren, etc.) y el movimiento total de trenes; costos de operación de camiones, los cuales dependen de las características del vehículo y del producto, así como de la geometría del camino y condiciones del pavimento; costos de operación y funciones de demora en transferencias las cuales modelan el impacto de las transferencias a través de instalaciones particulares; funciones de consumo de energía que varían con las características de la infraestructura y el producto particular; funciones de 'costo' del conector las cuales representan la parte 'fija' del costo del viaje; etc.

El editor de funciones se usa para definir, modificar, tabular, exportar y graficar las funciones. Los conjuntos de función, que asocian a las funciones con los enlaces y las transferencias, se manejan con el editor de redes. La figura 7 muestra la gráfica de una función de demora para una vía férrea para varios niveles de capacidad.

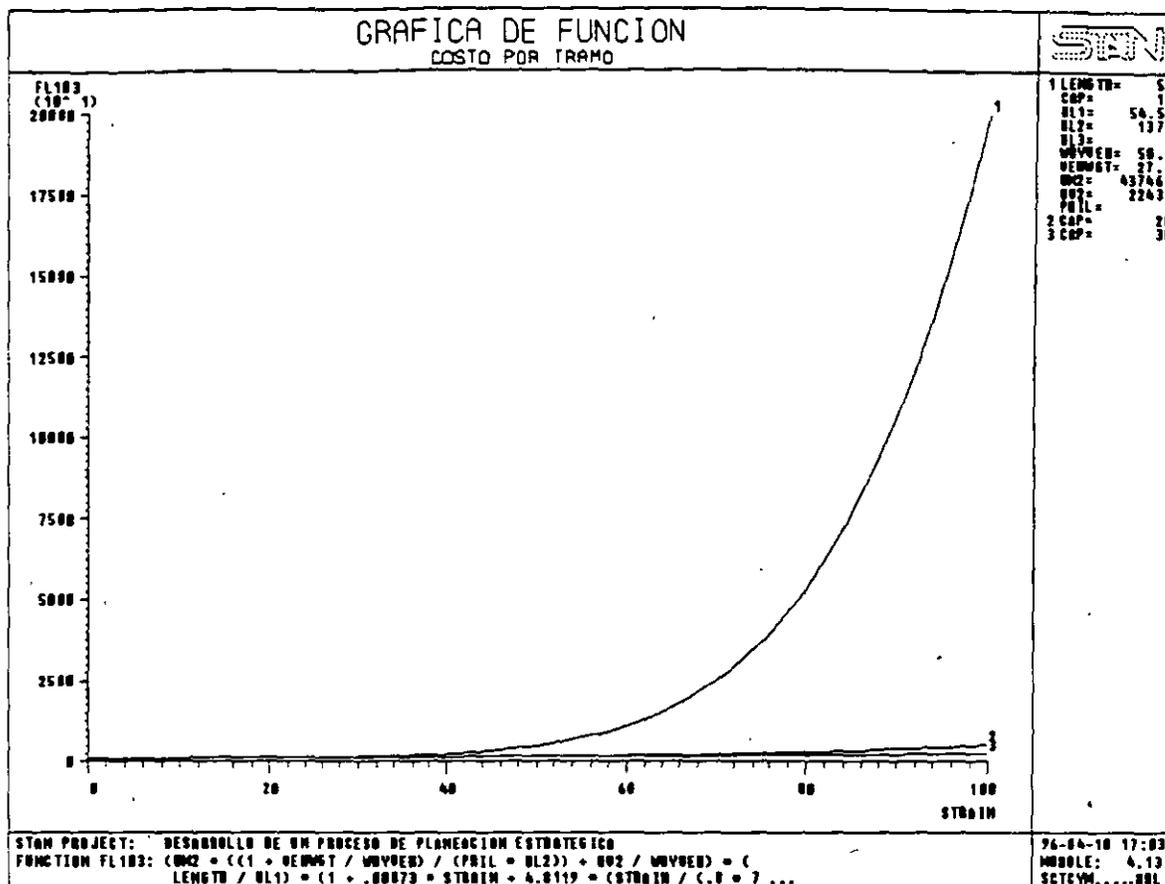


Figura 7

## VII. PROCEDIMIENTO DE ASIGNACIÓN

El modelo de optimización de la red que se usa para simular los flujos de la red en STAN es una formulación de asignación multimodo multiproducto no lineal que **minimiza el costo generalizado total del sistema** al mover los productos considerados, de orígenes a destinos por los modos permitidos, mientras se satisfacen las restricciones de conservación del flujo habitual y no-negatividad. Las restricciones de capacidad y los fenómenos de congestión en varios modos de transporte, tales como ferrocarril, puertos, etc., se especifican por medio de las funciones volumen/demora y de penalidad.

Para cada producto, se puede especificar un subconjunto de modos permitidos para una asignación dada. Además, se pueden definir varias matrices para un producto dado y para un subconjunto particular de modos permitidos. Así entonces, se pueden introducir al sistema selecciones modales predefinidas. Desde luego es posible asignar todos los productos a todos los modos, basados exclusivamente en sus medidas de funcionamiento.

La asignación se lleva a cabo usando una función de costo generalizado total, la cual es una combinación ponderada de hasta tres funciones que corresponden a los tres componentes de los conjuntos de función. De aquí, la distribución de tráfico sobre la red multimodal puede

simularse usando varias medidas de funcionamiento, demoras (tiempo de ocupación), costo de operación, consumo de energía, riesgos potenciales o impactos ambientales, etc. o combinaciones de ellos.

**VIII. RESULTADOS DE LA ASIGNACIÓN**

STAN permite al usuario obtener una amplia variedad de resultados, ya sea de forma interactiva gráfica o como impresión. Además de los numerosos reportes que también pueden desplegarse en pantalla, uno puede graficar los costos y volúmenes correspondientes a una determinada asignación. Las gráficas pueden dibujarse para productos particulares, para subconjuntos específicos de modos, de tipos de enlace o para transferencias. Los volúmenes totales pueden desplegarse en toneladas, número de vehículos o número de convoyes. La figura 8 muestra una gráfica de los principales flujos de carga por ferrocarril en la República Mexicana.

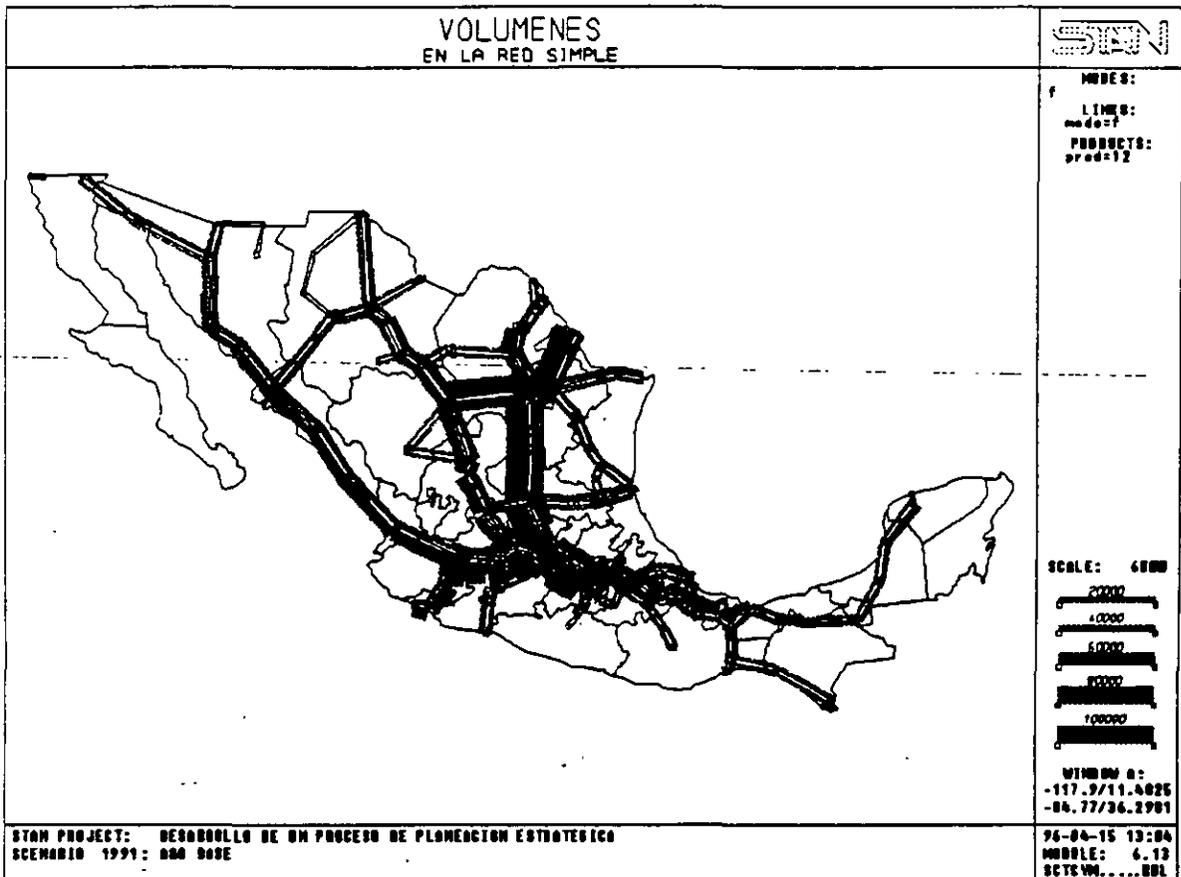


Figura 8

Una de las características más importantes de STAN es la posibilidad de llevar a cabo e ilustrar gráficamente comparaciones de escenarios respecto a flujos en toneladas, vehículos o convoyes y costos, permitiendo así identificar y visualizar claramente el

impacto en la distribución del flujo y la utilización de la infraestructura de las diferencias entre dos situaciones representadas por dos escenarios.

Otro despliegue útil es el de las trayectorias mínimas desde una zona específica de la red a todas las demás. Los cálculos de trayectorias mínimas se pueden hacer usando las distancias o usando los costos unitarios o marginales por producto, una vez que se ha realizado la asignación. También se puede calcular y guardar la matriz de las trayectorias mínimas origen-destino. En la figura 9 se muestran las trayectorias mínimas desde la Cd. de México en base al costo unitario de cada tramo.

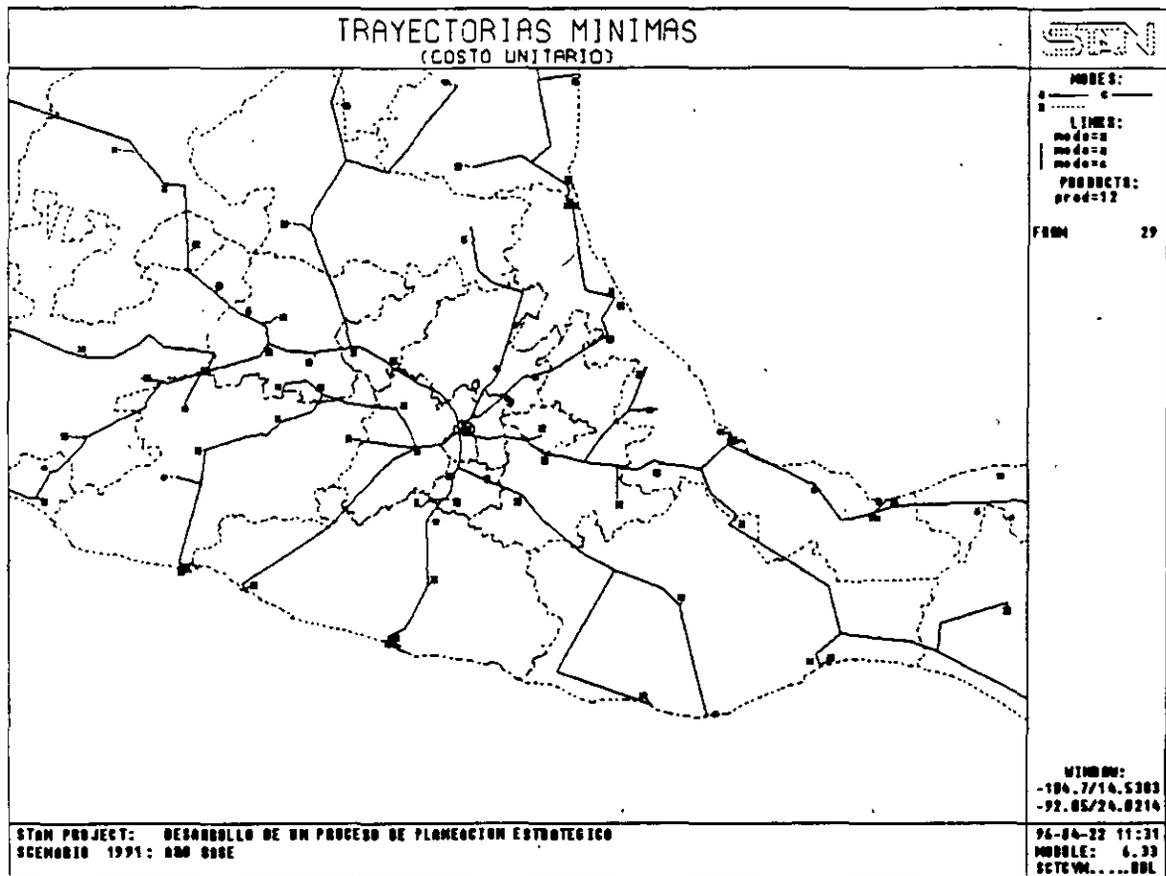


Figura 9

### IX. FACILIDADES GENERALES DE STAN

El sistema STAN proporciona un conjunto extensivo de herramientas y utilidades que se pueden usar con los módulos estándar. Estas facilidades pueden combinarse libremente por el usuario para encontrar sus necesidades exactas.

### *Comandos gráficos, anotaciones y demarcaciones*

Consta de un conjunto de **comandos gráficos** que operan directamente en la figura, una vez que se despliega en la pantalla, para efectuar ventaneo, acercamientos, alejamientos, cambios de escala e identificación de elementos particulares (selección). Las figuras se pueden realzar con el uso de **anotaciones y demarcaciones**, las cuales permiten la sobreposición de texto y dibujos en la figura o gráfica de STAN, por ejemplo: leyendas, logotipos, indicadores de distancia, nombres, ríos, división política, cadenas montañosas, etc.

### *Macros*

STAN proporciona un lenguaje de macros para la automatización de comandos usados repetitiva y frecuentemente. Este lenguaje también proporciona facilidades de programación tales como, ramas condicionales, sustitución de parámetros, registradores de texto y llamado de una macro dentro de otra macro.

### *Otras facilidades generales*

STAN proporciona otras características para facilitar su uso, tales como la **nomenclatura flexible de archivos** de entrada/salida, gráficos y reportes; las **marcas de tiempo**, las cuales registran automáticamente la fecha de las últimas modificaciones hechas a los atributos extra, a las matrices y la ejecución de asignaciones, de donde se pueden realizar verificaciones de consistencia.

---

## **X. UTILIDADES INDEPENDIENTES**

STAN está acompañado de un conjunto de utilidades independientes que permiten el despliegue de las figuras en varios tipos de monitores (**emtool**), la producción de salidas gráficas en varias impresoras y graficadores (**gpr**, **gpl**, **e2plots**), el uso de tabletas digitalizadoras (**e2tabdrv**, **tabdrv**, **calitab**) y la conversión del formato del banco de datos de una plataforma a otra (**stxfbank**).

## ***XI. USANDO STAN***

El banco de datos y otros archivos asociados, tales como anotaciones, archivos de entrada y salida, etc., se localizan en un directorio de **ambiente de la aplicación**. El STAN se inicia tecleando:

```
C:\APL-DIR>stan.↓
```

Si se va a crear un nuevo banco de datos, se posiciona en el directorio en donde va a estar la aplicación y se escribe:

```
C:\NUEVO>stan newbank.↓
```

Si se desea iniciar una sesión, eliminando los archivos reports y plots creados previamente, se teclea:

```
C:\APL-DIR>stan clear.↓
```

Para entrar directamente a un módulo *x.yy* de STAN, evitando así la carátula inicial que pide las iniciales y el despliegue del menú principal, se teclea:

```
C:\APL-DIR>stan .xyy.↓
```

Para entrar al STAN directamente al menú principal, evitando la carátula principal y la entrada de iniciales de usuario, se usa:

```
C:\APL-DIR>stan 000.↓
```

Para detener el despliegue de un gráfico en pantalla se teclea:

**Ctrl-Backspace**

no se recomienda usar **Ctrl-C** durante la ejecución de algún módulo porque dejaría inservible al banco de datos.

## ***XII. ATRIBUTOS DE LA RED***

Existen tres tipos de atributos de la red: **atributos estándar**, **atributos extra** y **resultados de la asignación**. Los atributos estándar han sido predefinidos con un significado específico (por ejemplo: coordenadas x-y, longitud, capacidad), además de tres datos de usuario que se incluyen para cada modo, nodo, enlace, vehículo, producto y transferencia, los cuales pueden guardar cualquier valor útil para el usuario. Los atributos extra (identificados como *@xxxx*) son otros atributos definidos por el usuario que se pueden asociar con modos; nodos, enlaces, vehiculos y productos, pero no se pueden editar, enlistar, ni usar como variables en funciones. Por último los resultados de la asignación, tales como volúmenes, convoyes, costos unitarios y costos unitarios marginales en enlaces y transferencias, se pueden desplegar, calcular e incluso incorporar en funciones.

A continuación se enlistan los atributos existentes para cada uno de los elementos de la red.

***Modos***

Identificador	Una letra mayuscula o minúscula.
Descripción	Descripción del modo de hasta 20 caracteres.
Line code	Número entero que indica el tipo de línea usado para graficar el modo: 1=continua, 2=punteada, 3=raya-punto, 4=guión corto, 5=guión largo.
Color code	Índice de color usado para representar al modo gráficamente: 1=negro (blanco), 2=rojo, 3=verde, 4=azul, 5=azul claro, 6=rosa, 7=amarillo, 8=naranja.
phim	Coefficiente que puede usarse para asociar un costo específico de demoras o consumo de energía.
um1, um2, um3	Datos del usuario.

***Nodos***

Identificador	Número entero usado para identificar al nodo (1-999999).
Coordenadas X-Y	Dos valores reales usados para situar al nodo en el plano.
ui1, ui2, ui3	Datos del usuario
Etiqueta	Etiqueta de cuatro caracteres usada para reconocer la ciudad, estación, etc. a la cual representa el nodo.

***Enlaces***

I-node	Número del nodo inicial del enlace.
Mode	Letra del modo al cual representa el enlace.
J-node	Número del nodo final del enlace.
Length	Longitud del enlace.
Link type	Clasificación del enlace, definida por el usuario (1-999).
Function set	Número que identifica el grupo de funciones asociadas con el enlace.
Capacity	Constante que representa la capacidad física del enlace (tonelaje máximo, número de vehículos, número de convoyes, etc.).
Beta	Coefficiente que se usa como factor de peso en transporte ferroviario para ajustar el peso del convoy a la topología del enlace.
phil	Coefficiente usado por el usuario.
Mode set	Cadena de letras que especifica los modos que comparten la capacidad del enlace.
ul1, ul2, ul3	Datos del usuario.

***Productos***

Identificador	Número del producto.
Descripción	Descripción del producto de hasta 20 caracteres.
up1, up2, up3	Datos del usuario.

*Vehículos*

Número de producto	Número usado para identificar el producto para el cual se ha especificado el vehículo.
Mode	Letra del modo para el cual se ha especificado el vehículo.
Weight by vehicle	Peso de la carga que puede llevar el vehículo.
Vehicle weight	Peso neto del vehículo.
Convoy weight	Peso total de los vehículos cargados que forman un convoy ((ej.: tren).
um1, um2, um3	Datos del usuario.

*Transferencias*

Número de nodo	Número del nodo en donde ocurre la transferencia.
Nodo y modo "desde"	Número del nodo-i y letra del modo del enlace que llega al nodo de transferencia.
Nodo y modo "hacia"	Número del nodo-j y letra del modo del enlace que sale del nodo de transferencia.
Function set	Número que identifica el grupo de funciones asociadas con la transferencia.
phit	Coefficiente de transferencia definido por el usuario.
ut1, ut2, ut3	Datos del usuario.

*Conjuntos de función*

Identificador	Número que identifica al conjunto de función.
Componente	Entero que identifica el componente de costo generalizado [1=costo de operación, 2=costo de demoras, 3=otro (consumo de energía)].
Función	Número de la función del enlace (transferencia) asociada al componente y al producto indicados por el conjunto de función.

**XIII. MATRICES**

Existen cuatro formatos de matrices disponibles en STAN: matriz **total**, matriz **origen**, matriz **destino** y matriz **escalar**. La matriz total contiene un elemento para cada par origen-destino. La matriz origen contiene un elemento para cada origen, por ejemplo: la producción total de cada origen (matriz de producciones). La matriz destino contiene un elemento para cada destino, por ejemplo: la atracción total de cada destino (matriz de atracciones). La matriz escalar contiene un elemento único. En la figura 10 se muestra un esquema en el que se ubican las cuatro matrices.

Una matriz se denota por  $mm$ , en donde  $t$  es el tipo de matriz (f=total, o=origen, d=destino, s=escalar) y  $n$  es el número de matriz. Para cada matriz, el usuario puede especificar un nombre de seis caracteres y una descripción de hasta 40 caracteres.

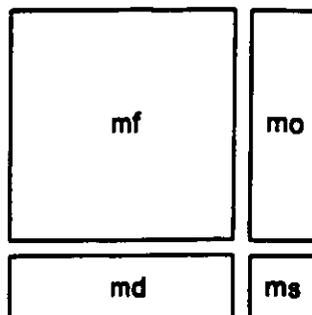


Figura 10

#### XIV. FUNCIONES

STAN permite tres clases de funciones. Cada función se denota por  $fcn$ , donde  $c$  representa la clase de función ( $l$ =enlace,  $t$ =transferencia,  $u$ =del usuario) y  $n$  es el número de función. Las funciones asociadas con los enlaces y las transferencias son funciones de costo unitario: estas se van a multiplicar por el volumen del producto para calcular el costo total.

#### XV. ESCENARIOS

Un escenario es un conjunto de datos que define una red completa en STAN. Contiene los modos, los productos, los vehículos, la red (nodos y enlaces), las transferencias y los conjuntos de función. Un banco de datos puede contener varios escenarios. Por ejemplo, un escenario puede corresponder al año base, mientras que otros pueden representar diferentes variantes de la red consideradas para años futuros.

Durante una sesión con STAN, uno de los escenarios se define como **escenario actual**, al cual se va a aplicar cualquier operación de la red (edición, despliegue, asignación, etc.). El escenario actual también es el escenario en donde se basan las comparaciones.

Un escenario se identifica con un número de hasta 5 dígitos y una descripción de hasta 60 caracteres. Entre el número y la descripción se encuentran cinco etiquetas (123 45), las cuales se explican a continuación, además del símbolo  $>$  que indica el escenario actual:

- 1 Una letra **d** en esta posición indica que el escenario está protegido contra borrado. Un guión - indica que no existe protección de este tipo.
- 2 Una letra **m** en esta posición indica que el escenario está protegido contra modificación. Un guión - indica que no existe protección de este tipo.
- 3 Una letra **e** en esta posición indica que el escenario está protegido contra ejecución forzada de algún módulo. Un guión - indica que no existe protección de este tipo.
- 4 Una letra **r** en esta posición indica que el escenario está listo para la asignación, una **a** indica que ya se ha realizado una asignación en el escenario y un guión - indica que el escenario no está listo para la asignación ni se ha llevado a cabo ninguna asignación.
- 5 Esta posición está reservada para uso futuro.

## *XVI. LOS MÓDULOS DE STAN*

Un **módulo** es una unidad de programa básica del sistema STAN. Cada módulo corresponde a un solo programa que se comunica con los otros módulos sólo a través del banco de datos. Un **grupo de módulos** es un conjunto de módulos que tiene un papel particular en STAN. Los módulos están divididos en seis grupos que son: Utilidades, Editor de Redes, Editor de Matrices, Editor de Funciones, Procedimientos de Asignación y Resultados. Cada módulo se denota por *x.yy*, en donde *x* es el grupo de módulos y *yy* es el número del módulo dentro del grupo.

Los módulos se llaman desde el menú principal, después de la pregunta **Enter: Next module=**, en donde se puede teclear el número *x.yy* para entrar al módulo o el número *x* para detallar el menú del grupo dado.

Al llamar un módulo, se despliegan las opciones que ofrece, conocidas como **selección primaria** del módulo. Durante la ejecución de un módulo el usuario puede regresar al inicio del mismo con **r** o salir al menú principal con **q**.

### *Parámetros del módulo*

La mayoría de los módulos contienen ciertos parámetros que se mantienen fijos a menos que el usuario desee cambiarlos. Estos parámetros se conocen como **parámetros del módulo**. Una vez que el usuario ha cambiado los parámetros aparece la pregunta:

**Save current values of module parameters on disk?**

Si la respuesta es **y** (yes) los valores quedarán guardados para cada vez que se use el módulo, incluso en diferentes sesiones de STAN. Si la respuesta es **n** (no) los valores se perderán al salir del módulo.

### *Pregunta Yes/No*

Cualquier pregunta seguida de un signo de interrogación es una pregunta yes/no. El usuario tiene también la posibilidad de regresar al inicio del módulo respondiendo **r** (restart) o terminar la ejecución del módulo y salir al menú principal contestando **q** (quit).

### *Pregunta de selección*

Esta pregunta se genera por STAN cada vez que el usuario tiene que elegir una de varias alternativas. Las preguntas de selección tienen el formato:

Select: *Elemento a seleccionar*

1= *alternativa 1*

2= *alternativa 2*

...

3= *alternativa n*

*respuesta*

### *Pregunta de entrada*

Este tipo de pregunta se genera por STAN cuando el usuario debe indicar valores. Existen dos formatos para este tipo de pregunta. El primero se usa cuando se espera una sola respuesta:

Enter: *Tipo de dato= respuesta*

El segundo formato se emplea cuando se espera más de una respuesta, tal como:

Enter: *Tipo de dato*

= *respuesta 1*

= *respuesta 2*

...

= *respuesta n*

= ↵

### *Salida temporal al sistema operativo*

Es posible usar comandos del sistema operativo directamente desde el nivel de diálogo de STAN por medio de *~!comando*, lo cual indica que se ejecute el *comando* del sistema operativo.

## **XVII. GRÁFICAS**

Varios módulos permiten el uso de gráficas de la red. Aunque cada una de ellas intenta desplegar un tipo particular de datos (*redes, matrices, transferencias*), todas despliegan la red de manera similar. Por medio de varios comandos y parámetros gráficos se pueden obtener las gráficas de la manera deseada, es decir, se pueden efectuar acercamientos, alejamientos, colocar números o etiquetas de nodos, visualizar los valores de volúmenes, cambiar la escala del ancho de barras, etc.

En las figuras 11 y 12 se muestra una parte de la red de la zona de Oaxaca, en la que se muestran los números de nodos y las etiquetas, respectivamente.

En las figuras 13 y 14 se muestra una parte de la red de carreteras conteniendo los mismos volúmenes vehiculares a diferentes escalas.

TALLER DE USO DEL PAQUETE STAN

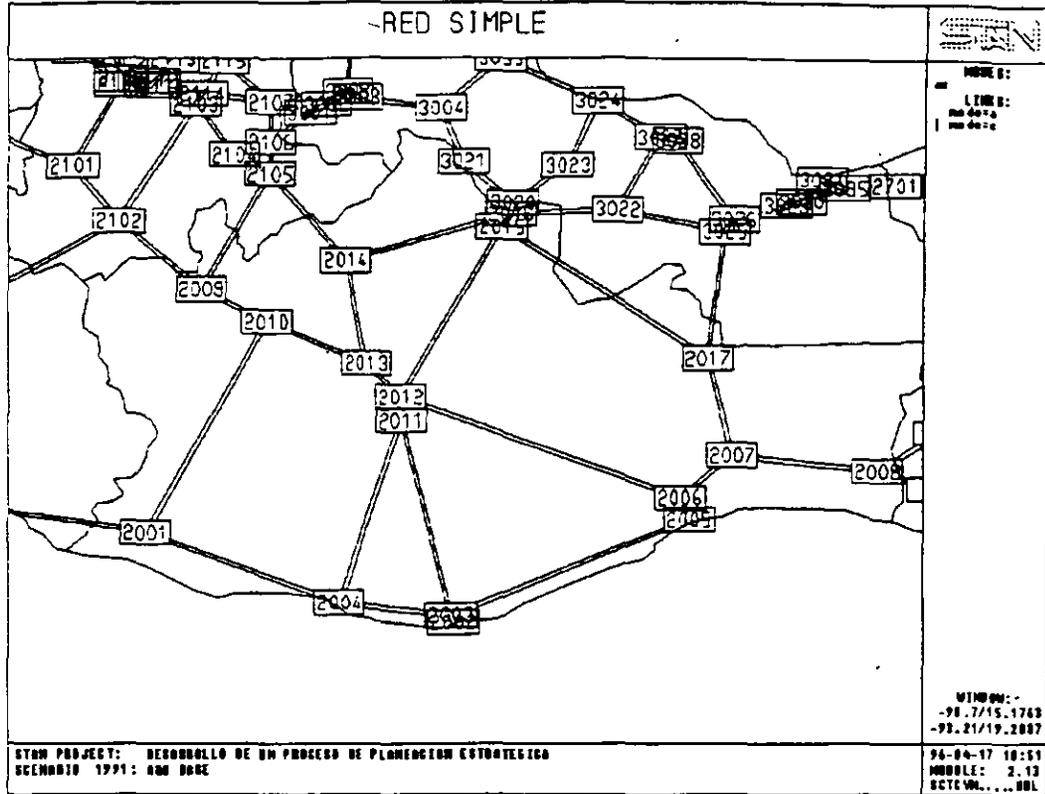


Figura 11

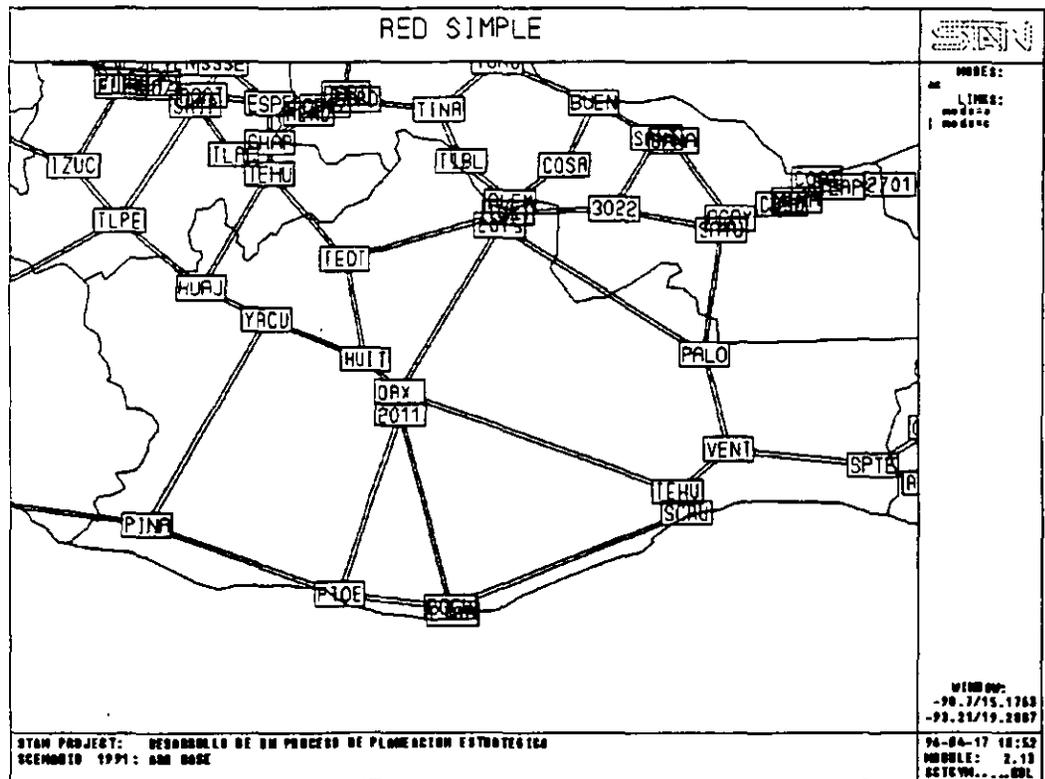


Figura 12

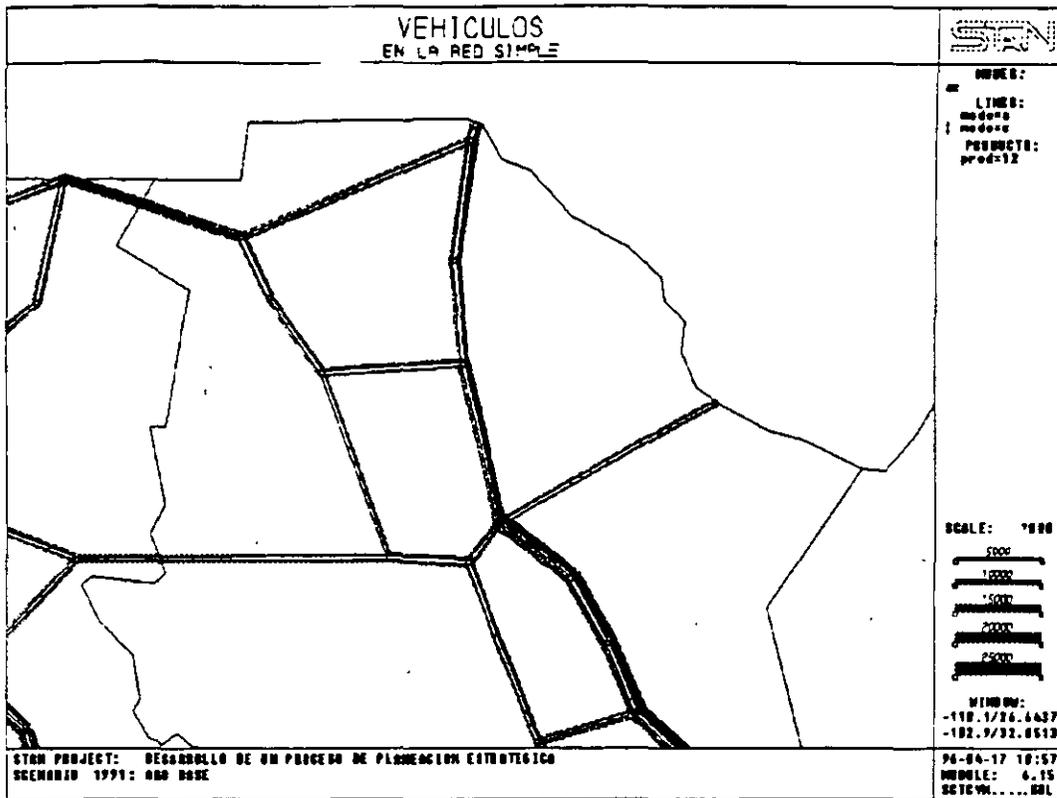


Figura 13

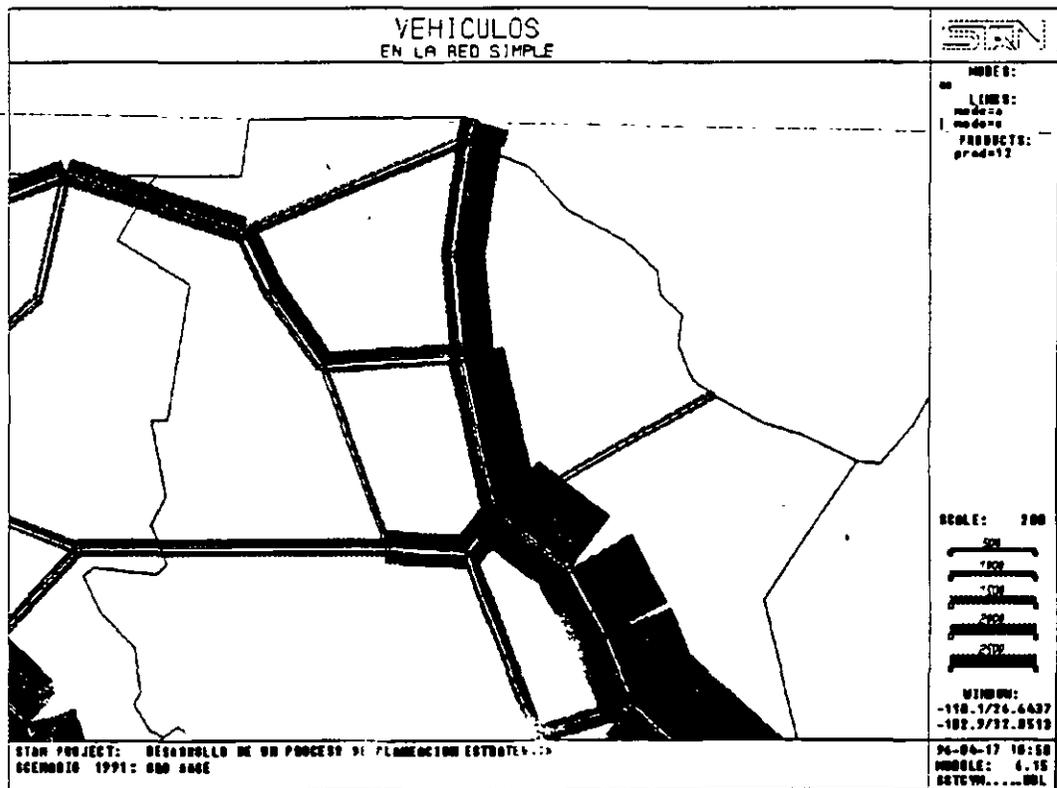


Figura 14

## XVIII. COMANDOS DE MENÚ

Los comandos de menú se dan como una respuesta a la pregunta **Enter: Next module=**. Estos comandos son palabras clave, algunas de las cuales van seguidas de un argumento. En la siguiente tabla se encuentran los comandos de menú:

Comando	Forma breve	Acción
<b>batchin=</b> <i>archivo</i>		Especifica el nombre del archivo de entrada
<b>batchout=</b> <i>archivo</i>		Especifica el nombre del archivo de salida
<b>comment=</b> <i>comentario</i>	<b>c=</b>	Comentario para la bitácora
<b>files</b>		Muestra la trayectoria de macros y archivos e/s
<b>device</b>	<b>dev=</b>	Especifica los tipos de dispositivos
<b>dim</b>		Muestra las dimensiones del banco de datos
<b>help</b>	<b>?</b>	Muestra esta lista
<b>licence</b>	<b>lic</b>	Muestra información de la licencia
<b>module=</b> <i>módulo</i>	<b>m=</b>	Define el siguiente módulo (comando por omisión)
<b>off=</b> <i>switch</i>		Desactiva el interruptor indicado
<b>on=</b> <i>switch</i>		Activa el interruptor indicado
<b>page=</b> <i>número</i>	<b>p=</b>	Especifica el número de página para reportes
<b>plots=</b> <i>archivo</i>		Especifica el nombre del archivo de impresión
<b>quit</b>	<b>q</b>	Salir de STAN
<b>reports=</b> <i>archivo</i>		Especifica el nombre del archivo de reportes
<b>scenario=</b> <i>escenario</i>	<b>s=</b>	Especifica el escenario actual
<b>status</b>	<b>sta</b>	Despliega el estado del escenario
<b>switch=</b> <i>número</i>	<b>sw=</b>	Despliega el estado del interruptor indicado

## XIX. EJERCICIOS

### 1. Crear un nuevo banco de datos

1.1. Crear el directorio en donde se va a ubicar el banco de datos y sus archivos auxiliares:

```
C:\>MD\EJER ↵
```

```
C:\>CD\EJER ↵
```

1.2. Entrar a STAN creando un nuevo banco de datos:

```
C:\EJER>stan newbank ↵
```

1.3. Contestar a las preguntas que definen el tamaño del banco de datos:

```
Enter: Number of network scenarios           (max. 100)=2
Enter: Number of zones or centroids         (max. 800)=10
Enter: Number of nodes incl. centroids     (max. 4800)=100
Enter: Number of directional links         (max. 16000)=200
Enter: Number of transfer table entries    (max. 16000)=200
Enter: Number of mode table entries       (max. 30)=3
```

## TALLER DE USO DEL PAQUETE STAN

Enter: Number of products in assignment (max. 12)=3  
Enter: Number of matrices mf, mo, md, ms (max. 99)=10  
Enter: Number of functions per fct-class (max. 299)=10  
Enter: Number of operators per fct-class (max. 6000)=10  
Enter: Number of link function sets (max. 1200)=5  
Enter: Number of transfer function sets (max. 1200)=5  
Enter: Size of extra attribute table (0=none)=10000  
Node labels required?y

Enter: Project title=TALLER DE USO DEL PROGRAMA STAN

### 1.4. Contestar a las preguntas que definen el tipo de dispositivos:

Select: Type of terminal  
1= Non-graphic terminal (24x80 FF)  
2= Emtool  
3= Emtool (colored background)  
4= Emtool mono (hardware chars)  
5= Tektronix 4014  
6= Tektronix 41xx series (generic)  
7= Seiko GR-1104 VT100  
8= Seiko GR-1104 VT100 w. Tablet  
9= ANSI terminal 24x80 non-graphic  
10= Visual 550 (vt100 mode)  
11= PlotDev Color (software chars)  
12= PlotDev Color (hardware chars)  
13= Pericom (graphic state 2)  
14= Selanar Hirez 100XL (vt100 mode)

2

Select: Type of printer  
1= ASCII printer 60 lines/page (FF)  
2= ASCII printer 80 lines/page (FF)  
3= EPSON (81pi 17cpi)  
4= HP Laserjet (81pi/15cpi)

4

Select: Type of plotfile  
1= GPL/GPR plotfile (color)  
2= GPL/GPR plotfile (mono)  
3= GPL/GPR plotfile (color + hard)  
4= GPL/GPR plotfile (graphtext)  
5= Emtool  
6= Emtool (colored background)  
7= Emtool mono (hardware chars)  
8= Tektronix 4014  
9= Seiko GR-1104 VT100  
10= Seiko GR-1104 VT100 w. Tablet  
11= Visual 550 (vt100 mode)

1

1.5. En la pantalla principal escribir las iniciales del usuario:

```
*****
*****
*****      STAN  (Release 4.2 - October 1995)      *****
*****
*****                        Developed at           *****
*****      Centre de Recherche sur les Transports  *****
*****      Universite de Montreal, Montreal, Canada *****
*****
*****                        (c) Copyright 1987 - 1995 *****
*****      INRO Consultants Inc., Montreal, Canada *****
*****
*****                        Licensed to             *****
*****      SECRETARIA COMUNICACIONES Y TRANSPORTES *****
*****      COORDINACION GENERAL DE PLANEACION      *****
*****
*****      Licence No. S017  Installation SCTCYM.. *****
*****
*****
*****
*****
```

Size of data bank: 255012 bytes Date: 96-04-19 12:41

Enter: Your initials=HDL

1.6. Dar un nombre al escenario por crear inicialmente:

Enter: Scenario to be created=1996

Enter: Title of scenario 1996 (max.60 char.)

-----  
=AÑO BASE

**2. Construir una red de transporte**

2.1. Definir los modos: c (carreteras), f (ferrocarril), x (conector de centroide):

Enter: Next module=2.01

2.01 INPUT / MODIFY / OUTPUT MODES

Scenario 1996 currently comprises:

0 modes (max. 3)

Select: Operation

- 1= input modes using batch entry
  - 2= add a mode interactively
  - 3= delete a mode interactively
  - 4= modify a mode interactively
  - 5= list modes
  - 6= punch modes
  - 7= initialize mode table
  - 8= change module parameters
  - 9= end
- 2

**TALLER DE USO DEL PAQUETE STAN**

---

**M O D E T A B L E**  
\*\*\*\*\*

Mode	Description	Line code	Color code	phim	-- user defined data --		
					um1	um2	um3
c	CARRETERA	1	2	.700	.000	.000	.000
f	FERROCARRIL	1	7	1.000	87.400	437.50	.800
x	CONECTOR	2	3	.000	.000	.000	.000

**2.2. Definir los productos: 1 (agricolas), 2 (industriales), 3 (minerales):**

**2.02 INPUT / MODIFY / OUTPUT PRODUCTS**

Scenario 1996 currently comprises:  
0 products (max. 30)

- Select: Operation
- 1= input products using batch entry
  - 2= add a product interactively
  - 3= delete a product interactively
  - 4= modify a product interactively
  - 5= list products
  - 6= punch products
  - 7= initialize product table
  - 8= change module parameters
  - 9= end
- 2

**P R O D U C T T A B L E**  
\*\*\*\*\*

Product	user defined data		
	up1	up2	up3
1 AGRICOLAS	.000	.000	.000
2 IND. EXTRACTIVA	.000	.000	.000
3 IND. MANUFACTURERA	.000	.000	.000

**2.3. Definir los vehiculos para todos los modos y todos los productos:**

**2.03 INPUT / MODIFY / OUTPUT VEHICLES**

- Select: Operation
- 1= input vehicles using batch entry
  - 2= add a vehicle interactively
  - 3= delete a vehicle interactively
  - 4= modify a vehicle interactively
  - 5= list vehicles
  - 6= punch vehicles
  - 7= initialize vehicle table
  - 8= change module parameters
  - 9= end
- 2

**TALLER DE USO DEL PAQUETE STAN**

---

VEHICLE TABLE  
\*\*\*\*\*

Product	Mode	Weight by vehicle ( t )	Vehicle weight ( t )	Convoy weight ( t )	- user defined data - uv1      uv2      uv3		
1	c	19.000	20.000	39.000	.000	.000	.000
1	f	51.000	30.000	1720.000	18.000	2.000	.000
1	x	.010	.000	.010	.000	.000	.000

Product	Mode	Weight by vehicle ( t )	Vehicle weight ( t )	Convoy weight ( t )	- user defined data - uv1      uv2      uv3		
2	c	20.000	20.000	40.000	.000	.000	.000
2	f	72.000	30.000	1538.000	18.000	2.000	.000
2	x	.010	.000	.010	.000	.000	.000

Product	Mode	Weight by vehicle ( t )	Vehicle weight ( t )	Convoy weight ( t )	- user defined data - uv1      uv2      uv3		
3	c	13.000	20.000	33.000	.000	.000	.000
3	f	48.000	30.000	1718.000	18.000	2.000	.000
3	x	.010	.000	.010	.000	.000	.000

2.4. Definir los conjuntos de función: 1 (carreteras), 2 (ferrocarril), 3 (conector):

2.04 INPUT / MODIFY / OUTPUT FUNCTION SETS

Link function sets:            0  
Transfer function sets:       0

Select: Operation

- 1= input function sets using batch entry
  - 2= add a function set interactively
  - 3= delete a function set interactively
  - 4= modify a function set interactively
  - 5= list function sets
  - 6= punch function sets
  - 7= initialize function set table
  - 8= end
- 2

FUNCTION SET TABLE ON LINKS  
\*\*\*\*\*

Set/C	Prd	Fct	Prd	Fct	Prd	Fct
----	---	---	---	---	---	---
11	1	001	2	001	3	001
12	1	005	2	006	3	007
13	1	003	2	003	3	003
21	1	002	2	002	3	002
22	1	008	2	009	3	009
23	1	004	2	004	3	004

## TALLER DE USO DEL PAQUETE STAN

```

31      1  010      2  010      3  010
32      1  010      2  010      3  010
33      1  010      2  010      3  010
    
```

### 2.5. Crear una pequeña red:

#### 2.12 INPUT / MODIFY BASE NETWORK INTERACTIVELY

Scenario 1996 currently comprises:

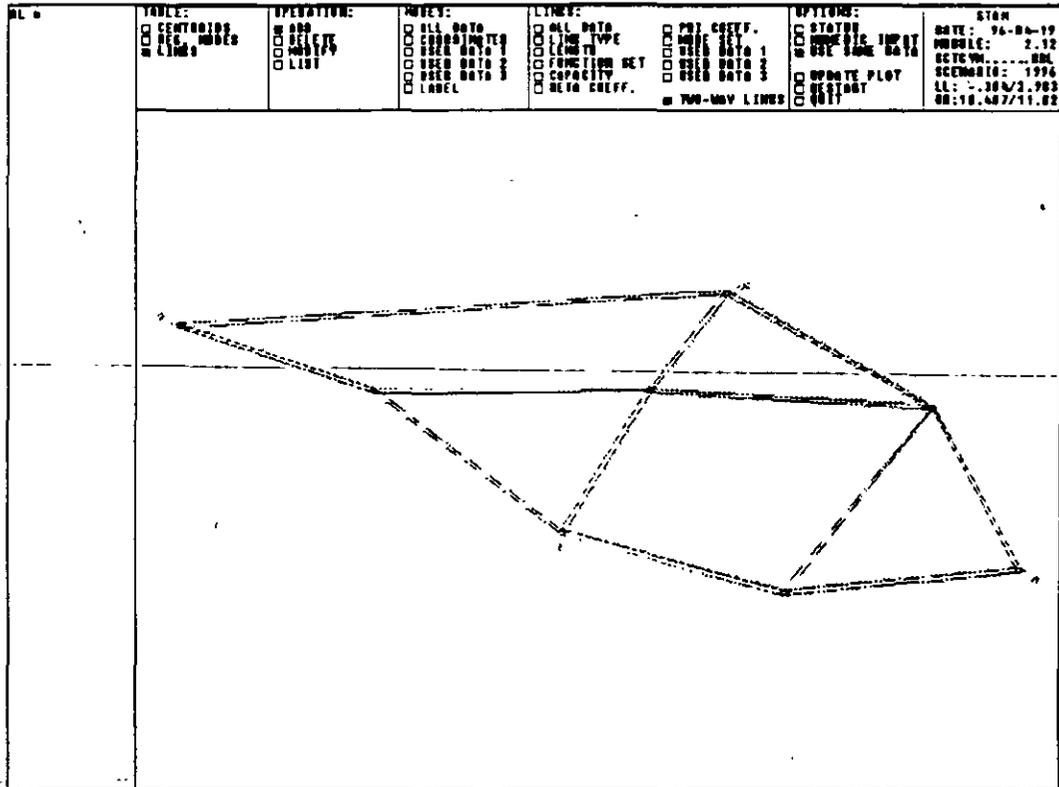
```

0 centroids      (max.  10)
0 regular nodes (max.  89)
0 links          (max. 200)
    
```

Select: Operation

```

1= input/modify base network
2= initialize base network
3= change module parameters
4= end
1
    
```



### 2.6. Insertar transferencias en algunos nodos:

#### 2.22 INPUT / MODIFY TRANSFERS INTERACTIVELY

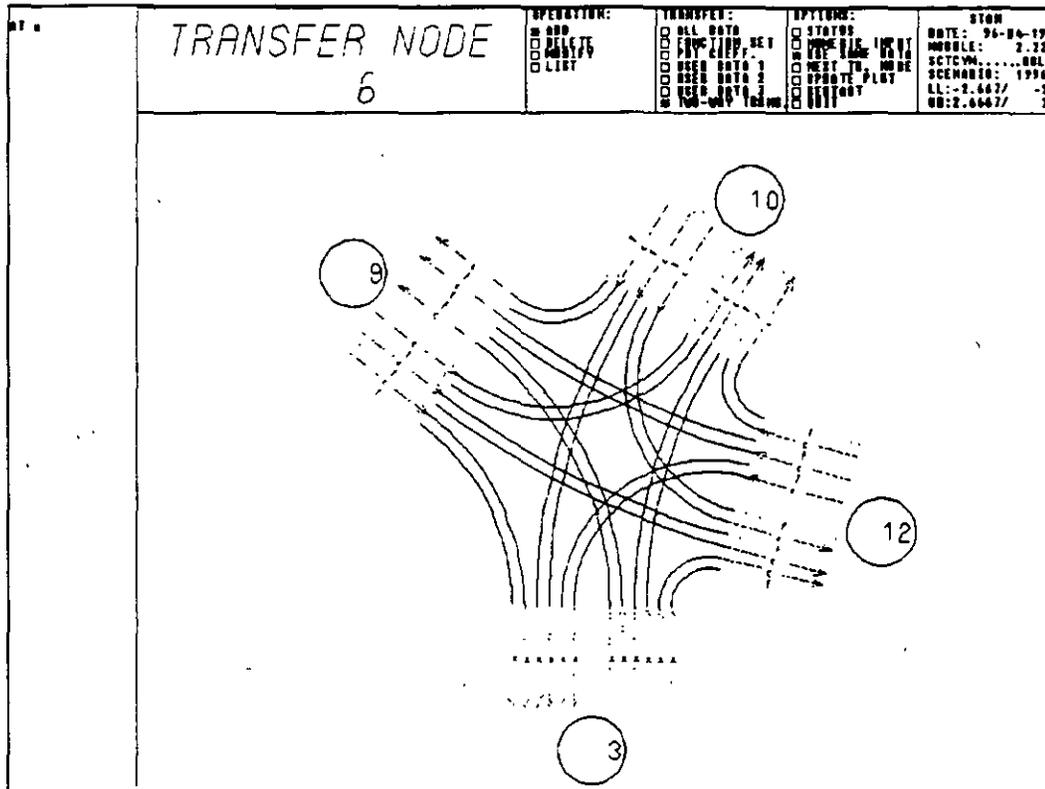
Scenario 1996 currently comprises:

```

0 transfers      (maximum: 200)
    
```

Select: Operation  
 1= input/modify transfers graphically  
 2= input/modify transfers globally  
 3= initialize transfer table  
 4= change module parameters  
 5= end  
 1

Enter: Selected node numbers or attributes (from, to)  
 =5,10  
 =12  
 =



2.7. Crear una copia del escenario y anexar algunos tramos:

1.22 SCENARIO MANIPULATIONS

Data bank currently comprises:  
 1 scenarios (max. 2)

Select: Operation  
 1= create a scenario  
 2= delete a scenario  
 3= copy a scenario  
 4= list scenarios  
 5= change protection flags of current scenario  
 6= end  
 3

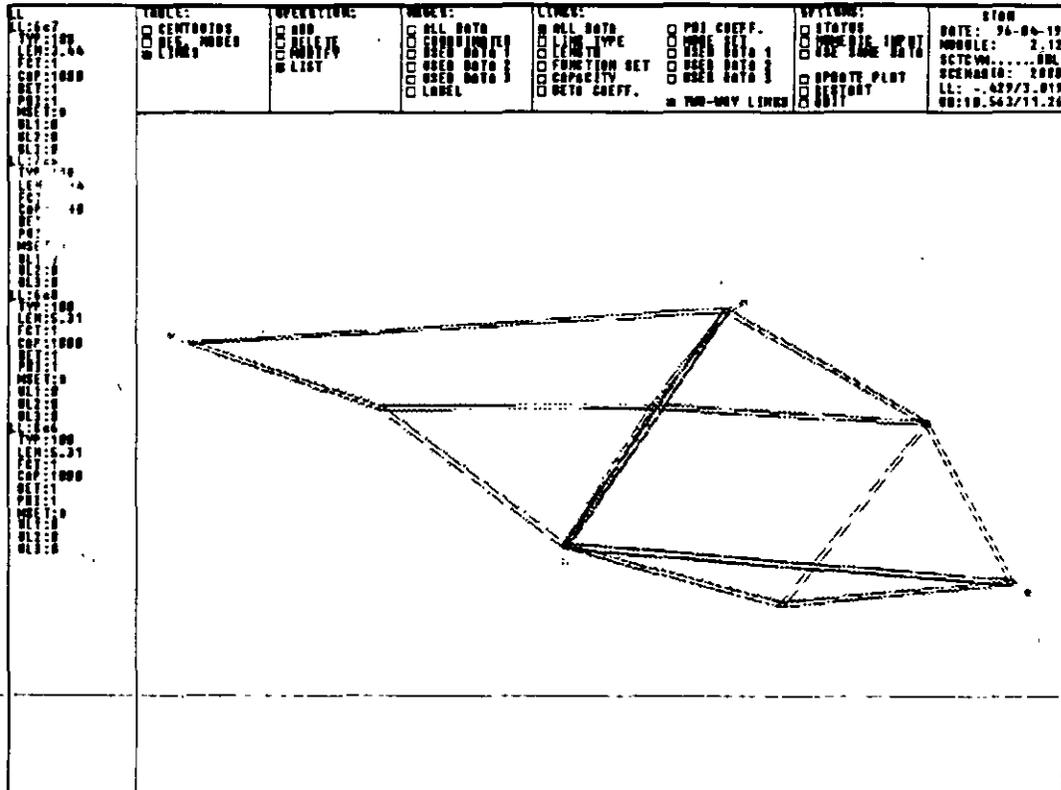
## TALLER DE USO DEL PAQUETE STAN

Enter: Scenario to be copied ( 1996) =  
Scenario 1996: AÑO BASE

Enter: Scenario to hold the copy=2000  
Enter: Title of scenario 2000 (max.60 char.)

-----  
=CORTO PLAZO

Is Scenario 2000 to become the new current scenario?y



### 3. Hacer algunas operaciones con la red

#### 3.1. Efectuar despliegues de la red (módulo 2.13):

2.13 PLOT BASE NETWORK

Select: Type of display

- 1= bare network
  - 2= base network
  - 3= change module parameters
  - 4= end
- 2

Efectuar acercamientos, alejamientos, ver números de nodos, ver etiquetas, etc.

#### 3.2. Enlistar los atributos de la red

2.14 OUTPUT BASE NETWORK

Select: Desired output

- 1= list nodes

## TALLER DE USO DEL PAQUETE STAN

- 2= list links
- 3= list base network summary
- 4= list nodes, links and summary
- 5= punch base network
- 6= change module parameters
- 7= end

4

### CENTROIDS

\*\*\*\*\*

Centroid number	coordinates		-- user defined data --			node label
	x	y	ui1	ui2	ui3	
1	-.022	8.5926	.00	.00	.00	GUAD
2	6.837	8.963	.00	.00	.00	MONT
3	4.6741	5.837	.00	.00	.00	MEXI
4	10.156	5.4667	.00	.00	.00	VERA

### REGULAR NODES

\*\*\*\*\*

Node number	coordinates		-- user defined data --			node label
	x	y	ui1	ui2	ui3	
5	.2	8.4889	.00	.00	.00	GUAD
6	4.6741	6.0296	.00	.00	.00	MEXI
7	6.6148	8.8741	.00	.00	.00	MONT
8	9.963	5.5852	.00	.00	.00	VERA
9	2.4667	7.7037	.00	.00	.00	0009
10	5.7111	7.7185	.00	.00	.00	SLP
11	8.9704	7.5111	.00	.00	.00	TAMP
12	7.2815	5.3185	.00	.00	.00	ORIZ

### LINKS

\*\*\*\*\*

From node	By mod	To node	Length (km)	Link type	Fct set	Capacity	Beta	Phil	-user data-			Mode set
									ui1	ui2	ui3	
1	x	5	.00	300	3	100000	1.000	1.000	.00	.00	.00	
2	x	7	.00	300	3	100000	1.000	1.000	.00	.00	.00	
3	x	6	.00	300	3	100000	1.000	1.000	.00	.00	.00	
4	x	8	.00	300	3	100000	1.000	1.000	.00	.00	.00	
5	c	7	6.43	100	1	1000.	1.000	1.000	.00	.00	.00	
5	c	9	2.40	100	1	1000.	1.000	1.000	.00	.00	.00	
5	f	9	2.40	200	2	10.	1.000	1.000	.00	.00	.00	f
5	x	1	.00	300	3	100000	1.000	1.000	.00	.00	.00	
6	c	7	3.44	100	1	1000.	1.000	1.000	.00	.00	.00	
6	c	8	5.31	100	1	1000.	1.000	1.000	.00	.00	.00	
6	c	9	2.77	100	1	1000.	1.000	1.000	.00	.00	.00	
6	c	10	1.98	100	1	1000.	1.000	1.000	.00	.00	.00	
6	c	12	2.70	100	1	1000.	1.000	1.000	.00	.00	.00	
6	f	9	2.77	200	2	10.	1.000	1.000	.00	.00	.00	f
6	f	10	1.98	200	2	10.	1.000	1.000	.00	.00	.00	f

3.3. Mostrar las trayectorias mínimas en base a la longitud a partir de un centroide:

2.33 PLOT / COMPUTE SHORTEST PATHS ON BASE NETWORK

Select: Operation

- 1= plot shortest distance paths from a centroid
  - 2= compute shortest distance paths
  - 3= change module parameters
  - 4= end
- 1

3.4. Efectuar algunos cálculos con la red:

2.41 NETWORK CALCULATIONS

Select: 1= network calculations and modeset changes  
2= copy network attribute from other scenario  
3= input network attribute using batch entry  
4= change module parameters  
5= end

1

Save result?y

Enter: Attribute to save result in=ul1

Available attributes:

- I: i xi yi ui1 ui2 ui3
- J: j xj yj uj1 uj2 uj3
- BL: ub1 ub2 ub3
- L: len fct typ cap ul1 ul2 ul3 beta phil
- R: lenr fcrr typr capr ul1r ul2r ul3r betar philr
- M: um1 um2 um3 phim
- P: up1 up2 up3
- V: conwgt wbyveh vehwgt uv1 uv2 uv3
- : index1 index2 index3

Enter: Expression to calculate ul1  
=len\*1.609  
=

ul1 = len \* 1.609

Enter: Mode(s)=cf

Enter: Selected link types or attributes (from, to)  
=mod=c  
=mod=f  
=

3.5. Crear un atributo extra y hacer el cálculo para incorporarle algún valor:

2.42 EXTRA ATTRIBUTE MANIPULATIONS

Scenario 2000 currently contains:

Extra attributes: 0 (OI/ OL/ OBL/ OM/ OP/ OV)  
Total number of words used: 0 (max. 10000)

Select: 1= initialize extra attribute table  
2= create attribute  
3= delete attribute  
4= modify attribute description / default value  
5= list extra attribute directory  
6= end  
2

#### 4. Hacer algunas operaciones con matrices

##### 4.1. Graficar una matriz como líneas de deseo o como chimeneas:

###### 3.13 PLOT MATRICES

Select: 1= by origin-destination pairs  
2= by origin centroids  
3= by destination centroids  
4= by origin and destination centroids  
5= change module parameters  
6= end  
1

Enter: Matrix=mf10

mf10: FC1991/r Matriz de Ferrocarriles 1991 (94-12-14 15:34)

Submatrix?n

Constraint matrix

Enter: Matrix=mf10

mf10: FC1991/r Matriz de Ferrocarriles 1991 (94-12-14 15:34)

Enter: Constraint interval ( 0, 0,exclude) =0,2000,ex

Display numeric values?y

Display centroid numbers?n

Enter: Scale factor ( 1.000)=2000

Plot bare network?n

Enter: Selected link types or attributes (from, to)

=\*

Window?n

##### 4.2. Mostrar el contenido de una matriz:

###### 3.14 OUTPUT MATRICES

Select: Operation  
1= list a matrix  
2= list matrix directory  
3= punch a matrix  
4= change module parameters  
5= end  
1

4.3. Mostrar el histograma de una matriz:

3.16 PLOT HISTOGRAM OF MATRICES

Select: 1= plot histogram of matrix  
2= compare histograms of two matrices  
3= difference between two matrix histograms  
4= list histogram of matrix  
5= change module parameters  
6= end  
1

Plot histogram of matrix

Data matrix

Enter: Matrix=mf10

mf10: FC1991/r Matriz de Ferrocarriles 1991 (94-12-14 15:34)

Weight matrix?n

Submatrix?n

Constraint matrix

Enter: Matrix=mf10

mf10: FC1991/r Matriz de Ferrocarriles 1991 (94-12-14 15:34)

Enter: Constraint interval ( 0, 0,exclude) =

Select: 1= density  
2= cumulative  
1

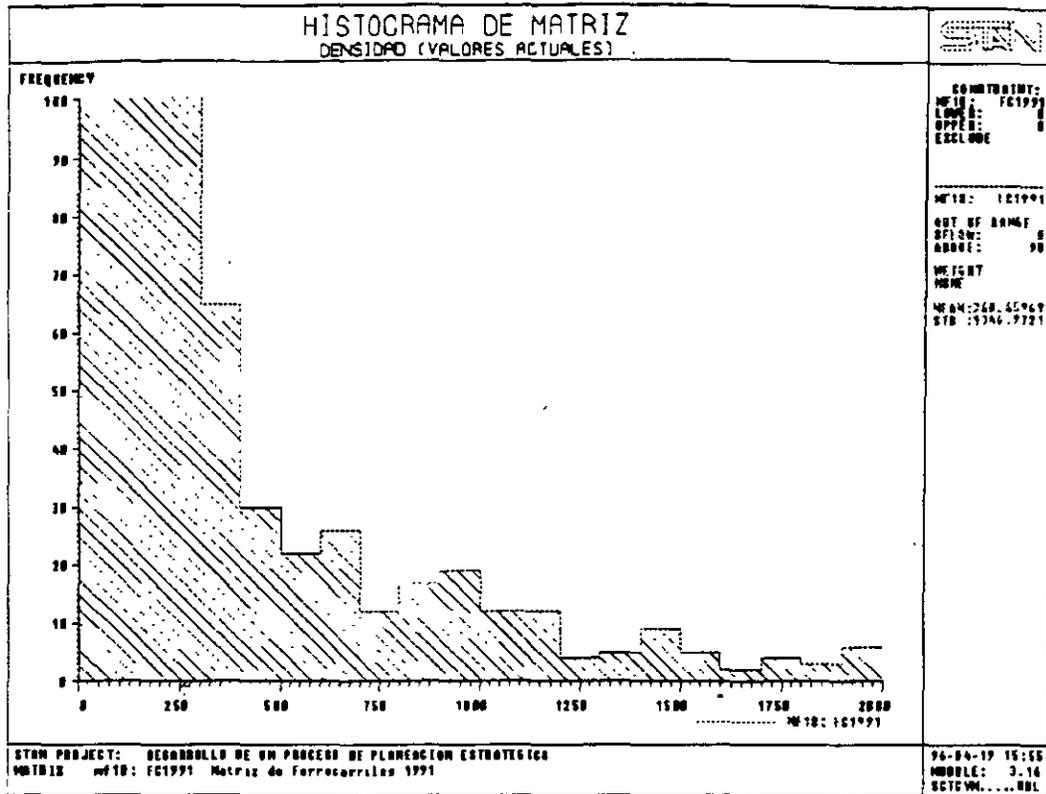
Select: 1= normalized values  
2= actual values  
2

Enter: Value range ( 0.00, 1000.00 )=0,2000

Enter: Interval ( 100.000)=

Frequency range on vertical axis is: 0, 2353  
Automatic range on vertical axis?n

Enter: Frequency range on vertical axis (from,to)=0,100



4.4. Efectuar algunos cálculos de matrices:

3.21 MATRIX CALCULATIONS

Select: 1= matrix calculations  
 2= end  
 1

Save result?y

Result matrix

Enter: Matrix=mf9

mf09 not initialized.

Do you want to initialize it?y

Enter: Name (6 char)=94-91

Enter: Description (max 40 char)=Diferencia de flujos entre 1991 y 1994

Enter: Default value=0

mf09 header modified

mf09 initialized

Enter: Algebraic expression

=mf11-mf10

=

mf09 = mf11 - mf10

Constraint matrix

Enter: Matrix=

Submatrix?n

```
Select: List device
        1= Terminal
        2= Printer
        1
```

### 5. Funciones

#### 5.1. Mostrar las funciones existentes en el banco de datos:

##### 4.12 INPUT / MODIFY FUNCTIONS INTERACTIVELY

```
Function class:          fl   ft   fu
No. of functions (max. 200):  36   5   0
No. of operators (max.1000): 771  38   0
```

```
Select: 1= initialize function table
        2= add functions
        3= modify functions
        4= delete functions
        5= show functions
        6= show keywords and operators
        7= show function directory
        8= end
        5
```

Functions to be shown

Enter: Functions (from,to)

=f11,f199

=

f11 = voltot / length

f111 = ((uv1 + ul1) / wbyveh + uv3) \* phil \* length \* (1 /  
 $ul2 * (1 + .03431 * 2.71828 ^ (3.3523) * (vehtot * 1.25 / cap) ^ 4.4188)$ )

f112 = (up1 + uv2 / wbyveh) \* phil \* length

f113 = (1 + vehwgt / wbyveh) \* phim \* phil \* length

f121 = ((uv1 / wbyveh) + uv3) \* phil \* length \* (1 / ul2) \*  
 $(1 + .03431 * 2.71828 ^ (3.3523) * (vehtot * 1.25 / cap) ^ 4.4188)$

f122 = (up2 + uv2 / wbyveh) \* phil \* length

f123 = (1 + vehwgt / wbyveh) \* phim \* phil \* length

f141 = (um1 \* ((1 + vehwgt / wbyveh) / (phil \* ul2)) + uv1 /  
wbyveh) \* (length / ul1) \* (1 + (ul3 - 1) / 2)

f142 = (um2 \* ((1 + vehwgt / wbyveh) / (phil \* ul2)) + uv2 /  
wbyveh) \* (length / ul1) \* (1 + (ul3 - 1) / 2)

f143 = ((75.66 \* phil \* um3) / (ul2 \* ul1)) \* length \* (1 +

f151 = (um1 \* ((1 + vehwgt / wbyveh) / (phil \* ul2)) + uv1 /  
wbyveh) \* (length / ul1) \* (1 + (ul3 - 1) / 2)

f153 = ((75.66 \* phil \* um3) / (ul2 \* ul1)) \* length \* (1 +

f161 = (um1 \* length) / wbyveh

f162 = (um2 / wbyveh) \* (length / 24)

f163 = ((vehwgt / wbyveh) + 1) \* 453u \* length

f171 = 0

f172 = 0

## TALLER DE USO DEL PAQUETE STAN

```
f173 = 0
f181 = 3.333 * length * (1 + .03431 * 2.71828 ^ (3.3523) *
      voltot / cap) ^ 4.4188
f182 = 0
f183 = 0
f191 = 0
f192 = 0
f193 = 0
f1101= (um2 * ((1 + vehwgt / wbyveh) / (phil * ul2)) + uv2 /
      wbyveh) * (length / ul1) * (1 + .019643 * strain +
      4.8119 * (strain / (.8 * 7 * cap)) ^ 6) * (1 + (ul3 -
      1) / 2)
f1102= (um2 * ((1 + vehwgt / wbyveh) / (phil * ul2)) + uv2 /
      wbyveh) * (length / ul1) * (1 + .012088 * strain +
      4.8119 * (strain / (.8 * 7 * cap)) ^ 6) * (1 + (ul3 -
      1) / 2)
f1103= (um2 * ((1 + vehwgt / wbyveh) / (phil * ul2)) + uv2 /
      wbyveh) * (length / ul1) * (1 + .00873 * strain +
      4.8119 * (strain / (.8 * 7 * cap)) ^ 6) * (1 + (ul3 -
      1) / 2)
f1104= (um2 * ((1 + vehwgt / wbyveh) / (phil * ul2)) + uv2 /
      wbyveh) * (length / ul1) * (1 + .006832 * strain +
      4.8119 * (strain / (.8 * 7 * cap)) ^ 6) * (1 + (ul3 -
      1) / 2)
:
f1112= (um2 * ((1 + vehwgt / wbyveh) / (phil * ul2)) + uv2 /
      wbyveh) * (length / ul1) * (1 + .004825 * strain +
      4.8119 * (strain / (.8 * 7 * cap)) ^ 6) * (1 + (ul3 -
      1) / 2)
ft1 = 0
ft2 = un2
ft11 = 17646 * (un1 + 1.475) + 10420 + (147 * (17646 / un2)
      * un3) + 4760
ft12 = 17646 * (un1 + .5) + (10420 * .35) + (147 * (17646 /
      un2) * un3) + 4760
ft13 = 1919885 / un2
```

### 5.2. Mostrar la gráfica de alguna función:

#### 4.13 PLOT FUNCTIONS

```
Select: 1= plot functions
        2= change module parameters
        3= end
        1
Enter: Function=f1101
f1101= (um2 * ((1 + vehwgt / wbyveh) / (phil * ul2)) + uv2 /
      wbyveh) * (length / ul1) * (1 + .019643 * strain +
      4.8119 * (strain / (.8 * 7 * cap)) ^ 6) * (1 + (ul3 -
      1) / 2)
Enter: Variable to plot on horizontal axis=strain
Enter: Range of strain ( 0.00, 100.00)=50,180
Set of curves for a variable?y
Enter: Variable=cap
Enter: Values for cap
```

```
=10
=15
=20
=
Enter: length=100
Enter: ul1=45.49
Enter: ul2=687
Enter: ul3=2
Enter: wbyveh=50.5
Enter: vehwgt=27.7
Enter: um2=437467
Enter: uv2=22431.7
Enter: phil=3
```

Other functions on the same plot?n

Range of function values is: 5148.6, 13536k  
Automatic range on vertical axis ?y

## 6. Asignación

### 6.1. Llevar a cabo una asignación de demanda por modo al modo específico:

5.11 PREPARE SCENARIO 3000 FOR ASSIGNMENT

```
Select: Type of assignment .
        1= mincost
        2= end
        1
```

Available products :

product and description	product and description
1 CEREALES	2 FRUTAS Y LEGUMBRES
3 OTROS AGRICOLAS	4 ACERO Y PRODUCTOS
5 AZUCAR	6 CEMENTO
7 FERTILIZANTES	8 VEHICULOS
9 OTROS INDUSTRIALES	10 MINERALES E INORG.
11 PETROLEO Y DERIVADOS	12 CARGA AGREGADA

Products to be considered in assignment

```
Enter: Selected products (from, to)
=12
=
```

Demand for product 12 (CARGA AGREGADA )

```
Enter: Matrix=mf10
mf10: FC1991/r Matriz de Ferrocarriles 1991 (94-12-14 15:34)
```

```
Enter: Mode(s)=xf
```

```
Enter: Matrix=
```

Generalized cost function form

Enter: Weight for operating cost component (0.0)= 1

Enter: Weight for delay cost component (0.0)= 1

Enter: Weight for other cost component (0.0)= 1

Generalized cost:

1\*(operating cost) + 1\*(delay cost) + 1\*(other cost)

OK? y

Produce detailed report? n

Check link cost functions ...

Check transfer cost functions ...

Enter: Max. number of iterations ( 10)=20

Consider gap criterion? y

Enter: Stopping criterion for gap ( 0.50%)=5

Enter: Next module=5.21

#### 5.21 MULTIPRODUCT MULTIMODE ASSIGNMENT

Select: List device

1= Terminal

2= Printer

2

#### 6.2. Llevar a cabo una asignación de demanda total a todos los modos:

El procedimiento es el mismo, sólo que aquí se especifican todas las matrices a todos los modos en:

Enter: Matrix=mf10

mf10: FC1991/r Matriz de Ferrocarriles 1991 (94-12-14 15:34)

Enter: Mode(s)=xacf

Enter: Matrix=mf20

mf20: CARR91/r Matriz de Autotransporte 1991 (94-11-30 16:34)

Enter: Mode(s)=xacf

Enter: Matrix=

y se continua con las siguientes preguntas.

## 7. Resultados

### 7.1. Mostrar los resultados de costos y volúmenes:

#### 6.13 PLOT PRODUCT COSTS AND VOLUMES

Select: Type of display

- 1= product costs or volumes on bare network
  - 2= product costs or volumes on base network
  - 3= product costs or volumes on transfer nodes
  - 4= change module parameters
  - 5= end
- 2

### 7.2. Enlistar los resultados:

#### 6.14 LIST PRODUCT RESULTS

Select: Desired report

- 1= on links
  - 2= on transfers
  - 3= change module parameters
  - 4= end
- 1

### 7.3. Mostrar los resultados de vehículos y convoyes:

#### 6.15 PLOT PRODUCT VEHICLES AND CONVOYS

Select: Type of display

- 1= product vehicles or convoys on bare network
  - 2= product vehicles or convoys on base network
  - 3= change module parameters
  - 4= end
- 2

### 7.4. Comparar los volúmenes asignados en dos escenarios diferentes:

Para este ejercicio se asigna la matriz de ferrocarriles mf10 en los escenarios 1991 y 2000 y se compara la zona de Guadalajara-Aguascalientes-San Luis Potosí.

Colocándonos en el escenario 2000:

#### 6.23 COMPARE PRODUCT RESULTS

Select: Information background

- 1= bare network
  - 2= base network
  - 3= transfer nodes
  - 4= change module parameters
  - 5= end
- 2

Select: Results to be compared

- 1= volumes
- 2= unit costs
- 3= marginal unit costs
- 4= vehicles

**TALLER DE USO DEL PAQUETE STAN**

---

5= convoys  
1

Select: Type of comparison  
1= actual difference  
2= relative difference in %  
1

Enter: Scenario to be compared with scenario 2000=1991  
Scenario 2000: LARGO PLAZO  
Scenario 1991: A&O BASE

Display node numbers?n

Select network and results for scenario: 2000  
\*\*\*\*\*

Enter: Mode(s)=xef

Enter: Selected products (from, to)  
=12  
=

Enter: Selected link types or attributes (from, to)  
=mod=e  
=mod=f  
=mod=x  
=

Select network and results for scenario: 1991  
\*\*\*\*\*

Same mode selection as for scenario 2000?y

Same product selection as for scenario 2000?y

Same link selection as for scenario 2000?y

Select: Type of display  
1= plot bars  
2= display numeric values  
3= bars and numeric values  
1

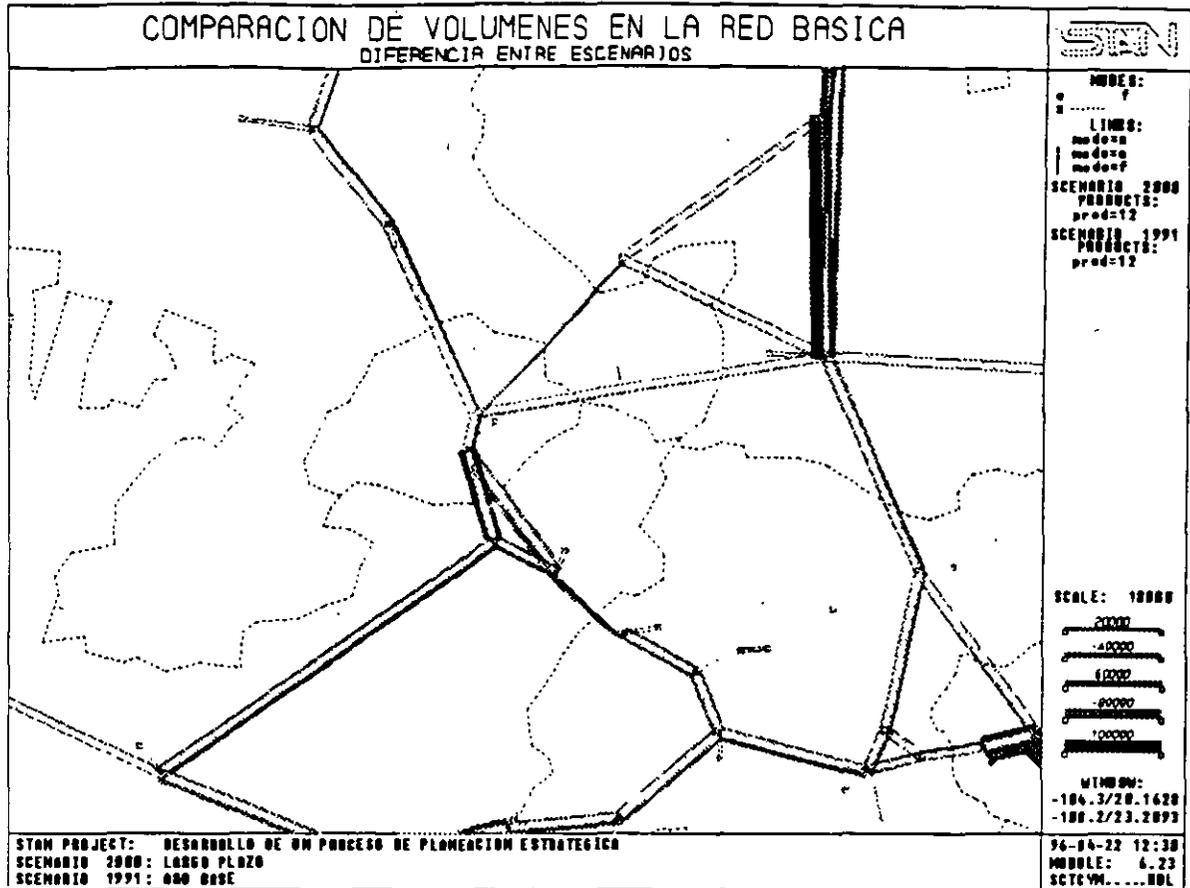
Enter: Scale factor in t / coord.unit ( 5735)=10000

Window?y

Select: 1= using coordinates  
2= using nodes  
3= centered on a node  
4= use predefined window  
5= use same window as before  
4

Enter: Window (a-z)=a

TALLER DE USO DEL PAQUETE STAN



7.5. Hallar la trayectoria mínima en base a los costos:

6.33 PLOT / COMPUTE SHORTEST PATHS ON BASE NETWORK

Select: Operation

- 1= plot shortest paths from a centroid
  - 2= compute shortest paths
  - 3= change module parameters
  - 4= end
- 1

Select: Type of length

- 1= distance
  - 2= unit cost
  - 3= unit marginal cost
- 2

Enter: Mode(s)=xac

Enter: Selected products (from, to)

=12  
=

Number of active modes selected : 3  
Number of active products selected : 1

Enter: Root centroid=29

Enter: Minimum unit cost in \$ (1991.6)=

Enter: Maximum unit cost in \$ (10000k)=

Display node numbers?n

Enter: Selected link types or attributes (from, to)

=mod=a

=mod=c

=

Window?n

### ***REFERENCIAS***

1. INRO Consultants, Inc. STAN USER'S MANUAL. Software Release 4.0.
2. Jacques Guélat, Michael Florian and Teodor G. Crainic. A Multimode Multiproduct Network Assignment Model for Strategic Planning of Freight Flows.
3. Teodor G. Crainic and Lydie Querin. Aproximation of Over-the-Line Delay for Single Line-Single Speed Freight Rail Transportation.
4. Teodor G. Crainic, Michael Florian and José Eugenio Léal. A Model for the Strategic Planning of National Freight Transportation by Rail.
5. Teodor G. Crainic, Michael Florian, Jacques Guélat and Heinz Speiss. STAN: An Interactive-Graphic System for Strategic Transportation Analysis at the National and Regional Levels.

## **Tema: Impactos del Transporte Urbano**

**Ing. Angel Molinero**  
**Urbanismo y Sistemas de Transporte, SA de CV**

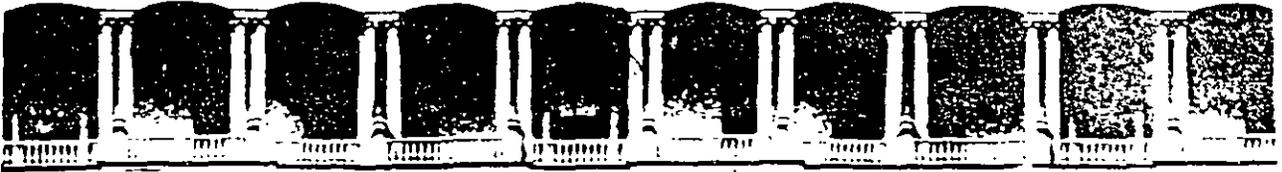
1. El Transporte y el Desarrollo Urbano
  - 1.1. Transporte y uso del suelo
  - 1.2. Ciclo del transporte-uso del suelo
  - 1.3. Planeación del transporte versus planeación de un desarrollo inmobiliario (site planning)
2. Planeación de un Desarrollo Inmobiliario (site planning)
  - 2.1. El proceso a seguir
  - 2.1. Revisión del desarrollo
  - 2.3. Escalas de planeación
3. Análisis del Tránsito
  - 3.1. Tránsito orientado al desarrollo
    - 3.1.1. Generación de viajes
    - 3.1.2. Distribución direccional de los viajes del desarrollo
  - 3.2. Asignación del tránsito orientado del desarrollo
    - 3.2.1. Significación de la distribución
    - 3.2.2. Análisis de tendencias
    - 3.2.3. Factores de crecimiento
    - 3.2.4. Asignación
4. Sistemas de Circulación Funcional
  - 4.1. Jerarquía del movimiento
  - 4.2. Clasificación

5. Ecología de una calle

- 5.1. El tránsito y los viajes
- 5.2. Medio ambiente de la calle
- 5.3. Residentes
- 5.4. Cambios a lo largo del tiempo

6. Estrategias de reducción de emisiones

- 6.1. Inspección vehicular-mantenimiento
- 6.2. Estrategias de mejoras al flujo del tránsito
- 6.3. Equipos de control
- 6.4. Reducción de la hora pico



**FACULTAD DE INGENIERIA U.N.A.M.  
DIVISION DE EDUCACION CONTINUA**

**DIPLOMADO INTERNACIONAL DEL TRANSPORTE**

**MODULO II : "PLANIFICACION DEL TRANSPORTE URBANO**

**TEMA :**

**ALGUNOS MODELOS DE EVALUACION EN LA PLANEACION DEL TRANSPORTE**

**Autor :**

***M. en I. ALBERTO MORENO BONETT***

**PRIMAVERA 1997...**

# **ALGUNOS MODELOS DE EVALUACION EN LA PLANEACION DEL TRANSPORTE**

**POR  
ALBERTO MORENO BONETT \***

## **RESUMEN**

La evaluación de un conjunto de alternativas generado por un modelo de transporte o determinado por las directrices de desarrollo de una región, se ubica generalmente en tres grandes rubros.

Por una parte se encuentra la evaluación económica fundamentada en consideraciones sobre los costos de oportunidad del capital, así como los impactos en el bienestar de la comunidad. Este tipo de evaluación utiliza entre otros indicadores: al valor presente neto, a la tasa interna de recuperación, a la relación beneficio-costos y al costo de operación anual.

Por otro lado se encuentra la evaluación financiera caracterizada por la obtención y el manejo de indicadores financieros que permitan comparar las alternativas, los aspectos fundamentales en este caso son: la cobertura de cada una de ellas, el flujo de fondos, la rentabilidad, la estructura del financiamiento, los estados proforma y los puntos de equilibrio.

La evaluación conjunta y comparativa de las alternativas puede desarrollarse utilizando variados enfoques metodológicos entre los que destacan los métodos de suma ponderada, de jerarquía de criterios y Electra, así como el Análisis de Decisiones y la Teoría de la Utilidad.

En este trabajo se consideran tres incisos en los que se presentan suscintamente lo modelos de evaluación antes citados.

En los dos primeros incisos se ubica el proceso de evaluación dentro de la modelación del Transporte, ya sea urbano o interurbano, esta modelación debe permitir:

- a) describir la operación del Sistema de Transporte existente, ya sea urbano o interurbano, unimodal o multimodal.
- b) estimar su comportamiento probable (pronóstico)
- c) construir escenarios para diversas condiciones, compararlas y evaluarlas
- d) recomendar acciones inmediatas y a diferentes plazos, constituyéndose así en una herramienta oportuna que apoye la toma de decisiones.

En el tercer inciso se presentan los modelos de evaluación propiamente dichos, distinguiendo los rubros ya citados en los que respecta a evaluación económica, a evaluación financiera y a la toma de decisiones con objetivos múltiples.

# ALGUNOS MODELOS DE EVALUACION EN LA PLANEACION DEL TRANSPORTE

## INDICE

	<u>Página</u>
<b>1. TRANSPORTE URBANO</b> .....	4
<b>1.1 OBJETIVOS</b> .....	4
<b>1.2 MODELO CONCEPTUAL DEL TRANSPORTE URBANO</b> .....	4
1.2.1 Subsistema de demanda.....	4
1.2.2 Subsistema de Líneas de Deseo .....	6
1.2.3 Subsistema de Asignación.....	7
1.2.4 Subsistema de Escenarios y Evaluación .....	7
<b>2. TRANSPORTE INTERURBANO</b> .....	8
<b>3. EVALUACION</b> .....	8
<b>3.1 EVALUACION ECONOMICA</b> .....	10
3.1.1 Modelos Deterministas.....	10
3.1.2 Algunos Aspectos aleatorios.....	16
3.1.3 Programación de Inversiones .....	23
<b>3.2 EVALUACION FINANCIERA</b> .....	27
3.2.1 Modelo conceptual.....	27
3.2.2 Usos del Modelo .....	28
<b>3.3 TOMA DE DECISIONES CON OBJETIVOS MULTIPLES</b> .....	30
3.3.1 Los modelos de Suma Ponderada, de Jerarquía de Criterios y Electra.....	30
3.3.2 Análisis de decisiones.....	32
<b>4. BIBLIOGRAFIA</b> .....	44

# ALGUNOS MODELOS DE EVALUACION EN LA PLANEACION DEL TRANSPORTE

POR

ALBERTO MORENO BONETT\*

## 1. TRANSPORTE URBANO

**1.1 OBJETIVOS.** Es necesario construir modelos que ubiquen al problema del transporte dentro de la ciudad como sistema y que permitan:

- a) describir su operación actual (diagnóstico)
- b) estimar su comportamiento probable (pronóstico)
- c) construir escenarios para muy diversas condiciones, compararlos y evaluarlos
- d) recomendar acciones inmediatas, a corto y largo plazo.

**1.2 MODELO CONCEPTUAL DEL TRANSPORTE URBANO.** Inmerso en la conceptualización sistémica del funcionamiento de la urbe, debe desarrollarse el modelo del transporte, para lo cual se generan cinco subsistemas (figura 1) dedicados al pronóstico de la demanda, a distribuirla por líneas de deseo, a determinar los medios por los que circulará y, finalmente a asignarla a la red vial y de transporte público. Adicionalmente, debe tener la capacidad de simular alternativas de solución y de evaluar sus consecuencias.

**1.2.1 Subsistema de Demanda.** El propósito de este modelo es cuantificar posibles demandas de transporte, tanto de los pasajeros cautivos que necesariamente recurren a algún transporte público específico, como de los pasajeros libres que son aquellos que poseen automóviles pero que, bajo ciertas circunstancias, pueden optar por los servicios de transporte público. Además, se incluyen la demanda en cuanto a tránsito interurbano generado por la zona de influencia de la ciudad y por el transporte de mercancías y el tráfico de paso.

\* PROFESOR TITULAR DE LAS DIVISIONES DE INGENIERIA CIVIL Y DE ESTUDIOS DE POSGRADO DE LA FACULTAD DE INGENIERIA DE LA UNAM, MIEMBRO DEL CONSEJO CONSULTIVO PRESIDENTE FUNDADOR DEL INSTITUTO MEXICANO DE SISTEMAS, ACADEMICO DE NUMERO DE LA ACADEMIA MEXICANA DE INGENIERIA Y JEFE DE LA DIVISION DE EDUCACION CONTINUA DE LA FACULTAD DE INGENIERIA.

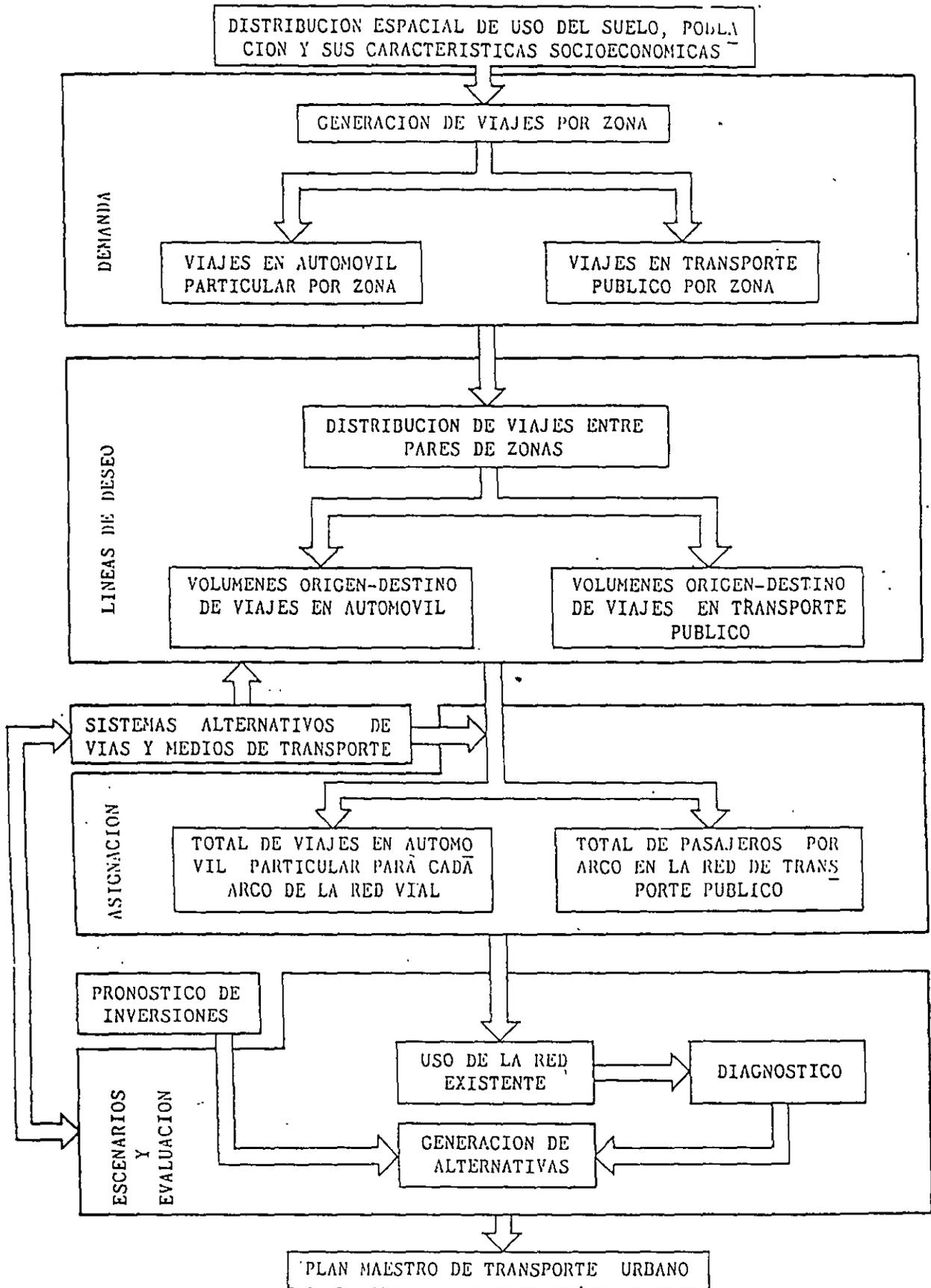


Figura 1. Transporte Urbano

Lo anterior, implica estratificar a la ciudad y a su zona de influencia, determinar las características socioeconómicas preponderantes y los usos del suelo en cada estrato. En su forma más sencilla las relaciones matemáticas que se pueden desarrollar para representar a la demanda de transporte por motivo del viaje, son del tipo que sigue:

$$\text{Producción de Viajes} \left\{ \begin{array}{l} \text{al trabajo} = f_1 (\text{población zonal económicamente activa,...}) \\ \text{de estudio} = f_2 (\text{población estudiantil de la zona,...}) \end{array} \right.$$

$$\text{Atracción de Viajes} \left\{ \begin{array}{l} \text{al trabajo} = g_1 (\text{demanda de obreros en la zona,...}) \\ \text{de estudio} = g_2 (\text{centros de estudio,...}) \end{array} \right.$$

Una técnica que usualmente se emplea para la elaboración de expresiones como las anteriores, es la de regresión múltiple a partir de información muestral, aunque también pueden usarse otras técnicas propias de la Ingeniería de Sistemas que permitan incorporar demanda cualitativa.

**1.2.2 Subsistema de Líneas de Deseo.** En el subsistema de demanda se llega a determinar la producción y la atracción de viajes por estrato y por motivo, pero no se llegan a estimar las parejas origen-destino que les corresponden, esto es, no se logra conocer a la distribución de los viajes entre parejas de zonas, esto se logra en el subsistema de líneas de deseo. Una técnica usual para determinar dicha distribución es la de los modelos gravitacionales los que, esencialmente, son modelos estadísticos que determinan el flujo de los viajes entre dos zonas en relación directa a la producción de viajes de la zona origen y a la atracción de la zona destino, e inversamente proporcional a una determinada potencia del costo de transporte. Estos modelos se

calibran de modo que satisfagan las condiciones de equilibrio que deben cumplir la producción y la atracción de viajes.

En este subsistema también se desarrolla un proceso que simule el proceso mediante el cual los pasajeros discriminan entre los diversos medios de transporte disponibles.

Así, los pasajeros cautivos se distribuyen entre los autobuses urbanos, los trolebuses, el metro y los taxis colectivos en función de las tarifas, los tiempos de recorrido y las características socioeconómicas de cada zona. Para los pasajeros libres la distribución puede estar tanto en función de los costos de viajes en automóvil particular y en transporte colectivo como de los tiempos de recorrido. En ambos casos se incluyen patrones de conducta de los posibles usuarios y participantes en el esquema de transportación y se calibran los resultados con objeto de obtener distribuciones razonables.

**1.2.3 Subsistema de Asignación.** Ya conocidos los volúmenes que circularán en cada medio de transporte así como su origen y destino, en este subsistema se determinan sus posibles trayectorias, esto es, se asignan pasajeros cautivos a la red de transporte existente o propuesta, y vehículos particulares y de paso a la red vial tratando de minimizar el tiempo o el costo. En ambos casos dicha asignación usualmente se lleva a cabo utilizando métodos de optimización para caminos mínimos y requiere de información relativa a vías y medios de transporte.

Así para la red de transporte público se deben incluir los diversos medios disponibles (autobuses, taxis colectivos, metro, trolebuses), los posibles transbordos y las tarifas. En cuanto a la red vial, como ya se expuso, puede clasificarse por calles, avenidas rápidas y sentidos de circulación asociando además sus características de fluidez en función de los volúmenes de tránsito y sus correspondientes características de costo. En ambas redes, se identifican nodos y arcos. Los nodos son intersecciones de las redes de transporte y/o cruces de la red vial, y los arcos son ligas entre parejas de nodos y no son otra cosa que tramos de las rutas y/o de la red vial.

Para determinar los caminos mínimos por los que pueden circular los volúmenes de tránsito asociados a las líneas de deseo, se tienen diversos modelos. Todos ellos, aunque no son conceptualmente complejos, requieren de un manejo bastante elaborado de cada arco de la red, lo que requiere de la utilización de computadoras electrónicas.

**1.2.4 Subsistema de escenario y evaluación.** Al consolidar los resultados asociados a cada arco puede obtenerse para cada año del horizonte de planeación: el total de pasajeros -km. en el sistema, el número de vehículos urbanos que se requieren para satisfacer la demanda, los arcos congestionados que debieran mejorar su nivel de servicio, el costo total del transporte anual, etc. De esta manera los responsables de la

planeación pueden proponer una serie de mejoras que permitan que la red de transporte urbano acomode a los volúmenes futuros; esto es, que se generen diversas alternativas al respecto.

Sin embargo, para determinar la factibilidad económica de un determinado plan maestro de transporte urbano, es necesario estimar el monto esperado de la inversión pública y privada en el sector y simular los diversos escenarios, con objeto de generar curvas efecto-costo en donde se muestren las consecuencias de cada alternativa para seleccionar aquella que mejor se ajuste a las restricciones presupuestales y a las políticas existentes.

## **2. TRANSPORTE INTERURBANO**

Un modelo de transporte interurbano se muestra en la figura 2, el está constituido por diversos subsistemas que permiten:

- pronosticar la demanda considerando la generación y atracción de viajes en cada una de las zonas socioeconómicas que cubren al área bajo estudio (entidad federativa, región, país) y que la distribuyen por modo de transporte (matrices origen-destino)
  - asignar la demanda a la red de transporte básica para generar alternativas que consideren, tanto posibles mejoras a los tramos existentes, como la realización de obras nuevas, todo ello en función de los niveles de servicio que se consideren convenientes.
- 
- evaluar las diversas alternativas con objeto de apoyar la selección de aquella que mejor se ajuste a las restricciones existentes.

La descripción de este modelo es muy similar a la ya realizada para el caso del transporte urbano.

## **3. EVALUACION**

La evaluación puede ser numérica, operativa, ambiental, económica y financiera.

La evaluación numérica comprueba la validez del cálculo y persigue asegurarse de que los datos obtenidos reflejen con fidelidad las hipótesis de entrada. Existen dos fuentes principales de error, errores en los datos de entrada y errores de programación o en la aplicación de los modelos, en todo caso sujetos a la naturaleza humana.

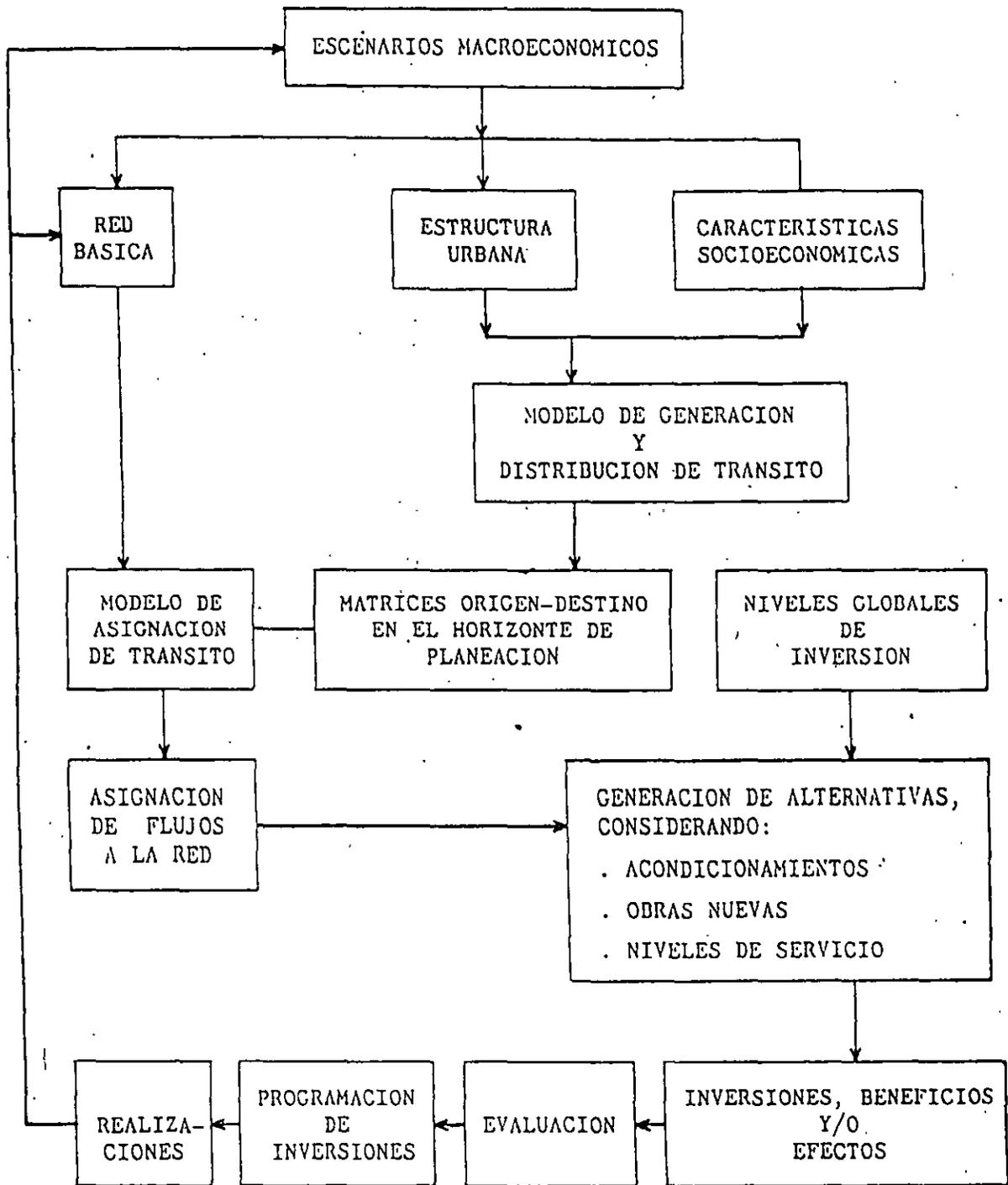


Figura 2. Transporte Interurbano

Con respecto a la operatividad, la evaluación centra su interés en conocer si los medios y modos de transporte existentes pueden absorber el tráfico, considerando en algunos casos su sobreutilización bajo condiciones aceptables para el usuario y para la operación misma. Lo anterior, sólo es posible después de realizar un examen detallado de los flujos de tráfico y de las velocidades y niveles de servicio en cada una de las partes de la red, acotando las limitaciones de capacidad de los distintos modos de transporte, considerando las horas (o los días) de máxima demanda.

La evaluación ambiental, es sobre todo una cuestión de apreciación subjetiva sobre lo que es deseable y tolerable, para lo cual deben de ponerse en la balanza los beneficios relacionados con los medios de transporte y los costos ambientales:

Destacan la evaluación económica y la evaluación financiera, los indicadores más idóneos para el primer caso son: el valor presente neto, la tasa interna de recuperación, la relación beneficio-costos y los costos de operación anual, entre otros.

Para el análisis financiero se toman en consideración fundamentalmente elementos tales como costos de oportunidad del capital, cobertura de cada alternativa, flujo de fondos, rentabilidad, estados proforma y puntos de equilibrio.

La evaluación conjunta y comparativa de las alternativas se puede desarrollar aplicando variados enfoques metodológicos como son: la teoría de la utilidad, la teoría del valor, los métodos de promedio y el método electra.

---

### 3.1 EVALUACION ECONOMICA

**3.1.1 Modelos Deterministas.** Los modelos más utilizados son:

- El del VALOR PRESENTE NETO (VPN), que determina la relación entre los beneficios que genera cada alternativa y los costos asociados dentro de un intervalo de tiempo, descontados a un año base. Su expresión general es como sigue:

$$VPN = \sum_{t=1}^n \frac{1}{(1+i)^t} (B_t - C_t)$$

donde:

n = número de años considerados en el horizonte de planeación

i = es la tasa de interés o descuento

B<sub>t</sub> = es el beneficio generado en el año

C<sub>t</sub> = el costo asociado en el año

- El de la TASA INTERNA DE RECUPERACION (TIR), que muestra la magnitud de la tasa de descuento bajo la cual se analiza un proyecto, de tal forma que se igualen beneficios y costos actualizados, es decir, tal que:

$$\sum_{t=1}^n \frac{1}{(1 + TIR)^t} (B_t - C_t) = 0$$

- El de la RELACION BENEFICIO-COSTO (B/C), como una de las formas clásicas para la evaluación de proyectos, refleja la proporción de beneficios respecto a los costos que se presentarán, por lo cual su valor debe ser mayor a 1 para ser justificado económicamente.

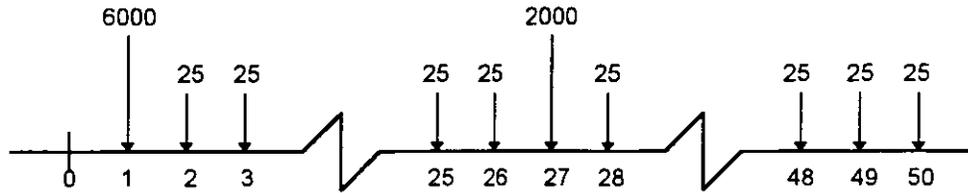
$$(B/C) = \frac{\sum_{t=1}^n \frac{1}{(1 + i)^t} B_t}{\sum_{t=1}^n \frac{1}{(1 + i)^t} C_t}$$

- El del COSTO ANUAL (CA), que se utiliza para convertir beneficios y costos a series anuales, comparando los valores obtenidos, pudiendo expresarse en términos del VPN, como sigue:

$$CA = \frac{i(1 + i)^n}{(1 + i)^n} VPN$$

**EJEMPLO 1.** Se trata de llevar a cabo un camino de 10 km. con 8 m de ancho entre dos ciudades A y B. Se desea tomar una decisión respecto a usar concreto o asfalto. Se han elaborado los proyectos para ambos casos y se ha calculado que el costo por m<sup>2</sup> es de 100 para concreto y 90 para asfalto. Ambos pavimentos deben conservarse y se supondrá una vida útil de 27 años para el concreto y de 17 para el de asfalto. Se estima que pavimentar un km. de cualquiera de ellos cueste 200,000 y que la conservación anual es de 25,000 para todo el tramo. También luce como adecuada una tasa del 8% para estos proyectos ¿qué decisión se debe tomar?. ¿qué sucede si una entidad ajena paga el 50% de los costos de construcción?

## ALTERNATIVA CONCRETO



Tipo de costo	Concreto	Asfalto
Construcción	\$ 8 000 000 (AÑO 1)	\$ 7 200 000 (AÑO 1)
Conservación Anual	\$ 25 000 (años 2 a 26 y 28 a 50)	\$ 25 000 (años 2 a 16, 18 a 33 y 35 a 50)
Repavimento	\$ 2 00 000 (años 27)	\$ 2 000 000 (años 17 y 34)

Si se considera la tasa del 8%, la alternativa concreto tendrá un valor presente dado por:

$$\begin{aligned}
 & 8\,000\,000 & = & 8\,000\,000 \\
 25\,000 \frac{1 - (1.08)^{-25}}{1.08} & = 25\,000 (10.675) & = & 266\,875 \\
 2\,000\,000 (1.08)^{-26} & = 2\,000\,000 (0.135) & = & 270\,000 \\
 25\,000 \frac{1 - (1.08)^{-23}}{1.08} & = (1.08)^{-26} = 25\,000 (10.371) & & \\
 & (0.135) & = & 35\,000 \\
 \text{VPN} & & = & \$ 8\,571\,875
 \end{aligned}$$

y de manera enteramente similar se calcularon los valores que aparecen en la tabla 1.

Se omiten los cálculos asociados al caso en que una entidad ajena paga el 50% de los costos de construcción (un subsidio) pero ellos se encuentran graficados en la figura 3; se observa que:

- si no se tiene subsidio, conviene seleccionar la alternativa "asfalto" si  $i \geq 4.5\%$
- en caso contrario (con subsidio) dicha alternativa solo conviene si  $i \geq 8.5\%$

<u>TASA DE DESCUENTO %</u>	<u>VPN Concreto</u>	<u>VPN Asfalto (sin subsidio)</u>
1	10 489 400	11 240 000
2	9 957 350	10 408 825
3	9 553 950	9 781 950
4	9 246 500	9 303 250
5	9 009 200	8 929 500
6	8 827 200	8 640 150
7	8 683 875	8 408 850
8	8 571 875	8 222 975
9	8 483 075	8 074 850
10	8 413 575	7 954 325
12	8 312 225	7 770 450
15	8 217 850	7 595 400

TABLA 1

EJEMPLO 2. Se tiene cuatro alternativas para el trazo de una carretera. Para cada una de ellas se han estimado los beneficios y los costos que aparecen en la tabla 2. Además, se consideran adecuados un horizonte de planeación de 40 años y una tasa de recuperación del 4%. ¿Cuál decisión es la más adecuada?

La relación beneficio - costo para los valores totales de cada alternativa se calcula de :

$$\frac{B}{C} = \frac{\text{BENEFICIO TOTAL}}{\text{COSTO ANUAL DE CONSTRUCCION + MANTENIMIENTO}}$$

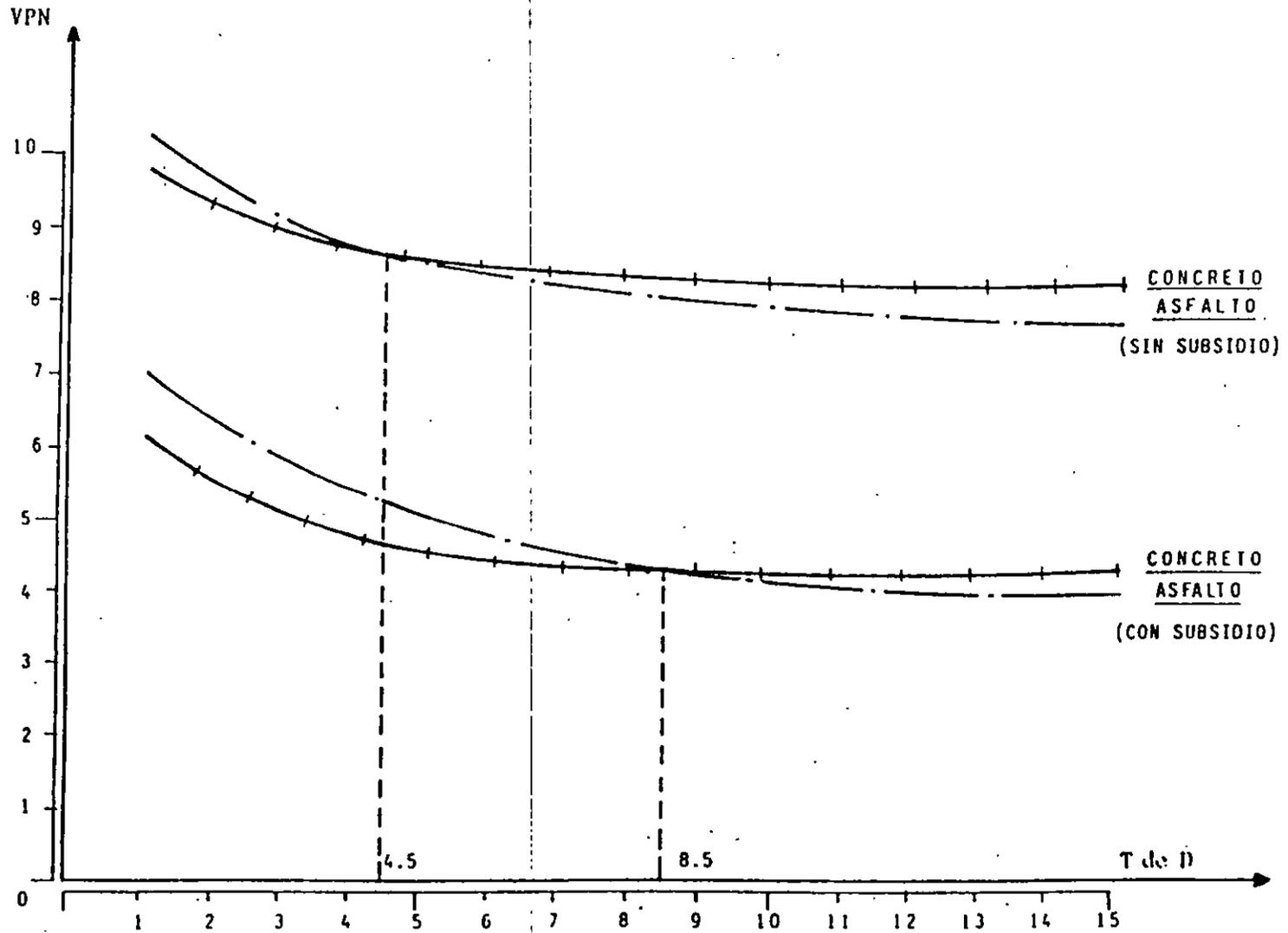


Figura 3

en donde el beneficio total es la suma de los beneficios y además:

$$\text{COSTO ANUAL DE CONSTRUCCION} = (\text{COSTO INICIAL DE CONSTRUCCION}) \frac{i}{1 - (1+i)^{-n}}$$

estos valores se muestran en la tabla 3.

Alternativas	Costos de Construcción	Mantenimiento y Operación anual	Beneficios por Poblados Comunicados	Beneficios por Has Abiertas al Cultivo	Beneficios por Recreación
A	1 200 000	20 000	200 000	20 000	30 000
B	1 500 000	35 000	190 000	40 000	30 000
C	2 700 000	50 000	280 000	60 000	60 000
D	3 500 000	60 000	300 000	70 000	70 000

TABLA 2

Alternativas	Beneficios Anuales	Costo Anual	Incremento de		Relación B/C total	Incremento Relación B/C
			Beneficio	Costo		
A	250 000	80 000	10 000	30 770	3.10	0.32
B	260 000	110 770	150 000	106 400	2.34	1.41
C	400 000	186 400	40 000	50 420	2.14	0.79
D	440 000	236 820			1.85	-

TABLA 3

El incremento de la relación costo - beneficio se calcula a partir de los beneficios adicionales ocasionados por un incremento de costo sobre la última alternativa aceptable ( $\frac{B}{C} > 1.0$ ) y también se muestran en la tabla 3.

Es claro que también debe exigirse que la relación  $\frac{B}{C}$  para los incrementos sea mayor que uno. Esto hace ver que debería seleccionarse la alternativa C.

Sin el análisis de los incrementos se hubiera elegido la alternativa D, ya que su relación B/C es mayor que uno y tiene asociados las mayores beneficios totales. Otro error hubiera sido elegir la alternativa A porque tiene la mayor relación B/C. Cabe observar que la conclusión de elegir la alternativa C, para los datos dados, también se hubiera obtenido aplicando el método del valor presente.

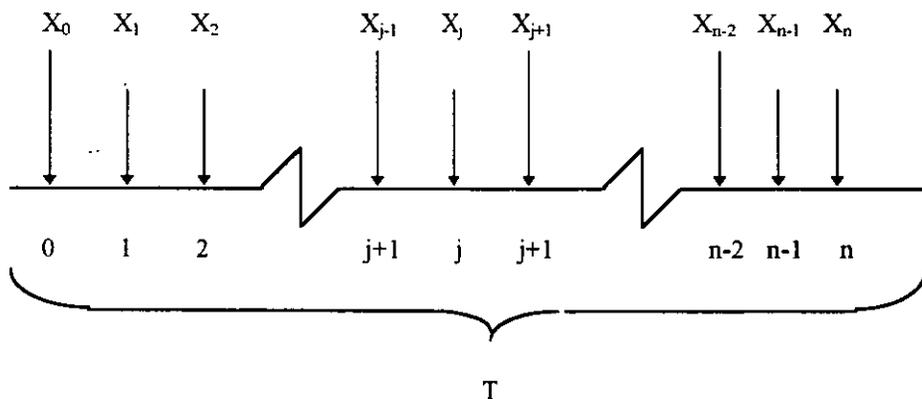
Es interesante notar la sensibilidad de la decisión a cambios en los datos. Usando una tasa de interés del 7% se selecciona la alternativa A porque todos los costos adicionales y los incrementos en los beneficios dan relaciones menores que uno. Si se considerara solamente los beneficios por poblados comunicados, también llevaría a la selección de la alternativa A. En otras palabras, el número de beneficios múltiples que se incluyen en el análisis, así como la tasa de interés pueden influenciar significativamente en la decisión.

### 3.1.2. Algunos Aspectos Aleatorios.

**Versión aleatoria del valor presente.** Considérese una inversión que resultará en flujos de fondos durante algunos de los siguientes  $n$  periodos. Sea  $x_j$  la variable aleatoria (v.a.) asociada con el flujo en el  $j$ -ésimo periodo ( $j=0, 1, \dots, n$ ). Se supondrá que  $x_j$  tiene una distribución  $N(\mu_j, \sigma_j)$ . Se harán dos hipótesis con respecto a la relación de las v.a.  $x_j$  para diferentes valores de  $j$ .

I. Para distintos valores  $j$  las  $x_j$  son totalmente independientes ( $r = 0$ ).

II. Para distintos valores de  $j$  las  $x_j$  se encuentran totalmente interrelacionadas ( $r = 1$ ).



Es claro que cualquier caso intermedio implicará una combinación de los resultados con cada una de las hipótesis anteriores.

Ahora bien, es sabido que el valor presente de una inversión se define como:

$$P = \sum_{j=0}^n \frac{x_j}{(1+i)^j}$$

en donde  $i$  es la tasa de actualización. Puesto que  $x_j$  es una variable aleatoria,  $P$  es a su vez una variable aleatoria (suma ponderada de las v.a.  $x_j$ ). De acuerdo con las propiedades de la suma de v.a., la esperanza matemática de  $P$  será:

$$\mu_p = \sum_{j=0}^n \frac{\mu_j}{(1+i)^j}$$

Por otra parte, haciendo uso inicialmente de la hipótesis ( I ) y de las propiedades de la suma de las variables, la variancia de  $P$  será:

$$\sigma_p^2 = \sum_{j=0}^n \frac{\sigma_j^2}{(1+i)^{2j}}$$

Haciendo uso de la hipótesis ( II ), esto es, que si  $x_m$  se identifica con  $\mu_m + k\sigma_m$  entonces  $x_j$  se identifica con  $\mu_j + k\sigma_j$ . Esta hipótesis de hecho establece que si ciertas circunstancias obligan al flujo a apartarse de lo esperado durante un período  $m$ , las mismas circunstancias lo obligarán a apartarse de lo esperado durante cualquier período  $j$  y exactamente de la misma manera.

En estas condiciones la v.a.  $P$  se encontrará distribuida normalmente con una dispersión:

$$\sigma_p = \sum_{j=0}^n \frac{j}{(1+i)^j}$$

Cualquier otro comportamiento será una combinación de los dos anteriores, entonces, las  $x_j$  que son totalmente independientes y las  $z_j^{(k)}$  ( $k=1, \dots, m$ ) que se encuentran perfectamente correlacionadas cumplen con:

$$x_j = y_j + z_j^{(1)} + z_j^{(2)} + \dots + z_j^{(m)}$$

en donde el superíndice indica el período al que esta asociada la variable con la cual se encuentra perfectamente correlacionada.

Empleando nuevamente las teoremas sobre la distribución de la suma:

$$\mu_\rho = \sum_{j=0}^n \frac{j}{(1+i)^j} = \sum_{j=0}^n \left[ \frac{E(Y_j) + \sum_{k=1}^n E(Z_j^{(k)})}{(1+i)^j} \right]$$

$$\sigma_\rho^2 = \sum_{j=0}^n \frac{Var(Y_j)}{(1+i)^{2j}} + \sum_{k=1}^n \sum_{k=0}^n \left[ \frac{Var(Z_j^{(k)})^2}{(1+i)^j} \right]^2$$

**Versión aleatoria del costo anual.** Puesto que el costo anual es:

$$A = \frac{i(1+i)^n}{(1+i)^n - 1} \sum_{j=1}^n \frac{x_j}{(1+i)^j}$$

$$A = \frac{i(1+i)^n}{(1+i)^n - 1} P$$

A y P son por lo tanto proporcionales y los parámetros  $\mu_A$  y  $\sigma_A$  son consecuencia directa.

**Observación.** Puede pensarse que el suponer una distribución de probabilidad normal para la  $x_j$  es limitativo y dudoso; sin embargo, por el teorema del límite central, se puede afirmar que aun en el caso en que la distribución real de las  $x_j$  se aparte de la Guassiana no se afectarán los resultados finales, en particular cuando n es grande.

**EJEMPLO 3.** Para un camino vecinal que servirá fundamentalmente para transportación de productos forestales se consideran dos alternativas, hacerlo pavimentado (alternativa A) que implica una inversión inicial de cinco millones, costo que puede incrementarse o disminuirse debido a la falta de estudios previos, la experiencia indica que un millón de dispersión toma en cuenta esta ignorancia.

La conservación de esta alternativa cuesta 300,000 considerando una dispersión de 200,000 o 100,000 consecutivamente (para estimar posibles incrementos al deterioro estándar), con excepción del último año en donde debe tomarse en cuenta una posible reconstrucción con 800,000.

La otra opción (alternativa B) es un empedrado con un costo inicial de dos millones, reconstrucciones parciales cada dos años con costos de un millón, un millón y millón y medio respectivamente y además, medio millón por conservación en los años en que no hay reconstrucción. La incertidumbre asociada al empedrado se considera menor y se asignan dispersiones de medio millón a la inversión inicial y 200,000 a las restantes (tabla 4).

Año	Alternativa A		Alternativa B	
	$\mu_A$	$\sigma_B$	$\mu_A$	$\sigma_B$
0	50	10	20	5
1	3	2	5	2
2	3	1	10	2
3	3	2	5	2
4	3	2	10	2
5	3	2	5	2
6	3	8	15	2

TABLA 4

Si el horizonte de planeación es de seis años se pregunta : ¿Cuál es la decisión a tomas considerando un costo de capital de 7% ? ¿Cuál sería la decisión en el caso determinista y para el mismo 7%?.

Estudiar sensibilidad para factores de descuento comprendidos entre 1% y 15%.

En las tablas 5 y 6 se consignan respectivamente los cálculos de  $\mu_A$ ,  $\sigma_A^2$ ,  $\mu_B$ ,  $\sigma_B^2$  para diferentes valores de la tasa de actualización.

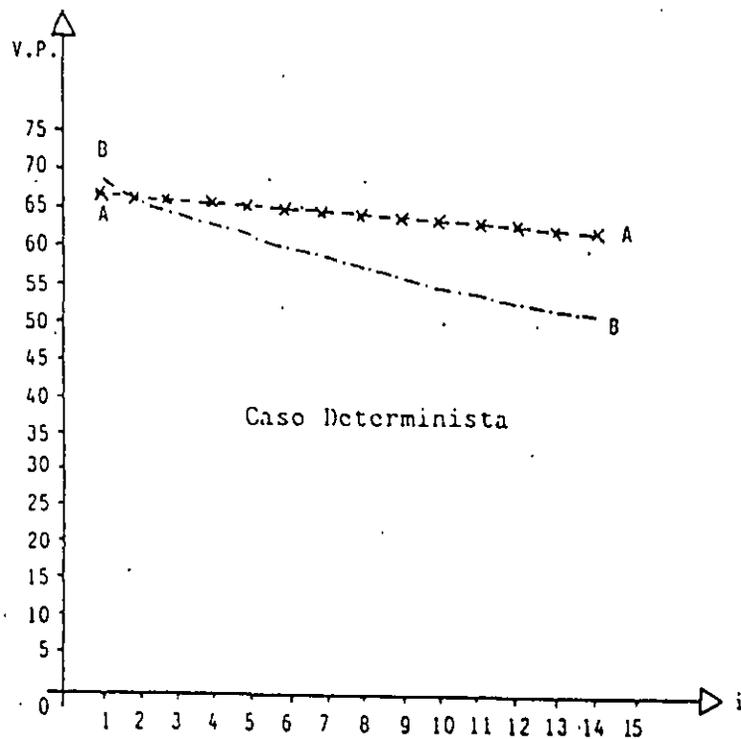
$E(Y_j)/(1+i)^j$							$\mu_{P_A}$	$Var(Y_j)/(1+i)^2$							$\sigma_{P_A}^2$
j	0	1	2	3	4	5		6	0	1	2	3	4	5	
1.50	2.47	2.94	2.91	2.89	2.85	2.83	66.89	100	3.92	0.96	3.76	0.93	3.62	57.00	170.19
2.50	2.94	2.89	2.83	2.78	2.73	2.65	66.82	100	3.84	0.92	3.56	0.86	3.30	50.00	162.48
3.50	2.91	2.83	2.75	2.68	2.59	2.52	66.28	100	3.76	0.89	3.37	0.80	2.97	45.20	156.99
4.50	2.88	2.78	2.67	2.57	2.46	2.36	65.72	100	3.69	0.86	3.18	0.73	2.69	39.60	150.75
5.50	2.86	2.73	2.58	2.46	2.34	2.23	65.20	100	3.63	0.83	2.97	0.67	2.44	35.60	146.14
6.50	2.83	2.68	2.52	2.38	2.24	2.11	64.76	100	3.55	0.80	2.82	0.63	2.22	31.70	141.72
7.50	2.80	2.63	2.44	2.29	2.14	2.00	64.30	100	3.48	0.77	2.64	0.58	2.03	28.40	137.90
8.50	2.77	2.57	2.38	2.21	2.04	1.88	63.85	100	3.42	0.73	2.52	0.54	1.85	25.30	134.36
9.50	2.75	2.52	2.31	2.13	1.94	1.78	63.43	100	3.36	0.70	2.37	0.50	1.69	22.70	131.32
0.50	2.73	2.48	2.25	2.05	1.86	1.69	63.06	100	3.30	0.68	2.26	0.47	1.54	20.40	128.65
1.50	2.70	2.44	2.19	1.97	1.78	1.60	62.68	100	3.24	0.66	2.13	0.43	1.41	18.30	126.17
2.50	2.68	2.40	2.14	1.91	1.70	1.52	62.35	100	3.18	0.64	2.04	0.40	1.29	16.50	124.05
3.50	2.65	2.35	2.07	1.84	1.62	1.43	61.96	100	3.13	0.61	1.91	0.38	1.17	14.70	121.90
4.50	2.63	2.31	2.03	1.77	1.55	1.37	61.66	100	3.08	0.59	1.83	0.35	1.07	13.30	120.22
5.50	2.61	2.27	1.97	1.71	1.49	1.30	61.35	100	3.02	0.57	1.73	0.33	0.98	12.10	118.73

Tabla 5. Alternativa A

Si se considera un intervalo de confianza para la media amplitud  $0.2 \sigma^2$  entonces los costos mínimos para los proyectos A y B serán dados respectivamente en las columnas  $U_A$  y  $U_B$  de la tabla 7.

		$E(Y_j)/(1+i)^j$						$\mu_{PB}$	$Var(Y_j)/(1+i)^{2j}$						$\sigma_{PB}^2$		
$i^j$		0	1	2	3	4	5	6		0	1	2	3	4	5	6	
1	20	4.95	9.80	4.86	9.61	4.76	14.15	68.18	25	3.92	3.84	3.76	3.69	3.62	3.56	47.39	
2	20	4.90	9.61	4.71	9.26	4.54	13.25	66.27	25	3.84	3.69	3.56	3.43	3.30	3.12	45.94	
3	20	4.85	9.44	4.58	8.94	4.31	12.60	64.72	25	3.76	3.56	3.37	3.18	2.97	2.82	44.66	
4	20	4.81	9.21	4.46	8.55	4.09	11.85	63.02	25	3.69	3.43	3.18	2.92	2.69	2.48	43.39	
5	20	4.76	9.09	4.31	8.20	3.91	11.25	61.52	25	3.63	3.30	2.97	2.68	2.44	2.23	42.25	
6	20	4.71	8.93	4.20	7.93	3.73	10.55	60.05	25	3.55	3.18	2.82	2.52	2.22	1.98	41.27	
7	20	4.67	8.78	4.07	7.63	3.57	10.00	58.72	25	3.48	3.07	2.64	2.33	2.03	1.77	40.32	
8	20	4.63	8.54	3.97	7.35	3.40	9.44	57.35	25	3.42	2.92	2.52	2.17	1.85	1.58	39.45	
9	20	4.59	8.40	3.85	7.10	3.25	8.94	56.13	25	3.36	2.83	2.37	2.02	1.69	1.41	38.68	
10	20	4.54	8.27	3.76	6.85	3.11	8.48	55.01	25	3.30	2.73	2.26	1.87	1.54	1.27	37.97	
11	20	4.50	8.13	3.65	6.57	2.97	8.03	53.85	25	3.24	2.64	2.13	1.73	1.41	1.15	37.30	
	20	4.46	8.00	3.57	6.37	2.84	7.61	52.85	25	3.18	2.56	2.04	1.62	1.29	1.03	36.72	
	20	4.42	7.81	3.45	6.13	2.71	7.18	51.70	25	3.13	2.44	1.91	1.51	1.17	0.92	36.08	
14	20	4.38	7.69	3.38	5.92	2.59	6.85	50.81	25	3.08	2.36	1.83	1.40	1.07	0.83	35.57	
15	20	4.35	7.57	3.29	5.72	2.49	6.50	49.92	25	3.02	2.29	1.73	1.31	0.98	0.75	35.08	

Tabla 6. Alternativa B



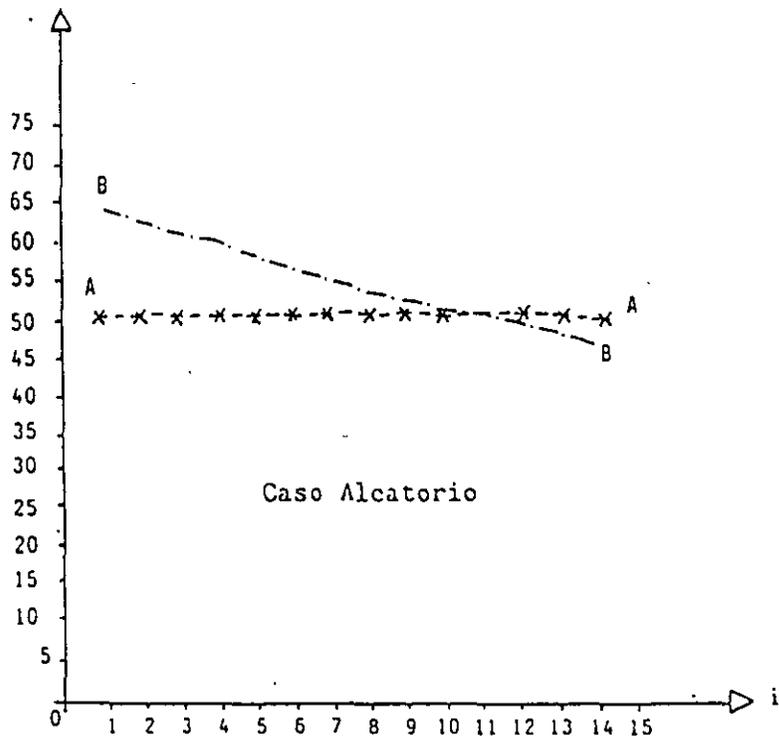


Figura 4

$i$	$\mu_{P_A}$	$-0.1\sigma_{P_A}^2$	$U_A$	$\mu_{P_B}$	$-0.1\sigma_{P_B}^2$	$U_B$
1	67.39	-17.02	50.37	68.13	-4.74	63.31
2	66.82	-16.25	50.57	66.27	-4.59	61.66
3	66.28	-15.70	50.58	64.72	-4.46	60.26
4	65.72	-15.08	50.64	63.02	-4.34	58.68
5	65.20	-14.61	50.59	61.52	-4.22	57.30
6	64.76	-14.17	50.59	60.05	-4.12	55.93
7	64.30	-13.79	50.51	58.72	-4.03	54.69
8	63.85	-13.44	50.41	57.33	-3.95	53.38
9	63.43	-13.13	50.30	56.13	-3.87	52.26
10	63.06	-12.87	50.19	55.01	-3.80	51.21
11	62.68	-12.62	50.06	53.85	-3.73	50.12
12	62.35	-12.40	49.95	52.85	-3.67	49.18
13	61.96	-12.20	49.76	51.70	-3.61	48.09
14	61.66	-12.02	49.64	50.81	-3.56	47.25
15	61.35	-11.87	49.48	49.92	-3.51	46.41

Tabla 7

En la figura 4 se muestra el comportamiento de los beneficios, tanto para el caso determinista como para el caso aleatorio, se observa que para  $i = 7\%$  se elegirá la alternativa B desde el punto de vista determinista y la A para el caso aleatorio.

Obsérvese que el no considerar los aspectos aleatorios conduce o puede conducir a decisiones erróneas.

**3.1.3. Programación de Inversiones.** En este subinciso se presenta el modelo clásico de Bergendahl, para determinar políticas de inversión en una red carretera, de manera tal que se minimicen tanto los costos de construcción como los sociales de operación.

Se supone que (figura 5):

- I. Cada carretera es un arco de la red.
- II. Cada alternativa de inversión ocasiona que un arco cerrado pueda ser abierto entre dos periodos adyacentes; el tráfico durante cada periodo solo puede operar en la red abierta dada.
- III. Un nodo de la red es el lugar donde se unen dos o más arcos.
- IV. Una cadena es una secuencia de arcos consecutivos y solo se consideran aquellas cuya operación es económicamente factible.
- V. La demanda de tráfico es la relación entre dos nodos arbitrarios de la red durante período.
- VI. El flujo es el número de vehículos que pasan por el arco durante un período.

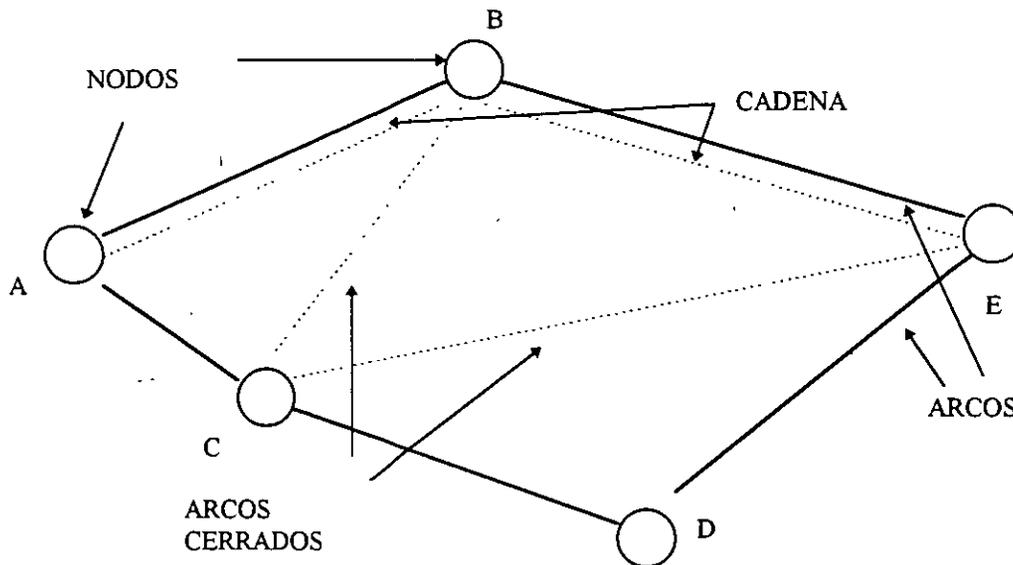


FIGURA 5

Los costos de la red se clasifican de la siguiente manera:

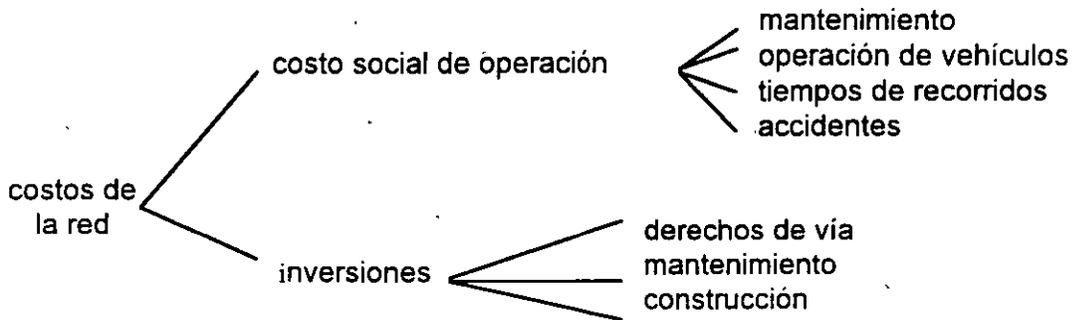


Figura 6

El costo de operación del tramo L, en un período t, depende del flujo que circule por él; si se representa a este flujo como  $X_L^t$ , el costo social de operación puede ser expresado como una función  $C_L^t ( X_L^t )$  y este costo generalmente crecerá cuando el flujo del tramo se incremente (figura 7); para el análisis solo se consideran dos segmentos de recta como se muestra en la figura 8.

Con esto, una aproximación del costo social de operación del tramo en un período es:

$$C_{L_1}^t X_{L_1}^t + C_{L_2}^t X_{L_2}^t$$

y como en un período el objetivo es minimizar el costo social de operación total, resulta:

$$\min Z^t = \sum_L ( C_{L_1}^t X_{L_1}^t + C_{L_2}^t X_{L_2}^t ) \quad (1)$$

Esta minimización está sujeta a ciertas restricciones. La primera impone que para cada arco L el flujo sin saturación no podrá ser mayor que su capacidad,  $M_{L_1}^t$ , esto es:

$$X_{L_1}^t \leq M_{L_1}^t \quad (2) \quad \forall L$$

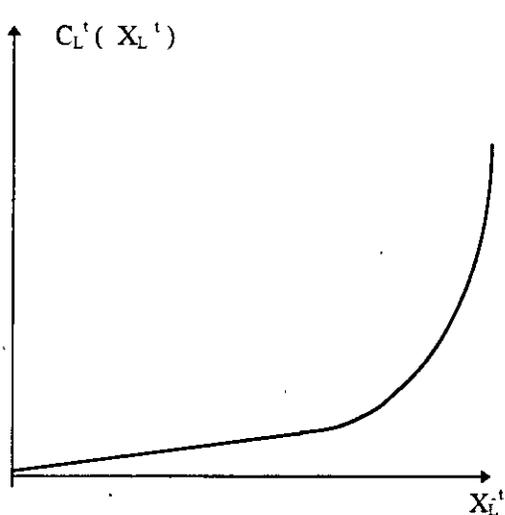


FIGURA 7

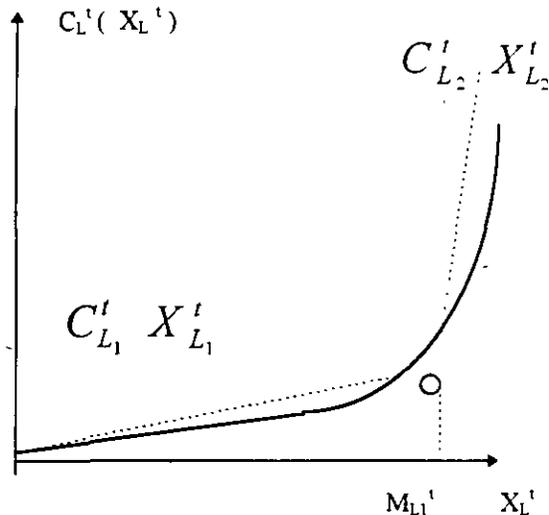


FIGURA 8

La segunda restricción indica que el número de vehículos que circulen entre dos nodos, por todos los caminos posibles entre estos, deber se igual a la demanda de tráfico; resulta:

$$\sum_k Y_{ijk}^t = d_{ij}^t \quad (3) \quad \forall i, j$$

en donde  $d_{ij}^t$  es la demanda de tráfico entre los nodos  $i$  y  $j$  en el período  $t$ , y  $Y_{ijk}^t$  es una variable que define el número de vehículos que circula en el período  $t$  entre los nodos  $i$  y  $j$  por la cadena  $k$ . Una condición necesaria es que exista por lo menos una cadena entre cada para de nodos con cierta demanda de tráfico.

Finalmente, el flujo total en cada tramo deberá ser igual a la suma de vehículos que circulen por las distintas cadenas que contengan a dicho tramo; esto conduce a :

$$X_{L_1}^t + X_{L_2}^t = \sum_i \sum_j \sum_k m_{ijk}^t Y_{ijk}^t \quad (4) \quad \forall L$$

donde la suma  $X_{L_1}^t + X_{L_2}^t$  expresa el flujo total en el tramo  $L$  y  $\mu_{ijk}^t$  es tal que:

$$\mu_{ijk}^t \begin{cases} 1 & \text{si la cadena } k \text{ entre los nodos } i, j \\ & \text{pasa por el tramo } L. \\ 0 & \text{en caso contrario.} \end{cases}$$

Luego el modelo consiste en minimizar la función objetivo ( 1 ) sujeta a las restricciones ( 1 ) a ( 4 ); su solución conduce a los flujos en cada cadena y cada arco (tramo) que minimizan al costo social de operación.

La segunda parte del modelo de Bergendahl consiste en la determinación de un programa óptimo de inversiones.

Para tal efecto se introduce el concepto de estado de la red carretera. Por un estado ( $s^t$ ) en un período ( $t$ ) se entenderá el conjunto de arcos en la red carretera que estén abiertos durante ese período. Si se considera una inversión como la acción que abre arcos en la red, entonces un programa de inversiones se puede formular como la secuencia de acciones que determina una secuencia de estados.

Para determinar una política de inversión óptima debe conocerse el costo de inversión  $C(s^t, s^{t+1})$  para cada transición factible ( $s^t, s^{t+1}$ ) entre estados, estos costos deben cubrir los gastos de inversión (figura-6).

Aquí se usan los resultados obtenidos en el modelo lineal que son el costo social de operación anual mínimo para cada período y cada red carretera resultante al hacer una inversión. Esto es lo mismo que formular el óptimo como una función  $Z^t(s^t)$  del estado ( $s^t$ ).

Conocidos los costos estáticos de operación para cada estado en cada periodo considerado, la política óptima de inversión puede determinarse por medio de la siguiente ecuación de recurrencia.

$$Q^{t+1}(s^{t+1}) = \text{Min}[R^1 Z^{t+1}(s^{t+1}) + C(s^t, s^{t+1}) + RQ^t(s^t)] \quad (5)$$

Donde:

$$(s^t, s^{t+1}) \in P$$

$$Q^0(s^0) = 0$$

(6)

y además:

- $t = 0, 1, 2, \dots$
- $P =$  Programas factibles.
- $Z^t(s^t) =$  Mínimo costo social de operación para el estado  $s^t$ .
- $C(s^t, s^{t+1}) =$  Costo de inversión para pasar del estado  $s^t$  al  $s^{t+1}$ .
- $s^t =$  Estado de la red en el periodo  $t$
- $R, R^1 =$  Factores de descuento dados por:
  - $R = (1+r)^{-\delta}$        $R^1 = (1+r)^{-\delta^2}$
- $\delta =$  Longitud del periodo en años.
- $r =$  Tasa anual de descuento

El proceso (5) se detiene después de una fecha  $t$  especificada, llamada el horizonte de planeación. Para detener el proceso (5) se introduce un valor residual  $V(s^t)$  para cada estado  $s^t$ ; este valor se determina calculando los costos de operación con la hipótesis de que el sistema continúa funcionando indefinidamente y la demanda se mantiene estacionaria; estos costos se descuentan al final del horizonte  $T$ . De esta manera resulta:

$$V(s^T) = \sum_{n=0}^{\infty} \frac{Z^T}{(1+r)^n} = \frac{1+r}{r} Z^T(s^T) \quad (7)$$

Consecuentemente, (5) se aplicara solamente para  $t=0, 1, \dots, T-1$  y deberá agregarse la siguiente formula de recurrencia.

$$Q^{t+1}(s^{t+1}) = \text{Min} [R^T Q^T(s) - V(s^T)] \quad (8)$$

De esta manera, el programa óptimo de inversiones será la secuencia de estados determinada al través de las fórmulas de recurrencia (5) y (8) sujetas a la condición (6).

Obsérvese que aunque el modelo de Bergendahl se aplicó inicialmente a redes carreteras, también pueden usarse, con ligeras adaptaciones, para el caso de una red de transporte multimodal.

### 3.2 EVALUACIÓN FINANCIERA.

**3.2.1 Modelo Conceptual.** El modelo conceptual que se presenta en la figura 9, tiene como finalidad la de constituirse como un marco integrado y coherente, que ayude a la toma de decisiones en la evaluación financiera de una red de transporte o de un tramo de ésta. Consecuentemente, el modelo busca la congruencia interna tomando como punto de partida los aspectos económicos, de modo que las distintas variables,

políticas y criterios que se manejen, sean acordes y estén enmarcados por los escenarios económicos que se manejen.

Como primer bloque, se presenta el de los escenarios macroeconómicos, que es el que sirve de elemento de enlace de todo el modelo. En él se determina el (los) escenario (s) con que se trabajará en el modelo.

A continuación, se consideran los elementos de costos y beneficios del proyecto. En primer lugar, se encuentran los costos de construcción en donde estos se determinan de acuerdo a la información de costos unitarios constantes disponible, el calendario de construcción y el escenario macroeconómico considerado.

Para el cálculo de los beneficios, se encuentran los bloques que permiten el cálculo calendarizado de beneficios del proyecto. Como primer punto, se encuentra el de tarifas, en donde estas se determinan de acuerdo al escenario económico y a las políticas tarifarias existentes. A partir de dichas tarifas y otra vez considerando los factores económicos, se determina el flujo vehicular que se tendrá, para que finalmente se puedan calcular los ingresos, combinando la demanda y las tarifas.

Finalmente, a partir de los escenarios económicos y de flujo vehicular, se calculan otros ingresos, derivados de la explotación del proyecto. Por el lado de los costos, se calculan otros costos complementarios, como pueden ser los de mantenimiento y conservación, los asociados a los otros ingresos, etc.

En el bloque de Estructura de Capital y Financiamiento, se considera el aspecto de la estructura financiera que permitirá desarrollar el proyecto, como son el monto y condiciones de los créditos, swaps, etc., lo que junto con las políticas fiscales que se manejen, como la recuperación del IVA, el pago de impuestos, el manejo de la depreciación, etc., permiten determinar los flujos de efectivo de cada una de las organizaciones involucradas en el desarrollo y manejo del proyecto.

Finalmente, a partir de los flujos de efectivo y el financiamiento de cada entidad, se calculan los aspectos de rentabilidad de las diversas organizaciones involucradas en el proyecto.

**3.2.2 Usos del modelo.** A partir del modelo conceptual que se ha planteado, se pueden realizar las evaluaciones, estudios y sensibilidades que ayuden a la toma de decisiones con respecto al proyecto analizado. Entre otras, se presentan las siguientes posibilidades:

I. Determinación de las rentabilidades de los participantes en el proyecto. Consiste en la evaluación y determinación de la rentabilidad del proyecto para cada uno de los participantes, así como de las sensibilidades y riesgos incurridos, a partir de:

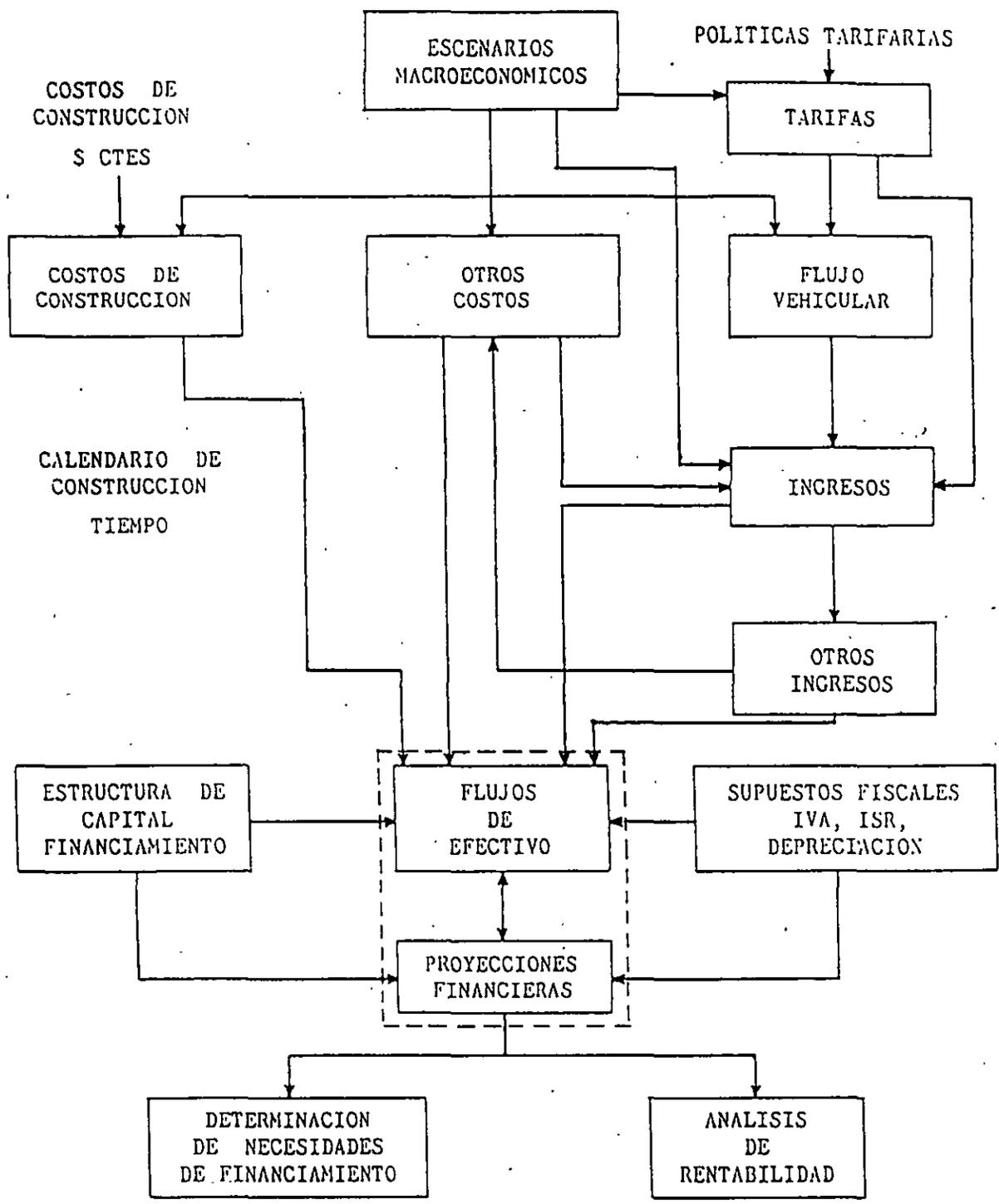


Figura 9. Modelo de Evaluación Financiera

- escenario (s) macroeconómico (s)
- costos de construcción, contemplando costos unitarios, calendario, economías de escala, etc.
- ingresos, a partir de la política tarifaria, las tarifas y las demandas
- otros ingresos
- otros costos
- supuestos fiscales
- estructura de capital: participantes, créditos, swaps; montos y calendarios

II. Determinación de variables, para que el proyecto satisfaga requerimientos de rentabilidad y/o riesgos para los participantes en él. Aquí se puede contemplar la determinación de variables como:

- tiempo de concesión, si éste es el caso
- condiciones de los créditos (vg tiempo de repago, montos, etc.)
- estructura de capital
- tarifas (mantenimiento, congruencia con el escenario económico)
- supuestos fiscales

que se requieren o son óptimos, para satisfacer requerimientos de rentabilidad y/o riesgo, como función de:

- escenario (s) macroeconómico (s)
- costos de construcción, contemplando costos unitarios, calendario, economías de escala, etc.
- relación flujo vehicular-tarifa
- otros ingresos
- otros costos
- supuestos fiscales (si procede)
- estructura de capital. participantes, créditos, swaps, montos, calendarios (si procede)

III. Análisis de sensibilidad y riesgo sobre diferentes casos base. En cada una de las posibilidades I a III se obtienen flujos de efectivo, Estados de resultados, Balance, Análisis de Rentabilidad, Conciliación Fiscal-Contable, Análisis de Préstamos y Parámetros Operativos.

### **3.3. TOMA DE DECISIONES CON OBJETIVOS MULTIPLES.**

#### **3.3.1. Los Modelos de Suma Ponderada, de Jerarquía de Criterios y Electra.**

La toma de decisiones con objetivos múltiples, se apoya en la construcción de una relación de preferencia, que permita la comparación múltiple de las soluciones para obtener una síntesis o calificación global con la finalidad de identificar una ordenación jerárquica de las mismas.

El método de Suma Ponderada, consiste en asignar a cada uno de los criterios de evaluación un peso relativo, de acuerdo a las preferencias del decisor. Los valores obtenidos bajo cada uno de los criterios se multiplican por el factor de preferencia; finalmente, se suman estos productos dentro de cada alternativa y se listan en función del valor global obtenido.

El método de **Jerarquía de Criterios**, se fundamenta en una ordenación de los criterios de evaluación considerados, de acuerdo a los pesos asignados. tomando el más importante, se ordenan las soluciones en relación a dicho criterio, para obtener un subconjunto que se someterá a la ordenación bajo el siguiente criterio en orden de importancia, y así sucesivamente. Este método también se conoce como Orden Lexicográfico, ya que sigue la forma de ordenar las palabras en un diccionario.

El método **Electra**, recibe su nombre del término Electre: Elimination Et Choix TRaduisant la REalité. El método parte de las siguientes definiciones:

A cada criterio de Evaluación  $E_i$  se puede asociar un grafo de la siguiente forma:

$$Gr_i = (A, Ur_i)$$

donde:

$A$  = Conjunto de soluciones

$Ur_i$  = Conjunto de arcos definidos para la condición de preferencia

Para lo cual se utiliza la representación por medio de una flecha orientada



Los grafos tienen las siguientes características:

1. Cuando entre dos nodos  $a$  y  $b$  existe al menos un camino que va del primero al segundo, se produce necesariamente una reducción a un solo arco, es decir, se tiene la propiedad de transitividad.
2. Dos nodos  $a$  y  $b$  son siempre adyacentes, es decir, que  $Gr_i$  es completo, ya que existe al menos un arco entre ambos nodos.

El problema consiste en reducir un grafo  $G_s$  que opere la síntesis de los grafos  $Gr_i$ . Para lo cual se inicia identificando un grafo  $G_u$ , en aquellos arcos para los cuales la preferencia es unánime. Se añaden arcos a  $G_u$  conforme a parámetros llamados

Indicador de Concordancia e Indicador de Discordancia, lo cual equivale a dividir e conjunto de criterios en clases disjuntas.

Existen ciertas precauciones que se deberán tener en cuenta para su aplicación como son: el conjunto A constituye un grupo homogéneo de elementos a priori no diferenciados para su selección; los criterios considerados deben ser en lo posible no dependientes ni correlacionados entre si; se deben escoger las escalas apropiadas a cada criterio de evaluación, lo cual determina el problema de decisión.

Con respecto al tratamiento de escalas, se producen variaciones fundamentales en el método: el modelo Electra 1, considera un único rango máximo para el cálculo del índice de discordancia; Electra 2, admite la determinación de varios rangos; Electra 3, incluye un tratamiento de cada escala utilizando algunos conceptos de Conjuntos Difusos.

Raynaud ha formulado diversas observaciones a los modelos antes descritos y formula nuevos algoritmos basados en algunos teoremas de posibilidades que se refieren a esfuerzos, decepciones y recompensas; con ello pretende que los nuevos algoritmos ayuden a clarificar y a dar una formalización operacional a las conductas subjetivas de los que toman decisiones.

### **3.3.2 Análisis de Decisiones:**

---

**Introducción.** Supóngase que se desea evaluar probabilísticamente las alternativas de configuración de la red del Sistema de Transporte Colectivo-Metro; de tal forma que se defina un orden jerárquico de acuerdo al grado o medida en que cada una de ellas satisface los objetivos del Plan Rector de Vialidad y Transporte.

El proceso de evaluación-jerarquización, cuantifica la efectividad conjunta (grado en que se satisfacen los objetivos) de las alternativas sujetas a análisis, en atención a los siguientes objetivos:

- solución a costo mínimo
- reducir el gasto en transporte
- reducir el tiempo de transporte
- integrar los sistemas de transporte
- impacto sobre el transporte terrestre
- personas beneficiadas

Se observa que:

- se desean satisfacer varios aspectos, algunos de ellos conflictivos
- existe incertidumbre en cuanto a la efectividad que se logra con cada alternativa

El análisis de decisiones es una técnica especialmente diseñada para problemas en donde las alternativas son controvertibles y se manejan aspectos sociales, económicos y técnicos, auxiliando en la toma de decisiones al proporcionar un medio para examinar sistemática y cuantitativamente las alternativas propuestas y sus implicaciones.

**Metodología.** La aplicación del análisis de decisiones para la evaluación probabilística de alternativas de configuración del Sistema de Transporte Colectivo-Metro, involucra el desarrollo de los pasos que a continuación se enuncian y cuya representación esquemática se muestra en la figura 10.

1. Identificación de las medidas de efectividad.
2. Determinación del impacto de las alternativas sobre las medidas de efectividad.
3. Elaboración de las curvas de preferencias.
4. Definición de las preferencias entre medidas de efectividad.
5. Obtención de la efectividad conjunta de las alternativas.
6. Análisis de sensibilidad.

En el primer inciso se identifican, en función de los objetivos, las medidas de efectividad que se usan para hacer la evaluación de las alternativas. Se especifican las unidades en que se cuantifican dichas medidas de efectividad.

En el segundo inciso se determina el impacto de las alternativas sobre las medidas de efectividad, a partir de funciones de distribución de probabilidades, de tal manera que la incertidumbre asociada quede representada.

El tercer inciso de elaboran las curvas de preferencias que indican la utilidad marginal de diferentes situaciones para una misma medida de efectividad.

En el cuarto inciso se definen las preferencias entre las medidas de efectividad, de tal suerte que se indique en que proporción se puede sacrificar una medida de efectividad a cambio de lograr un mejor valor en otra.

En el quinto inciso se obtiene la efectividad conjunta de las alternativas a partir de la utilidad esperada.

EVALUACION PROBABILISTA DE ALTERNATIVAS DE CONFIGURACION DE LA  
RED DEL SISTEMA DE TRANSPORTE COLECTIVO - METRO

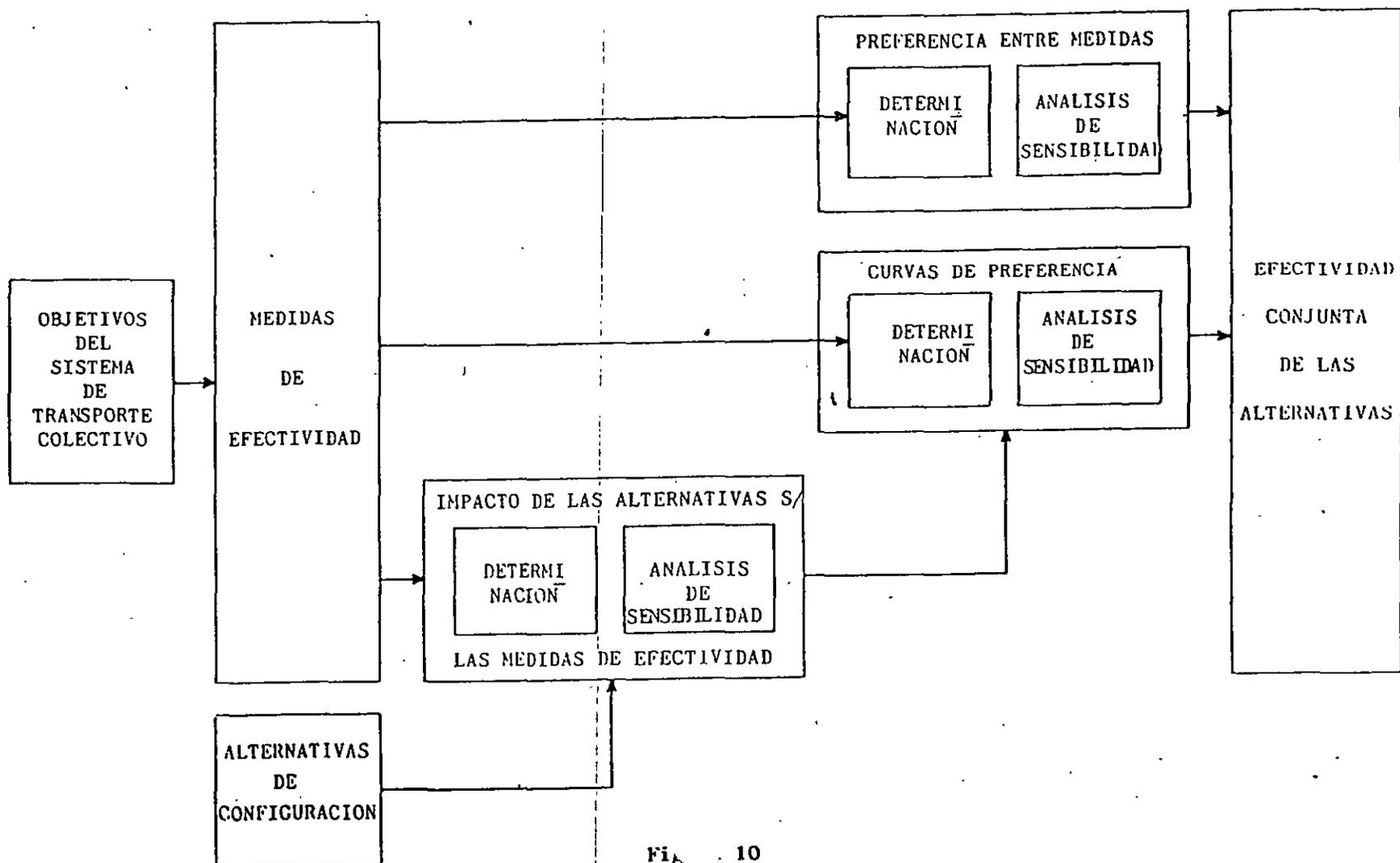


Fig. 10

En el sexto inciso se analiza la sensibilidad de todos los factores involucrados en el análisis, con lo que se pretende definir el efecto que se presenta en la utilidad esperada al variar las condiciones iniciales del problema.

**Medidas de Efectividad.** En función de los objetivos y con el fin de poder cuantificar en que grado cada alternativa los satisface, se seleccionan como medidas de efectividad las siguientes:

1. Costo
2. Gasto en transporte
3. Tiempo en transporte
4. Nivel de correspondencia de los Sistemas de Transporte
5. Vialidad
6. Captación

La medida de efectividad Costo, refleja el monto que implica realizar cada una de la alternativas. La unidad en que se maneja es: Millones de pesos.

La medida efectividad Gasto de transporte, que se cuantifica en pesos-viaje-persona es el ahorro que obtiene la oblación al incorporarse a las nuevas líneas del metro al Sistema de Transporte.

La medida de efectividad Tiempo de Transporte, que se cuantifica en minutos-viaje-persona es la reducción en el tiempo de traslado que obtiene la población en cada una de las alternativas de configuración.

La medida de efectividad Nivel de Correspondencia, que se maneja como número de transbordos-viaje-persona de metro a metro, de metro a transporte de superficie y de transporte de superficie a metro, refleja el grado de integración de los sistemas de transporte.

La medida de efectividad Vialidad, mide el mejoramiento que en el transporte terrestre ocasiona cada alternativa de configuración, como consecuencia de la disminución en el nivel de congestionamiento. La unidad en que se maneja esta medida de efectividad es un porcentaje y se considera igual a cero para la situación actual. La disminución en el nivel de congestionamiento del tránsito, tiene como consecuencia la reducción de la contaminación ambiental, de los accidentes y del consumo de energéticos atribuibles a éste.

La medida de efectividad Captación, se maneja como el número de personas diarias beneficiadas al incorporar al Sistema de Transporte nuevas líneas del metro.

**Aplicación.** De acuerdo con la metodología descrita, las alternativas de configuración se estructuraron a partir de la red del Sistema de Transporte Colectivo-Metro, en su tercera etapa (figura 11) y de la adición de diferentes combinaciones de líneas nuevas, en total se analizarán siete alternativas.

Con base a los objetivos del Plan Rector de Vialidad y Transporte del Distrito Federal y las medidas de efectividad correspondientes, se determinó una función de probabilidades que cuantificara el impacto de las alternativas sobre cada una de ellas; utilizando el ajuste a una distribución de tipo Beta. En la figura 12 se ilustran las curvas de probabilidad obtenidas para la medida de efectividad personas beneficiadas y correspondientes a las alternativas 1 y 2.

Para cada una de las medidas de efectividad empleadas en la evaluación de alternativas, se captaron los valores menos deseado, más deseado y el correspondiente al punto de indiferencia. A los tres valores citados se les ajustó una función de utilidad doble exponencial. En la figura 13, se ilustra la curva de preferencia obtenida para la medida de efectividad personas beneficiadas.

La efectividad conjunta de cada alternativa se obtuvo determinando la utilidad conjunta esperada, misma que se calculó a partir de las funciones de distribución de probabilidades que reflejan el impacto de las alternativas sobre las medidas de efectividad, de la utilidad marginal de cada medida de efectividad representada por las curvas de preferencias, y de las preferencias relativas entre las medidas de efectividad. En la figura 14, se ilustra para cada alternativa, y en forma hipotética, la utilidad marginal esperada de las medidas de efectividad y su correspondiente efectividad conjunta; esta utilidad permite jerarquizar las alternativas analizadas.

Para ello se determinó la efectividad conjunta de las alternativas excluyendo del proceso de evaluación una medida de efectividad a la vez, y se determinaron las curvas de la utilidad conjunta esperada variando en forma determinista la utilidad marginal de la medida de efectividad excluida de la evaluación, de manera que cubra todo su rango.

De la inspección de las curvas de utilidad conjunta esperada así obtenidas, se determinaron los rangos de los valores de las medidas de efectividad en las que podría haber indiferencia entre alternativas. Indiferencia que se presenta, tanto por encontrarse la utilidad conjunta esperada en el mismo rango, como por la incertidumbre asociada a las medidas de efectividad.

El análisis de sensibilidad permite determinar el efecto en la utilidad conjunta esperada, de eliminar una medida de efectividad del proceso de evaluación, generándose así un nuevo orden jerárquico de las alternativas.

En la figura 15 se ilustran las curvas de variación de la utilidad conjunta esperada de las siete alternativas de configuración al variar en forma determinista la medida de efectividad reducción en el tiempo de transporte y en la tabla 8 se muestran los rangos de indiferencia que resultan de las curvas para el caso de la alternativa de configuración 5, comparada con el resto.

La determinación de la efectividad conjunta con las diversas alternativas y el análisis de sensibilidad correspondiente permitió finalmente el jerarquizarlas conforme al grado o medida en que cada una de ellas satisfizo a los objetivos del Plan Rector de Vialidad y Transporte.

EVALUACION PROBABILISTA DE ALTERNATIVAS DE CONFIGURACION DE LA  
RED DEL SISTEMA DE TRANSPORTE COLECTIVO - METRO

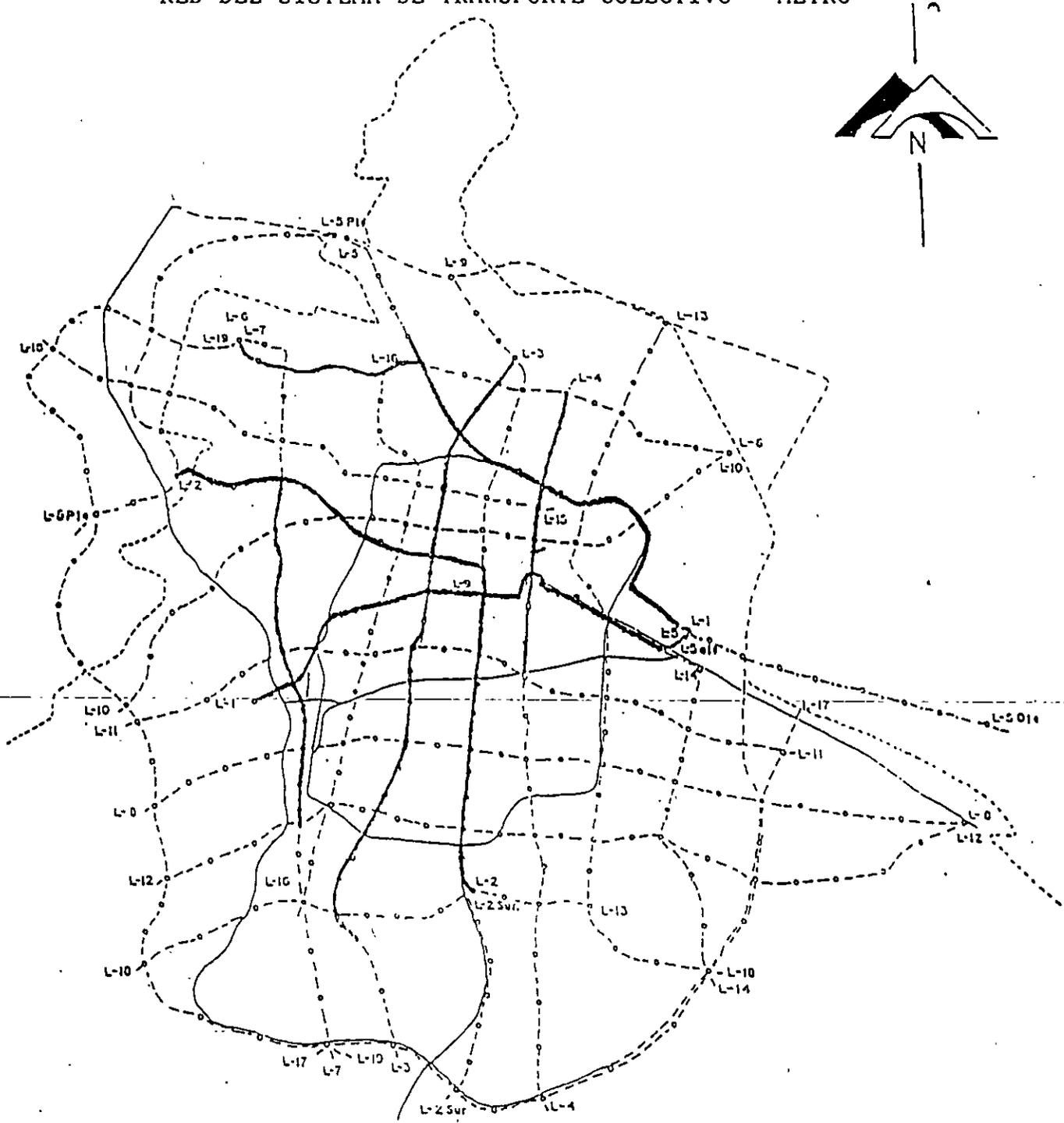


Figura 11

EVALUACION PROBABILISTA DE ALTERNATIVAS DE CONFIGURACION DE LA  
RED DEL SISTEMA DE TRANSPORTE COLECTIVO - METRO

IMPACTO DE LAS ALTERNATIVAS SOBRE LAS  
MEDIDAS DE EFECTIVIDAD

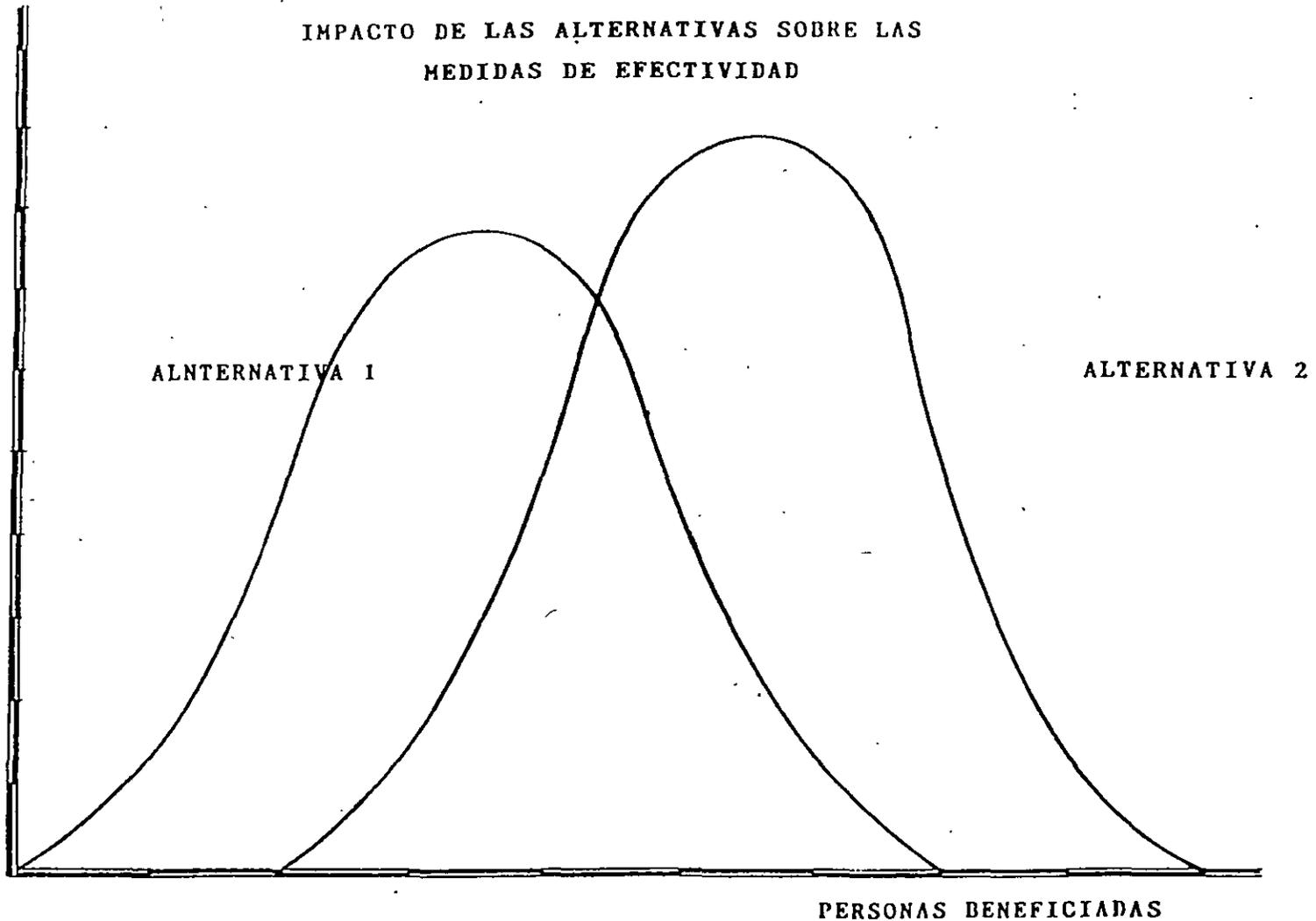


Figura 12

EVALUACION PROBABILISTA DE ALTERNATIVAS DE CONFIGURACION DE LA  
RED DEL SISTEMA DE TRANSPORTE COLECTIVO - METRO

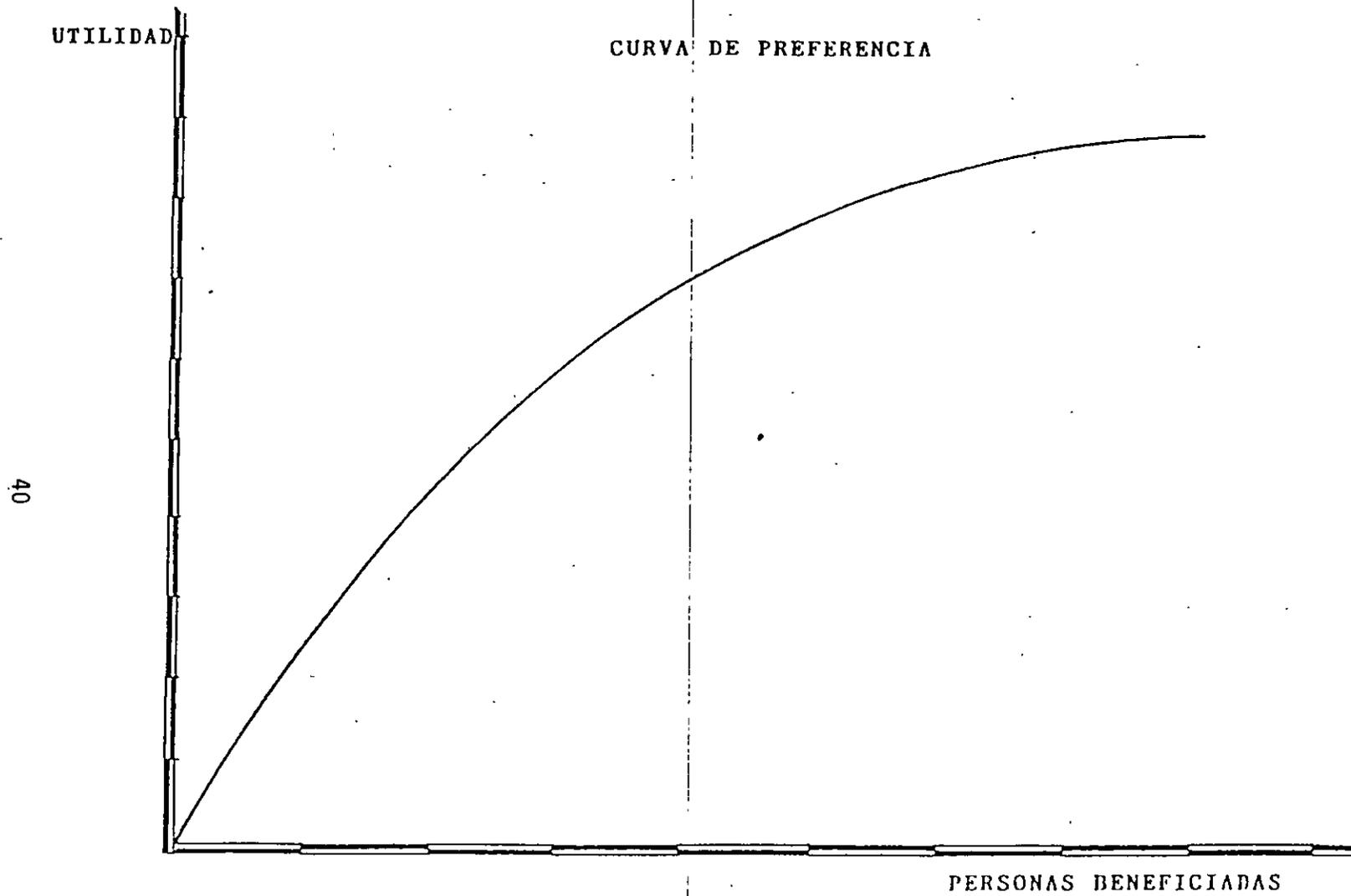


Figura 13

EVALUACION PROBABILISTA DE ALTERNATIVAS DE CONFIGURACION DE LA  
RED DEL SISTEMA DE TRANSPORTE COLECTIVO - METRO

ALTERNATIVA	C O S T O	REDUCCION GASTO EN TRANSPORTE	REDUCCION TIEMPO DE TRANSPORTE	INTEGRACION SISTEMAS DE TRANSPORTE	IMPACTO TRANSPORTE TERRESTRE	PERSONAS BENEFICIADAS	EFFECTIVIDAD CONJUNTA
CONFIGURACION 1							
CONFIGURACION 2							
CONFIGURACION 3							
o	o	o	o	o	o	o	o
o	o	o	o	o	o	o	o
o	o	o	o	o	o	o	o
o	o	o	o	o	o	o	o
o	o	o	o	o	o	o	o

NOTACION:

GRADO EN QUE CADA ALTERNATIVA SATISFACE LOS OBJETIVOS

Figura 14

EVALUACION PROBABILISTA DE ALTERNATIVAS DE CONFIGURACION DE LA  
RED DEL SISTEMA DE TRANSPORTE COLECTIVO - METRO

ANALISIS DE SENSIBILIDAD

VARIACION DETERMINISTA DE LA REDUCCION DE TIEMPO DE TRANSPORTE

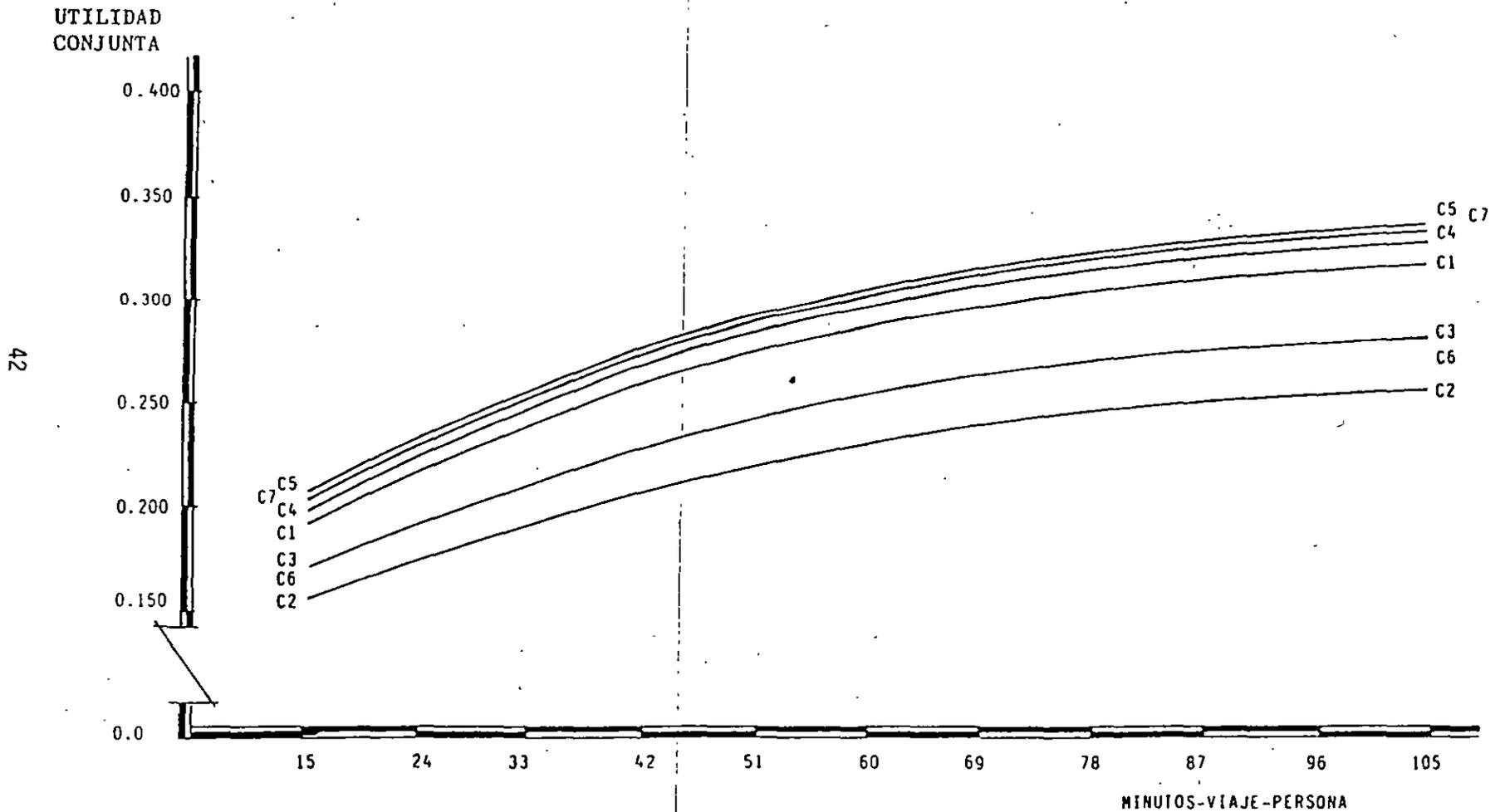


Figura 15

EVALUACION PROBABILISTA DE ALTERNATIVAS DE CONFIGURACION DE LA  
RED DEL SISTEMA DE TRANSPORTE COLECTIVO - METRO

RANGOS DE POSIBLE INDIFERENCIA

MEDIDAS DE EFECTIVIDAD REDUCCION DEL TIEMPO DE TRANSPORTE (MINUTOS-VIAJE-PERSONA)

ALTERNATIVAS DE CONFIGURACION	ALTERNATIVAS DE CONFIGURACION					
	C5	C7	C4	C1	C3 y C6	C2
C5	-----	menor que 103.69	menor que 101.06	menor que 93.18	menor que 68.21	menor que 49.82
C7	mayor que 16.96	-----	menor que 102.39	menor que 94.56	menor que 69.78	menor que 51.52
C4	mayor que 18.94	mayor que 16.97	-----	menor que 97.12	menor que 72.15	menor que 53.76
C1	mayor que 23.86	mayor que 21.82	mayor que 19.77	-----	menor que 69.09	menor que 60.00
C3 y C6	mayor que 42.69	mayor que 40.38	mayor que 38.08	mayor que 32.69	-----	menor que 83.46
C2	mayor que 60.00	mayor que 57.45	mayor que 54.91	mayor que 48.96	mayor que 29.43	-----

Tabla 8

#### 4. BIBLIOGRAFIA

1. Ashtakala B.; **Generalized Power Model for Trip Distribution** ; T.R.\* ; Vol. 21B, No.1, p.59, 1987
2. Bell E.D.; Keeney L.R.; Raiffa H.; **Conflicting Objectives in Decisions**; Wiley, New York, 1978
3. Blechman I.; **Regularities and Descriptive Algorithm of the Trip to Work Distribution**; T.R.\* ; Vol. 21B, No. 5, p.359, 1987
4. Cremer M.; Keller H.; **A New Class of Dynamic Methods for the Identification of Origin - Destination - Flow**; T.R.\* ; Vol. 21B, No. 2, p. 117, 1987
5. D'Este G.; **Trip Assignment to Radial Mayor Roads**; T.R.\* ; Vol. 21B, p. 433, 1987
6. Eiger A.; Mirchandani B.P.; Soroush H.; **Path Preference and Optimal Paths in Probabilistic Networks** ; T.S.+; Vol. 19, No. 1, P.75, 1985
7. Fisk S.C.; **A Conceptual Framework for Optimal Transportation System Planning with Integrated Supply and Demand Models**; T.S.+; Vol. 20, No. 1, p. 137, 1986
8. Heggie G.T.; **Transportation Engineering Economics**; Mc. Graw Hill, New York, 1982
9. Jason C.; **Transportation Engineering**, Elsevier, New York, 1985
10. Mahinassani S.H.; Chang G.L.; Herman R.; **Individual Decisions and Collective Effects in a Simultaneous Traffic System**; T.S.+; Vol. 20, No. 4, p.258, 1986
11. Malachy C.; Revelli R.; **Constrained Estimation of Direct Demand and Trip Matrices**; T.S.+; Vol. 19, No. 3; p. 278, 1985
12. Mc Neil S.; Hendrickson Ch.; **A Regression Formulation of the Matrix Estimation Problem**; T.S.+ ; Vol. 19, No. 3, p. 278, 1985
13. Mirchandani P.; Soroush H.; **Generalized Traffic Equilibrium with Probabilistic Travel Times and Perceptions**; T.S.+; Vol.212, No. 3, p. 133, 1987
14. Moreno Bonett A.; Jauffred M.F.; **Aplicación de la Ingeniería de Sistemas en la Ingeniería Civil**; Segundo Tomo, p. 292, et. seq. Análisis de Inversiones, Colegio de Ingenieros Civiles de Guayas, Ecuador, 1981
15. Moreno Bonett A.; **Modelos para la Selección de Inversiones**. Notas de la cátedra impartida en la División de Estudios de Posgrado de la Facultad de Ingeniería, UNAM, 1989
16. Morlock K.E.; **Introduction to Transportation Engineering and Planning**; Mc. Graw Hill, New York, 1978
17. Nihan L.N.; Davis A.G.; **Application of Prediction - Error - Minimization and Maximum Likelihood to Estimate Intersection O - D Matrices from Traffic Counts**; T.S. + ; Vol. 23, No. 2, p. 77. 1989
18. Nihan L.N.; Davis A.G.; **Recursive Estimation of Origin - Destination from Input/Output Counts**; T.R.\* ; Vol. 21B, No.2, p.149, 1987

19. Paquete J.R.; Ashford J.N.; Wright H.P.; **Transportation Engineering, Planning and Design**; Wiley, New York, 1982
20. Raynaud H.; Debord B.; **A la Pursuite des Theoremes de Possibilities : Efforts, Deceptions et Recompenses**; Rapport de Recherche Informatique et Mathématiques Appliquées de Grenoble, 1986
21. Safwat Ali N.K.; Magnanti L.T.; **A Combined trip generation, Trip Distribution, Model Split and Assignment Model**; T.S.+; Vol. 22, No. 1, p. 14, 1988
22. Spiess H. ; **A Maximun Likelihood Model for Estimating Origin - Destination Matrices**; T.R. \*; Vol. 221B, No. 5, p. 395, 1987
23. Swait J.; Ben - Akiva M.; **Incorporating Random Constraints in Discrete Models of Choice Set Generation**; T.R.\* , Vol. 21B, No. 2, p. 91, 1987
24. Zimmerman H.F.; **Fuzzy Set Theory and Its Applications**; Boston, Kluwer Academic Press (KAP), 1985

---

T.R.\* : TRANSPORTATIONRESEARCH, PART B : METHODOLOGICAL  
T.S.+ : TRANSPORTATION SCIENCE (OPERATIONS RESEARCH SOCIETY OF AMERICA)



**FACULTAD DE INGENIERIA U.N.A.M.  
DIVISION DE EDUCACION CONTINUA**

**DIPLOMADO INTERNACIONAL DEL TRANSPORTE**

**MODULO II : "PLANIFICACION DEL TRANSPORTE URBANO"**

**TEMA :**

**MODELOS DE IMPACTOS**

**Presenta :**

**ING. ANGEL MOLINERO MOLINERO**

**PRIMAVERA 1997...**

# IMPACTOS

## 1. Transporte y desarrollo urbano

El transporte y el desarrollo urbano siempre han interactuado. Conforme una población se asienta y las ciudades empiezan a crecer, aparecen medios de transporte mas sofisticados. A su vez, la aparición de transportes mas rápidos y flexibles han ido estimulando el desarrollo inmobiliario.

A principios del siglo pasado, la forma mas común de transportarse era a pie o en vehículos de tracción animal, con lo cual se lograban velocidades menores a los 7 km/h. A su vez, las densidades urbanas eran altas y los usos del suelo, mixtos. A excepción de los habitantes con altos ingresos que podían contar con carruajes privados o de los habitantes de los suburbios que venían de los pueblos cercanos, la mayoría de las personas vivían en las proximidades a los centros de trabajo y por lo general las casa habitación se encontraban en la parte superior de los pisos dedicados a la actividad comercial.

***CASO: Centro histórico de la Ciudad de México ==> Poblados de San Angel, Tlalpan, Azcapotzalco***

Con el uso intensivo del riel primeramente y posteriormente de la tracción eléctrica se lograron velocidades cercanas a los 20 km/h, lo que permitió que el número de familias urbanas de altos ingresos establecieran sus lugares de residencia a mayores distancias de los lugares de empleo. Conforme se daba la segregación de las casas habitación y de otros usos del suelo, también las actividades comerciales y de servicios se reubicaban como respuesta al cambiante patrón residencial. Aun cuando las densidades de los corredores por donde operaba el tranvía eléctrico eran altas en comparación con algunos patrones de desarrollo suburbano actuales, éstas densidades eran menores que al inicio del siglo pasado. A su vez, las mayores velocidades que se lograban también permitió un crecimiento substancial del área central asi como de su población.

**CASO: Aparición de las primeras colonias suburbanas: San Rafael, Anzures, Santa María la Rivera**

Con la aparición del automóvil a principios de este siglo, se lograron mayores velocidades así como una mayor conveniencia y flexibilidad. Con el uso del automóvil se fomentaron menores densidades y un incremento marcado en el tamaño potencial del área urbanizada y urbanizable. Esto aumentó considerablemente la oferta de terrenos apropiados para una variedad de usos comerciales, de oficinas, de industrias y de servicios.

**CASO: Integración de los poblados que circundaban a la ciudad de México y la aparición de las primeras colonias suburbanas (Satélite, Pedregal)**

Es interesante considerar la diferencia en los patrones urbanos que muestran diferentes ciudades durante diferentes periodos del desarrollo del transporte. Aquellas ciudades que se desarrollaron antes de la aparición del automóvil tienden a presentar mayores densidades y una menor dispersión urbana. Por su parte, las ciudades que se desarrollaron después de la Revolución Mexicana, y una vez consolidada la presencia del automóvil como un medio de transporte en nuestro país, tienden a presentar menores densidades y por ende una mayor dispersión urbana.

**CASO: Ciudades del norte del país (Ciudad Juárez, Hermosillo, Tijuana)**

---

**1.1. El ciclo del transporte-uso del suelo**

La construcción de una nueva vialidad primaria o la modernización y readaptación de esta, modifica la accesibilidad del área, lo cual a su vez, conduce al desarrollo e incremento de las demandas de tránsito. El desarrollo lineal a lo largo de las principales arterias, con accesos con poca separación o mal diseñados, incrementa el número y la sobreposición de puntos conflictivos. Esto resulta en una reducción de la capacidad, demoras, altos niveles de molestia al automovilista, accidentes y niveles de servicio reducido. Con el fin de acomodar la demanda de tránsito en aumento, se requieren mejoras a la vialidad, presentándose un ciclo de eventos que requieren de inversiones continuas de capital para mejoras a las arterias o reubicaciones, tal y como se muestra en la Figura 1.

La ampliación o reconstrucción de una arteria existente para incrementar el nivel de servicio es generalmente muy cara y, sin un cuidado en la administración de los accesos, solo servirá como un alivio pasajero. La mejora

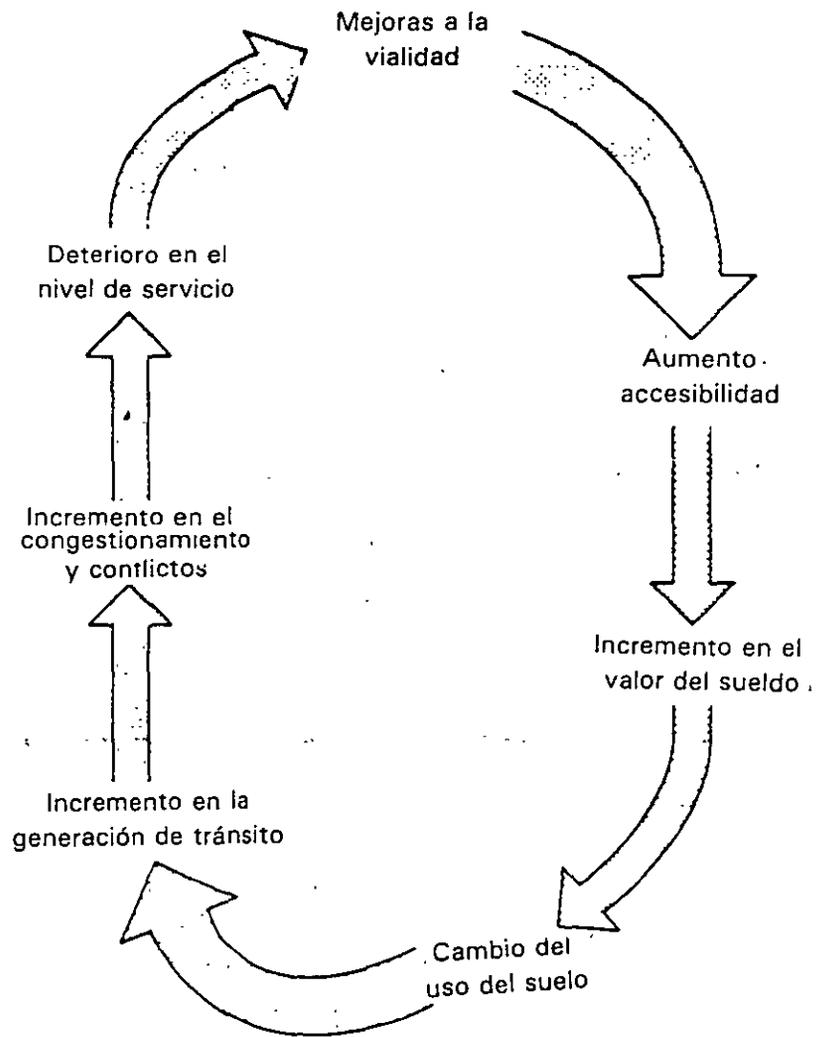


Figura 1. Ciclo uso del suelo - transporte.

de los niveles de servicio estimulará el incremento de las actividades, que a su vez generará mas tránsito, resultando con ello un un decremento en el nivel de servicio.

Aun mas, propiedades con poco fondo, la proximidad de las construcciones al límite del derecho de vía, la multiplicidad de propietarios y las limitaciones en el derecho de vía generalmente evitan un buen acceso y un diseño de la circulación del lugar, aun cuando se inviertan cantidades substanciales para su rehabilitación. En los casos mas severos, la arteria debe ser reubicada por su obsolescencia funcional y el proceso se reinicia en la nueva ubicación.

Los cambios en el nivel de servicio de las arterias también pueden conducir a patrones de uso del suelo inestables al cambiar la accesibilidad relativa de diferentes ubicaciones.

El tipo de uso del suelo asi como la distribución de áreas dentro del desarrollo inmobiliario pueden generar problemas que impactaran negativamente al sistema de vialidades. El mal diseño del área y el tránsito generado por el desarrollo inmobiliario pueden tener un impacto en las intersecciones críticas a una distancia considerable del desarrollo inmobiliario as como como en sus proximidades.

Las fuerzas que influyen la dinámica del desarrollo del uso del suelo son variadas y complejas. La lista siguiente no es exhaustiva pero si suficiente para señalar la naturaleza multifacética del problema:

- ° Políticas y programas gubernamentales al nivel nacional, estatal y municipal
- ° Cambios en el ingreso familiar
- ° Cambios en las preferencias familiares e individuales
- ° Tecnología del transporte y estructura de costos
- ° Cambios en el sistema de transporte
- ° Nivel de servicio ofrecido por el sistema de transporte

Aun cuando poco se puede hacer para moldear las fuerzas del ingreso y las tendencias generales del mercado, tanto los profesionistas del transporte como los urbanistas pueden jugar un papel significante en el desarrollo de políticas y programas gubernamentales, particularmente en el nivel municipal. Las tres herramientas principales de que se dispone a nivel de los gobiernos municipales son:

- ° programas integrales (transporte <=> uso de suelo)
- ° reglamentación zonal
- ° regulaciones en cuanto a subdivisiones (ej. Pedregal de San Angel)

Bajo la ausencia de programas integrales realistas y fuertemente apoyados, la zonificación solamente puede ser parcialmente efectiva en la integración del transporte y uso del suelo. Las razones son:

- ° la zonificación no trata directamente con el tipo y volumen de tránsito generado por un desarrollo inmobiliario;
- ° el uso del suelo de cualquier desarrollo urbano tenderá a cambiar varias veces a lo largo de la vida de una arteria; y
- ° la zonificación es constantemente cambiada sin una medición consistente e integral de las consecuencias

Puesto que las regulaciones en cuanto a la subdivisión están sujetas a las mismas limitaciones que la zonificación, es crítico que el proceso de planeación integral y la administración permanente dé la regulación de la zonificación y su subdivisión estén íntegramente atados. Una infinidad de casos palpables en cualquier ciudad ilustran la interdependencia del transporte y la planeación del uso del suelo y el balance delicado y siempre cambiante entre el transporte y el desarrollo del uso del suelo.

Un dilema conceptual es saber si se puede definir los momentos en el tiempo cuando el desarrollo inmobiliario y el sistema de transporte estarán balanceados. Una nueva vialidad puede ofrecer la capacidad para miles de vehículos por día, mientras que las actividades residenciales y comerciales se desarrollan poco a poco en el tiempo. Por lo tanto, es mejor pensar en un balance como un rango de tolerancia, tal y como se muestra en la Figura 2. Este rango de tolerancia considera:

- ° la inhabilidad de medir y predecir el tránsito de manera exacta y precisa
- ° la variabilidad de los flujos de tránsito

## **1.2. Accesibilidad**

El sistema de transporte es el elemento básico de la infraestructura que influye el patrón del desarrollo urbano. Esta influencia se puede visualizar con el siguiente ejemplo:

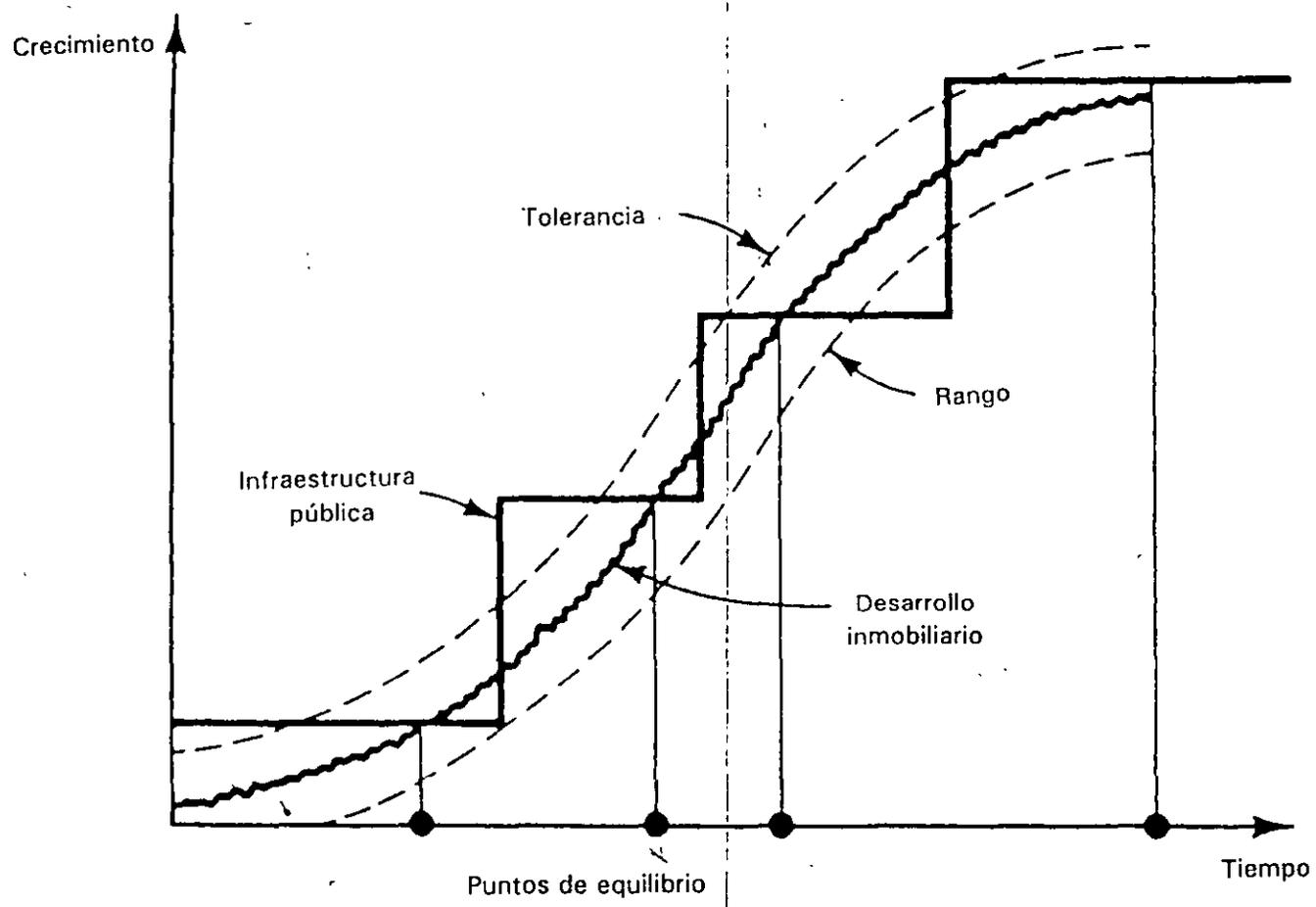


Figura 2. Balance entre el incremento en el desarrollo inmobiliario y las mejoras en la infraestructura del transporte.

9

H/12

- ° El tiempo de recorrido durante la HMD desde el centro de la ciudad de México se redujo entre 1979 (construcción de ejes viales) y 1990
- ° Se construyeron aproximadamente 250 km de arterias, quedando pendiente otros tantos
- ° Aun cuando el número de automóviles se incrementó en un 30% el área de acceso al centro de la Ciudad de México a menos de 20 min casi se duplicó.

Sin embargo, lo contrario también puede presentarse. La mejora en la accesibilidad que ofrece una mejora amplia de la red arterial estimula el desarrollo inmobiliario, que a su vez tiene como resultados incrementos en los volúmenes de tránsito y en el valor de las propiedades. A solo que de establezcan reglas claras en la administración de los accesos y su diseño, el nivel de servicio puede degradarse seriamente. El resultado será tanto un decremento en el área de mercado como en el valor de la propiedad.

En función de un caso hipotético, considere lo siguiente:

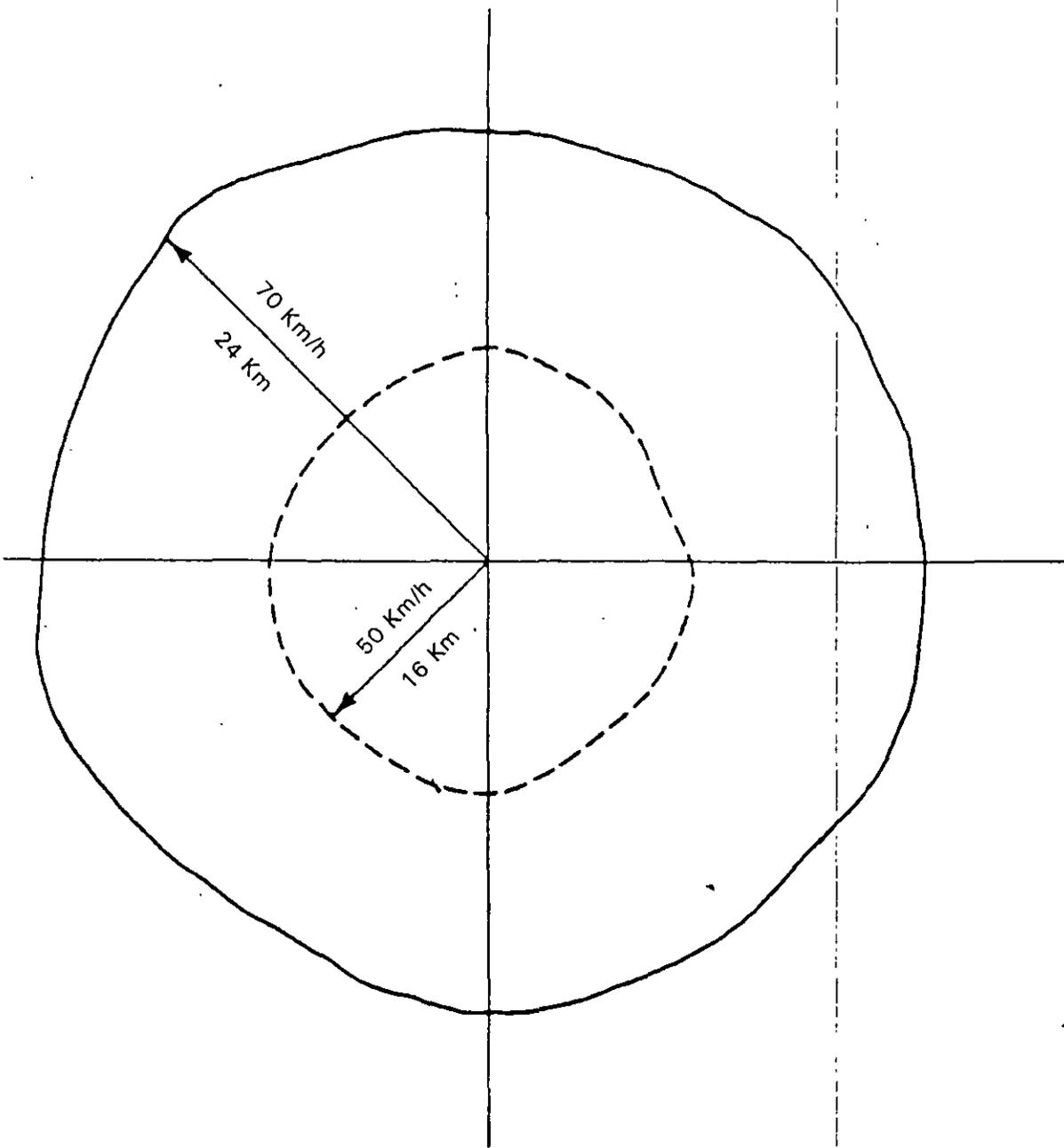
- ° Área de comercio primaria de un centro comercial es de 20 min
- ° Si la velocidad promedio de la red vial es de 70 km/h => radio de compras es de 24 km y el área primaria de compras es de 1,800 km<sup>2</sup>
- ° Si el nivel de servicio se reduce a 50 km/h debido a las causas señaladas => radio de compras de 16 km y un área de 800km<sup>2</sup> (Figura 3)
- ° Por lo tanto, una reducción de un tercio en la velocidad, reducirá el área del mercado en un 45% de su tamaño original

El tamaño actual del área de mercado será diferente para diferentes tamaño de generadores, puesto que las distancias de recorrido variarán. Sin embargo, el cambio en el área de mercado que resultará de un decremento uniforme en la velocidad será el mismo. A solo que el tamaño del mercado monetario se traslape por un incremento en la población (mayor densidad) y/o un incremento en el ingreso familiar, se puede esperar que el volumen de ventas en el centro se decremente como se muestra en el Cuadro 1.

Normalmente, la red vial no es uniforme ni tampoco se presentan las mismas velocidades para todos los tramos. Consecuentemente, la forma real del área de mercado será irregular, tal y como se muestra en la Figura 4. Por su parte, la Figura 5 muestra el área de mercado antes y después de la apertura de una autopista urbana (Washington).

5

7



<u>Velocidad</u>	<u>Radio del mercado</u>	<u>Area del mercado</u>
70 Km/h	24 Km	1800 Km <sup>2</sup>
50 Km/h	16 Km	800 Km <sup>2</sup>
Relación de áreas		
$800/1800 = 0.44$		$1800/800 = 2.25$

Figura 3. Areas de mercado teóricas bajo la condicionante de una red vial que ofrezca igual oportunidad de movimiento en todas direcciones.

8

5a

Reducción en la velocidad promedio de la red	Area de mercado relativa al tamaño previo
0%	100%
10%	81%
20%	64%
33%	45%
40%	36%
50%	25%

Nota: Centros de actividad mas pequeños atraen viajes de distancias mas cortas. Por ejemplo cerca del 70% del tránsito aun centro comercial regional viene de una distancia de 20 minutos, mientras que un centro comercial local el 70% viene de hasta 7 minutos. Asi que mientras sus áreas primarias de comercio son de diferente tamaño, para una reducción dada de velocidad cada centro enfrentará el mismo porcentaje de reducción en su área de mercado.

Cuadro 1. Reducción del área de mercado en función de una reducción en la velocidad.

b

53

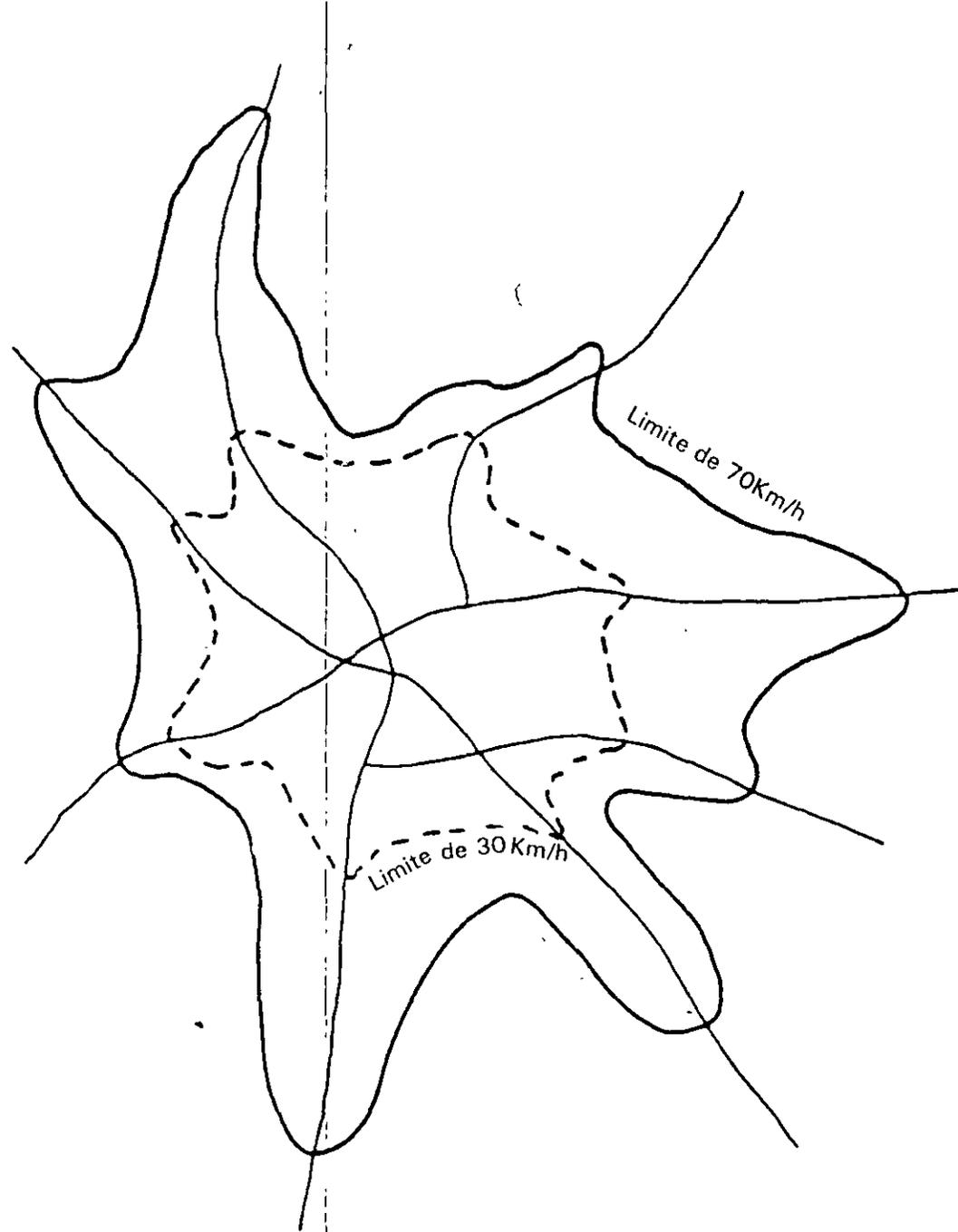


Figura 4. Areas esquemáticas de mercado con un sistema vial radical y velocidades no uniformes para varias rutas.

el

5

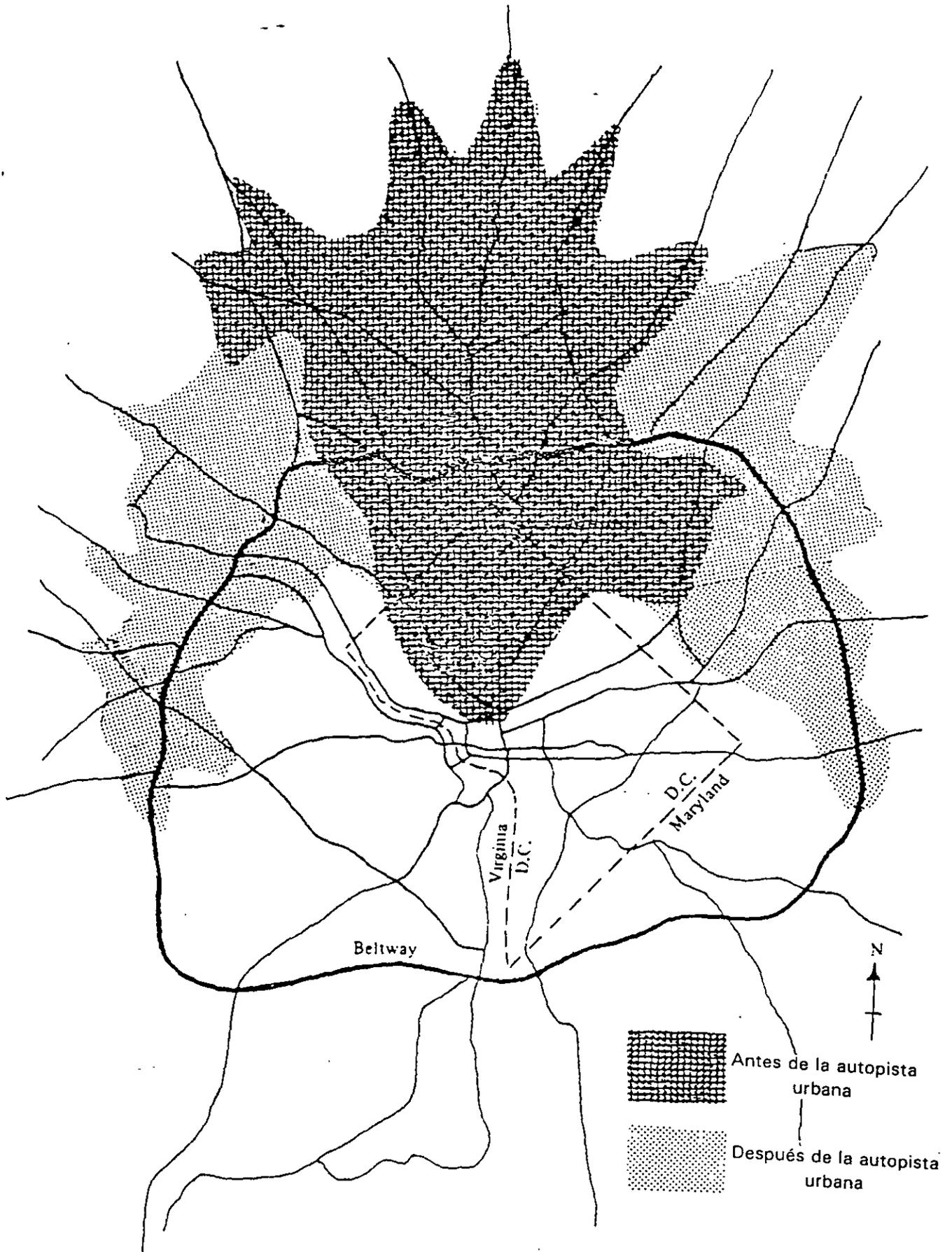


Figura 5. Area de mercado antes y después de la apertura de la autopista.

## 1.2. Planeación del transporte vs planeación del desarrollo inmobiliario

El proceso tradicional de planeación del transporte urbano que se muestra en la Figura 6 fue desarrollado para evaluar planteamientos alternos de transporte-uso de suelo. Este proceso pretendía:

- ° identificar los principales corredores de viajes
- ° ofrecer proyecciones de los volúmenes aproximados de tránsito dentro de los corredores
- ° identificar áreas potenciales que pudieran presentar problemas en la red propuesta
- ° ofrecer una base de planeación y de programación de mejoras a la red

El proceso también ofrece información (líneas de movimiento y longitud promedio del viaje) con los cuales la compatibilidad de los supuestos de uso de suelo y transporte pueden ser evaluados. También pueden ser usados para evaluar la accesibilidad relativa del patrón existente de uso de suelo - transporte, para identificar los cambios en la accesibilidad que pueden resultar de diferentes sistemas de transporte y para observar si las concentraciones comerciales o industriales propuestas están situados en ubicaciones que tienen, o tendrán, un alto nivel de accesibilidad.

El proceso de planeación del transporte urbano, que depende fuertemente del uso de modelos, es una herramienta macro que utiliza una representación abstracta de la red vial en la asignación del tránsito. No puede ser utilizada a nivel micro o de planeación del desarrollo inmobiliario ya que no ofrece:

- ° proyecciones confiables de los movimientos de vuelta en intersecciones individuales o vialidades de accesos
- ° proyecciones confiables de los volúmenes de tránsito en tramos individuales de las vialidades
- ° estimados confiables de los volúmenes de tránsito en las vialidades de acceso para diferentes ubicaciones de los accesos y/o diseños
- ° el efecto de un buen número de puntos de acceso a una arteria vs a un número reducido de puntos de acceso directo
- ° los requerimientos de vueltas derechas e izquierdas
- ° los efectos en el cambio del uso del suelo
- ° los efectos de cambios modestos en la ubicación de las actividades. Por ejemplo: la colocación de 22,500 m<sup>2</sup> de área comercial en cada uno de los cuatro cuadrantes que forma una intersección vs la ubicación de los 90,000 m<sup>2</sup> en un solo cuadrante.

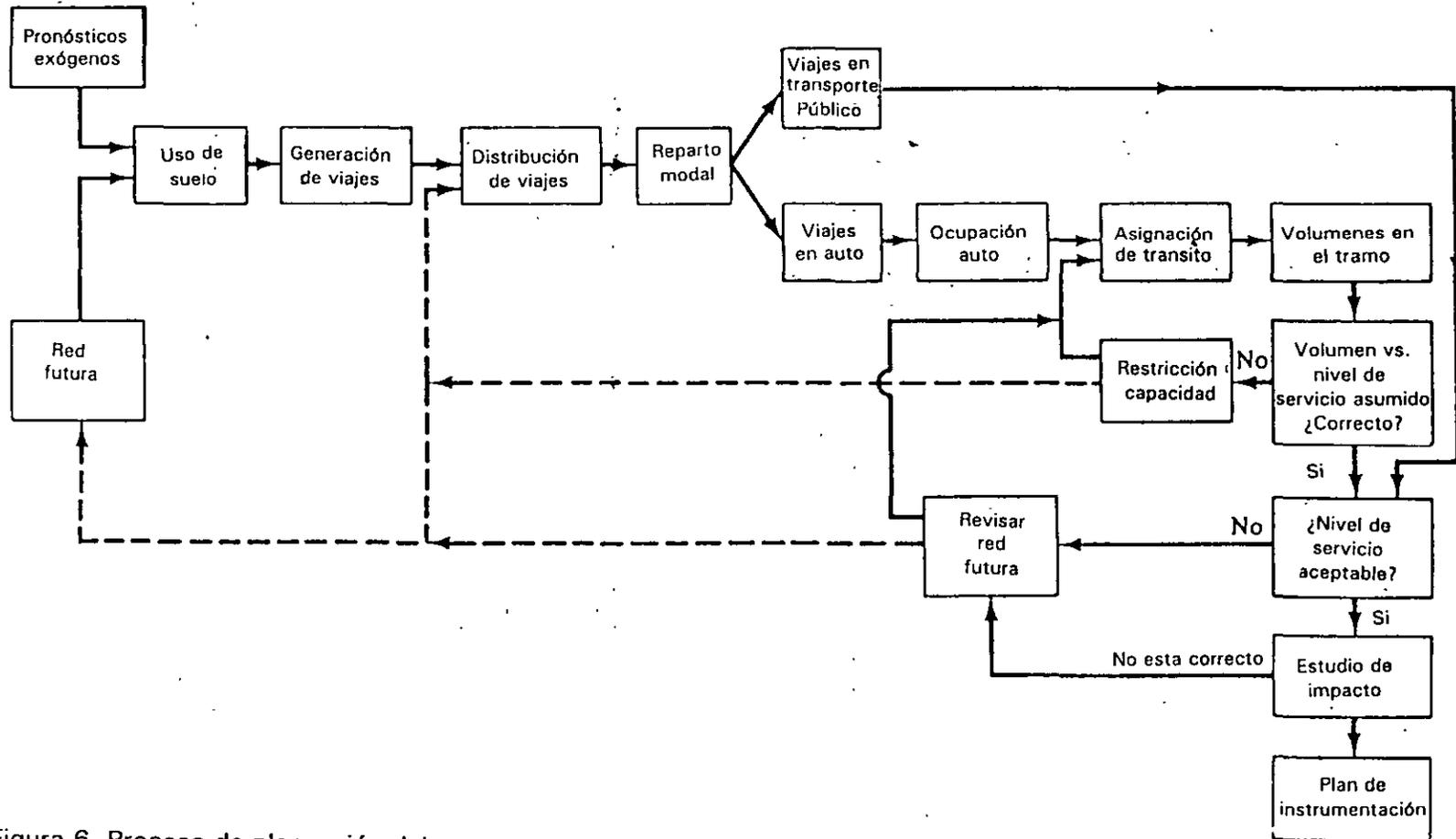


Figura 6. Proceso de planeación del transporte urbano.

13

62

- ° estimados confiables del tránsito en las vialidades frontales separadas de aquellas o los carriles principales de una autopista urbana o de una arteria a nivel.

Tanto el proceso general de planeación urbana como el proceso de planeación del transporte urbano normalmente utilizan un horizonte de planeación de 20 años en donde los elementos permanentes, los requerimientos a 20 años, y las necesidades a corto plazo se conjuntan en un solo estudio de grandes proporciones. Bajo la idea de tratar mas efectivamente con el transporte y el desarrollo urbano, el proceso de planeación debe estratificarse en cuatro horizontes o niveles de planeación:

- ° Un horizonte muy amplio para la **planeación estratégica** de los principales patrones de uso de suelo en los corredores de transporte así como otros elementos permanentes del medio ambiente urbano
- ° Un **horizonte** intermedio de **20 años** para la planeación de cambios significativos en las instalaciones de transporte, agua, drenaje, y otros elementos de infraestructura principales y los patrones de uso de suelo.
- ° Un **horizonte de mediano plazo** (5 a 10 años) para la planeación y programación de los desarrollos principales
- ° El diseño y construcción de proyectos de inversión individuales, tanto públicos como privados.

Estas etapas sucesivas constituirán una progresión en el diseño de la planeación con un incremento en el grado de detalle y refinamiento en cada etapa sucesiva.

Los dos primeros niveles deben ofrecer una guía general de políticas para decisiones de desarrollo públicas y privadas. Estos son los horizontes de planeación mas cortos para los que los procesos de modelación del transporte urbano fueron concebidos. El tercer nivel necesita ofrecer una coordinación efectiva de las decisiones de la infraestructura del sector público y la coordinación entre las decisiones de desarrollo del sector público y privado. Finalmente, el cuarto nivel debe asegurar que cada desarrollo propuesto se relacione con las condiciones existentes y previstas.

La planeación del desarrollo inmobiliario (*site planning*) es esencialmente una actividad del tercer nivel, ya que incluye análisis de los impactos del tránsito en un desarrollo propuesto específicamente; en la idoneidad de las vialidades de acceso; y en la bondad de la circulación dentro del desarrollo inmobiliario y del estacionamiento. Tales analisis son especificos para el desarrollo y son a nivel micro. Por lo tanto, se utilizan diferentes procedimientos analíticos, tal y como se muestra en la Figura 7.

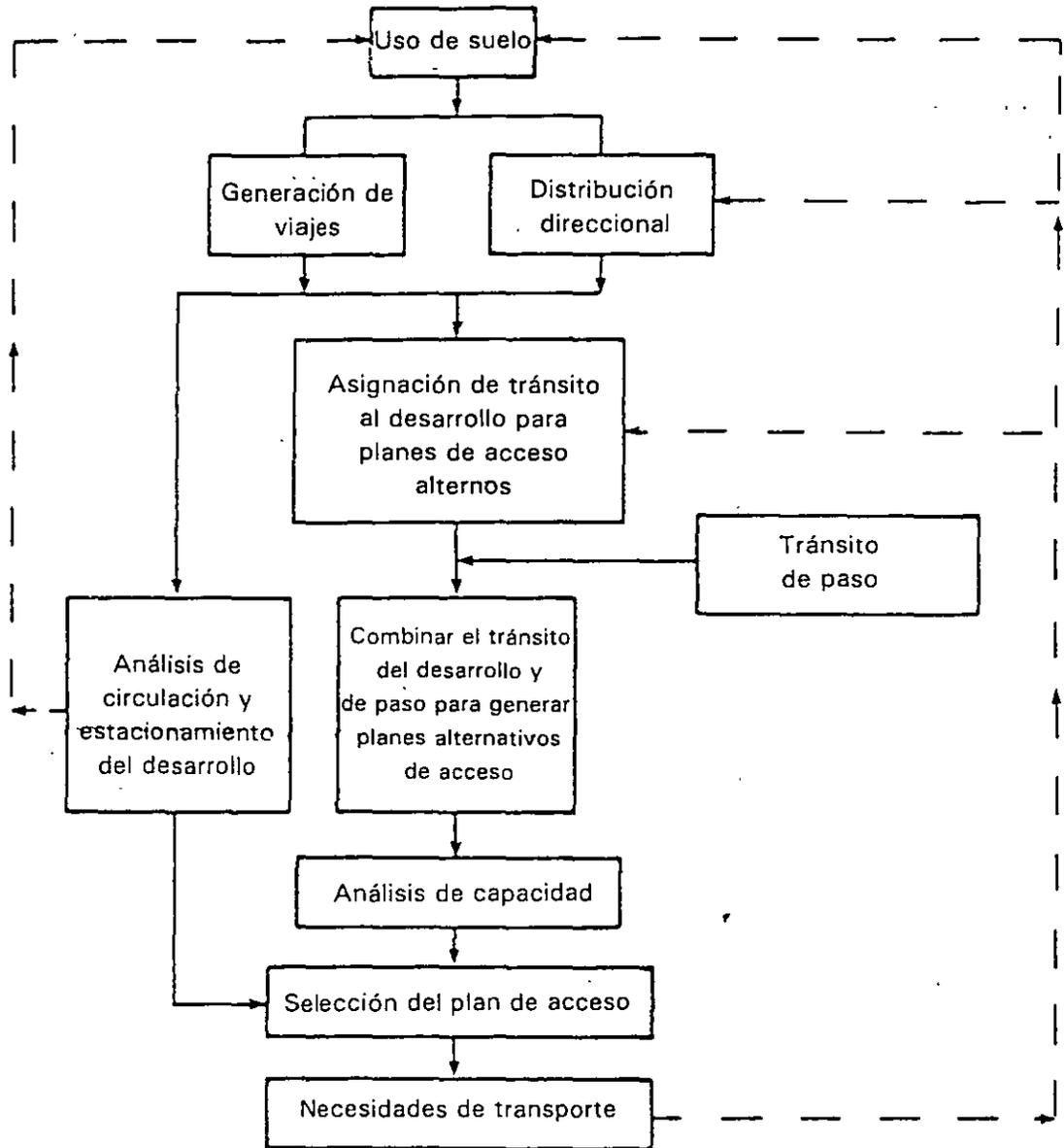


Figura 7. Análisis del tránsito en un desarrollo inmobiliario.

Mucha de la terminología que se utiliza en ambos tipos de planeación es similar. Sin embargo, las aplicaciones y usos son muy diferentes, tal y como se muestra en el Cuadro 2. La naturaleza específica del desarrollo de los análisis de tránsito de los proyectos individuales propuestos requiere de métodos y técnicas mas detalladas que aquellos que son adecuados para la evaluación de las alternativas de transporte-uso de suelo, las cuales son los objetivos de un estudio de transporte urbano.

Elemento de análisis	Estudio de planeación de transporte urbano	Plan del desarrollo y análisis de tránsito
Uso del suelo	Mecia de categorías generales de uso de suelo en cada zona de análisis/asignación de tránsito No se hace definición alguna en cuanto a la ubicación de construcciones actuales o futuras o cualquier otra mejora física	Se conocen los tipos específicos de actividades existentes y propuestas. La ubicación de las mejoras existentes y propuestas se conocen para un predio específico.
Sistema de transporte	Se representa la red vial y el transporte público de manera abstracta	Se conoce o se puede obtener información específica sobre el ancho del derecho de vía, la sección pavimentada, las características del tránsito y el control del tránsito existente. El mismo caso se presenta para el transporte público
Generación de viajes	Se proyectan para cada zona viajes totales para las 24 horas utilizando categorías generales de viajes (esto es, casa- trabajo, casa- no trabajo, casa)  Los viajes son proyectados mediante la producción y atracción para cada zona  Los viajes interzonales e intrazonales se obtienen generalmente mediante el uso dem modelo de gravedad utilizando zona a zona y los tiempos de recorrido intrazonales mediante la generación de viajes	Los viajes se estiman para la hora pico de la calle adyacente y las horas pico del desarrollo propuesto Para determinados desarrollos, como centros comerciales, se utilizan tanto los picos del día hábil como día festivo. El tránsito se estima por dirección en la red vial y para cada punto de acceso del desarrollo propuesto Los índices comúnmente utilizados para la generación de viajes son los viajes en auto.  Los viajes se proyectan por dirección, hacia el desarrollo (destino) o desde el desarrollo (origen)  Cuando un desarrollo de grandes dimensiones presenta usos mixtos (comercio y oficinas, por ej), el número de viajes hacia y desde el desarrollo deben ser ajustados
Selección de medios	Los viajes personas son repartidos en automóvil y transporte público, generalmente mediante el uso de algún modelo matemático. Los viajes en auto se convierten en viajes en auto y vehículos mediante índices de En áreas urbanas donde se presenta poco uso de transporte público, los viajes en auto/vehículo y los viajes en transporte público se obtienen mejor por generación directa	Donde se espera que algunos viajes se realicen en transporte público, el número de viajes en este medio se proyecta y el número de viajes en auto se reduce utilizando índices de ocupación del auto
Distribución de viajes	Los movimientos de zona a zona se obtienen utilizando un modelo gravitacional calibrado para el área urbana	El porcentaje de tránsito que va hacia/desde el desarrollo se obtiene por: (1) distribución geográfica de la clientela dentro de las zonas primarias (análisis manual utilizando el sentido común) (2) Aplicación del modelo gravitacional (métodos computarizados o manuales) o (3) analogía (apropiado en casos donde un negocio similar ha sido instalado próximo al nuevo desarrollo)
Asignación de tránsito	Viajes zona a zona se asignan a una red abstracta y codificada utilizando caminos mínimos, todo o nada o una asignación restringida de capacidad múltiple de caminos	Se estima el porcentaje de tránsito que utiliza cada punto de acceso así como el volumen en cada punto de acceso por movimiento.  Se proyecta el tránsito adicional del desarrollo propuesto por movimiento para cada segmento de vialidad e intersección adyacente hacia y desde el área de influencia del tránsito del desarrollo propuesto Si se computariza, se requiere de un análisis detallado y profundo de los resultados obtenidos.
Utilización de los resultados	Establecer la consistencia interna del plan de transporte-uso de suelo  Evaluar y comparar planes manualmente excluyente de transporte - uso de suelo  Identificar áreas principales de problemas en el plan de transporte dado un plan de usos de suelo  Identificar corredores de movimiento y proyectar el volumen aproximado dentro de cada corredor  Identificar las principales deficiencias en el sistema de transporte actual en comparación con el nuevo plan de transporte - uso de suelo	Identificar las demandas horarias máximas seleccionadas en puntos individuales de acceso del desarrollo propuesto Estimar la capacidad de los accesos propuestos y la posibilidad de acomodar las demandas proyectadas  Evaluar el plano de distribución de la circulación y estacionamiento del desarrollo, la ubicación de construcciones y la localización y diseño de los accesos en relación a las calles adyacentes Identificar la necesidad de mejoras viales tales como carriles de paso adicionales, control del tránsito adyacente a o dentro del área de influencia del tránsito del desarrollo propuesto

Cuadro 2. Comparación del estudio tradicional de transporte urbano y el plan del desarrollo y análisis del tránsito

## **2. Planeación del desarrollo inmobiliario (site planning)**

### **2.1. El proceso**

El proceso de planeación y diseño del desarrollo inmobiliario comúnmente seguido en México, cuando éste se dá, empieza por la toma de decisiones relativas al:

- ° tamaño de la construcción
- ° forma
- ° ubicación dentro del desarrollo

La decisión de su ubicación dentro del desarrollo se basa comúnmente en aspectos visuales (ubicado en el punto mas alto del predio u orientado paralelamente a la arteria) y de la forma de la construcción. El estacionamiento y la circulación dentro del desarrollo se diseñan posteriormente alrededor de la construcción y finalmente, se establecen las intersecciones de las vialidades de acceso con las vialidades adyacentes, con poca o ninguna consideración al impacto que ello pueda tener en la arteria.

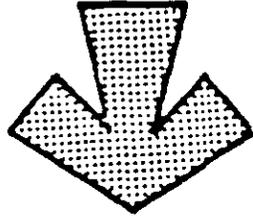
Si no se dá una atención adecuada a la ubicación y diseño de los accesos, los siguientes problemas se presentan:

- ° capacidad inadecuada de los accesos
- ° congestionamiento dentro del desarrollo
- ° congestionamiento en las vialidades
- ° incremento en los accidentes
- ° flexibilidad limitada para ajustar el diseño u operación a las condiciones cambiantes

El proceso prevaleciente se muestra en la Figura 8, en el cual primeramente se localiza la ubicación de la construcción y en seguida se diseña el estacionamiento y la circulación del desarrollo. Poca consideración se dá a la relación funcional que debe existir entre los componentes públicos y privados para un sistema de circulación efectivo y eficiente. Desde el punto de vista de localización y diseño de los accesos, el proceso debiera revertirse. Sin embargo, tanto la ubicación de la construcción, como la circulación dentro del desarrollo y el acceso se encuentran altamente interrelacionados. Por lo tanto, se requiere utilizar un proceso un tanto mas sofisticado, como el mostrado en la Figura 9.

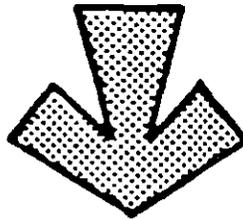
Edificios

Ubicación y diseño



Desarrollo

Estacionamiento y circulación



Acceso

Ubicación y diseño

Figura 8. Representación esquemática del proceso prevaleciente en el diseño de un desarrollo.

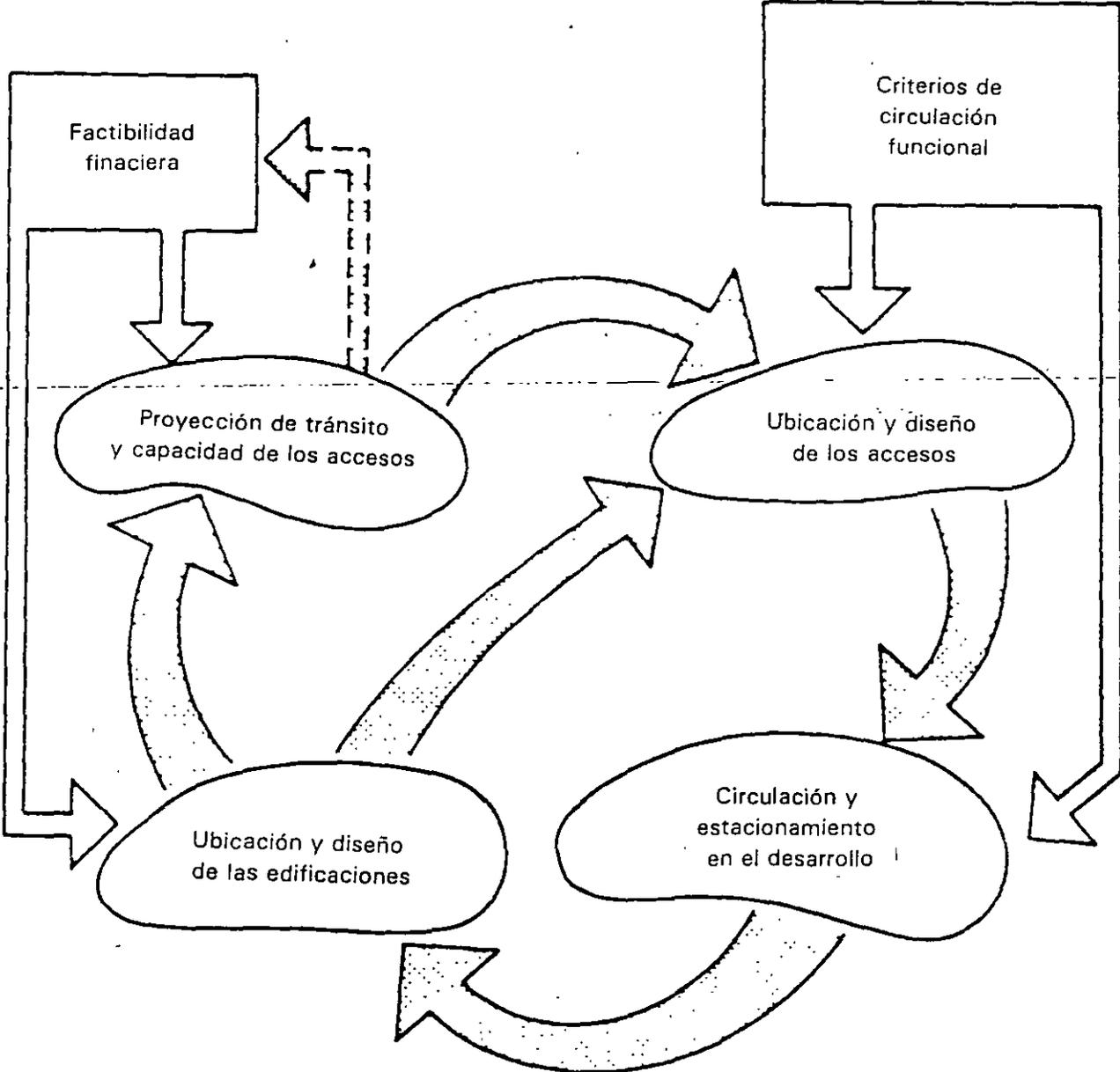


Figura 9. Esquema recomendable para el diseño de un desarrollo.

Normalmente, los problemas de tránsito debidos a un desarrollo inmobiliario son descubiertos una vez que el estudio de factibilidad financiera ha sido terminado y que la decisión de invertir ha sido realizada. Un estudio preliminar de tránsito, preparado en conjunto con el estudio de mercado, permitirá evitar tales problemas, al señalar lo siguiente:

- ° Cualquier condición del tránsito o vialidad existente que pueda limitar el desarrollo del lugar en consideración
- ° Cambios posibles o probables en las condiciones del tránsito, en la operación del tránsito o en el diseño de la vialidad que pueda influenciar la cantidad o naturaleza del desarrollo que pueda acomodarse en el sitio o en el diseño del mismo.
- ° Las características de la generación del tránsito de las actividades identificadas en el estudio de factibilidad de mercado
- ° La comparación del tránsito que puede ser generado por el desarrollo con un estimado de la capacidad del acceso que puede esperarse como disponible. Si la capacidad de acceso es insuficiente, el estudio de factibilidad de mercado debe investigar otras opciones (reducir el proyecto, diferentes mezclas de uso de suelo, u otro sitio) antes de realizar decisiones de inversión significantes.

Los criterios de diseño funcional en la red vial circundante deben ser utilizados como la base para la localización y diseño de los accesos.

La mejora del diseño de los accesos se presenta cuando su diseño y ubicación se basan en una jerarquía de vialidades y la localización y diseño de los accesos no interfieren con la función de movimiento de las arterias. El proceso de diseño necesita incorporar consideraciones de acceso y circulación dentro del desarrollo en una etapa inicial y de una manera mas integral que lo que normalmente se da en la actualidad. Muchas veces, es el diseño y localización del acceso y no los volúmenes de tránsito del desarrollo *pese*, los que crean el problema de tránsito. Aun mas, los problemas de tránsito que pueden haberse creado por un desarrollo propuesto pueden evitarse o minimizarse mediante la selección de una mejor ubicación y/o diseño de los accesos.

Al estar interrelacionados tanto la ubicación de la construcción dentro del predio como la circulación funcional dentro del desarrollo y el acceso; el ingeniero de transporte debe formar parte del equipo de diseño desde la concepción del proyecto. En muchos casos, el ingeniero de transporte puede identificar antes los problemas, permitiendo una mejor utilización del predio, de las calles adyacentes, del acceso y de la circulación interior del desarrollo y del estacionamiento. Cuanto mas pronto se identifiquen los problemas de

circulación, será mas fácil y mas barato su solución. Una vez que la construcción ha finalizado, generalmente es muy cara y a veces imposible resolver satisfactoriamente la circulación del desarrollo y sus problemas de acceso. Esta situación puede afectar al mercado y la recuperación de la inversión para el promotor inmobiliario.

## **2.2. Procedimiento de revisión del desarrollo inmobiliario**

Este procedimiento es una forma efectiva de tratar con el tránsito, tanto dentro como fuera del desarrollo, así como otros aspectos del desarrollo del uso del suelo importantes o de su revitalización misma. De esta manera, la ubicación y diseño del acceso, de la circulación dentro del predio y las consecuencias del tránsito fuera del desarrollo pueden ser enunciadas como un todo dentro del proceso de diseño del predio. Este procedimiento debe consistir de los siguientes estudios relacionados entre sí:

- ° un estudio de factibilidad financiera para determinar la bondad geográfica y demográfica del uso de suelo propuesto.
- ° una revisión del plan de desarrollo inmobiliario, el cual incluirá:
  - ubicación y diseño del acceso
  - circulación dentro del predio (peatonal y vehicular)
  - estacionamiento
  - drenaje
  - arquitectura del paisaje
  - ubicación de mobiliario urbano
  - muelles de carga y descarga
  - recolección de basura
- ° un análisis del impacto del tránsito, dentro del cual estima el volumen de tránsito que el desarrollo puede generar y ofrece una evaluación cuantitativa del impacto de este tránsito en el sistema vial y en el desarrollo final, junto con una identificación de las mejoras fuera del predio que pueden ser necesarias como resultado del desarrollo inmobiliario.

## **2.3. Factibilidad financiera**

Cualquier desarrollo de importancia requiere de un análisis de factibilidad de mercado. El propósito del mismo consiste en:

- ° determinar la área de influencia del mercado
- ° el periodo proyectado de construcción y venta (renta) total
- ° la recuperación de la inversión potencial en el corto y largo plazo

Este es un estudio especializado y debe ser elaborado por profesionistas financieros y promotores de bienes raíces ya que sus resultados serán críticos para conformar el transporte y las decisiones de desarrollo que siguen a este estudio introductorio.

#### **2.4. Revisión del plan de desarrollo inmobiliario**

Una revisión de esta naturaleza es imperativa, independientemente de que se realice o no un análisis del impacto del tránsito. Las escalas recomendables van de 1:250 a 1:1250, dependiendo del tamaño del predio. La escala mas pequeña a utilizar para determinar las distancias de visibilidad y evaluar las áreas de maniobra en las intersecciones y vialidades de accesos debe ser de 1:500. Los elementos que deben incluirse en estos planos de desarrollo incluyen los siguientes:

- ° ubicación y forma de todas las construcciones
- ° la ubicación y diseño de todos los accesos
- ° el derecho de vía y la sección transversal de las calles adyacentes
- ° la ubicación y diseño de cualquier intersección ya sea privada (vialidad de acceso) o pública cercana al desarrollo
- ° el plano de conjunto del estacionamiento con tamaños de cajones, circulaciones y dimensiones pared a pared, forma y dimensión de las isletas terminales
- ° ancho de las vialidad de circulación y el radio de las curvas horizontales
- ° banquetas
- ° mobiliario urbano existente y propuesto
- ° muelles de carga y descarga y ubicación de los puntos de recolección de residuos sólidos
- ° drenaje
- ° áreas con arquitectura del paisaje

El plan de conjunto o distribución de plantas aprobado debe servir de base para la aprobación de todos los permisos administrativos para su autorización, incluyendo el de construcción y de conexión a las redes de servicio municipales (agua, drenaje, gas, vialidad). Los siguientes aspectos deben revisarse durante este análisis:

- ° **Diseño y ubicación de los accesos**
  - Espaciamiento a los accesos adyacentes, tanto públicos como privados
  - Angulo
  - Radio de curvatura
  - Sección transversal de garganta

- Longitud de garganta
- Canalización marginal y de camellones
- Longitud, ancho y graduación de las ballonetas o bahías para dar vuelta
- Ubicación de señalamiento
- Distancias de visibilidad
- Visibilidad de las vialidades de acceso
- Perfil

° **Circulación dentro del predio y estacionamiento**

- Puntos de conflicto vehicular
- Conflictos vehículo - peatones
- Distancias de visibilidad
- Canalización
- Delineación de vialidades internas de circulación
- Anchos de las vialidades internas
- Potencial de velocidades altas en puntos cercanos a las construcciones
- Potencial de velocidades altas y movimientos vehiculares aleatorios en las áreas de estacionamiento
- Conveniencia del estacionamiento en relación a las entradas a las construcciones
- Dimensionamiento de los cajones de estacionamiento
- Localización de las guarniciones en relación a los cajones frontales de estacionamiento
- Diseño y ubicación de estacionamiento para personas con discapacidad
- Anchos de banqueta (acera)
- Muelles de carga y descarga para transporte de carga
- Acceso a contenedores de basura
- Visibilidad de las obstrucciones como isletas al final de las banquetas, barreras, postes de luz y otros
- Delineamiento del borde del desarrollo a partir de las calles adyacentes

° **Otros elementos**

- Mobiliario urbano existente y propuesto
- Drenaje superficial
- Ubicación y tipo de arquitectura del paisaje
- Ubicación de luminarias y otros postes
- Bardas y/o arquitectura del paisaje para separar el desarrollo inmobiliario de los predios adyacentes
- Ubicación y ángulo de la iluminación exterior en aquellos casos donde la iluminación puede interferir la visión del conductor

## **2.5. Análisis de impactos del tránsito**

Este es un estudio especializado en el cual se analiza el impacto que cierto tipo y tamaño de desarrollo inmobiliario puede traer consigo al sistema de transporte que lo rodea. En función del **tamaño y tipo del desarrollo**, este estudio puede ir desde una revisión detallada del predio y de los volúmenes proyectados de tránsito y de las vialidades adyacentes a un análisis detallado de alternativas que incluyan las calles adyacentes, las vialidades de paso regionales y los sistemas de transporte público urbano.

Este tipo de estudio debe formar parte del proceso de revisión del impacto que ocasionará el desarrollo inmobiliario en cuestión. Se centra principalmente en la generación, distribución y asignación del tránsito hacia y desde el predio propuesto. Su propósito es determinar cual será el impacto que el tránsito tendrá en la red vial existente y propuesta y cual será el impacto que el tránsito existente y proyectado en la red vial tendrá sobre el desarrollo inmobiliario propuesto.

Un análisis completo de impactos del tránsito debe ser realizado en cada uno de los siguientes casos:

- ° Cualquier desarrollo inmobiliario del que se espera que pueda generar mas tránsito que un determinado umbral (como por ejemplo, 100 vehículos en la HMD en la vialidad adyacente o generador) o para un volumen menor cuando la revisión del plano de distribución de plantas del desarrollo indique que es deseable información adicional
- ° Cualquier caso en el que se solicita una revisión de la zonificación
- ° Cualquier cambio en el uso de un predio industrial o comercial existente
- ° En los casos donde el incremento en la intensidad del uso del suelo pueda resultar en un incremento la generación de viajes de mas del 15% o una distribución direccional del tránsito del desarrollo de mas del 20%.

Este tipo de análisis todavía no están regulados en México, por lo que las autoridades encargadas del desarrollo urbano debieran establecer estos requerimientos dentro de su reglamentación. Se sugiere lo siguiente:

- ° un tiempo máximo para la revisión del estudio de impacto por parte de la autoridad
- ° la designación del área responsable
- ° el desarrollo y mantenimiento de un manual de requerimientos y procedimientos

Este manual debe contar con lineamientos específicos que puedan ser aplicados consistentemente y sean aplicados equitativamente, pero debe permitir a su vez al analista del tránsito la posibilidad de adecuar el estudio de impactos a las condiciones específicas del lugar, con la finalidad de evitar una rigidez inapropiada que pueda incrementar el costo de realizar un estudio de esta naturaleza. Ejemplo de ello serían:

- ° solicitar aforos de tránsito muy amplios en las cercanías y en la vecindad del predio cuando los volúmenes actuales de tránsito están muy por debajo de la capacidad
- ° el requerimiento de realizar un análisis detallado de capacidad en las intersecciones siempre que se presente una intersección señalizada adyacente a o en la cercanías al predio
- ° los requerimientos de programas de cómputo para la asignación de tránsito

El encargado del proyecto, conjuntamente con su asesor en materia de tránsito, debe discutir el proyecto con las autoridades pertinentes desde una etapa temprana del proyecto. Entre los puntos que deben discutirse están:

- ° información de tránsito existente
- ° cualquier programa de mejoras viales en las cercanías del predio
- ° los aforos a realizarse
- ° intersecciones en donde la utilización del análisis crítico de capacidad es apropiado,
- ° los volúmenes proyectados cuando el área se desarrolle plenamente

Un estudio específico de impactos del tránsito variará dependiendo del desarrollo inmobiliario y de las condiciones prevalecientes. Los siguientes lineamientos representan los mínimos que deben ser considerados:

- ° Condiciones actuales
- ° Generación de viajes y volúmenes horarios de diseño
- ° Distribución de viajes y asignación de los mismos
- ° Volúmenes de tránsito, existentes y proyectados
- ° Análisis de capacidad
- ° Accidentes de tránsito
- ° Mejoras al tránsito
- ° Conclusiones
- ° Resumen de resultados y recomendaciones

## **2.6. Escalas de planeación**

El desarrollo de un sistema de circulación requiere que el análisis del tránsito y el diseño del desarrollo inmobiliario progresen desde los aspectos generales hasta detalles específicos. Estos elementos se muestran en el Cuadro 3 y se clasifican en:

- ° aspectos de los corredores
- ° aspectos del proyecto
- ° aspectos del desarrollo inmobiliario

A nivel del corredor (Figura 9A), los puntos a tratar deben incluir la ubicación de la infraestructura mas importante tal como arterias o colectoras en areas en desarrollo, o bien, el análisis del impacto que puede ocasionar un desarrollo importante en las arterias existentes y colectoras dentro de un área en proceso de revitalización.

A nivel de un proyecto concreto, los temas que deben tratarse incluyen los impactos que ocasiona el desarrollo en las propiedades y vialidades adyacentes asi como en la colocación de los accesos (Figura 10).

En el caso de los temas relacionados específicamente con el desarrollo inmobiliario, éstos se centran en aspectos internos relativos a la colocación y diseño tales como el estacionamiento, el plano de conjunto de las construcciones y la circulación dentro del predio.

## **2.7. Ejemplo conceptual**

Un promotor de bienes raices ha solicitado la elaboración de un plan conceptual de uso de suelo y de circulación para un predio de 300 ha, ubicado dentro de del mercado suburbano de Guadalajara y que presenta una situación estable y en pleno crecimiento.

El sitio es de una naturaleza compleja. Está afectado por:

- ° patrones de vuelo del aeropuerto
- ° dos líneas de ferrocarril, con movimientos principalmente de carga
- ° parte del terreno ha sido utilizado como un área de relleno sanitario
- ° un riachuelo corre a través del predio
- ° parte del terreno se ubica dentro del área inundable del riachuelo

Nivel corredor	Nivel proyecto	Nivel desarrollo
1. Crear acceso marginal compartido para simplificar los movimientos de las carreteras y reducir el número de puntos de acceso	1. El sistema de acceso al estacionamiento debe ser claro y simple, crear lazos de circulación y evitar puntos sin salidas	1. Los módulos de estacionamiento deben alternarse con áreas verdes para romper la extensión del estacionamiento, ofrecer áreas peatonales seguras y ayudar a definir el esquema de circulación vehicular
2. Los accesos a las carreteras deben estar a un mínimo de 120 m de una intersección canalizada	2. Los módulos de estacionamiento deben utilizarse para romper la extensión de las áreas de estacionamiento y permitir formar patrones de circulación sencillos para la búsqueda de espacios.	2. La ubicación de los módulos de estacionamiento facilita los movimientos seguros del peatón si se orientan perpendiculares a las fachadas de las construcciones, de tal forma que minimicen los pasillos de circulación vehicular que el peatón
3. Localizar los puntos de acceso directamente opuestos uno del otro o por lo menos 45 m aparte (esto aplica para cualquier nivel)	3. Si el estacionamiento es compartido por dos o más construcciones, cada una debe contar con uniones peatonales y vehiculares convenientes a las áreas de estacionamiento	3. La circulación entre módulos debe ser simple y continuas. Evitar situaciones donde el conductor debe dejar el desarrollo y reentrar para repetir la búsqueda de estacionamiento
4. El acceso al desarrollo debe ser compartido siempre que sea posible para reducir la pavimentación, la duplicación de vialidades y crear una circulación eficiente	4. Las formas de las construcciones deben ser utilizadas para definir y enfatizar las entradas, que deben ser visibles y fácilmente accesibles desde las áreas de estacionamiento.	4. Las áreas de entrega de mercancías deben estar separadas del área de estacionamiento. Las vialidades de servicio no deben entrar a los módulos de estacionamiento
5. Los estacionamientos deben ser compartidos para reducir el área de estacionamiento. Usos adyacentes que tienen diferentes horas de operación u horas pico deben compartir estacionamiento	5. Ofrecer un sistema peatonal continuo que conecte a las entradas de los edificios a través de un sendero directo, separado de los derechos de vía de los vehículos y que conecte con los caminos peatonales del exterior del proyecto	5. Los senderos para peatones deben estar separados de los derechos de vía vehiculares y deben seguir rutas directas entre las construcciones o de las áreas de estacionamiento a las construcciones
6. Separar usos incompatible con zonas de amortiguamiento o de pantalla	6. Un sistema de rutas de bicicleta debe ser provisto, separado del tránsito vehicular, cuando esto sea posible. Se deben ofrecer áreas de estacionamiento para bicicletas.	
7. El tamaño, la orientación y la forma de los edificios debe ser diseñada para hacerlos visibles fácilmente desde las carreteras, a velocidades de carretera	7. Los edificios deben orientarse para tomar ventaja de las vistas agradables	
8. Localizar los edificios, las áreas de estacionamiento y los espacios abiertos para crear una relación fuerte y variada del la masa/espacio cuando se vea desde la carretera	8. Se deben utilizar pantallas apropiadas para esconder vistas no deseables	
9. El señalamiento del desarrollo debe ser ubicado donde sea fácilmente visible para el tránsito carretero	9. Se deben crear áreas abiertas naturales para ofrecer alivio y contraste a las áreas construidas	
10. Los usos del desarrollo a lo largo del corredor deben ser tipos de uso de suelo que se benefician de la visibilidad desde la carretera y complementan los usos adyacentes del corredor	10. Usar espacios verdes como amortiguadores entre usos poco compatibles	
11. Los usos deben tomar ventaja de puntos panorámicos y vistas agradables cuando éstas existen		
12. Los usos adyacentes a una atracción natural no la deben afectar o encerrar		

Cuadro 3. Niveles de planeación de un desarrollo inmobiliario

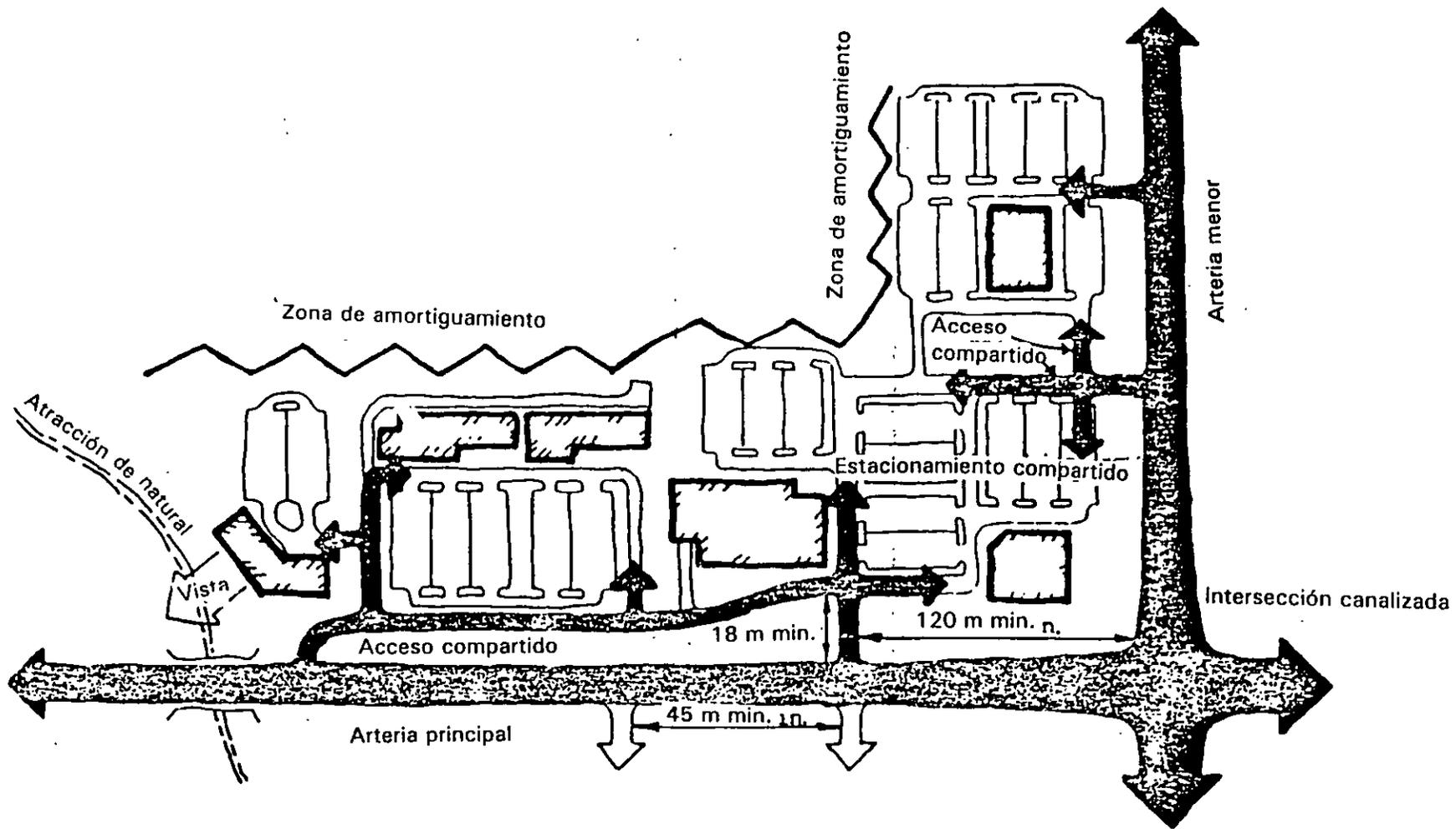


Figura 9A. Nivel corredor.

bc

10

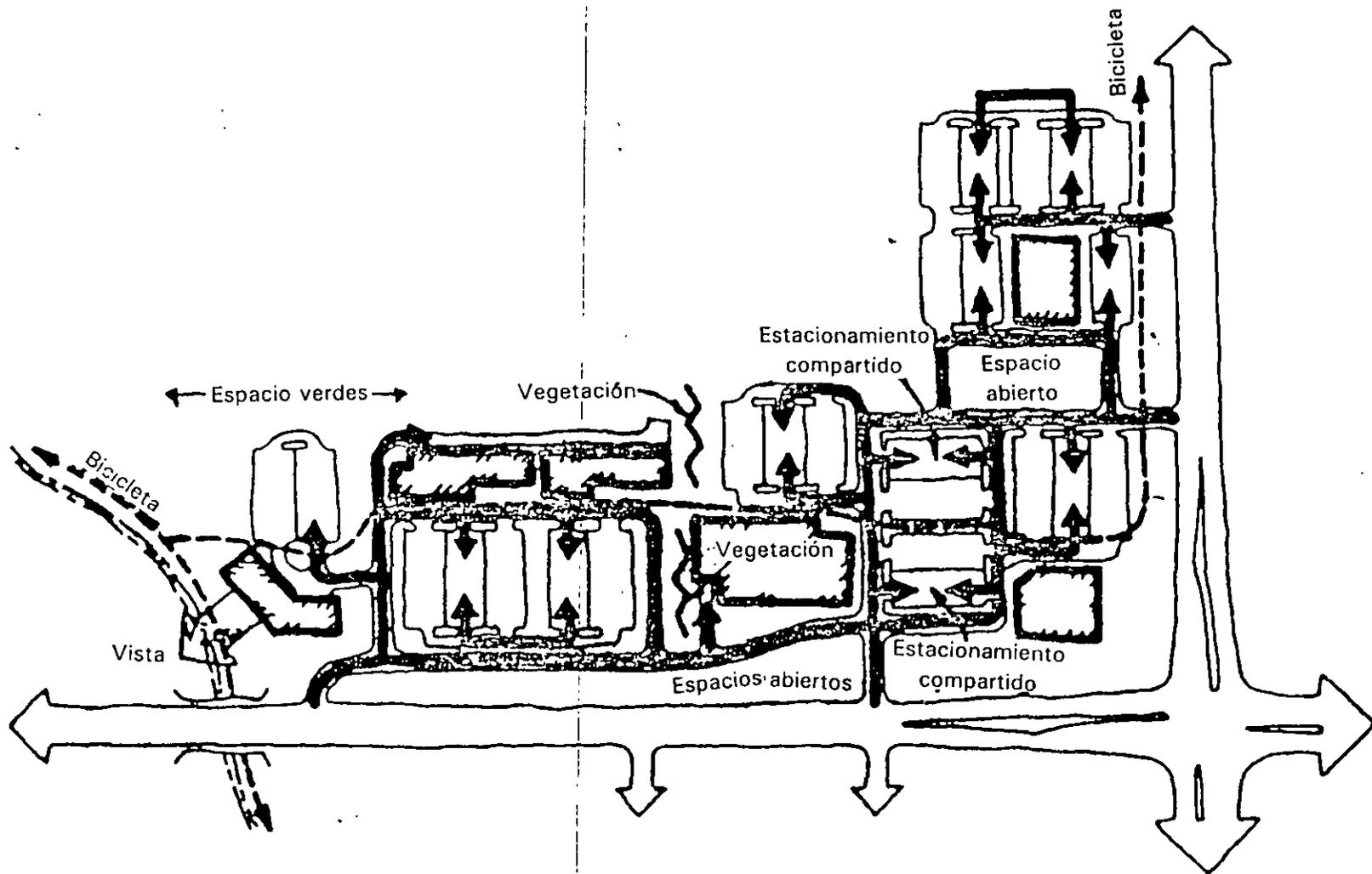


Figura 10. Nivel proyecto.

11 22

El terreno está bisectado por dos arterias de cuatro carriles que ofrecen una buena conexión a autopistas regionales. La distribución predominante de la población es al norte y poniente del desarrollo inmobiliario. El mercado local puede recibir una variedad de usos comerciales, residenciales industriales y de oficinas. Un análisis de factibilidad de mercado ha sido terminado y un programa de desarrollo se ha propuesto para evaluarse. El estudio de factibilidad sugiere los siguientes tipos y cantidades de uso de suelo que el mercado de esta área de Guadalajara puede soportar:

	ha
<b>° Uso residencial</b>	
- Vivienda unifamiliar independiente	60.7
- Casas adosadas de mediana densidad	61.9
- Edificios con pocos departamentos	14.2
- Multifamiliares	6.1
<b>° Uso comercial</b>	
- Centro comercial regional de aproximadamente 22,000 m <sup>2</sup> de área bruta rentable. El centro debe incluir un supermercado, tienda departamental y otros comercios	9.7
- Usos comerciales a lo largo de las arterias, entre los que se consideran una refaccionaria, restaurantes, bancos, tienda de enseres de jardín y oficina de bienes raíces y puntos de servicio	4.0
- El desarrollo requiere de 2 gasolineras	0.4
- Un hotel de 250 habitaciones	3.2
<b>° Areas de empleo</b>	
- Uso de oficinas generales	8.1
- Oficinas corporativas	20.2
- Usos industriales restringidos	12.1
<b>° Usos institucionales</b>	
- Centro de arte que sirva a la región	1.6
- Escuelas	
* 2 escuelas primarias	2 c/u
* 1 preparatoria	4.0
- Centro comunitario de recreación	2.0
- Espacios abiertos	87.8

Se requiere seguir tres criterios esenciales en la asignación de usos del suelo a las subáreas:

- ° Empalmar los usos del suelo con el nivel de accesibilidad
- ° Ubicar los usos del suelo de tal manera que sean compatibles con los usos adyacentes
- ° Empalmar los usos del suelo con las características del terreno

La Figura 11 muestra el predio con relación a la infraestructura del área, mientras que la Figura 12 muestra los principales determinantes para la planeación del uso del suelo. Finalmente, la Figura 13 es una hoja de trabajo

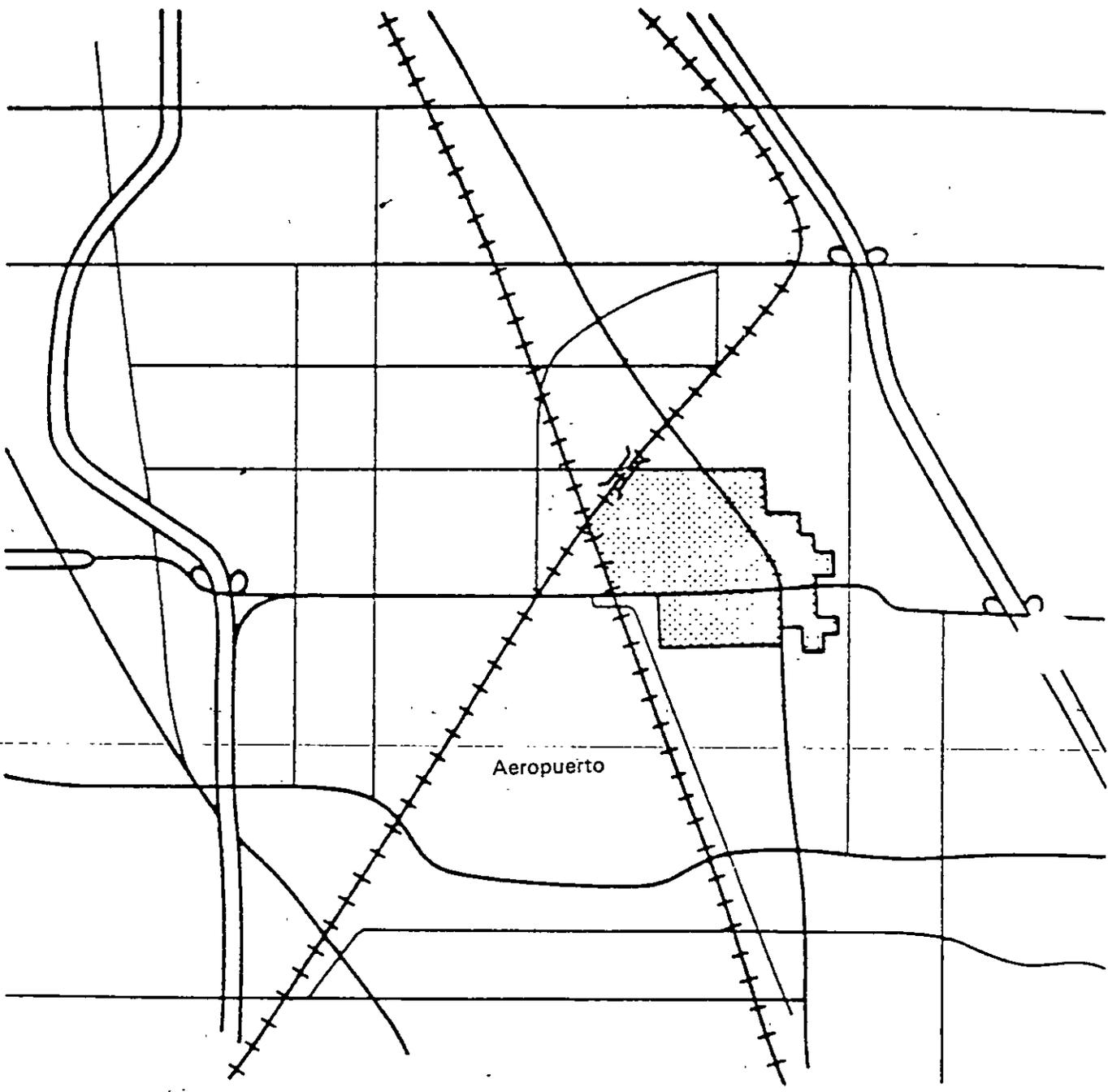


Figura 11. Red vial del area donde se ubica el desarrollo.

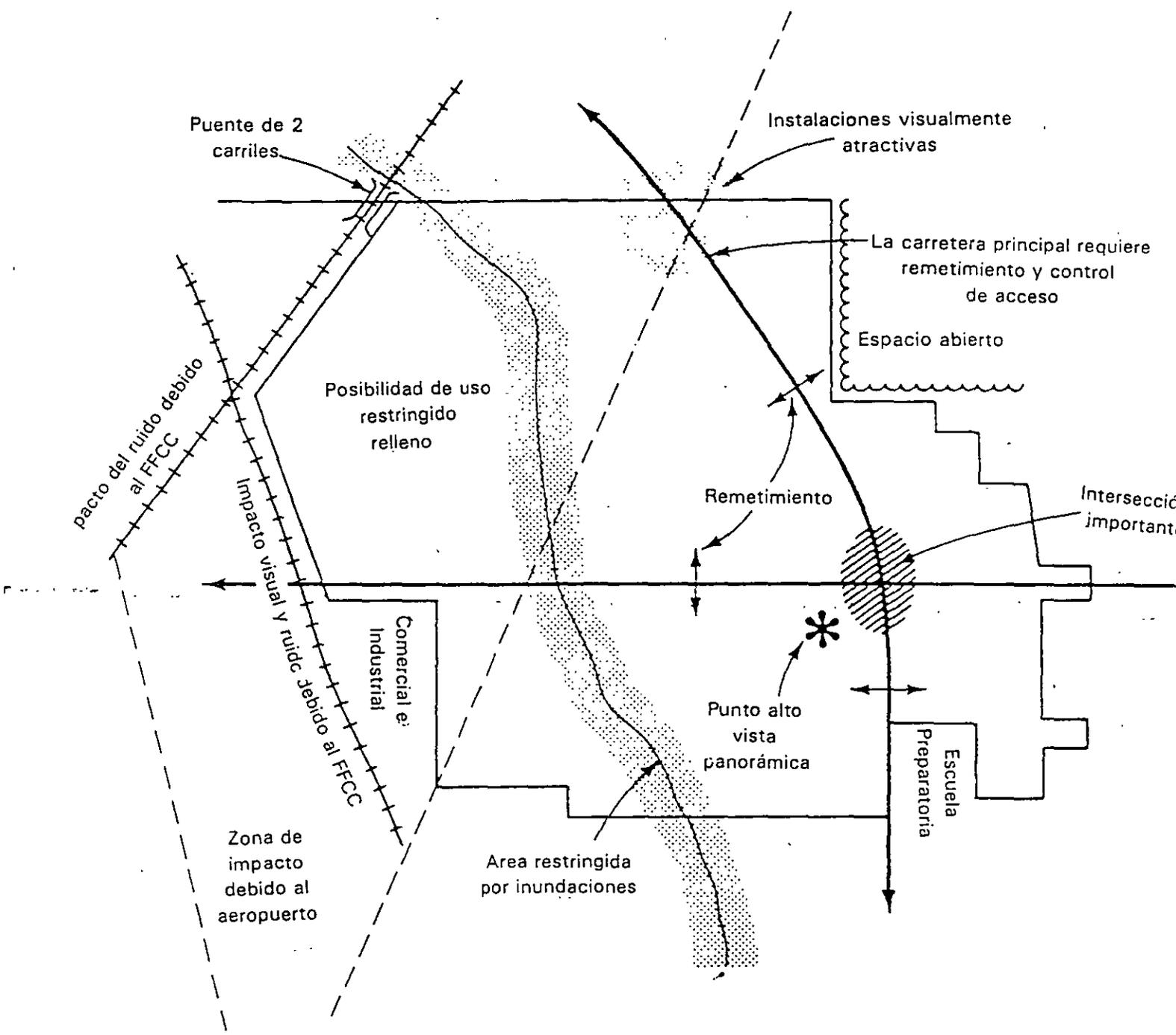
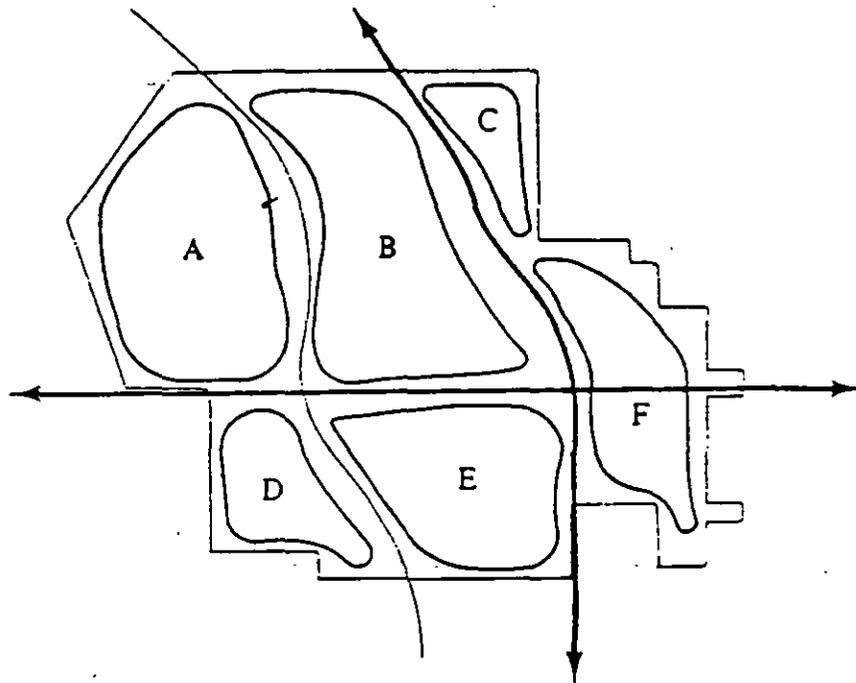


Figura 12. Principales determinantes en la planeación del uso de suelo.



Area	Criterio	Usos	Area	Criterio	Usr
A	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Mala accesibilidad</li> <li>• Relleno sanitario</li> <li>• Impactos por ruido</li> <li>• Impacto por aeropuerto</li> <li>• Agua</li> </ul>		D	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Accesibilidad moderada</li> <li>• Adyacente a industria y</li> <li>• Impacto aeropuerto</li> <li>• Atractivo acuático</li> <li>• Problemas de inundación</li> </ul>	
B	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Buena accesibilidad</li> <li>• Atractivo acuático</li> <li>• Problemas de suelo</li> <li>• Problemas de inundación</li> <li>• No existen usos adyacentes</li> </ul>		E	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Alta accesibilidad</li> <li>• Sin desarrollos adyacentes</li> <li>• Atractivo acuático</li> <li>• Estacionamiento de trailers</li> <li>• Problemas de inundación</li> </ul>	
C	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Accesibilidad moderada</li> <li>• Adyacente a espacio abierto</li> <li>• Area boscosa</li> </ul>		F	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Alta accesibilidad</li> <li>• Adyacente a habitación</li> <li>• Adyacente a escuelas</li> <li>• Problemas de suelo</li> </ul>	

Figura 13. Análisis del desarrollo por áreas.

que resume las características de las seis subáreas en que fue dividido. Esta hoja se utiliza para determinar una distribución preliminar del uso de suelo.

## 2.8. Metodología

Paso 1. Mediante el uso de un mapa base del área, se localizan las áreas de usos de suelo conforme los siguientes criterios:

- Emplamar el área que ofrece el mayor nivel de accesibilidad con aquellos usos que requieren una gran accesibilidad y que ésta sea directa (por ejemplo, gasolinera, centro comercial)
- Empalmar los conceptos en el programa de desarrollo a las áreas del predio que parecen ser mas apropiadas y pueden tomar ventajas de ciertas oportunidades especiales del predio (por ejemplo, hoteles, casas unifamiliares)
- Señalar las áreas que no deben y que no se pueden desarrollar (por ejemplo; relleno sanitario; zona de inundación)
- Revisar las incompatibilidades entre áreas. Preguntarse ¿se pueden desarrollar algunos usos exitosamente de manera mixta (por ejemplo: hotel, oficinas y centro comercial)?

Paso 2. Elaborar un mapa base del predio que muestre el sistema adyacente de circulación, incluyendo las vialidades de acceso o propiedades cercanas. Una vez hecho esto, hacer lo siguiente:

- Establecer un marco de referencia de circulación ¿Por donde se puede acceder al terreno? ¿Dónde presenta restricciones? ¿Se presentan algunas conexiones como deseables debido a las condiciones existentes?
- Elaborar un sistema de circulación viable a la distribución de usos de suelo. ¿Se logra empalmar los niveles de accesibilidad con las necesidades de acceso?
- ¿Se puede ofrecer equipamiento urbano? Razone acerca de como se ofreceran los servicios públicos asi como las entregas de mercancías al predio.

### 3. Análisis del tránsito

La planeación del tránsito para el sistema de circulación externo al predio involucra a dos componentes principales:

- ° El **tránsito inducido** por el predio, el cual es el que tiene como origen o destino el predio en cuestión y,
- ° El **tránsito que no corresponde al desarrollo inmobiliario**, es decir, aquellos viajes que no tienen origen ni destino en el predio del desarrollo inmobiliario existente o propuesto

#### 3.1. Tránsito inducido por el predio

Este tipo de tránsito es fácil de estimar, ya que:

- ° Se conocen las actividades del uso del suelo
- ° El número de viajes que se esperan que se generen por el desarrollo inmobiliario propuesto puede ser determinado de una manera sencilla y directa a través de varias fuentes de información (ITE principalmente)
- ° La distribución direccional actual y futura puede ser estimada

##### 3.1.1. Generación de tránsito

Las características de los viajes generados por un desarrollo inmobiliario varían con el tipo de uso de suelo y la intensidad de las actividades. Las características principales que son significantes en el análisis de los viajes inducidos por un desarrollo inmobiliarios son:

- ° El número total de viajes generados, los cuales se estiman mediante el producto de la relación apropiada de generación de viajes por unidad de actividad (por ejemplo, por cada 100 m<sup>2</sup> de construcción) y la cantidad de actividad.
- ° El número de viajes desde y hacia el predio durante las HMD en las vialidades adyacentes
- ° El número de viajes hacia y desde el predio durante las HMD del generador. El volumen de máxima demanda hacia el predio es comúnmente a una hora diferente que el volumen a la HMD desde el predio para algunos generadores. Por ejemplo: un centro comercial tiene una HMD en día hábil entre las 18:00 y las 19:00 y una HMD de salida entre las 19:15 y 19:45 horas cuando la hora de cierre son las 20:00 horas.

- ° Las variaciones diarias, en donde por ejemplo, las oficinas experimentan poca variación día a día, mientras que los viernes es típicamente el día que se presenta una mayor actividad comercial entre semana.
- ° Las variaciones mensuales, en las que la generación de tránsito por las actividades comerciales, de restaurantes y hoteles varían considerablemente, especialmente con movimientos turísticos substanciales estacionales. Por otra parte, las oficinas están sujetas a poca variación a lo largo del año.

La unidad utilizada como la variable base para la generación de viajes debe:

- ° estar funcionalmente relacionada con el volumen de tránsito generado
- ° ser fácil de establecer y medir
- ° ofrecer tasas consistentes y transferibles

Por ejemplo, las ventas en función de una unidad monetaria y del número de empleados están altamente correlacionadas con la generación de viajes para las actividades comerciales pero son muy difíciles de proyectar. El área bruta rentable es una variable adecuada ya que se determina fácilmente para desarrollos existentes y propuestos y produce tasas unitarias que son transferibles a otros casos. Los Cuadros 4 y 5 muestran ejemplos de estas unidades de generación de viajes.

Desafortunadamente, en el medio mexicano no se han generado valores para relacionar la generación de viajes y alguna variable correlacionable por lo que se ha venido utilizando el reporte *Trip Generation* del *Instituto de Ingenieros de Transporte* de los EEUU ofrece las tasas de generación de viajes mas utilizadas en el análisis de los impactos del tránsito, del cual se muestra un ejemplo en el Cuadro 6. Las ventajas de esta fuente son:

- ° La información se presenta de una manera detallada
- ° La información se actualiza periódicamente y se adiciona información a través de los esfuerzos de varios comités de dicho Instituto

Sin embargo, se debe tener cuidado con estos valores para nuestro medio debido principalmente a:

- ° Diferente tenencia vehicular
- ° Diferente distribución modal
- ° Comportamientos diferentes de los usuarios
- ° Variaciones horarias de inicio y terminación de actividades así como costumbres

General Guide on Trip End Generation Rates by Land Use

Type of Land Use	Type of Development	No. of Studies	Weekday Trip End Generation Rates	
			Average*	Range
RESIDENTIAL	Subdivision	21	9.5 TE per Occupied Dwelling Unit	6.4-12.7
	Apartment	17	5.7 TE per Occupied Dwelling Unit	3.1-7.9
	Condominium	21	5.1 TE per Occupied Dwelling Unit	3.1-12.2
	Mobile Home Park	17	5.4 TE per Occupied Dwelling Unit	2.8-6.8
	Retirement Community	5	3.3 TE per Occupied Dwelling Unit	2.9-4.9
MAJOR INSTITUTION	College (4 yrs.)	5	2.2 TE per Student	1.9-3.3
	College (2 yrs.)	4	1.3 TE per Student	1.1-1.6
	High School	5	1.3 TE per Student	1.1-2.1
	Elementary School	9	1.0 TE per Student	0.7-1.2
	Hospital	8	9.4 TE per Bed	4.5-14.9
	Library	4	58.4 TE per Employee	37-82
	Government Office Building	11	64.6 TE per 1000 Sq. Ft. floor area	25-272
COMMERCIAL	Shopping Center (Regional)	4	315 TE per Net Acre	149-671
	Shopping Center (Neighborhood)	3	949 TE per Net Acre	800-1064
	Commercial Store (free-standing)	6	48 TE per 1000 Sq. Ft. floor area	35-330
	Commercial Office Building	10	15 TE per 1000 Sq. Ft. floor area	8.8-23.6
	Furniture Store	8	6.3 TE per 1000 Sq. Ft. floor area	3.7-12.5
	Lumber/Home Improvement	6	30.6 TE per 1000 Sq. Ft. floor area	21.1-68.9
	Medical Office	4	41 TE per Doctor	31-53
	Motel	10	10.1 TE per Occupied Unit	4.7-14.6
	Restaurant (Quality)	15	14.1 TE per Employee	9-28
	Coffee Shop	2	29 TE per Employee	22-37
	Bank, Savings and Loan	6	43 TE per Employee	31-76
	Service Station	2	57 TE per Employee	41-79
	Nurseries	12	22.2 TE per Employee	10.7-53.9
INDUSTRIAL	Various Types of Industry	27	79 TE per Net Acre	9-350
	Industrial Park	4	64 TE per Gross Acre	10
	Warehouse	10	81 TE per Net Acre	6
	Mass Production	8	93 TE per Net Acre	.91
	Administration	8	60 TE per Net Acre	28-229
	Research and Development	9	31 TE per Net Acre	20-127
	Specialty Production	7	39 TE per Net Acre	9-159
	Truck Terminals	4	56 TE per Net Acre	43-128
RECREATIONAL	Picnicking	26	0.8 TE per Total Acre	0.1-35
	Winery with Tasting Room	1	11 TE per Employee	—
	Golf Course (18-Hole)	7	6.4 TE per Acre	2.5-10.9
			816 TE per Golf Course	237-1524
	Golf Course (9-Hole)	1	176 TE per Golf Course	—
	Bowling Lane	1	33 TE per Lane	—
	Marina	3	4.8 TE per Berth	3.2-10
	Ocean Beaches	13	56 TE per 1000 Ft. of Beach	8.0-345
	Swimming	6	7.4 TE per Total Acre	1.7-20
	Hiking Trails	17	0.5 TE per Total Acre	0.1-10.3
Overnight Camping	10	0.3 TE per Total Acre	0.1-15.6	
Tennis Club	4	27 TE per Tennis Court	20-51	
Handball Club	3	105 TE per Handball Court	56-313	
MISCELLANEOUS	General Aviation (Airport)	9	9.8 TE per Acre	1.0-16.2
	Church	6	44 TE per Employee (Sunday)	30-191
	Car Wash	1	33 TE per Employee	—
	Transit Station (Suburban)	1	1.5 TE per Daily Patron	—
	Rental Storage	6	0.28 TE per Vault	0.13-0.46

SOURCE: California Department of Transportation, District 4 Trip Ends Generation Research Counts. Except for Fresno State College, all studies were taken within the San Francisco Bay Area.  
 \*Average rates are weighted from the total number of studies for each type of development with ranges shown. They will be updated periodically as more studies are made. Average rate for developments with limited number of studies may be drastically changed.

Cuadro 4. Guía general para la generación de indicadores de viajes por uso de suelo.

LAND USE GENERATOR	VEHICLE TRIPS PER DAY TO & FROM LAND USE. (Rate/Unit as noted)							STATISTICS									VEHICLE TRIP RATES IN PEAK HOUR					
	DESCRIPTION & ITE CODE	UNITS	MEAN	MIN	MAX	STD DEV. <sup>a</sup>	STD DEV. OF MEAN <sup>b</sup>	OBS. IN SAMPLE	AM			PM			PEAK HOUR OF GENERATOR							
									IN	OUT	TOTAL	IN	OUT	TOTAL	IN	OUT	TOTAL					
Gov Off Bldg 730	1K SF	67.72	NA	NA	NA	NA	1	4.83	0.95	5.78	*	*	*	8.06	2.78	10.84						
	EMP	11.95	NA	NA	NA	NA	1	0.85	0.17	1.02	*	*	*	1.42	0.49	1.91						
	ACRE	66.25	NA	NA	NA	NA	1	4.00	0.85	5.65	*	*	*	7.88	2.72	10.60						
Urban	1K SF	56.28						4.01	0.79	4.80	0.00	0.00	0.00	6.70	2.31	9.01						
	EMP	9.93						0.71	0.14	0.85	0.00	0.00	0.00	1.18	0.41	1.59						
	ACRE	55.05						3.99	0.71	4.70	0.00	0.00	0.00	6.55	2.26	8.81						
Suburban	1K SF	80.69						5.75	1.13	6.89	0.00	0.00	0.00	9.60	3.31	12.92						
	EMP	14.24						1.01	0.20	1.22	0.00	0.00	0.00	1.69	0.58	2.28						
	ACRE	78.94						5.72	1.01	6.73	0.00	0.00	0.00	9.39	3.24	12.63						
Civic Center 740	1K SF	25.00	NA	NA	NA	NA	1	2.00	0.25	2.25	0.89	1.97	2.86	0.89	1.97	2.86						
	EMP	6.09	NA	NA	NA	NA	1	0.49	0.06	0.55	0.22	0.48	0.70	0.22	0.48	0.70						
Off Parks 750	1K SF	20.65	9.40	30.30	11.68	6.74	3	2.30	0.34	2.64	0.40	1.96	2.36	2.30	0.34	2.64						
	EMP	3.33	2.92	3.53	0.32	0.19	3	0.55	0.08	0.63	0.09	0.45	0.54	0.55	0.08	0.63						
	ACRE	276.38	153.68	340.07	93.86	\$4.19	3	45.83	6.78	52.61	7.57	37.12	44.69	45.83	6.78	52.61						
Urban	1K SF	17.16						1.91	0.28	2.19	0.33	1.63	1.96	1.91	0.28	2.19						
	EMP	2.77						0.46	0.07	0.52	0.07	0.37	0.45	0.46	0.07	0.52						
	ACRE	229.67						38.08	5.63	43.72	6.29	30.85	37.14	38.08	5.63	43.72						
Suburban	1K SF	24.60						2.74	0.41	3.15	0.48	2.34	2.81	2.74	0.41	3.15						
	EMP	3.97						0.66	0.10	0.75	0.11	0.54	0.64	0.66	0.10	0.75						
	ACRE	329.31						54.61	8.08	62.68	9.02	44.23	53.25	54.61	8.08	62.68						
Research Cen 760	1K SF	5.34	1.78	12.98	4.02	1.42	8	1.11	0.10	1.21	0.12	0.81	0.93	2.28	0.21	2.49						
	EMP	2.37	0.96	5.33	1.29	0.43	9	0.45	0.03	0.48	0.43	0.03	0.46	0.03	0.55	0.58						
	ACRE	57.25	15.61	1323.08	525.95	214.72	6	21.58	1.13	22.71	1.27	20.18	21.45	21.58	1.13	22.71						
Urban	1K SF	4.44						0.92	0.08	1.01	0.10	0.67	0.77	1.89	0.17	2.07						
	EMP	1.97						0.37	0.02	0.40	0.36	0.02	0.38	0.02	0.46	0.48						
	ACRE	47.57						17.93	0.94	18.87	1.06	16.77	17.82	17.93	0.94	18.87						
Suburban	1K SF	6.36						1.32	0.12	1.44	0.14	0.97	1.11	2.72	0.25	2.97						
	EMP	2.82						0.54	0.04	0.57	0.51	0.04	0.55	0.04	0.66	0.69						
	ACRE	60.21						25.71	1.35	27.06	1.51	24.04	25.56	25.71	1.35	27.06						
Hi-Tech Off Bldg 770	1K SF	7.28	4.08	8.71	2.18	1.26	3	1.39	0.10	1.49	0.08	1.27	1.35	1.39	0.10	1.49						
	EMP	2.76	2.39	3.27	0.47	0.27	3	0.53	0.04	0.57	0.03	0.48	0.51	0.53	0.04	0.57						
	ACRE	60.21						25.71	1.35	27.06	1.51	24.04	25.56	25.71	1.35	27.06						
Urban	1K SF	6.05						1.16	0.08	1.24	0.07	1.06	1.12	1.16	0.08	1.24						
	EMP	2.29						0.44	0.03	0.47	0.02	0.40	0.42	0.44	0.03	0.47						
	ACRE	60.21						25.71	1.35	27.06	1.51	24.04	25.56	25.71	1.35	27.06						
Suburban	1K SF	8.67						1.66	0.12	1.78	0.10	1.51	1.61	1.66	0.12	1.78						
	EMP	3.29						0.63	0.05	0.68	0.04	0.57	0.61	0.63	0.05	0.68						

Cuadro 5. Resumen de indicadores de generación de viajes. (Continuación)

39

20

Universit 550	STONT	2.41	1.40	3.89	0.92	0.37	6	*	*	*	*	*	*	*	*	*
	EMP	14.35	NA	NA	NA	NA	1	*	*	*	*	*	*	*	*	1.77
	ACRE	107.28	NA	NA	NA	NA	1	*	*	*	*	*	*	*	*	13.20
Libraries 590	EMP	49.51	36.80	81.91	19.65	9.83	4	*	*	1.00	*	*	4.44	3.57	3.17	6.74
	ACRE	343.78	221.65	909.00	296.91	148.46	4	*	*	11.56	*	*	51.33	24.70	22.13	46.83
MEDICAL (600)																
Hospital 610	BEO	11.84	3.00	32.83	7.46	1.49	25	0.72	0.29	1.01	0.38	0.79	1.17	0.44	0.92	1.36
	EMP	5.03	2.17	11.11	2.35	0.49	23	0.17	0.08	0.25	0.10	0.19	0.29	0.23	0.34	0.57
	ACRE	167.73	24.07	1012.50	229.97	51.42	20	7.67	3.50	11.17	3.70	10.02	13.72	5.21	9.13	14.34
Urban	BEO	13.08						0.80	0.32	1.12	0.42	0.87	1.29	0.49	1.02	1.50
	EMP	5.56						0.19	0.09	0.28	0.11	0.21	0.32	0.25	0.38	0.63
	ACRE	185.34						8.48	3.87	12.34	4.09	11.07	15.16	5.76	10.09	15.85
Suburban	BEO	11.21						0.68	0.27	0.96	0.36	0.75	1.11	0.42	0.87	1.29
	EMP	4.76						0.16	0.08	0.24	0.09	0.18	0.27	0.22	0.32	0.54
	ACRE	158.86						7.26	3.31	10.58	3.50	9.49	12.99	4.93	8.65	13.58
Nurs Home 620	BEO	2.60	1.88	3.97	0.57	0.13	18	*	*	*	0.05	0.16	0.21	0.17	0.19	0.36
	EMP	4.03	2.53	9.69	1.99	0.47	18	*	*	*	*	*	*	*	*	0.44
Clinics 630	BEO	15.96	NA	NA	NA	NA	1	*	*	*	*	*	*	*	*	*
	EMP	5.89	NA	NA	NA	NA	1	0.30	0.15	0.45	0.46	0.66	1.12	0.65	0.65	1.30
	ACRE	91.19	NA	NA	NA	NA	1	*	*	*	*	*	*	*	*	*
OFFICE (700)																
Gen Off Bldg 710	1K SF	12.43	3.60	28.80	6.03	0.97	39	1.76	0.22	1.98	0.31	1.62	1.93	1.76	0.22	1.98
	EMP	3.54	2.42	6.22	1.16	0.24	23	0.43	0.05	0.48	0.08	0.38	0.46	0.43	0.05	0.48
	ACRE	250.64	50.75	299.70	580.16	116.03	25	19.46	2.61	22.07	4.41	17.21	21.62	18.46	2.61	22.07
Urban	1K SF	10.33						1.46	0.18	1.65	0.26	1.35	1.60	1.46	0.18	1.65
	EMP	2.94						0.36	0.04	0.40	0.07	0.32	0.38	0.36	0.04	0.40
	ACRE	208.28						16.17	2.17	18.34	3.66	14.30	17.97	15.34	2.17	18.34
Suburban	1K SF	14.81						2.10	0.26	2.36	0.37	1.93	2.30	2.10	0.26	2.36
	EMP	4.22						0.51	0.06	0.57	0.10	0.45	0.55	0.51	0.06	0.57
	ACRE	298.64						23.19	3.11	26.30	5.25	20.51	25.76	22.00	3.11	26.30
Med Off Bldg 720	1K SF	39.83	38.68	42.55	2.74	1.94	2	0.64	0.21	0.85	0.89	3.05	3.94	2.55	1.65	4.20
	EMP	12.20	NA	NA	NA	NA	1	0.18	0.06	0.24	0.58	0.99	1.57	0.58	0.99	1.57
	ACRE	6666.67	NA	NA	NA	NA	1	100.00	33.33	133.33	316.67	540.00	856.67	543.33	540.00	1083.33
Urban	1K SF	33.10						0.53	0.17	0.71	0.74	2.53	3.27	2.12	1.37	3.49
	EMP	10.14						0.15	0.05	0.20	0.40	0.82	1.30	0.48	0.82	1.30
	ACRE	5540.00						83.10	27.70	110.80	263.15	448.74	711.89	451.51	448.74	900.25
Suburban	1K SF	47.46						0.76	0.25	1.01	1.06	3.63	4.69	3.04	1.97	5.00
	EMP	14.54						0.21	0.07	0.29	0.69	1.18	1.87	0.69	1.18	1.87
	ACRE	7943.34						119.15	39.71	158.86	377.31	643.41	1020.72	647.38	643.41	1290.79

LAND USE GENERATOR	VEHICLE TRIPS PER DAY TO & FROM LAND USE. (Rate/Unit as noted)							VEHICLE TRIP RATES IN PEAK HOUR										
				STATISTICS						AM			PM			PEAK HOUR OF GENERATOR		
	DESCRIPTION & ITE CODE	UNITS	MEAN	MIN	MAX	STD DEV.*	STD DEV. OF MEAN <sup>b</sup>	OBS. IN SAMPLE	IN	OUT	TOTAL	IN	OUT	TOTAL	IN	OUT	TOTAL	
Gov Off Bldg 730	1K SF	67.72	NA	NA	NA	NA	1	4.03	0.95	5.78	*	*	*	8.06	2.78	10.84		
	EMP	11.95	NA	NA	NA	NA	1	0.85	0.17	1.02	*	*	*	1.42	0.49	1.91		
	ACRE	66.25	NA	NA	NA	NA	1	4.80	0.85	5.65	*	*	*	7.88	2.72	10.60		
Urban	1K SF	56.28						4.01	0.79	4.80	0.00	0.00	0.00	6.70	2.31	9.01		
	EMP	9.93						0.71	0.14	0.85	0.00	0.00	0.00	1.18	0.41	1.59		
	ACRE	55.05						3.99	0.71	4.70	0.00	0.00	0.00	6.55	2.26	8.81		
Suburban	1K SF	80.69						5.75	1.13	6.09	0.00	0.00	0.00	9.60	3.31	12.92		
	EMP	14.24						1.01	0.20	1.22	0.00	0.00	0.00	1.69	0.58	2.28		
	ACRE	78.94						5.72	1.01	6.73	0.00	0.00	0.00	9.39	3.24	12.63		
Civic Center 740	1K SF	25.00	NA	NA	NA	NA	1	2.00	0.25	2.25	0.89	1.97	2.86	0.89	1.97	2.86		
	EMP	6.09	NA	NA	NA	NA	1	0.49	0.06	0.55	0.22	0.48	0.70	0.22	0.48	0.70		
Off Parks 750	1K SF	20.65	9.40	30.30	11.68	6.74	3	2.30	0.34	2.64	0.40	1.96	2.36	2.30	0.34	2.64		
	EMP	3.33	2.92	3.53	0.32	0.19	3	0.55	0.08	0.63	0.09	0.45	0.54	0.55	0.08	0.63		
	ACRE	276.38	153.68	340.07	93.86	54.19	3	45.83	6.78	52.61	7.57	37.12	44.69	45.83	6.78	52.61		
Urban	1K SF	17.16						1.91	0.28	2.19	0.33	1.63	1.96	1.91	0.28	2.19		
	EMP	2.77						0.46	0.07	0.52	0.07	0.37	0.45	0.46	0.07	0.52		
	ACRE	229.67						38.08	5.63	43.72	6.29	30.85	37.14	38.08	5.63	43.72		
Suburban	1K SF	24.60						2.74	0.41	3.15	0.48	2.34	2.81	2.74	0.41	3.15		
	EMP	3.97						0.66	0.10	0.75	0.11	0.54	0.64	0.66	0.10	0.75		
	ACRE	329.31						54.61	8.08	62.68	9.02	44.23	53.25	54.61	8.08	62.68		
Research Cen 760	1K SF	5.34	1.78	12.98	4.02	1.42	8	1.11	0.10	1.21	0.12	0.81	0.93	2.28	0.21	2.49		
	EMP	2.37	0.96	5.33	1.29	0.43	9	0.45	0.03	0.48	0.43	0.03	0.46	0.03	0.55	0.58		
	ACRE	57.25	15.61	1323.00	525.95	214.72	6	21.58	1.13	22.71	1.27	20.18	21.45	21.58	1.13	22.71		
Urban	1K SF	4.44						0.92	0.08	1.01	0.10	0.67	0.77	1.89	0.17	2.07		
	EMP	1.97						0.37	0.02	0.40	0.36	0.02	0.38	0.02	0.46	0.48		
	ACRE	47.57						17.93	0.94	18.87	1.06	16.77	17.82	17.93	0.94	18.87		
Suburban	1K SF	6.36						1.32	0.12	1.44	0.14	0.97	1.11	2.72	0.25	2.97		
	EMP	2.82						0.54	0.04	0.57	0.51	0.04	0.55	0.04	0.66	0.69		
	ACRE	68.21						25.71	1.35	27.06	1.51	24.04	25.56	25.71	1.35	27.06		
Hi-Tech Off Bldg 770	1K SF	7.28	4.08	8.71	2.18	1.26	3	1.39	0.10	1.49	0.08	1.27	1.35	1.39	0.10	1.49		
	EMP	2.76	2.39	3.27	0.47	0.27	3	0.53	0.04	0.57	0.03	0.48	0.51	0.53	0.04	0.57		
Urban	1K SF	6.05						1.16	0.08	1.24	0.07	1.06	1.12	1.16	0.08	1.24		
	EMP	2.29						0.44	0.03	0.47	0.02	0.40	0.42	0.44	0.03	0.47		
Suburban	1K SF	8.67						1.66	0.12	1.78	0.10	1.51	1.61	1.66	0.12	1.78		
	EMP	3.29						0.63	0.05	0.68	0.04	0.57	0.61	0.63	0.05	0.68		

Cuadro 5. Resumen de indicadores de generación de viajes. (Continuación)

SUMMARY OF TRIP GENERATION RATES									
Land Use/Building Type <u>Shopping Center over 1,250,000 G.S.F.</u> ITE Land Use Code <u>B2B</u>									
Independent Variable—Trips per <u>1,000 Gross Square Feet of Leasable Area</u>									
			Average Tnp Rate	Maximum Rate	Minimum Rate	Correlation Coefficient	Number of Studies	Average Size of Independent Variable/Study	
Average Weekday Vehicle Trip Ends			34.1	72.8	18.9		7	1394	
Peak Hour of Adjacent Street Traffic	A.M. Between 7 and 9	Enter	0.36	0.52	0.16		4	1357	
		Exit	0.13	0.21	0.09		4	1357	
		Total	0.49	0.73	0.25		4	1357	
	P.M. Between 4 and 8	Enter	1.10	1.31	0.89		6	1404	
		Exit	1.41	1.95	0.89		6	1404	
		Total	2.51	2.88	1.79		6	1404	
Peak Hour of Generator	A.M.	Enter	1.20	1.32	1.07		2	1259	
		Exit	1.39	2.60	0.66		3	1283	
		Total	1.94	2.14	1.74		2	1259	
	P.M.	Enter	1.42	1.87	1.05		6	1405	
		Exit	1.76	3.30	1.16		7	1394	
		Total	2.93	4.12	2.21		6	1404	
Saturday Vehicle Trip Ends			39.0	62.4	22.5		6	1377	
Peak Hour of Generator	Enter		1.87	2.04	1.66		3	1343	
	Exit		2.23	2.88	1.64		4	1340	
	Total		3.84	4.30	3.30		3	1343	
Sunday Vehicle Trip Ends			23.5	40.1	12.5		5	1352	
Peak Hour of Generator	Enter		1.48	1.50	1.47		2	1259	
	Exit		1.85	2.42	1.38		3	1283	
	Total		3.03	3.21	2.84		2	1259	
Source Numbers			13, 42, 48, 100, 110						
ITE Technical Committee 6A-6—Trip Generation Rates									
Date: 1975, 1979, Rev. 1982									

G.S.F. = Gross Square Feet

Figure 3-1 Example of the ITE trip-generation data. SOURCE: Institute of Transportation Engineers [9].

Cuadro 6. Ejemplo de la información de generación de viajes del ITE.

Asimismo, esta base de datos presenta algunas consideraciones a tener presente:

- ° **La edad de la base de datos**
- ° **Las variaciones diarias.** Muchos generadores (bancos, restaurantes) muestran variaciones diarias substanciales, por lo que el día de mayor movimiento, mas que el promedio debe ser utilizado para un análisis de impactos del tránsito, ya que las mayores tasas y los problemas de tránsito asociados podrán ocurrir varias veces por año. Por ejemplo, donde se presenta un gran número de personas a las que se les paga quincenalmente los viernes, la tasa de generación de viajes de día de pagos debe ser utilizada para un análisis de impactos para un banco.
- ° **Variaciones locales.** Ésta generalmente se refiere para ubicaciones suburbanas y como se mencionó anteriormente para los EEUU y Canadá. Situaciones específicas del predio, tales como proximidad al desarrollo, la disponibilidad de transporte público, los viajes que llegan a pie, pueden resultar en tasas muy diferentes.
- ° **Tránsito de paso.** Algunos generadores atraen viajes del flujo de tránsito que pasa. En estos casos, el volumen del tránsito que se adiciona a las calles adyacentes es menor que el volumen de acceso hacia y fuera del predio
- ° **Desarrollo de usos mixtos.** Todas las tasas son de desarrollos aislados. Cuando se incluyen varios usos en un mismo desarrollo, el tránsito que se adiciona a las calles adyacentes puede ser menor que la suma de los volúmenes de viajes generados individualmente.
- ° **Viajes vehiculares.** Las tasas de generación están basadas en viajes de vehículos para ocupaciones promedio.
- ° **Variabilidad en las tasas.** Se presenta una variación substancial en las tasas de generación de viajes de un desarrollo a otro.
- ° **Tamaño de la muestra.** En algunos casos, las muestras son demasiado pequeñas, llegándose a presentar uno o dos casos exclusivamente.

Los Cuadros 7 y 8 muestran un ejemplo de cálculo de estos valores de generación de viajes para un centro comercial en la Ciudad de México.

*Variación en los volúmenes de tránsito.* El momento en que se presenta la HMD, así como su duración, dependen de:

- ° tamaño de la ciudad
- ° patrones de actividad

<b>AREAS DEL CENTRO COMERCIAL COAPA</b>	
<b>COMERCIO</b>	<b>SUPERFICIE DEDICADA A LAS ACTIVIDADES DE LA TIENDA RESTAURANTE (M2)</b>
Sears	12,505
Suburbia	7,599
Salinas y Rocha	13,739
Superama	2,560
Toffanetti	2,000
Vips	2,000
Restaurantes "Fast Food"	2,000
Locales Comerciales	25,082
Superficie terreno	49,192
Superficie de estacionamiento	90,264
Superficie total de comercios	67,485
Superficie total construida	167,717

NOTA: Por superficie dedicada a las actividades se entiende el área para ser ocupada y utilizada por la tienda para su uso exclusivo, incluyendo sótanos, mezzanines o pisos superiores.

Cuadro 7. Areas del Centro Comercial Coapa.

G I R O	AREA COMERCIAL RENTABLE (m <sup>2</sup> )	COEFICIENTE GENERADOR DE VIAJES - HMD, MATUTINA		FACTOR DE VIAJES DESDE + HACIA	TOTAL DE VIAJES
		DESDE (Viajes/100m <sup>2</sup> /H)	HACIA (Viajes/100m <sup>2</sup> /H)		
VIPS	2,000	7.35	8.8	16.15	323
TOFFANETTI	2,000	N. D.	N. D.	1.01	20
SUPERAMA	2,550	0.17	0.14	0.58	15
<b>TOTAL</b>	<b>6,550</b>				<b>358</b>

Cuadro 8. Viajes Generados HMD - Matutina Desde y Hacia el Centro Comercial

57

12

## Ejemplos:

- ° En una ciudad menor a los 100,000 habitantes la mayoría de los viajes con motivo de trabajo tiene una duración menor a los 15 min
- ° Las áreas residenciales generarán tránsito hacia el centro entre las 7:00 y las 8:00 horas mientras que el pico de la tarde se dará entre las 17:00 y las 18:00 horas
- ° Una comunidad suburbana *dormitorio* en un área urbana grande generará su pico hacia el centro entre las 6:30 y las 7:30 y de las 18:00 a las 19:00 horas en el sentido e regreso
- ° En una ciudad pequeña, los picos suelen ser de 30 minutos o menos, mientras que en zonas urbanas de mayor tamaño se pueden extender mas una hora.

El tránsito inducido de un desarrollo normalmente presenta variaciones horarias substanciales. Por lo tanto, en la mayoría de los casos, es necesario analizar el impacto del tránsito durante dos periodos diferentes:

- ° el periodo de máxima demanda de la vialidad
- ° el periodo de la generación de viajes de máxima demanda del generador propuesto

Lo periodos típicos para generación de viajes para tipos genéricos de usos de suelos son los siguientes:

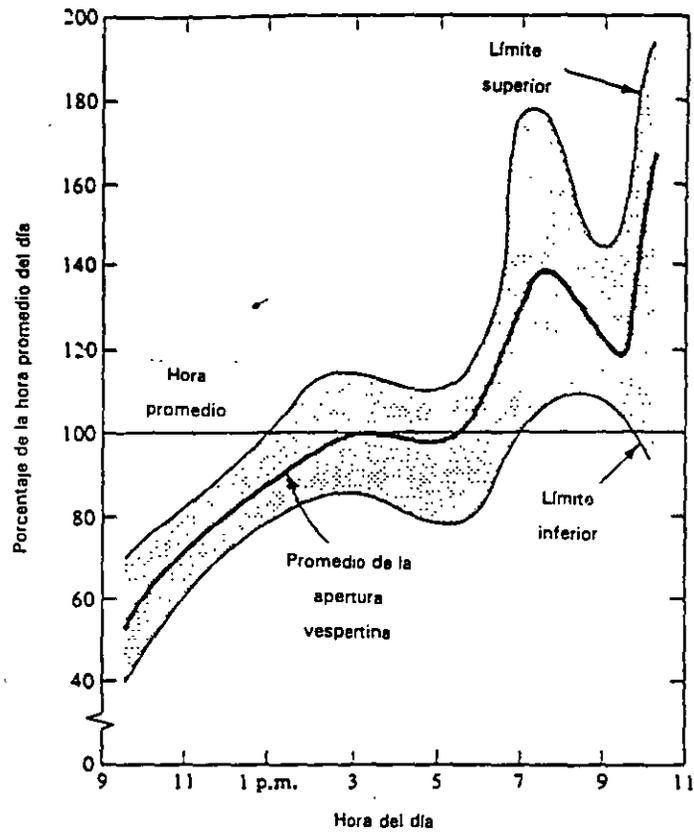
- ° **Residencial.** Los periodos de la generación inducida de tránsito generalmente coinciden con aquellos de la vialidad. El movimiento con dirección al centro coincide con el periodo de máxima demanda (PDM) en la vialidad y el movimiento desde el centro con el PMD de la misma vialidad.
- ° **Comercio local.** El pico de la generación coincide con el pico de la calle adyacente.
- ° **Comercio regional.** La generación de viajes pico hacia el centro comercial se presenta entre las 19:00 y 20:00 horas, mientras que el pico desde el centro comercial se da 15 minutos antes del cierre del comercio. Cerca de dos tercios del volumen horario se presenta en un periodo de media hora. Por lo tanto, si la tasa de viajes de salida para el la HMD vespertina del generador es de 2.0 viajes por cada 100m<sup>2</sup>, la tasa de flujo será de

aproximadamente 2.7 viajes por cada 100m<sup>2</sup>. Los picos de los fines de semana son menos pronunciados que el pico de día hábil, ya que el pico se extiende en un periodo mayor de tiempo. Las Figuras 14 y 15 muestran estas situaciones.

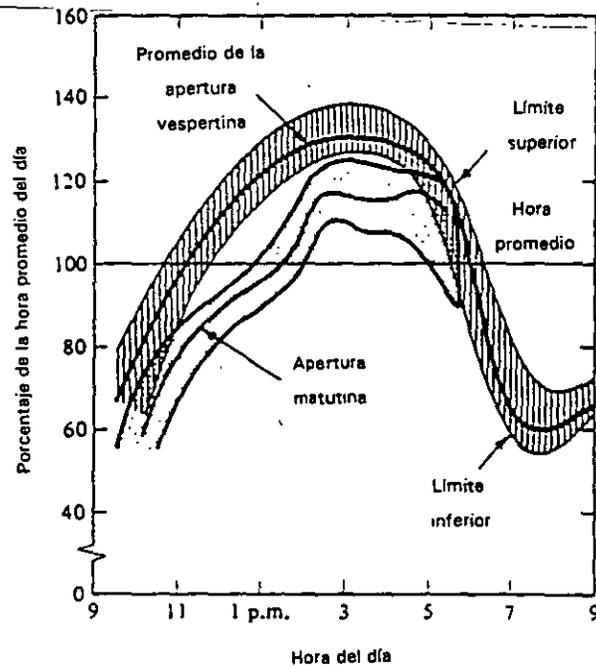
- ° **Oficinas.** Los desarrollos de oficinas presentan picos característicos que coinciden con los picos del sistema vial. Los horarios escalonados y el tiempo de trabajo flexible hacen menos pronunciados los picos del tránsito inducido en periodos mas largos de tiempo y, en ciudades grandes, donde el intervalo entre la hora mas temprana y la mas tarde excede una hora, puede también ayudar a reducir la tasa de generación de viajes en el PMD. En algunos casos donde no se requiere intercomunicación fuera de la empresa, las horas de trabajo pueden ser programadas para evitar el tránsito de la HMD en la vialidad. Los movimientos direccionales picos de la oficina y del tránsito se presentan en sentido inverso a los residenciales, es decir hacia el centro en la mañana y hacia la periferia en la tarde. El tema relativo al escalonamiento de horarios se tratará en el Capítulo 5.
- ° **Industrial.** Los periodos pico del tránsito para la industria pueden o no coincidir con los PMD tradicionales de una red arterial. En áreas densamente desarrolladas, los cambios de turnos se programan para evitar este periodo de tránsito pico. Sin embargo, las características de la generación de viajes de algunas plantas de alta tecnología pueden ser muy similares a las oficinas.

Las arterias urbanas presentan dos picos, tal y como se señala en la Figura 16. Los picos matutinos y vespertinos incluyen aproximadamente los mismos viajes de trabajo. Sin embargo, puesto que se realizan un mayor número de viajes con otros propósitos durante la tarde, el periodo vespertino es generalmente el mayor de los dos. La Figura 17 muestra que entre el 8 y el 12% de el tránsito promedio diario anual en una vialidad urbana se transporta en el periodo de una hora. El porcentaje del tránsito diario decrece conforme el tamaño de la ciudad y el congestionamiento crece. Un valor del 10% es típico para ciudades de mediano a pequeño tamaño así como para las calles menos congestionadas en las áreas metropolitanas. Donde el PMD presenta una duración de dos o tres horas, la HMD es de aproximadamente 8.5% del volumen diario. Bajo estas condiciones, aproximadamente el mismo porcentaje del volumen diario será transportado durante varias horas del día.

En áreas urbanas que presentan una economía diversificada y estable, las arterias se ven sujetas a muy poca variación durante los días hábiles así como estacionales. Por otra parte, las áreas que presentan grandes flujos turísticos pueden experimentar una variación estacional considerable en los



(a) Tránsito total entrando y saliendo de los centros comerciales regionales (día hábil)



(b) Tránsito total del sábado que entra y sale de un centro comercial regional

Figura 14. Ejemplos de la variación horaria del tránsito en un centro comercial regional

43

232

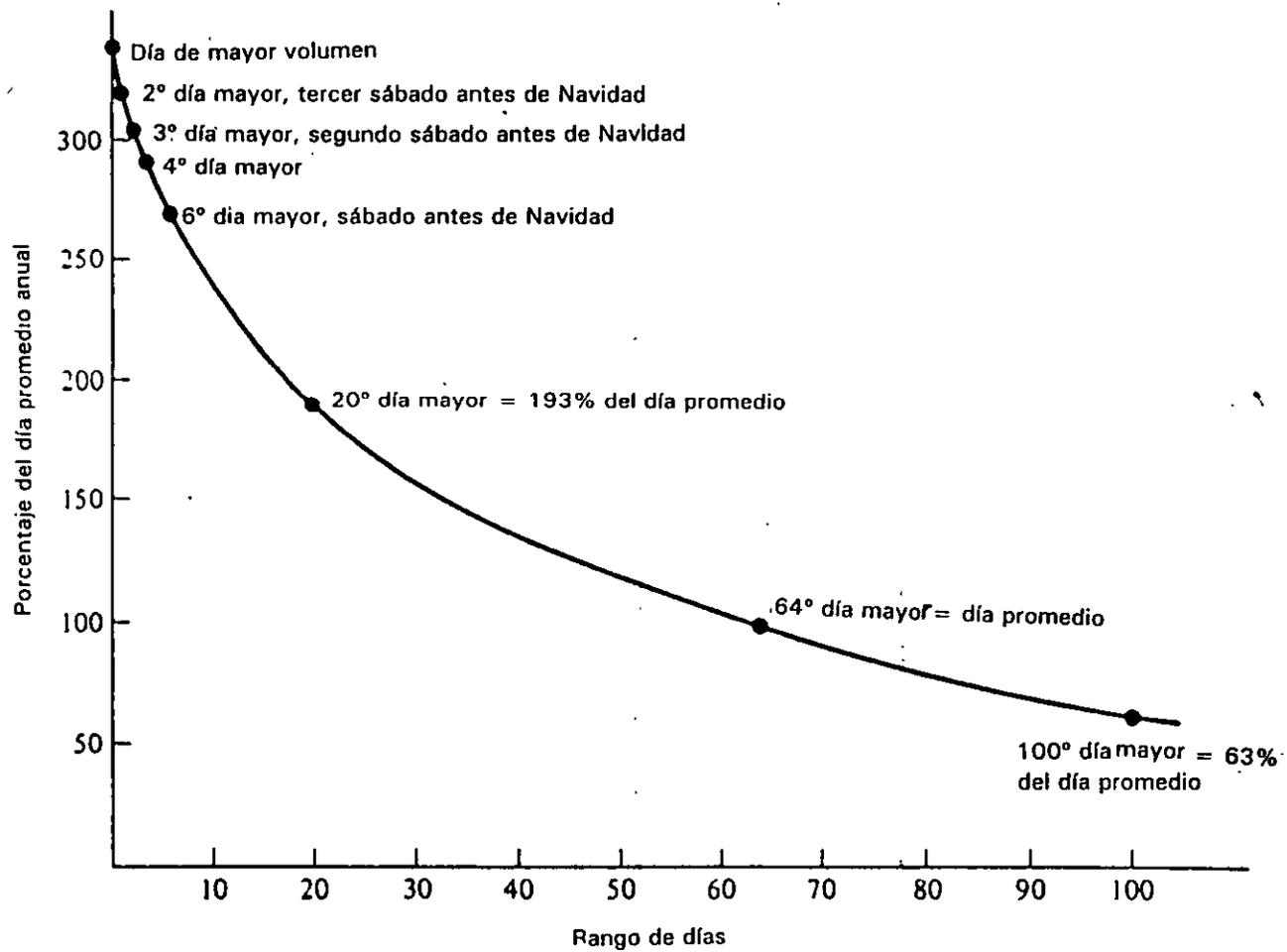


Figura 15. Volúmenes de tránsito diarios en un centro comercial regional.

49

23

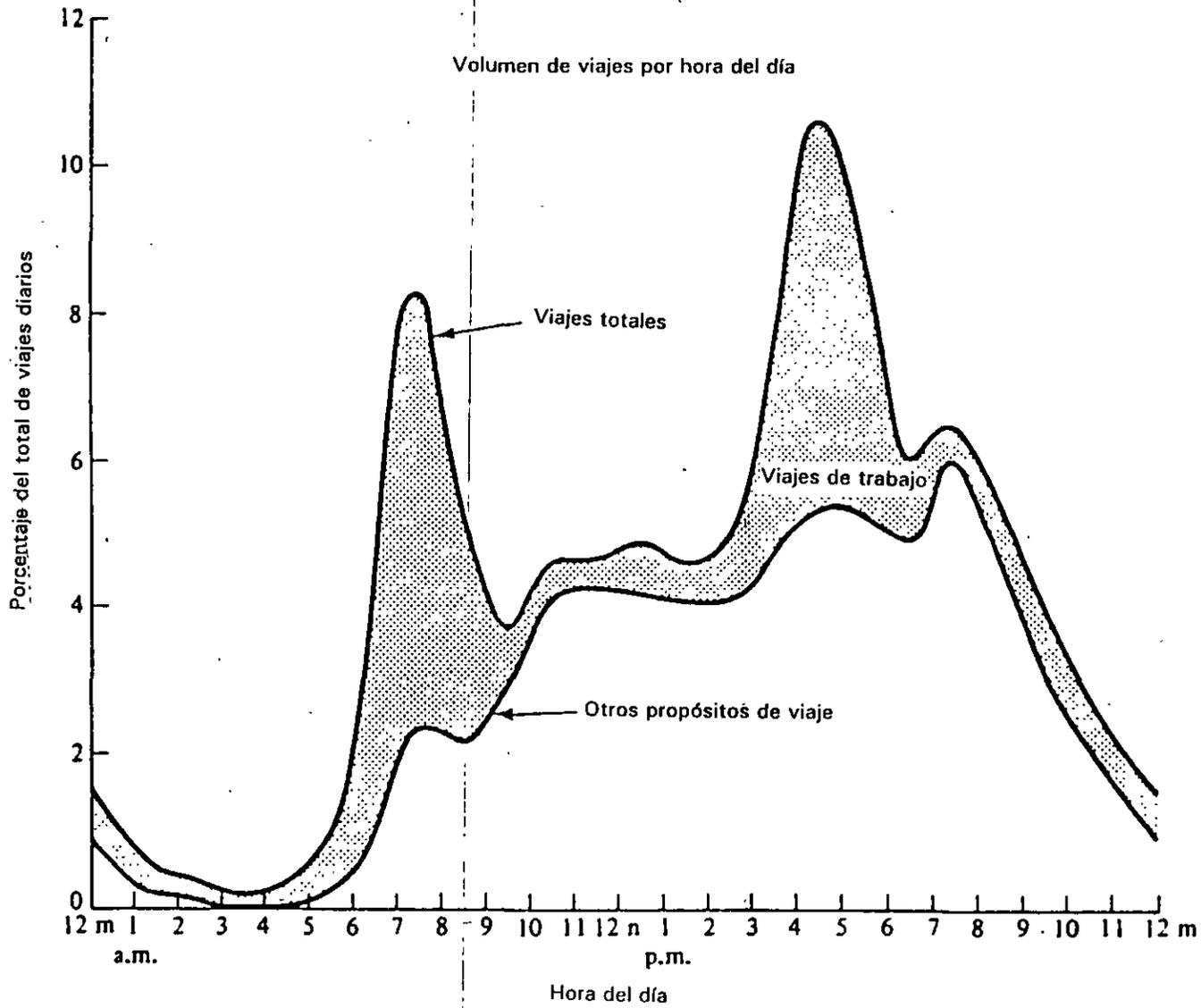


Figura 16. Variación típica de volúmenes horarios en calles urbanas.

50

23

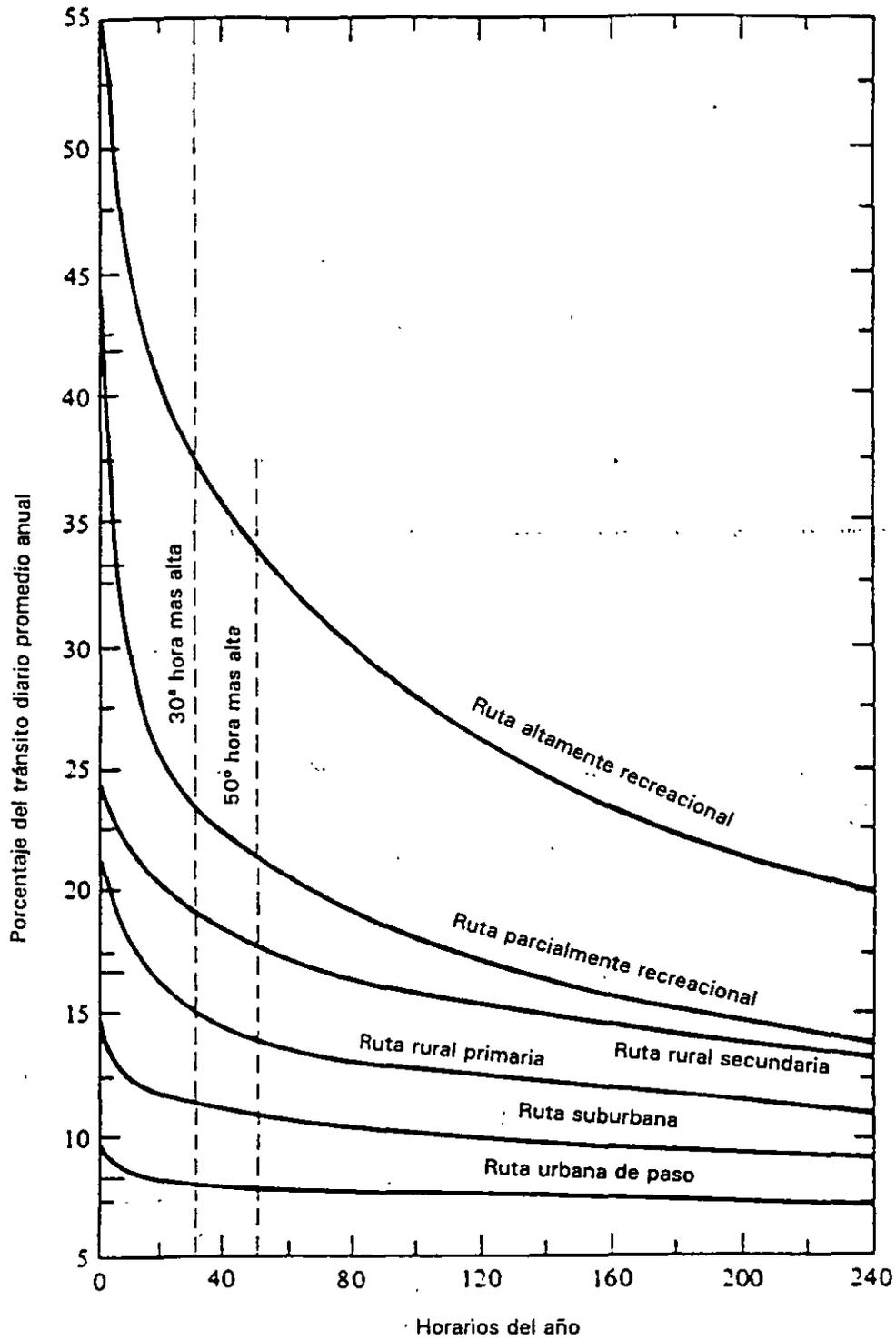


Figura 17. Volumenes horarios para diferentes tipos de rutas de tránsito.

volúmenes de tránsito arteriales. En estos casos, el diseño del desarrollo y el estudio de impactos del tránsito no debe basarse en el tránsito promedio diario anual (TPDA), sino mas bien debe utilizarse entre la 30ª y 50ª hora del año.

*Tránsito de paso.* Los usos del suelo para actividades tales como oficinas, parques industriales, hoteles y restaurantes así como el desarrollo habitacional generan tránsito que pretende tener un viaje con un destino en el predio en particular y por ello constituye tránsito nuevo en el sistema vial. Sin embargo, una porción considerable del tránsito generado por un restaurante de comida rápida o una gasolinera ya está en las vialidades adyacentes y solamente para en el lugar en tránsito a su destino.

El Cuadro 9 sugiere que un porcentaje alto del tránsito generado por pequeños centros comerciales, estaciones de servicio, y restaurantes de comida rápida están en la vialidad adyacente. Por otra parte, gran parte del tránsito generado por bancos, tiendas de equipos y centros comerciales de mediana y gran proporción, es tránsito nuevo

*Desarrollo de usos mixtos.* Cuando un centro de actividades se desarrolla con una mezcla de diferentes usos de suelo ( comercio y oficina), entonces se presentan un menor número de viajes hacia y desde el predio en consideración que si las actividades comerciales y de oficinas fueran realizados en predios separados. En un desarrollo con uso de suelo mixto, algunas personas cubrirán dos o mas propósitos sin dejar el predio. Por ejemplo, algunos de los viajes de compras y de alimentación realizados por empleados de oficinas serán satisfechos en los mismos establecimientos comerciales del lugar. A su vez, algunos visitantes a las oficinas también completarán sus viajes de compras dentro del desarrollo.

Desafortunadamente, existe poca información al respecto y la generación de viajes se considera como la suma de cada uno de los componentes. Esta práctica ocasiona un estimado del impacto del tránsito que está sesgado hacia el lado conservador. En el caso de desarrollos de pequeña magnitud esta diferencia no es significativa debido a que la oportunidad de realizar viajes con un doble propósito disminuye conforme decrece el tamaño del desarrollo.

El Cuadro 10 muestra el porcentaje de individuos que realizó uno, dos o mas propósitos con un solo viaje. Los bancos, teatros y restaurantes presentan una tendencia a un propósito único de viaje, mientras que los individuos que realizan un viaje con el propósito principal de trabajo son propensos a realizar un viaje adicional dentro del desarrollo de uso mixto.

Generador	Porcentaje del tránsito del desarrollo
Bancos con autoservicio	14%
Supermercados	28%
Tiendas de enceres	8%
Restaurantes de comida rápida	45%
Estaciones de servicio	58%
Centros comerciales: m <sup>2</sup> de área rentable bruta	
mayor de 93,000m <sup>2</sup> ; 2 centros; rango 12-25%	19%
de 74,000 a 93,000m <sup>2</sup> ; 3 centros; rango 9-25%	15%
de 56,000 a 74,000m <sup>2</sup> ; 2 centros; rango 14-23%	19%
de 37,000 a 56,000m <sup>2</sup> ; 6 centros; rango 5-48%	32%
de 19,000 a 37,000m <sup>2</sup> ; 4 centros; rango 17-36%	41%
menor 19,000m <sup>2</sup> ; 4 centros; rango 51-72%	60%

Cuadro 9. Viajes atraídos del tránsito de paso.

53

2012

<i>Propósito primario</i>	<i>Número de propósitos reportados</i>			<i>Total</i>
	<i>1</i>	<i>2</i>	<i>3</i>	
Banco	83%	8%	9%	100%
Tienda enceres	76%	22%	2%	100%
Supermercado	77%	17%	16%	100%
Teatro	94%	6%	0%	100%
Oficina/trabajo	68%	30%	2%	100%
Compras	73%	12%	15%	100%
Restaurant	85%	9%	6%	100%
Club deportivo	71%	21%	8%	100%
Correo	63%	24%	13%	100%
Otro	100%	0%	0%	100%

Cuadro 10. Distribución de viajes diarios por propósito de primario y de viaje.

### **3.1.2. Distribución direccional del tránsito inducido por el desarrollo inmobiliario**

Una vez que se ha estimado el tránsito generado, el siguiente paso en el análisis del tránsito del desarrollo consiste en determinar la distribución direccional del mismo. Los supuestos y el método utilizado para estimar la dirección en que el tránsito se acercará y saldrá del predio variará con ciertas condiciones específicas de su ubicación, entre las que se encuentran:

- ° el tamaño del desarrollo inmobiliario propuesto
- ° el tipo de desarrollo (industrial, comercial, residencial)
- ° las condiciones prevaletientes en el sistema vial existente
- ° la base de datos disponible

Son varias las metodologías que pueden ser aplicadas al estudio de los impactos del tránsito, entre las que se encuentran:

- ° mercado primario
- ° analogía
- ° origen-destino
- ° modelo gravitacional

Se tratará brevemente la primera metodología, mientras que la última ha sido tratada con anterioridad.

*Mercado primario.* El método del mercado primario o área de influencia del desarrollo utiliza una sola área de mercadeo y es el área geográfica de la cual un alto porcentaje (80%) del tránsito inducido por el desarrollo será *jalado* hacia él.

El tiempo de recorrido (**NO** la distancia) y el propósito del viaje son los determinantes de la longitud del viaje. Como se muestra en la Figura 19, los compradores viajan mas lejos a un centro comercial regional que a un centro comercial local. Para un centro regional, el área primaria de mercado es aquella que está entre los 30 min del centro (20% vienen de distancias mayores)

Los tiempos de recorrido máximos para identificar las áreas primarias de mercado de otras actividades de usos de suelo son:

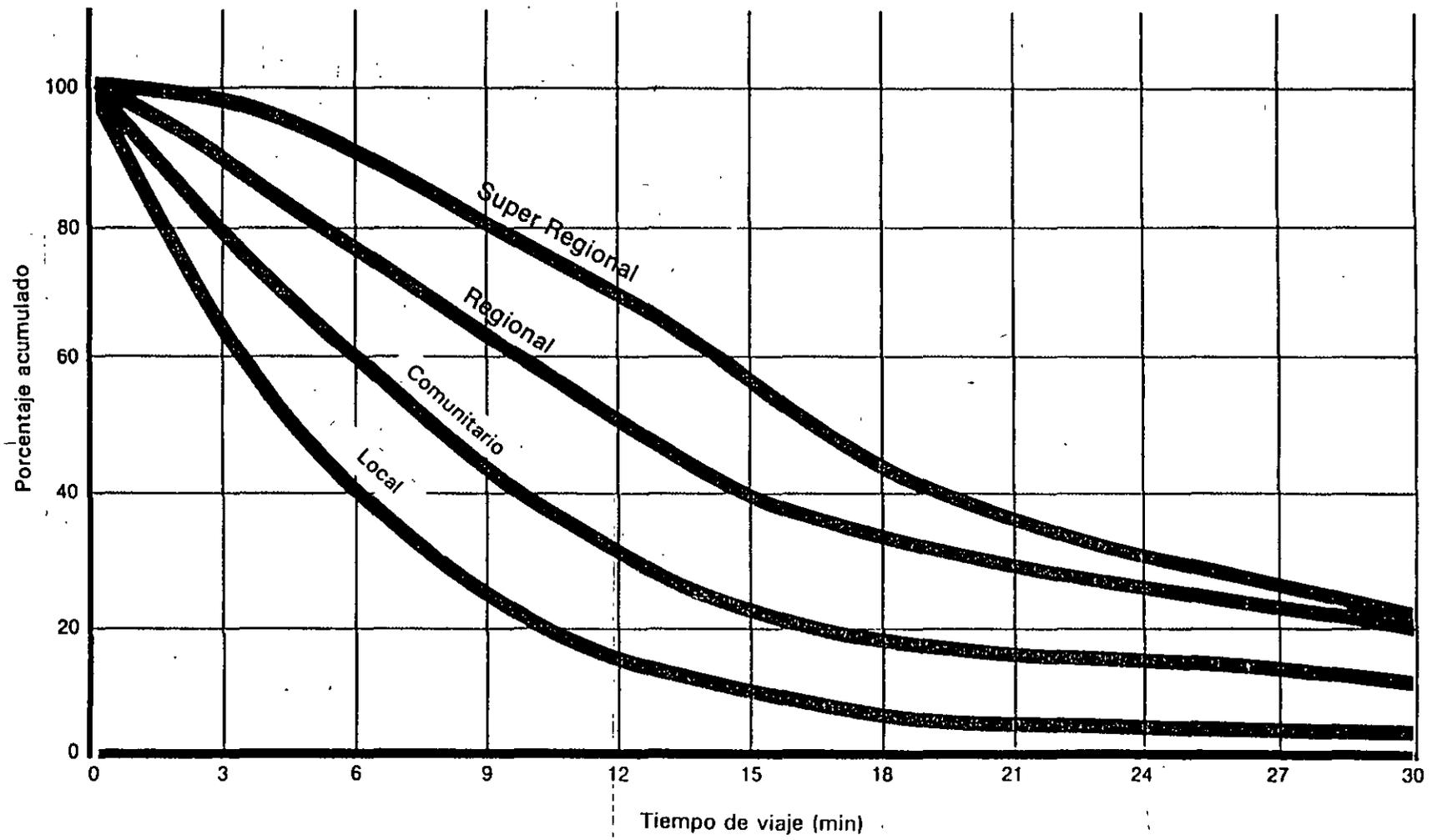


Figura 19. Distribución de los tiempos de viaje del usuario de centros comerciales.

° Centro comercial de la zona	15 a 20 min	
° Compras locales	10 minutos	
° Parque industrial	30 min	
° Uso residencial	viajes a la HMD	30 min
	otros viajes	20 min

El Cuadro 11 enlista los parámetros determinantes que tienen una relación con el área de influencia así como la base de datos requerida para algunas actividades de uso del suelo.

Los límites de esta área de influencia se pueden identificar por una de las siguientes técnicas:

*Técnica 1.* Delinear el área de mercado como una figura geométrica regular (comúnmente un círculo o cuadrado con el desarrollo al centro del mismo) con un radio de acción apropiado para el tipo de desarrollo.

*Técnica 2.* Delinear el área de mercado mediante el establecimiento de los puntos más distantes que pueden ser alcanzados dentro de un tiempo de recorrido preseleccionado en una red vial específica.

*Técnica 3.* Utilizar la *Ley de Reilly* de gravitación comercial para establecer el límite entre centros de competencia.

Técnica 1. La Figura 20 ilustra el uso de esta técnica para delinear el mercado primario de un centro comercial local con el propósito de establecer la dirección de acercamiento al desarrollo propuesto. Los pasos en el proceso son los siguientes:

1. Seleccionar el tiempo de recorrido máximo para el desarrollo propuesto (10 min)
2. Dibujar la forma geométrica seleccionada con el centro ubicado sobre el desarrollo
3. Dividir el área de mercado en secciones o zonas y determinar la cantidad de actividad que se da en cada una de ellas (Figura 21).
4. Calcular la proporción de cada sección como un porcentaje del mercado total primario
5. Identificar la ruta más lógica desde el centroide de cada sección al desarrollo
6. Calcular la distribución direccional, asumiendo los porcentajes del cuarto paso al los trayectos mínimos identificados en el paso anterior (Figura 22)

Actividad en el uso del suelo	Factores para determinar las áreas de influencia	Base de datos dentro del área de influencia
Centro comercial regional	1. Competencia entre centros comerciales similares 2. Tiempo de recorrido generalmente un máximo de 30 minutos	Distribución de la población (algunas veces ponderadas por ingreso a gastar proyectado en el centro comercial)
Centro comercial local	1. Competencia entre centros comerciales similares 2. Tiempo de recorrido generalmente un máximo de 30 minutos	Distribución de la población (algunas veces ponderadas por ingreso a gastar proyectado en el centro comercial)
Parque industrial y oficinas	Tiempo de recorrido generalmente un máximo de 30 minutos o se asume una distancia de 15 a 25 km	Distribución de la población
Estadio	Tiempo de recorrido generalmente un máximo de 40 minutos o mas, y depende del tamaño y características del estadio	Distribución de la población (algunas veces ponderadas por el tiempo de recorrido, esto es, el tiempo mas largo de recorrido se pondera menos)
Residencial	Tiempo de recorrido generalmente un máximo de 30 minutos o se asume una distancia de 15 km	Distribución de las oportunidades de empleo

Cuadro 11. Información necesaria para determinar el área de influencia y la distribución del tránsito en el desarrollo

52

265

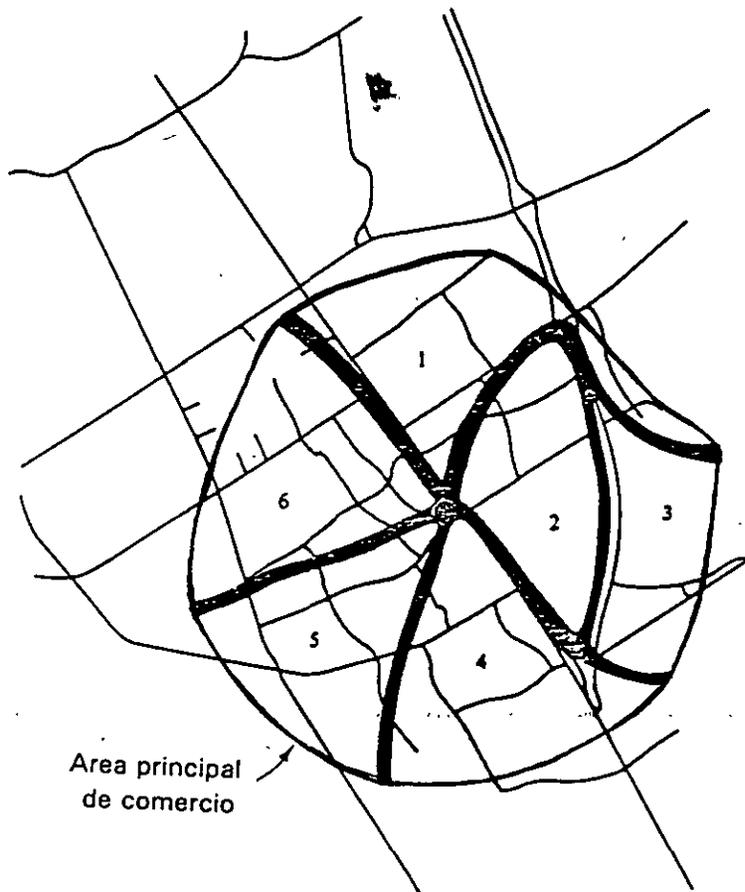


Figura 20. Delineamiento del área primaria de mercado y subdivisión en zonas.

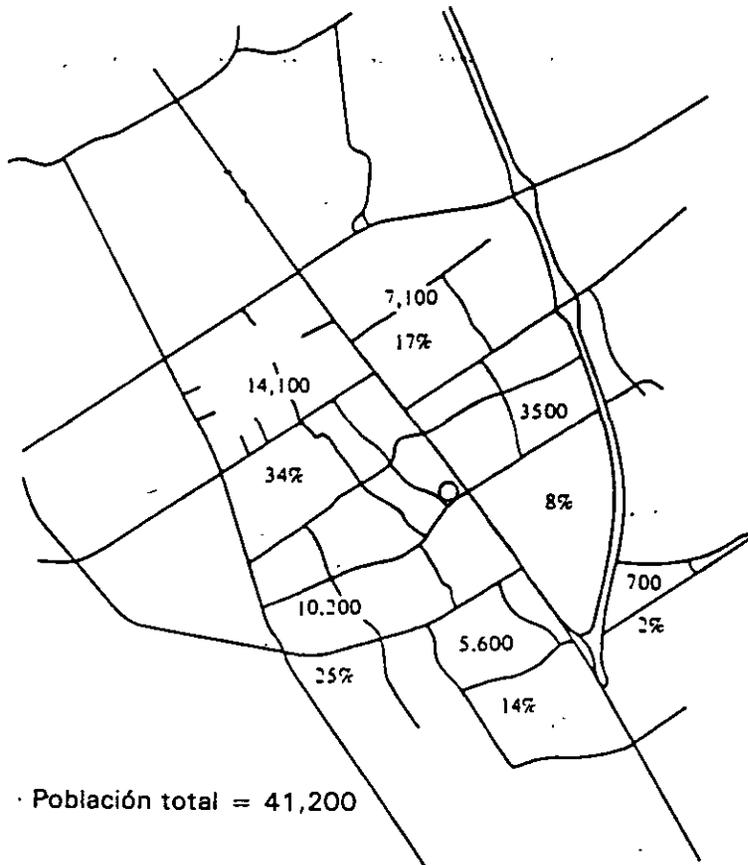


Figura 21. Actividad dentro de las zonas.

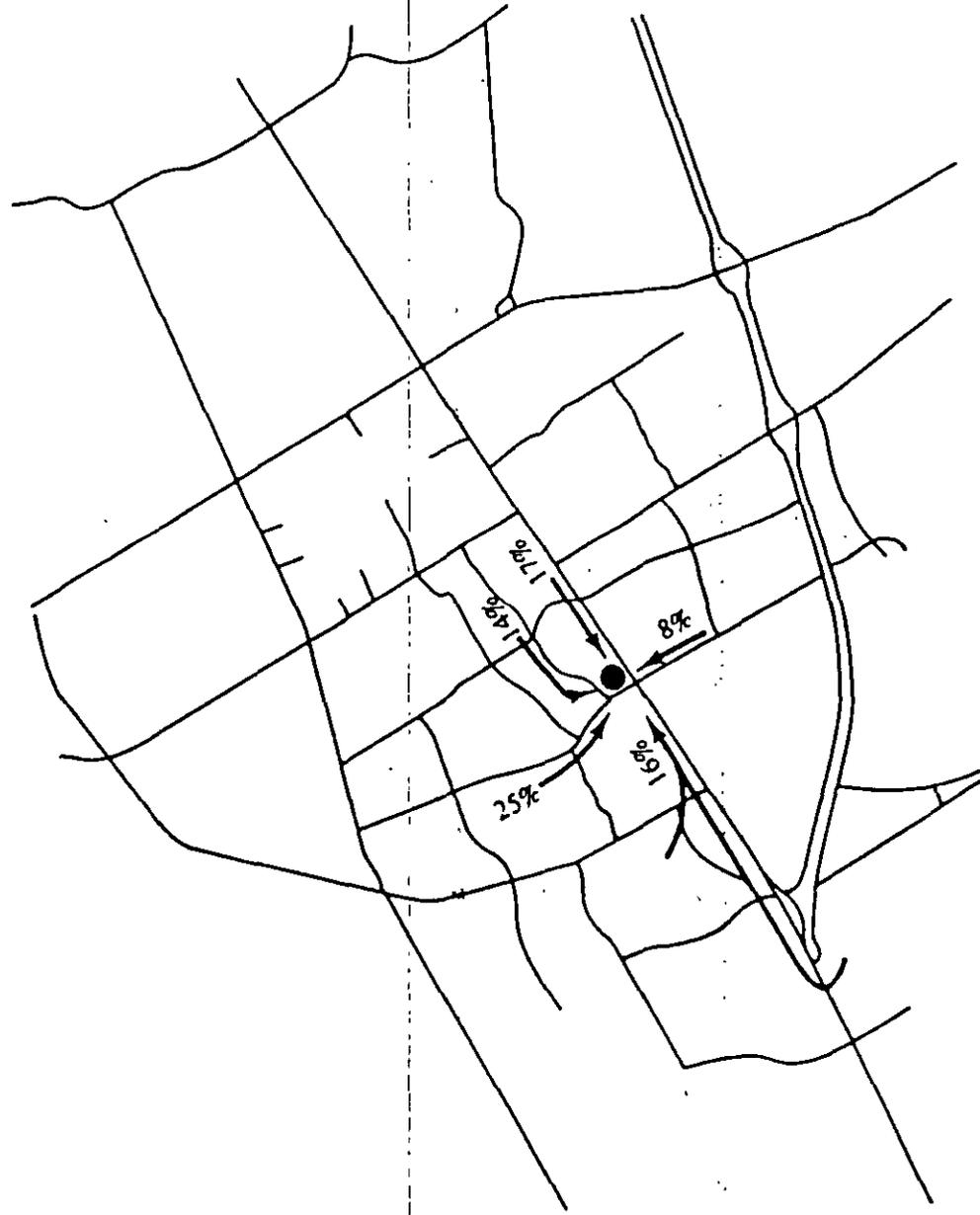


Figura 22. Determinación de la dirección de arriba.

Si se utiliza la población como variable de actividad, entonces el uso del censo y de los AGEB's facilita la labor. Sin embargo, esta información debe ser ponderada por las tendencias de desarrollo del área para estimar las condiciones futuras.

Técnica 2. Esta técnica difiere de la anterior en que la distancia de recorrido se calcula a lo largo de cada ruta utilizando el tiempo de recorrido máximo apropiado y las velocidades de operación en cada calle. Esto dá como resultado una forma geométrica irregular. Los pasos son similares a la técnica anterior. Ya que el tiempo de recorrido es un factor importante en la determinación de la longitud de recorrido, esta técnica es mas recomendable que la anterior.

Técnica 3. La *Ley de Reilly* de gravitación comercial puede ser utilizada para establecer el límite del mercado primario entre centros de actividad que compiten entre sí. Esta formulación del modelo gravitacional considera la separación (tiempo de recorrido o distancia) entre las dos ubicaciones en competencia así como su tamaño relativo. La fórmula es:

$$d_A = \frac{d_{AB}}{1 + [P_B/P_A]^{1/2}}$$

donde:

$d_A$  = distancia (en tiempo de recorrido o km) desde el centro A a su límite primario de mercado con el centro B

$d_{AB}$  = distancia del centro A al centro B

$P_A$  = tamaño del centro A [m<sup>2</sup> de area bruta rentable]

$P_B$  = tamaño del centro B [m<sup>2</sup> de area bruta rentable]

Por ejemplo, considere un centro comercial propuesto de 112,500m<sup>2</sup> que esta localizado a 15 min de un centro existente de 45,000m<sup>2</sup>. Aplicando la fórmula anterior tenemos que:

$$d_A = 5.8 \text{ min,}$$

por lo que el límite entre el centro comercial existente y el centro comercial propuesto se encuentra a 6 min del centro propuesto. Al repetir los cálculos de todos los centros comerciales competidores se pueden obtener los *puntos de equilibrio*, los cuales se conectan después para identificar el límite de las áreas primarias, tal y como se muestra en la Figura 23. La parte restante del análisis sigue los pasos 3 en adelante de la Técnica 1.

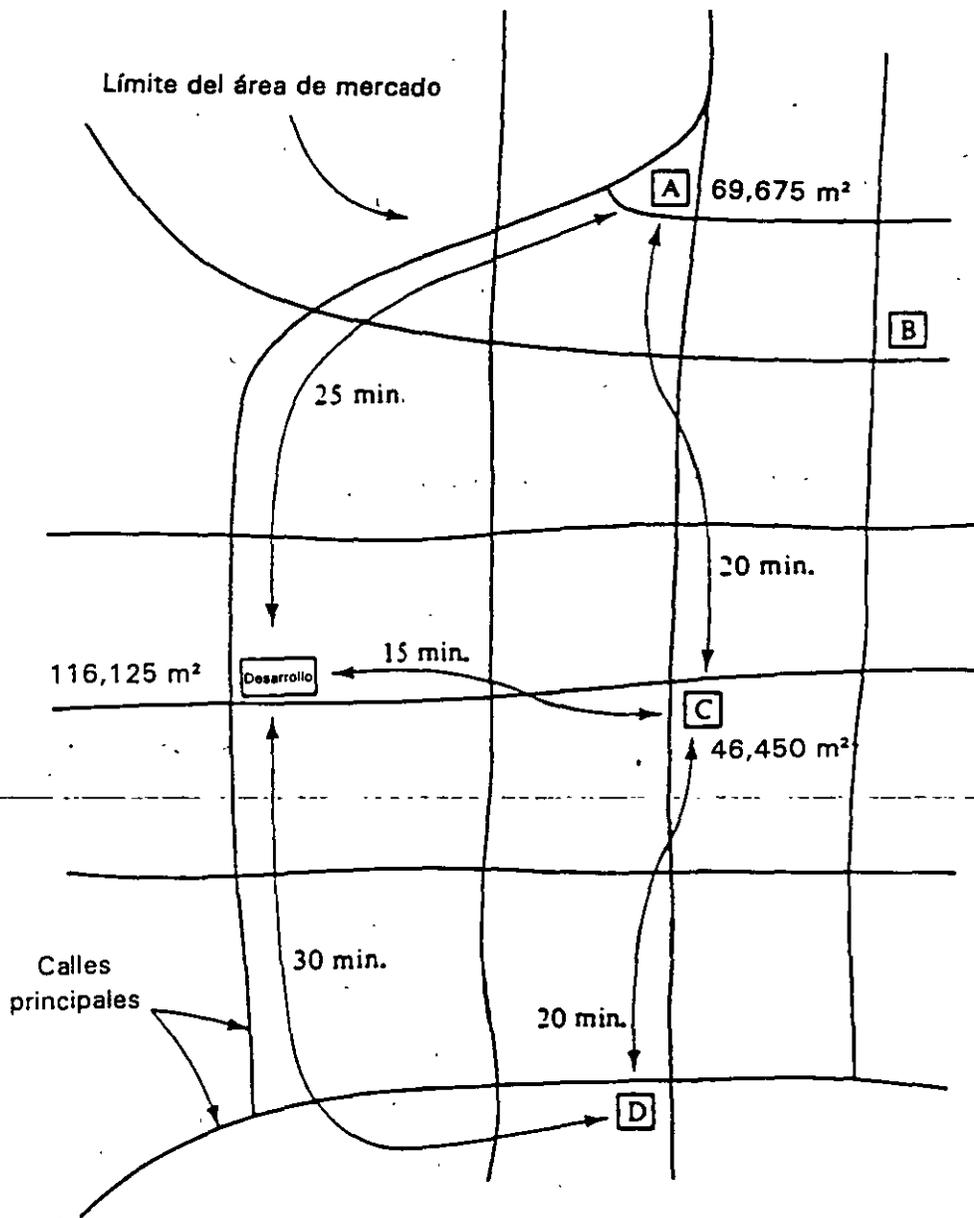
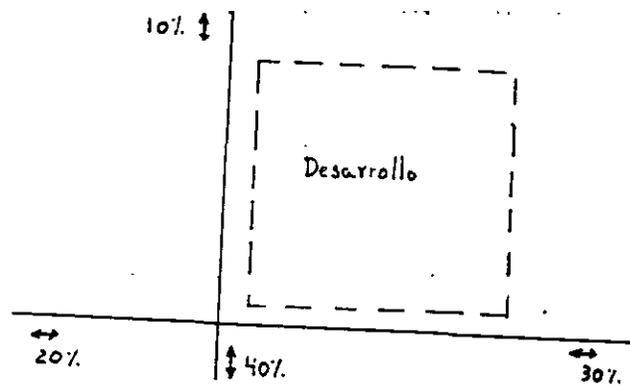


Figura 23. Aplicación de la Ley de Reilly para el delineamiento del área primaria de mercado.

### 3.2. Asignación del tránsito al desarrollo

Ya que se ha determinado la cantidad total de tránsito inducido por el generador, éste es multiplicado por el factor de distribución direccional y asignado al sistema vial que se acerca al desarrollo en cuestión. Estos volúmenes externos deben ser asignados a los puntos individuales de acceso al predio y los movimientos direccionales deben ser estimados. Este procedimiento se explica con el siguiente ejemplo:

Se planea construir en un predio urbano un edificio de oficinas generales con 17,000m<sup>2</sup> de área rentable en el cuadrante noreste de la intersección de Insurgentes y Copilco. Se anticipa que el 40% del tránsito inducido por el desarrollo provendrá del sur; el 30% del oriente, 20% del poniente y 10% del norte.



#### Paso 1. Generador de tránsito

##### Generación de tránsito en la HMD vespertina

- factor hacia el desarrollo = 0.29 viajes en veh por 100m<sup>2</sup>
- factor desde el desarrollo = 1.50 viajes por veh por 100m<sup>2</sup>

=> vehículos hacia el desarrollo =  $170 * 0.29 = 49$  vehiculos

=> vehículos desde el desarrollo =  $170 * 1.50 = 255$  vehiculos

#### Paso 2. Dirección de acercamiento al desarrollo

#### Paso 3. Asignación del tránsito inducido al desarrollo

**Viajes vespertinos  
hacia las oficinas**

$$49 * 0.4 = 20$$

$$49 * 0.3 = 15$$

$$49 * 0.2 = 10$$

$$49 * 0.1 = 4$$

---

49

**Viajes vespertinos  
desde las oficinas**

$$255 * 0.4 = 102$$

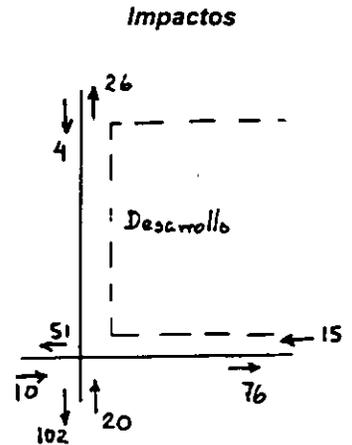
$$255 * 0.3 = 76$$

$$255 * 0.2 = 51$$

$$255 * 0.1 = 26$$

---

255



Una vez determinados la generación de tránsito inducido y la distribución direccional del mismo, el tránsito se asigna a cada uno de los puntos de acceso y se estiman los movimientos direccionales. Los desarrollos comerciales y de oficinas que presentan dos o mas vialidades de acceso generalmente tienen movimientos hacia el desarrollo como se muestran en la Figura 24. La distribución hacia afuera en las vialidades de acceso, por lo general, es mas equilibrada que el tránsito hacia adentro, como se muestra en la Figura 25.

Los movimientos direccionales en las vialidades de acceso están influenciados por los siguientes factores:

- ° el tipo de control de tránsito en las intersecciones de acceso (señal o semáforo)
- ° el volumen del tránsito de paso (el cual influye en el número de espaciamentos aceptables entre vehículos)
- ° diseño del camellón (sin camellón, continuo, canalizado)

**Aspectos resultado del análisis anterior:**

- ° Volúmenes de la vialidad circundante (actual, con el proyecto y futuro; Cuadro 2 12 y 13)
  - definición de modificaciones para aumentar la capacidad (tiempos de semáforos, prohibición de estacionamiento, ampliación de la vialidad, control vueltas izquierdas, entre otros)
  - definición de ubicación de los accesos
- ° Determinación de los volúmenes que harán uso de las instalaciones
  - Capacidad del estacionamiento
  - instalaciones para peatones
  - instalaciones para transporte público
  - instalaciones para transporte de carga

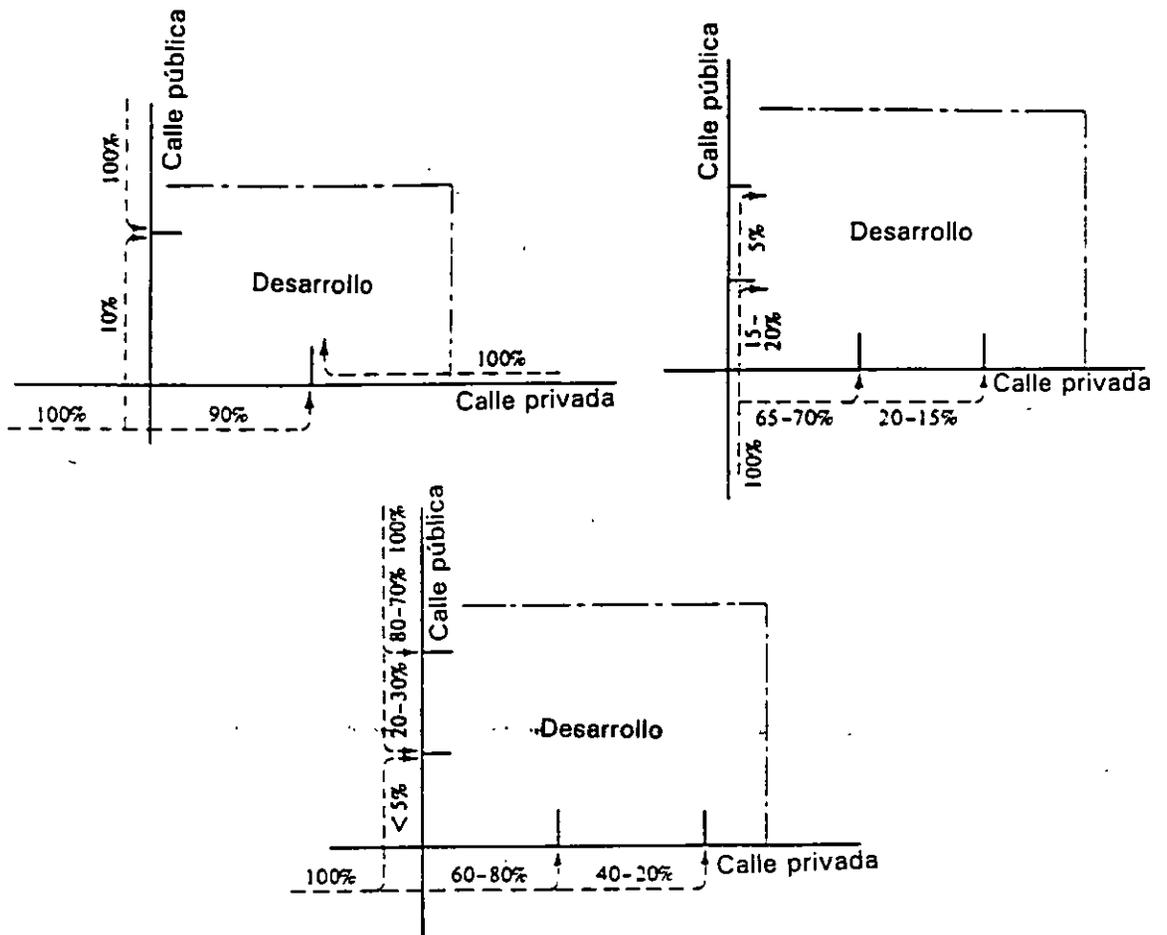


Figura 24. Distribución típica de viajes hacia desarrollos comerciales y de oficinas.

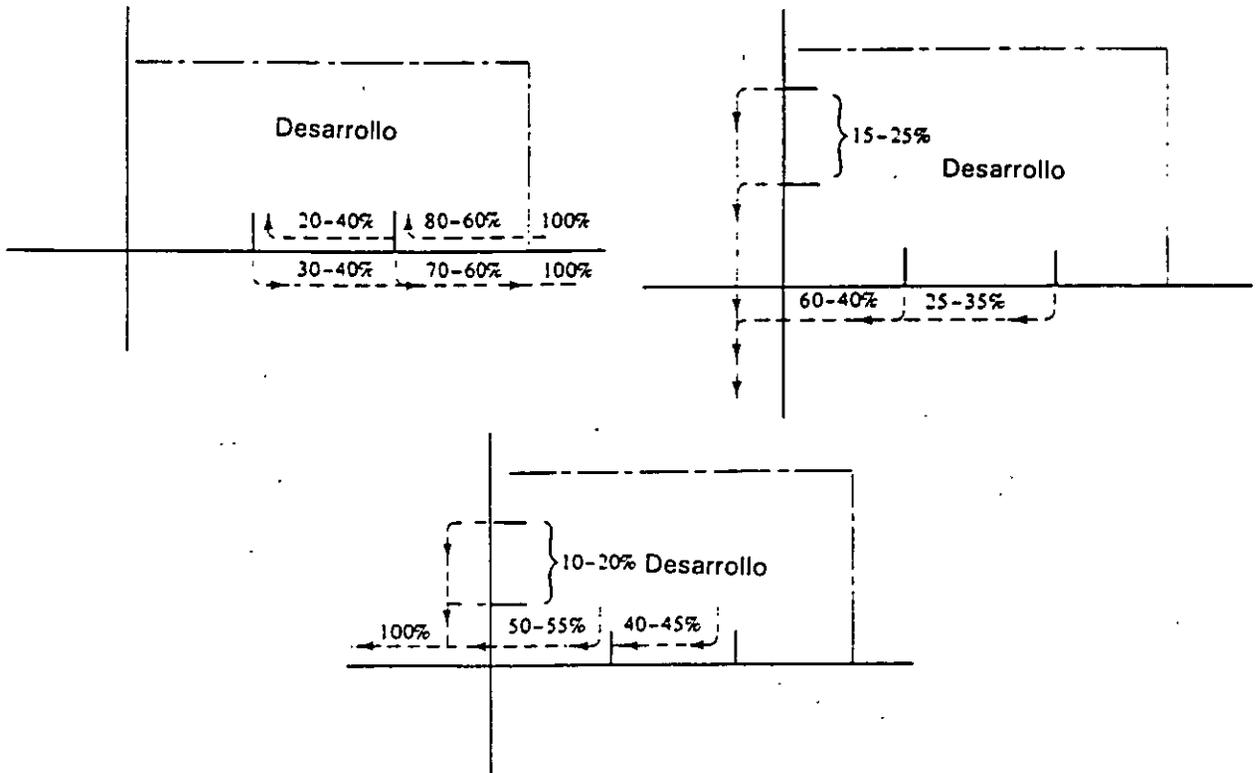


Figura 25. Distribución típica de viajes desde el desarrollo.

Vialidad	Volumen Hora Máxima Demanda	% Crecimiento Anual	Volumen adicional que se incorpora	Volumen Anual				
				92	93	94	95	96
Eje 1 Oriente Calz. Miramontes Norte - Sur 28%	777	0.93	773	1564	1579	1594	1608	1623
Eje 1 Oriente Calz. Miramontes Sur - Norte 17%	472	0.93	469	950	959	967	976	986
Eje 2 Oriente Esc. Naval Militar Norte - Sur 55%	1537	4.84	1518	3204	3358	3520	3691	3869

Cuadro 12. Volúmenes estimados en la hora de máxima demanda del centro comercial

69

Vialidad	Volumen Hora Máxima Demanda	Hora Máxima Demanda	% Crecimiento o Anual	Volumen adicional que se incorpora	Volumen Anual				
					92	93	94	95	96
Eje 1 Oriente Calz. Miramontes Norte - Sur 30%	1574	8:30 - 9:30	0.93	107	1669	1683	1701	1716	1732
Eje 1 Oriente Calz. Miramontes Sur - Norte 25%	1306	7:00 - 8:00	0.93	90	1409	1422	1435	1449	1462
Eje 2 Oriente Esc. Naval Militar Norte - Sur 45%	2308	7:00 - 8:30	4.84	161	2588	2714	2845	2983	3128

(a) Volúmenes estimados en la hora de máxima demanda matutina.

Vialidad	Volumen Hora Máxima Demanda	Hora Máxima Demanda	% Crecimiento o Anual	Volumen adicional que se incorpora	Volumen Anual				
					92	93	94	95	96
Eje 1 Oriente Calz. Miramontes Norte - Sur 34%	1609	15:15 - 16:15	0.93	790	2421	2444	2467	2489	2513
Eje 1 Oriente Calz. Miramontes Sur - Norte 21%	982	12:45 - 13:45	0.93	488	1484	1497	1511	1525	1540
Eje 2 Oriente Esc. Naval Militar Norte - Sur 45%	2180	11:30 - 13:30	4.84	1046	3384	3546	3717	3897	4086

(b) Volúmenes Esperados en la hora de máxima demanda vespertina.

Cuadro 13. Volúmenes estimados de HMD.

69

2

- ° Diseño interior del estacionamiento
  - accesos
  - circulaciones
  - tamaño de cajones

### **3.3. Tránsito independiente al desarrollo inmobiliario**

El volumen del tránsito existente en las vialidades adyacentes y en la vecindad del desarrollo propuesto pueden ser obtenidas por procedimientos de aforos de tránsito convencionales. Sin embargo, estos conteos ofrecen poca información cuando los volúmenes de tránsito actuales son considerablemente menores a la capacidad de la vialidad --especialmente cuando mucha del área no está desarrollada. Aun mas, se debe tener presente que los aforos de uno o dos días de duración tienden a dar estimaciones del tránsito promedio diario anual con un error de por lo menos 10 -15% bajo las mejores condiciones

Asimismo, la necesidad real al analizar el proyecto consiste en la determinación de cual será el volumen de tránsito bajo la ausencia del desarrollo inmobiliario propuesto. Para ello, se cuenta con cuatro métodos:

- ° Analogías en el incremento del tránsito
- ° Análisis de tendencias
- ° Factor de crecimiento
- ° Asignación del tránsito

A continuación, se hará unos breves comentarios sobre los tres primeros, mientras que el último ha sido tratado por otros expositores.

#### **3.3.1. Analogía en el incremento del tránsito**

Esta técnica implica transferir los resultados de situaciones existentes similares al desarrollo futuro. Los pasos a seguir en este proceso son:

- ° Identificar desarrollos similares que presentan características de diseño vial y de desarrollo similares a los que se esperan que se presenten a lo largo de la(s) vialidad(es) en estudio
- ° Obtener datos históricos de aforos realizados en las vialidades existentes
- ° Calcular las tasas de crecimiento anual y graficar el esquema de crecimiento de las tasas para estos sitios existentes. Cuando se tiene información de

dos o mas sitios, se selecciona el *mejor* estimado del patrón de crecimiento para el desarrollo propuesto basado en promedios y/o evaluación subjetiva

- ° Aplicar las tasas de crecimiento o el patrón de tasas de crecimiento a los volúmenes obtenidos en las vialidades del proyecto

### 3.3.2. Análisis de tendencias

Este método es aplicable cuando existen suficientes aforos para establecer una línea de tendencia para la vialidad del proyecto. El procedimiento mas sencillo consiste en graficar la información es establecer una línea de tendencia, ya sea manualmente o por medio de una regresión.

Este tipo de análisis de tendencias resulta muy útil cuando se cuenta con una buena cantidad de aforos a lo largo de un periodo largo de tiempo y cuando el volumen actual de la vialidad se acerca a su capacidad (es decir, cuando  $V/C > 0.7$ ). Asume una tasa constante de crecimiento sin restricciones a la capacidad.

### 3.3.3. Factor de crecimiento

Este método asume que los volúmenes de tránsito están relacionados con -y que seguirán un esquema similar a-- alguna variable del crecimiento urbano, tal como la población o el área bruta rentable. Asi por ejemplo, en su forma mas pura, si la población de un área se proyecta a que se va a duplicar, luego entonces el volumen de tránsito deberá proyectarse a que también se duplicará.

#### 4. Sistemas funcionales de circulación

Un diseño funcional considera que los elementos individuales de un sistema de circulación no sirven aisladamente al tránsito, sino que el traslado implica el movimiento a través de una red de vialidades públicas y privadas. Un sistema jerárquico de esta naturaleza permite la variación en función del acceso al movimiento. Una operación eficiente y segura del sistema requiere que determinadas infraestructuras se diseñen para servir un aspecto específico dentro de este marco de referencia.

##### *Clasificación funcional*

Un sistema funcional de vialidades debe ofrecer una graduación del flujo vehicular desde la función de movimiento a la función de acceso y el sistema puede ser clasificado en relación a la proporción de movimiento con la de acceso. En un extremo se encuentran las autopistas urbanas que no transportan tránsito de acceso y en el otro extremo se encuentran los callejones que no transportan tránsito de paso. La función de acceso se caracteriza por el grado de utilización de la calle para propósitos de acceso y el grado de restricción al acceso que se ejerce. El control de acceso va desde el control completo del acceso en el caso de una autopista urbana a la inexistencia de control en el caso de los callejones. La Figura 26 muestra esquemáticamente la relación entre acceso y movimiento, mientras que el Cuadro 14 describe brevemente la clasificación funcional y sus características.

A continuación, se describe someramente la clasificación funcional recomendada.

**Autopista urbana.** Tienen como función el movimiento y debido a su diseño geométrico y de accesos claramente diferenciados es conveniente y una práctica común su identificación separada de otros tipos de vialidad.

**Arteria primaria.** Este tipo de vialidades ofrecen un alto grado de movilidad y sirven a viajes largos por lo que deben ofrecer altas velocidades y adecuados niveles de servicio. Puesto que su función principal es el movimiento y no su accesibilidad, la administración de los accesos es esencial para mantener la capacidad. Estas vialidades ofrecen la continuidad necesaria y forman la red interurbana, sirviendo a la mayoría de los viajes que entran y salen de la ciudad así como los viajes de paso. La red que conforman dichas vialidades conectan los principales desarrollos urbanos de una ciudad (centro histórico, centros comerciales, parques industriales, conjuntos habitacionales, entre otros).

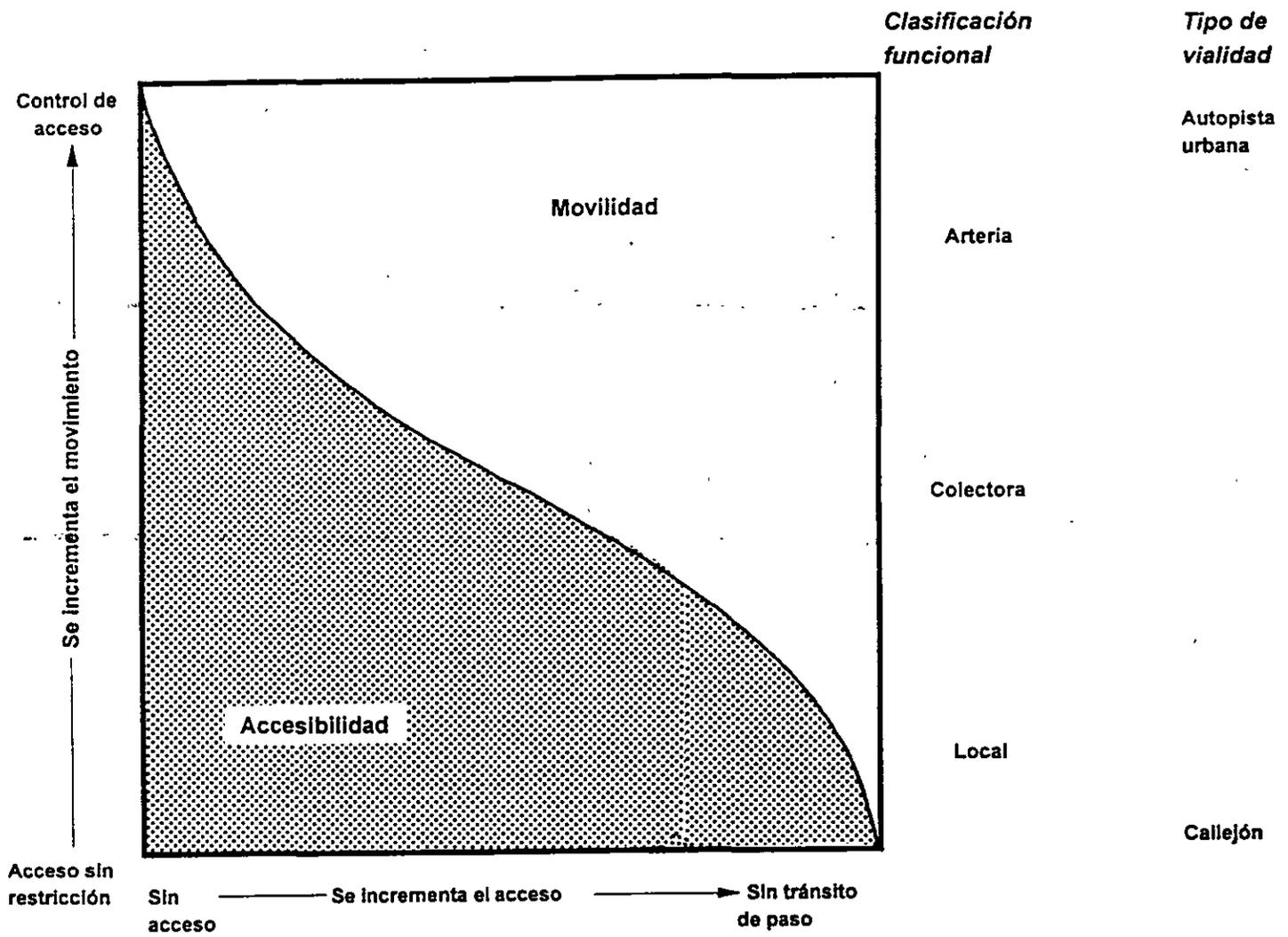


Figura 26. Clasificación funcional.

Clasificación	Función	Porcentaje típico de la red vial (%)	Continuidad	Espaciamiento (km)	Porcentaje típico de los veh-km transportados (%)	Acceso a predios	Espaciamiento entre intersecciones (km)	Velocidad límite (km/h)	Estacionamiento	Comentarios
Autopista urbana	Movimiento de vehículos	nd	Continúa	6.4	nd	Ninguno	1.6	70-95	Prohibido	Complementa la capacidad del sistema arterial y ofrece altas velocidades
Arteria primaria	Comunica colonias y barrios; ofrece movimiento de vehículos y acceso a predios	5-10	Continúa	1.6-3.2	40-65	Limitado únicamente a los principales generadores	0.8	55-70 en áreas completamente desarrolladas	Prohibido	
Arteria secundaria	Comunicación de colonias y barrios; movimiento de vehículos y acceso a predios	10-20	Continúa	0.8-1.6	25-40	Restringido; algunos movimientos prohibidos; control de tránsito y espaciamiento de intersecciones	0.4	50-55	Generalmente prohibido	Espina dorsal del sistema vial
Colectora	Recolectar y distribuir el tránsito entre calles locales y el sistema arterial	5-10	No necesariamente continúa; no se debe extender a través de las arterias	0.8 o menos	5-10	Controles de seguridad; regulación limitada	0.1	40-50	Limitado	Se debe desalentar el tránsito de paso
Local	Acceso a predios	60-80	Ninguna	Conforme se requiera	10-30	Únicamente controles de seguridad	0.1	40	Permitido	Se debe desalentar tránsito de paso

nd = no disponible

Fuente: The Traffic Institute: Northwestern University. Short Course Notes.

Cuadro 14. Clasificación funcional de la vialidad según normatividad estadounidense.

72

3

Las velocidades de operación deseables y teóricas en este tipo de arterias debe ser de 60 a 70 km/h durante las horas de menor demanda y de 50 a 55 km/h en las horas de máxima demanda. Las intersecciones con otras vialidades deben ser diseñadas para mantener la diferencias entre velocidades de los movimientos direccionales y otro tránsito a 15 km/h. Las intersecciones semaforizadas deben estar adecuadamente espaciadas para permitir movimientos progresivos eficientes en ambos sentidos entre intersecciones a las velocidades deseadas en los periodos pico y valle.

**Arteria secundaria.** Este sistema se conecta e incrementa el sistema arterial primario acomodando viajes mas cortos y con un menor nivel de servicio. Por ello, las velocidades de operación y la progresión de los semáforos puede ser menor que con las arterias primarias. Este tipo de infraestructura conecta las actividades residenciales, comerciales, de empleo y recreacionales a un nivel de colonia o barrio.

**Colectoras.** El sistema colector ofrece tanto la accesibilidad requerida a los predios como el movimiento entre areas comerciales, residenciales e industriales. Las velocidades de operación se ubican entre los 40 y 50 km/h. Al presentarse movimientos direccionales y menores velocidades que en los casos anteriores, debe presentarse una mayor diferencia entre las velocidades de los movimientos de frente y los direccionales y se utilizan espaciamientos mas cortos entre intersecciones que en el caso de las arterias.

La sección transversal de la vialidad colectoras puede presentar una variación considerable, la cual dependerá del tipo, magnitud y densidad de los desarrollos adyacentes.

**Locales.** Estas vialidades ofrecen el acceso a los predios y existen en cualquier esquema urbano. Estas pueden ser vialidades residenciales locales, vialidades locales del centro histórico y vialidades locales industriales. El movimiento en este tipo de vialidades es incidental e involucra viajar de o hacia una vialidad colectoras. Por ello, la longitud del viaje es corta y como resultado los volúmenes puede ser bajos asi como sus velocidades.

Circulación dentro del desarrollo inmobiliario. Se utilizan los mismos principios de diseño funcional que se aplican a las vialidades y se pueden reconocer en los sistemas internos de circulación las mismas etapas de movimiento jerárquico. Por ejemplo, las circulaciones que conducen a los cajones de estacionamiento (terminal de vehículos) se convierten en el equivalente de las calles de acceso locales. Por ello, un sistema interno de circulación diseñado adecuadamente

podrá acomodar el orden de movimientos y podrá ofrecer una transición apropiada con el sistema de vialidades públicas. Naturalmente, el rango en la jerarquía del movimiento que será necesario como parte del sistema interno de circulación variará con el tamaño del generador de tránsito considerado.

Con generadores pequeños, el acceso directo a una colectora, pero no a una arteria, se justifica. Una calle colectora intermedia se utilizará para combinar los flujos de tránsito de varios desarrollos comerciales para justificar una intersección con una calle arterial.

Un generador muy pequeño, tal como una tienda de abarrotes individual, tiene un sistema propio de circulación que es equivalente a una calle local: la vialidad de acceso a la tienda es el equivalente a un colector.

Un centro comercial regional (Perisur) incluirá un rango amplio de elementos de circulación que van desde movimientos primarios a accesos locales y terminales de vehículos (estacionamiento). Las vialidades de accesos a estos grandes generadores son el equivalente funcional de una calle arterial. Por ello, se justifica una intersección señalizada con la arteria principal. Sin embargo, la intersección de dicha vialidad de acceso debe mantener el mismo espaciamiento y características de diseño que una intersección a nivel entre dos arterias principales.

Conforme crece el tamaño del desarrollo, el sistema de circulación interna requerirá de un rango mas amplio de la infraestructura jerarquizada. Un centro comercial o desarrollo industrial muy grande debe incorporar el espectro completo de instalaciones funcionales. Los desarrollos mas pequeños incluirán un rango mas limitado de infraestructura funcional. A continuación se presentan algunos paralelismos entre la vialidad pública y la circulación dentro del desarrollo inmobiliario:

**Clasificación de la vialidad pública****Circulación interna comparable**

Calle local	Circulación entre áreas de estacionamiento
Colector menor	Circulación al final de filas de estacionamiento Calle de acceso a negocios independientes
Colector principal	Vialidad de circulación que conecta áreas de estacionamiento dentro de un gran desarrollo inmobiliario Vialidad de acceso a un desarrollo de tamaño intermedio
Arteria menor	Vialidad de acceso a un gran desarrollo inmobiliario
Arteria principal	Vialidad de acceso a un gran desarrollo inmobiliario con usos mixtos o un centro comercial regional

Las normas de diseño para las vialidades del desarrollo deben ser similares a las de las vías públicas para las mismas velocidades de operación. Sin embargo, las velocidades de operación en los desarrollos inmobiliarios generalmente serán menores que su similar vial público.

Sistemas viales diseñados funcionalmente. En un sistema vial que ha sido desarrollado con base a criterios funcionales, cerca del 75% de los vehículos kilómetros recorridos serán movidos dentro del sistema arterial, el cual comprenderá normalmente el 10% de la longitud total de la red vial. Mientras tanto, las calles locales cubrirán cerca del 67% de la longitud total de la red vial y moverán menos del 10% del total de veh-km recorridos. Un porcentaje mayor al 10% sugiere una deficiencia en el sistema arterial y/o un diseño deficiente de las áreas residenciales.

El desarrollo de un sistema vial basado en los conceptos funcionales presenta una serie de beneficios entre los que se encuentran:

- ° Las arterias pueden ser diseñadas para acomodar --dentro de rangos de seguridad adecuados-- altos volúmenes de tránsito y altas velocidades
- ° El control del tránsito se simplifica

- ° El pavimento de las vialidades seleccionadas puede ser diseñado para mover un alto volumen de vehículos y cargas por eje altas. Las demás vialidades pueden diseñarse para volúmenes menores y cargas por eje mas bajas. De esta manera, los costos de mantenimiento se reducen.
- ° Las áreas residenciales no se ven afectadas por el movimiento de paso, lo que hace que sean lugares mas seguros y mas deseables para vivir. Los usos comerciales y de oficinas se concentran en un menor número de desarrollos pero éstos están mejor diseñados y presentan un mayor tamaño. Se reduce el desarrollo comercial lineal.

## 5. Ecología de una vialidad

Para examinar el impacto del tránsito en la vida de una vialidad, se requiere de un modelo teórico que relacione de alguna manera estructurada las variables que pueden participar en la complicada interacción entre el tránsito y los residentes. Las Figuras 27 a la 29 muestran algunas de estas complejidades. La primera figura presenta una calle residencial agradable y tranquila, la cual es utilizada por los habitantes de la misma para una variedad de actividades.

La segunda figura muestra que pasa cuando el tránsito se incrementa. Una gran variedad de impactos, tanto visibles como no perceptibles a simple vista, empiezan a aparecer. Finalmente, la tercera figura muestra algunas de las formas en que los habitantes se adaptan, se aíslan, o modifican su medio ambiente como defensa al paso de vehículos. Al observar los interiores de las casas habitación observamos algunos de los efectos normalmente invisibles. Estos efectos señalan que las calles, las cuales pueden parecer a los automovilistas que pasan como tranquilas y no afectadas por su movimiento, en realidad pueden estar sufriendo de muchas maneras por sus impactos.

Los habitantes de nuestras ciudades todavía no muestran ningún esfuerzo por controlar el tránsito en sí, excepto a través de protestas o el cerrar los accesos a la misma. Existe claramente una ecología del impacto, conflicto y ajuste que sucede en las vialidades: solo sus síntomas se muestran aquí.

El modelo propuesto en la Figura 30 es un diagrama de flujo que describe las interrelaciones y conflictos básicos que se presentan entre los usuarios de las vialidades y los residentes de las mismas a lo largo del tiempo, bajo el entorno ambiental de la vialidad. En lugar de ser un modelo de impactos del tránsito en un solo sentido, éste describe como los residentes modifican los impactos mediante respuestas de adaptación. El desarrollo de estas interacciones a lo largo del tiempo están simbolizadas por la representación de tres momentos en el tiempo (T, T' y T'') en las tres columnas que se leen de izquierda a derecha.

La columna de la izquierda (tiempo T) muestra los cinco componentes principales de la interacción:



Habitaciones agradables y tranquilas  
Adyacentes a la vialidad

Estacionamiento adecuado  
Banquetas seguras para jugar  
Aire libre contaminantes  
Sin ruidos y vibraciones

Medio ambiente seguro  
para personas de la tercera  
edad, discapacitados  
Calles limpias

Mayoría actividades al aire libre  
Interacción con vecinos

Figura 27. Situación antes de los impactos del tránsito

27

27



Falta de sueño  
 Interrumpe conversación

Ruido, vibraciones

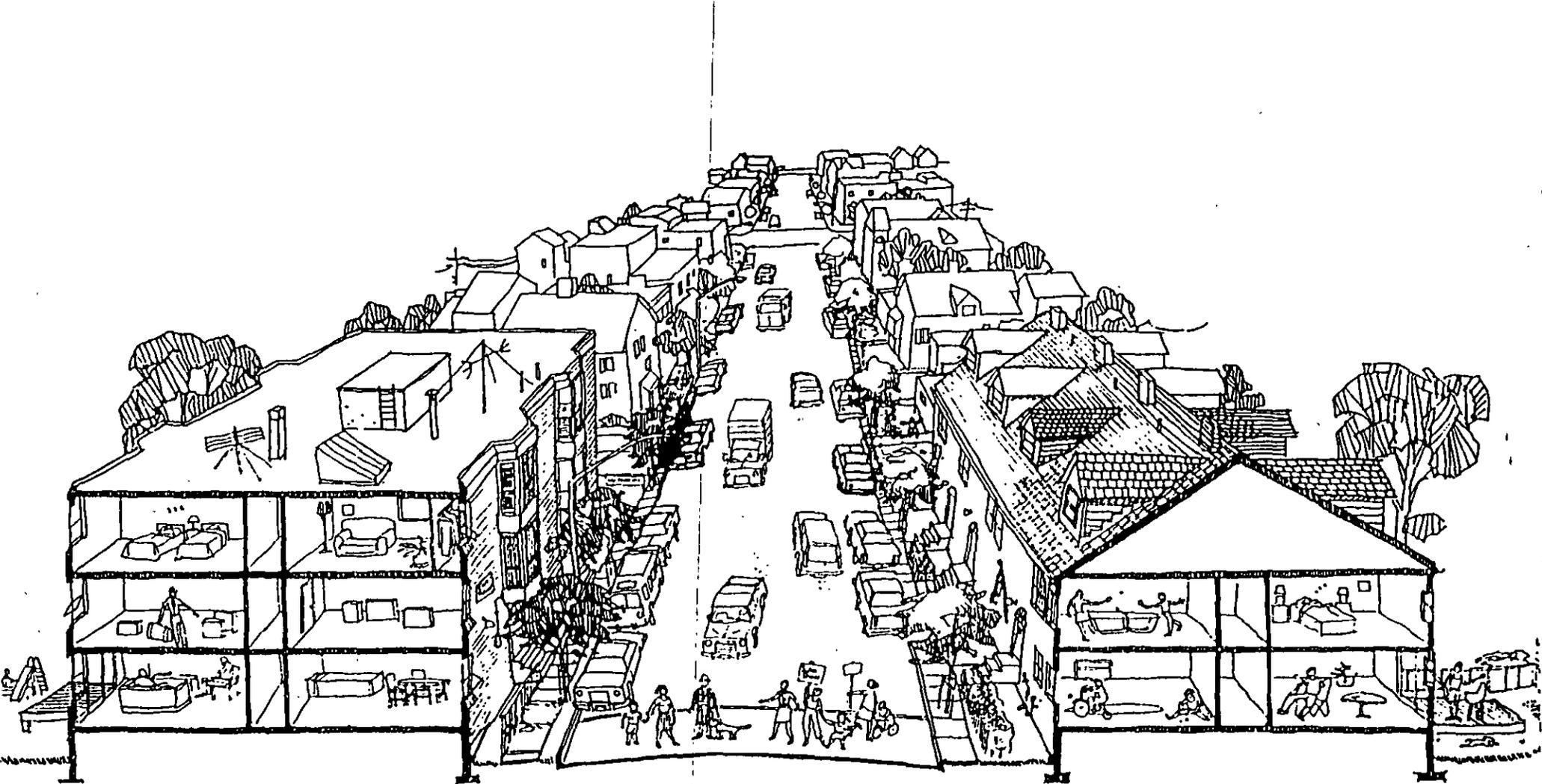
Polvo y humos  
 Emisiones  
 Peligro a tercera edad y  
 niños jugando en la calle

Interrumpe conversación  
 exterior

Interrumpe sueño  
 Interferencia  
 actividades hogar

Figura 28. Impactos por la intrusión del tránsito

79  
 324



Adaptación espacio interior  
 Migración  
 Espacio frontal no  
 utilizado

Cortinas y separadores  
 Luces seguridad, alarmas  
 Señales No estacionar  
 Árboles de amortiguamiento  
 Basura

Supervisión actividad niños  
 Protestas en contra  
 congestonamiento

Bardas y arbustos  
 para bloquear ruido  
 Niños juegan adentro

Mover áreas  
 tranquilas al  
 interior  
 Orientación al  
 patio trasero  
 actividades  
 recreativas

Figura 29. Respuestas de adaptación

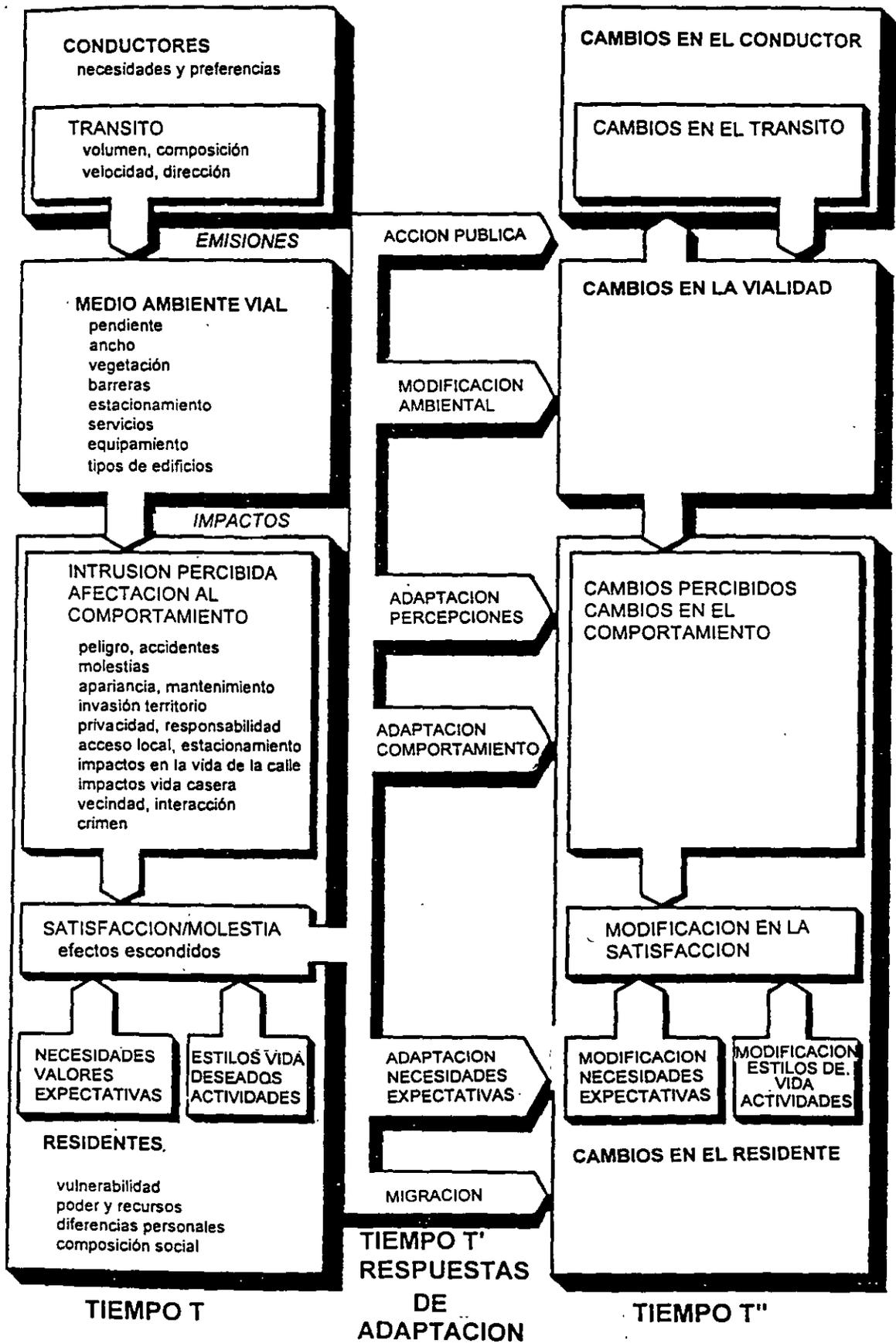


Figura 30. Modelo de la ecología de una calle.

- ° los automovilistas y el tránsito
- ° las emisiones
- ° el medio ambiente de la vialidad
- ° los impactos resultantes
- ° psicología de los residentes

Los automovilistas que desean utilizar la vialidad crean el tránsito, con sus características y emisiones particulares. El medio ambiente afecta tanto a los automovilistas como a los residentes. Hasta cierto grado éste controla el comportamiento del automovilista y al mismo tiempo éste modifica, magnifica o compensa el impacto ambiental en varios puntos y lugares dentro del medio ambiente de la vialidad.

Los residentes, con sus características particulares, ven en el medio ambiente de la calle diferentes necesidades y valores, así como expectativas, estilos de vida deseables y actividades. Cuando los residentes se encuentran con el medio ambiente de la vialidad, ellos perciben intrusiones o beneficios y su comportamiento consecuente se altera o se refuerza. La satisfacción o enojo resultante es tal vez la medida más crucial de todos los impactos. Sin embargo, existen muchos efectos escondidos. Su salud, su comportamiento y su visión del mundo puede estar afectado por su medio ambiente sin su conocimiento o del conocimiento de aquellos que estudian los impactos.

Si los residentes están insatisfechos con el tránsito en su calle u otros aspectos del medio ambiente de su calle, se presentará una serie de ajustes adaptativos, descritos en el tiempo T'. Los residentes más modestos se adaptarán a sus propios niveles de necesidad, expectativas, comportamiento o percepción. Otros, modificarán su medio ambiente o tomarán cartas en el asunto para modificar la calle o el tránsito sobre la misma (barreras, topes, señales de no acceder, empedrado). Si ninguna de estas acciones es posible emigrarán de dicha calle y serán reemplazados por otros que acepten tales condiciones de vida.

El tiempo T" describe la situación corregida. Al estudiar una calle en determinado momento, se debe tener presente que esta temporalidad es poco antes de que se realicen ajustes. Normalmente, se presentan cambios y adaptaciones continuos en las calles, entre los automovilistas, residentes y el medio ambiente de la vialidad, lo cual crea patrones de cambio que se explicarán más adelante.

Este modelo interactivo describe la ecología del impacto del tránsito. Aun así, es un modelo simplificado ya que los automovilistas y residentes no siempre pueden separarse: los residentes también utilizan el automóvil y los

automovilistas viven en dichas calles. Estos son pues los papeles que los habitantes de una ciudad juegan. En una colonia o vecindad, las personas pueden pensar como residentes o como automovilistas y pueden valorar su movilidad o *vivenciabilidad*, lo cual puede conducir a conflictos sociales. A su vez, variables exógenas tales como movimientos poblacionales, el mercado de la vivienda u otras situaciones del desarrollo urbano pueden sobrepasar o detener los efectos del tránsito. Es necesario tener en mente estos factores.

### **5.1. Análisis de las variables**

#### **5.1.1. Los automovilistas y el tránsito.**

El tránsito es ocasionado por personas, aun cuando los residentes de las vialidades que ven correr a los vehículos en sus calles lo encuentran difícil de creer. Los automovilistas requieren de acceso y es común ver a automovilistas que corren casualmente a lo largo de las vialidades. El controlar el comportamiento del automovilista depende mucho del entendimiento y de la comunicación con la psicología del conductor --sus percepciones, sus expectativas y sus actitudes.

Se presentan cuatro atributos del tránsito que influyen este impacto:

- ° **Volumen de tránsito.** Es la medida mas usual para medir el tránsito y usualmente se mide en una base diaria o en una base de HMD.
- ° **Composición del tránsito.** Este es un punto de especial importancia para los residentes, especialmente en relación a vehículos que presentan un gran impacto tales como camiones, motocicletas, minibuses o autobuses.
- ° **Velocidad.** Este es uno de los ingredientes mas molestos para el residente ya que las altas velocidades no solo generan mayor ruido, sino que le dan al peatón menor tiempo de reacción y respuesta.
- ° **Dirección.** El residente también tendrá presente la dirección de los movimientos, ya sean éstos en doble sentido o en sentido único.

#### **5.1.2. Emisiones**

Las emisiones del tránsito incluyen ruido, vibración, emisiones de contaminantes, polvo (partículas suspendidas), la basura y el impacto visual.



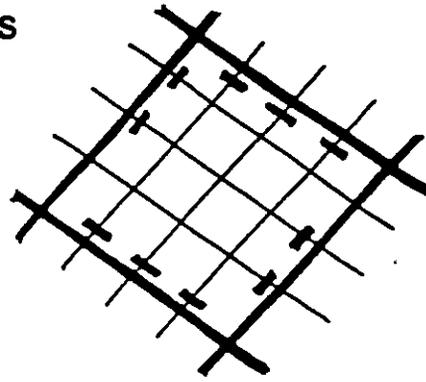
- **Señales de alto.** Esta señal obliga al conductor a hacer alto total y, de cumplirse, reduce los conflictos con el tránsito transversal y con los peatones. Normalmente, los residentes solicitan que estas señales se coloquen en todas las intersecciones, haciendo que el tránsito de paso busque o se mantenga en las vialidades principales. A su vez, puede fungir como un elemento de control de la velocidad. Si se instalan con este propósito, las señales deben colocarse en todas las intersecciones y no solamente en aquellas en que exista un riesgo potencial de seguridad. Los vehículos inician la desaceleración unos 60m antes de la señal y regresan a su velocidad normal 60m después.
- **Límites de velocidad.** Son comunes en toda partes del mundo y normalmente se establece un límite de velocidad a nivel urbano, yendo éste de los 40 a los 60 km/h y en zonas escolares, con reducciones hasta los 20 km/h. El problema principal con estos límites de velocidad es que el diseño de la vialidad normalmente alienta a una conducción mas rápida que el límite preestablecido, de tal manera que su incumplimiento se vuelve frecuente a menos de una vigilancia estricta del mismo.
- **Prohibiciones de movimientos direccionales.** Las prohibiciones es este sentido sobre vias arteriales pueden prevenir al tránsito de penetrar a las calles residenciales y coadyuvan a mantener el flujo sobre la vialidad principal. Sin embargo, su incumplimiento es frecuente, limitando su efectividad.
- **Señalamientos prohibiendo la entrada.** Se colocan para evitar el paso en calles cerradas.
- **Semáforos.** Este es utilizado para administrar el tránsito y peatones en intersecciones muy utilizadas, peligrosas o complejas.
- **Pasos de cebra.** Los pasos en intersecciones pueden estar marcados o no. En cuanquier caso los conductores deben ceder el paso al peatón
- **Topes.** Este es un elemento muy utilizado en México para reducir la velocidad, al carecer de una educación vial y de respeto al señalamiento asi como la escasa capacidad para hacer respetar los reglamentos. En algunos otros países, Inglaterra principalmente, se han hecho experimentos con jorobas u ondulaciones. Estas jorobas tienen una longitud de 3.6m por una altura de 10 a 15 cm aproximadamente. Su geometría exacta es importante, de tal forma que la longitud debe ser 1.5 veces la distancia entre ejes del auto típico, de tal forma que no *vuele* de la joroba. Estas jorobas se suelen colocar en pares 10m una de otra, a la

entrada de calles residenciales y a intervalos de 100 m con el fin de reducir la velocidad mas que el volumen. Asimismo, es factible elevar los cruces de cebra en las calles residenciales de tal forma de dar un área uniforme de circulación al peatón y un elemento de reducción de velocidad.

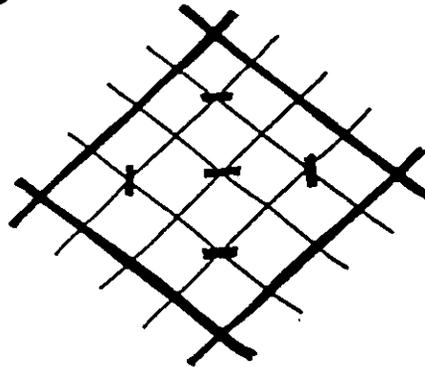
- ° **Estrangulador.** Este es un elemento que físicamente hace mas angosta la calle. La distancia de visibilidad se mejora al restringirse el estacionamiento alrededor de ella. El área de banqueta en la intersección (donde mas se necesita) se incrementa y a la vez la distancia de cruce se reduce.
- ° **Puertas de entrada.** Estas puertas que dan acceso a algunas calles y colonias son los métodos de control de tránsito mas caros e impresionantes que se pueden construir. Estas entradas informan al conductor que entra a un territorio privado y por ello influye en los hábitos de conducción.
- ° **Calles angostas.** Las calles angostas reducen la velocidad del automovilista. Algunos de los elementos para su angostamiento incluyen el arreglo del estacionamiento, la existencia de áreas verdes, árboles y espacios de juego, o simplemente la ampliación de las banquetas. Todas estas formas pueden mejorar las condiciones de vida de los residentes.
- ° **Estacionamiento.** El estacionamiento en si puede reducir la velocidad y volumen al reducir la cantidad de espacio vial y al incrementar el peligro aparente al conductor. El estacionamiento en diagonal como una forma de reducir la velocidad ha sido experimentado en EEUU como parte de los estudios de seguridad peatonal nacionales, lográndose reducciones en la velocidad de 15 km/h. Este elemento, si se diseña adecuadamente, puede reducir los impactos del tránsito a la vez de incrementar los espacios de estacionamiento.
- ° **Desviadores, barreras y cerradas.** Los desviadores se colocan normalmente en forma diagonal en intersecciones de cuatro sentidos de circulación para volver un sistema ortogonal en uno de lazos y cerradas. Las barreras se colocan para evitar el acceso o salida en un extremo y hacer una cerrada. Son posibles una serie variada de diseños, pero debe distinguirse entre los temporales y los permanentes. Los primeros son móviles y relativamente baratos. Los segundos son mas caros y permanentes pero mas agradables

**Sistemas residenciales.** Existen una variedad de sistemas para proteger los barrios, siendo cuatro los que normalmente son utilizados (Figura 31):

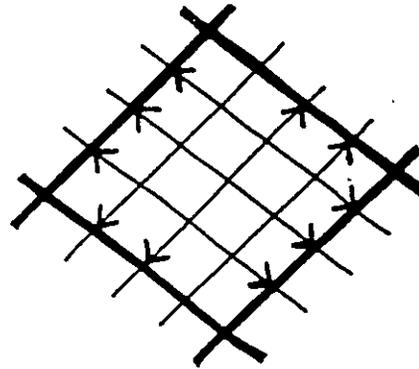
**CONTROL DE LIMITES**



**CONTROL INTERNO**



**SALIDAS EN UN SOLO SENTIDO**



**SISTEMAS HIBRIDOS**

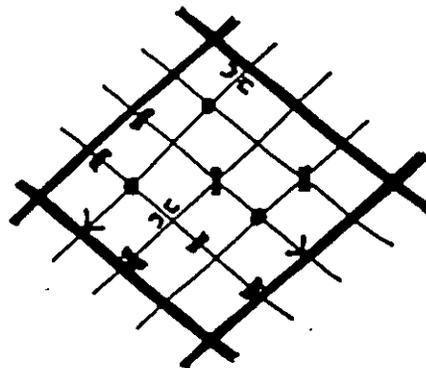


Figura 31. Sistemas para proteger barrios

- ° **Control de límites.** Estos esquemas colocan barreras, canalizadores diagonales o señales de prohibición de vuelta a la derecha en los límites de los barrios a lo largo de las vialidades arteriales, permitiendo solamente unas cuantas entradas (Estocolmo).
- ° **Control interno.** Con la construcción de barreras, desviadores diagonales u otras restricciones, se permite que el tránsito entre a la colonia o barrio pero no pueda ir a través de ella. Este es un sistema menos agresivo pero puede confundir a los conductores puesto que su patrón de movimientos es menos claro (Berkeley).
- ° **Salidas en un solo sentido.** Este esquema solo permite contar con unas cuantas entradas al barrio. Es un sistema menos visible que las barreras en las vialidades pero también es más propenso a que no se respete (Toronto).
- ° **Sistemas híbridos.** Un sistema vial evidente no resultará donde existe una alta participación ciudadana y un sistema vial complejo. Distintos elementos podrán aparecer como apropiados para diferentes calles. El resultado puede ser satisfactorio para los residentes, pero un laberinto para los conductores.

Estos sistemas residenciales pueden llamarse unidades vecinales, áreas ambientales, células de tránsito, barrios protegidos. No existe un tamaño óptimo y éste depende de las vialidades, de la densidad de tránsito y del patrón de trazo de las arterias.

#### **5.1.3.2. Protección y compensación por daños al residente**

La modificación o incremento de las emisiones del tránsito (ruido, vibraciones, emisiones) o el ofrecimiento de instalaciones compensatorias pueden verse afectadas por las características del medio ambiente de la vialidad. Los factores más críticos parecen ser los siguientes:

- ° **Pendiente.** Conforme la pendiente se incrementa, las velocidades de descenso pueden incrementarse, así como las emisiones de ruido, vibración y contaminantes.

- ° **Ancho de la vialidad.** Los anchos del arroyo, de la banquetta, los remetimientos y los patios frontales protegen a los residentes del tránsito. Las calles angostas de Londres, San Francisco, Guanajuato, Ciudad de México, por ejemplo, magnifican los impactos del tránsito si se le compara con las vialidades mas anchas de las áreas periféricas.
- ° **Vegetación.** Aun cuando la vegetación puede hacer poco para reducir las emisiones de ruido y contaminantes, la presencia de arbustos y árboles permite enmarcar al tránsito, mejorar la apariencia y compensar por algunas otras desventajas.
- ° **Barreras.** El uso de bardas, paredes y otras pantallas puede reducir el ruido, especialmente en las plantas bajas y con ello incrementar la privacidad.
- ° **Instalaciones.** Un ambiente agradable, espacios para el juego, bancas, iluminación, entre otras pueden incrementar la satisfacción del residente por la calle en que vive.
- ° **Tipos de construcción.** Los edificios ofrecen diferentes grados de protección del tránsito. La altura de los edificios puede incrementar los ecos y atrapar las emisiones, haciendo que los residentes de los pisos superiores experimenten mayores incomodidades.

## 5.2. Residentes

El enfoque que se le dá al presente capítulo es desde el punto de vista del residente, quienes dan a su medio ambiente residencial su propia configuración de necesidades, valores, expectativas y actividades y estilos de vida deseables. Todo ello dependerá de:

- ° **Su vulnerabilidad.** Los niños, ancianos, amas de casa, discapacitados o aquéllos sin jardines o patios son especialmente vulnerables a su medio ambiente y al tránsito.
- ° **Sus recursos.** Aquello con recursos económicos o fuerza política se presentan como mas propensos para demandar o protestar contra una intrusión no deseable.
- ° **Antecedentes sociales.** Las actitudes personales y sociales pueden variar hacia el auto y el medio ambiente residencial. Para aquellos para quienes el auto es una nueva posesión pueden temporalmente valorar mas la *movilidad* que la *vivenciabilidad* de su área habitacional. Dentro del

contexto familiar, el esposo puede darle mas importancia al auto que su esposa, la cual está normalmente mas preocupada por la seguridad de sus hijos en la calle. Esto es particularmente cierto en las familias que por vez primera cuentan con automóvil.

Las percepciones de los residentes se ven afectadas por sus antecedentes y expectativas: no siempre son exactas o correctas, dada la naturaleza selectiva de la percepción y la habilidad de esconder algunos aspectos y puntualizar otros. Por ejemplo, los cambios graduales pueden no ser detectados pero si se detectan los efectos de un cambio repentino el cual puede ser exagerado. Se han identificado diez tipos de intrusión y disrupción en las calles:

- ° Peligro y accidentes
- ° Ruido, vibraciones, emisiones
- ° Apariencia y mantenimiento
- ° Invasión del territorio, de la privacidad y la responsabilidad
- ° Acceso local y estacionamiento
- ° Impactos en la vida de la calle
- ° Impactos en la vida del hogar
- ° Interacción social y vecindad
- ° Crimen
- ° Cambio social

---

### 5.3. Respuestas de adaptación

Los residentes para reducir los efectos negativos del tránsito en su medio ambiente vial, emplean una serie de respuestas de adaptación, siendo las principales:

- ° **Acciones públicas.** Si las condiciones se vuelven intolerables, los residentes acuden a acciones públicas, ejerciendo una presión política al hablar con sus representantes, asistiendo a reuniones, votando o tomando acciones mas directas tal como la detención del tránsito. Las acciones viales no se toman sino hasta que las personas están desesperadas, tal como ocurre cuando un niño ha sido muerto en un accidente automovilístico. Estas acciones están dirigidas a cambiar la naturaleza del tránsito o el comportamiento del conductor mas que ofrecer una protección a los residentes.

- ° **Modificación del medio ambiente y defensa.** Algunos residentes mas activos modifican los impactos negativos cambiando su medio ambiente, erigiendo bardas, plantando árboles, clausurando ventanas, por citar algunos.
- ° **Percepciones adaptativas.** Otros podrán adaptar sus percepciones al encerrar o ignorar impactos no deseables. Esto explica la tolerancia que algunas personas tienen para condiciones intolerables.
- ° **Comportamiento adaptativo.** Algunos medios ambientes desabrables pueden forzar a las personas a cambiar sus patrones de comportamiento. Por ejemplo, modifican la ubicación de los dormitorios a la parte trasera de la casa, prohíben a los niños que jueguen en la calle, entre otros.
- ° **Adaptación de necesidades y expectativas.** Al bajar sus expectativas a niveles mas modestos, algunos residentes pueden aceptar ambientes no agradables. Estas actitudes de resignación aparecen frecuentemente en las entrevistas.
- ° **Migración y selección.** Si no hay cambio posible, las personas emigrarán. Un nuevo grupo o un nuevo uso del suelo --mas adaptado a las condiciones prevalecientes o ignorante de la presencia de éstas-- se mudará. Así, al incrementarse el tránsito, las familias que actualmente viven en determinada vialidad pueden ser substituidas por parejas sin hijos o --si la zonificación lo permite-- los usos residenciales pueden ser modificados por usos comerciales.
- ° **Selecciones equivocadas y adaptación inadecuada.** Los procesos de adaptación no funcionan perfectamente debido a:
  - *Carencia de recursos.* Muchos no pueden seleccionar su medio ambiente deseable o adaptarse al medio ambiente de su calle debido a carencia de recursos económicos, de información, de tal forma que quedan atrapados en calles no agradables.
  - *Trueques y compromisos.* Muchos sacrifican la vivencialidad por la accesibilidad (ver artículo *Highway Blues: Nothing a Little Accessibility Can't Cure*).
  - *Inercia.* Muchos encuentran problemático y molesto el mudarse de casa.
  - *Errores.* Otros residentes hacen errores de juicio al seleccionar su lugar de habitación. La visitan el fin de semana sin considerar que el tránsito presenta sus mayores volúmenes entre semana. Otros no se dan cuenta que la vialidad está en una situación de cambio social.

- **Predicciones.** Estimar el deterioro futuro de las condiciones o cambios repentinos del uso del suelo o de los patrones de circulación está fuera de la capacidad de la mayoría de los residentes y aun de los planificadores.

#### 5.4. Cambios a lo largo del tiempo

Los ajustes que se dan entre el tiempo T y el tiempo T' solamente simbolizan los patrones de interacción y ajuste que evolucionan continuamente a lo largo de la vida de la vialidad y de los residentes.

Se presentan dos cambios fundamentales en la vialidad:

- ° modificaciones en el patrón de movimientos o;
- ° cambios en los residentes.

Ambas situaciones pueden actuar independientemente una del otra o bien, el cambio de las condiciones del tránsito puede inducir a un cambio social. Para aclarar como estos cambios pueden afectar las actitudes de los residentes hacia la vialidad, la Figura 32 describe la experiencia histórica de un residente típico en una vialidad.

- ° **Expectativas iniciales.** Antes de mudarse, el residente prospectivo tiene algunas razones por las que quiere dar este paso. Este visita diferentes opciones de vivienda y de entornos, evalúan y decide mudarse a su nueva casa. Sus antecedentes modelan sus percepciones y actitudes hacia un sitio en particular. Sus expectativas, deseos y miedos referentes al futuro matizan su visión del presente. Solo si se entiende este contexto psicológico, es factible dar respuestas a una situación donde las actitudes de una persona hacia un medio ambiente no se correlacionan con las medidas de calidad ambiental. Se pueden encontrar muchas anomalías: personas satisfechas en calles aparentemente desagradables y personas felices en calles aparentemente atractivas.
- ° **Arribo.** Durante los primeros meses suceden dos cosas. La primera, y mas posible, es que el residente se encuentre satisfecho con su elección. Para muchos este es su periodo de *luna de miel*; la decisión de mudarse fue realizada y cualquier cosa que cuestiona esta decisión es eliminada. Al mismo tiempo, en un periodo de ajuste, la mayoría de las personas modifican su nuevo hogar para ajustar a sus propias necesidades. La segunda posibilidad es que la persona se encuentre defraudada, ya que sus expectativas no cuadraron con la realidad.

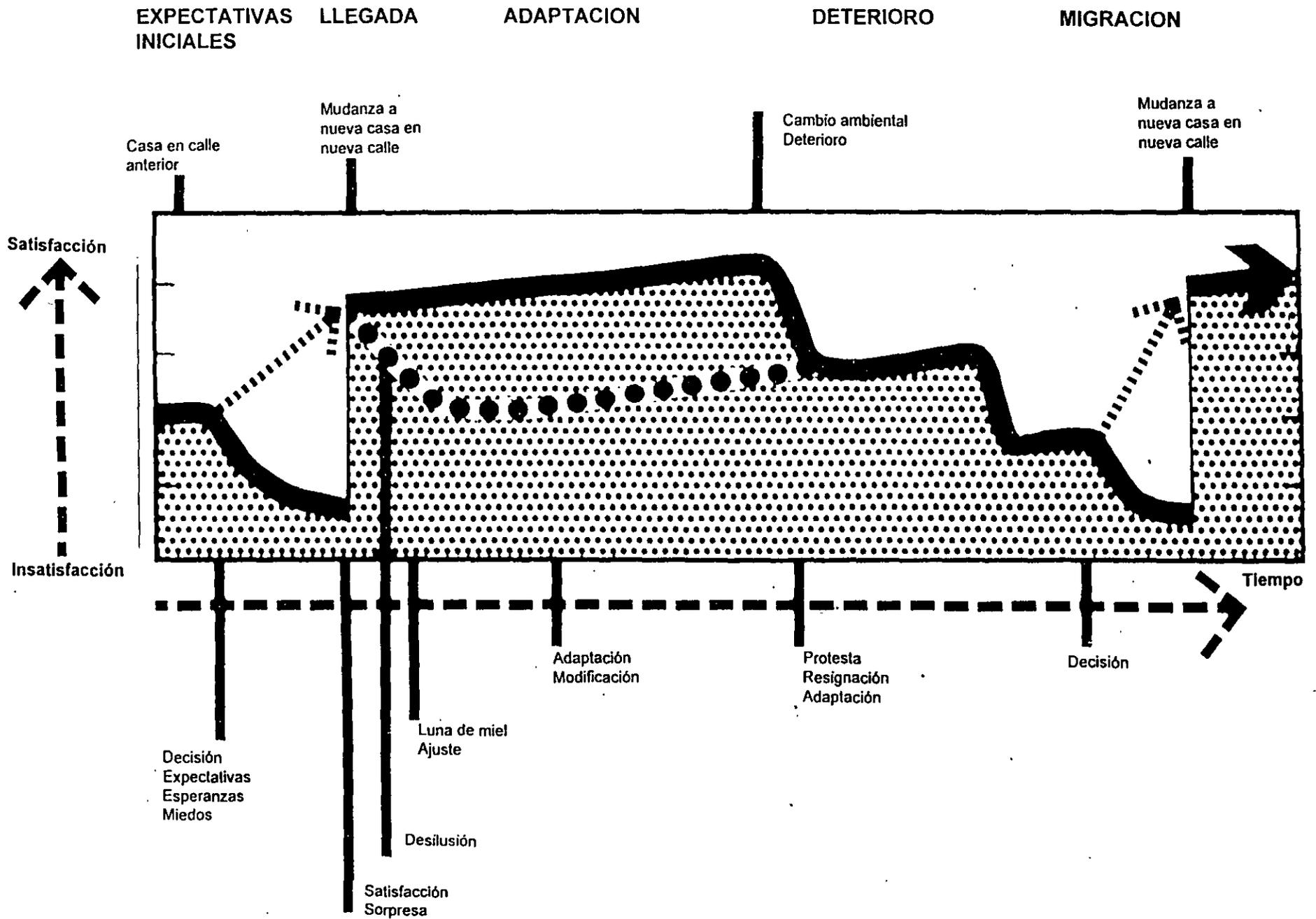


Figura 32. Satisfacción del residente a lo largo del tiempo

93

11/11

- ° **Adaptación.** Después de un tiempo, se presentan adaptaciones de varios tipos y los sentimientos extremos se apaciguarán. La vida se vuelve una rutina, la cual se expresa en forma de una satisfacción prudente.
- ° **Deterioro.** Si se presenta algún deterioro posterior --incremento del tránsito, accidentes graves, cambios sociales, deterioro y abandono lento de edificios, o propuestas para nuevas construcciones-- el residente puede resistir, sentirse desahuciado, o tratar de adaptarse. Dificilmente alguno de estos cambios puede verse como mejoras al área, ya que las expectativas de los residentes fue formada al momento de tomar la decisión de mudarse. Tienden a ver el cambio negativamente conforme se aleja de su noción de un lugar apropiado para vivir. Los cambios impredecibles son las fuentes mas comunes de insatisfacción en calles residenciales y barrios. Si se le entrevista en este momento, el residente toma una postura defensiva puesto que aun espera una mejora o detención del decaimiento. Se muestra renuente a admitir que vive en una calle deteriorada puesto que él es un dueño y los valores de la propiedad pueden declinar. Es típico de este periodo que se obtenga la respuesta lacónica de que está bien su calle.
- ° **Migración.** Si las condiciones se deterioran aun mas y las acciones de adaptación no logran nada, el residente tenderá a emigrar. Una vez tomada esta decisión, su opinión de la calle en la que vive se negativiza al poder comparar con su nueva selección.

Los cambios descritos anteriormente normalmente son causados por acciones independientes que se presentan gradualmente. El tránsito se incrementa poco a poco, un nuevo grupo se empieza a mover al barrio, el sistema de limpieza de la zona baja su calidad. Algunos aspectos son imperceptibles a los que se pueden adaptar con poco esfuerzo, a menos que se llegue a un punto donde se rompa el equilibrio.

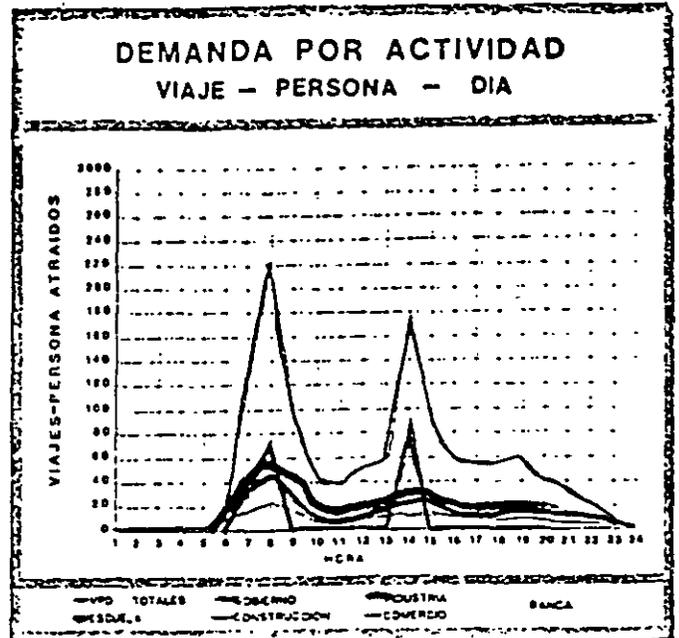
## 6. Estrategias de reducción de emisiones

Se puede hablar de cinco estrategias principales de control y que se distinguen en función del mecanismo por el cual reducen las emisiones. Estos son:

- **Programas de inspección y mantenimiento.** Las emisiones por vehículo kilómetro de una unidad de transporte se ven afectadas por el nivel de mantenimiento. Aun un automóvil que ha sido afinado resientemente puede emitir contaminantes mas de los necesarios si se ha ajustado para obtener un desempeño mayor del motor en lugar de minimizar las emisiones.
- **Estrategias de mejoras en el flujo vehicular.** La velocidad promedio de operación de un automóvil está inversamente relacionada a su tasa de emisión de óxidos de carbono e hidrocarburos, pero es directamente proporcional a la emisión de óxidos de nitrógeno. Para ciertas áreas de alto congestionamiento, ciertos controles de tránsito pueden ser efectivos para incrementar la velocidad y con ello reducir las emisiones de CO y HC. Entre estas medidas están la introducción de semáforos computarizados y la prohibición del estacionamiento en la vía pública.
- **Equipos de control.** La normatividad de emisiones normalmente tiende a solicitar controles adicionales de emisiones de tal manera que requieran la instalación de equipos de control en las unidades que se encuentran operando o bien la conversión de dichas unidades a energéticos que presentan características de bajas emisiones.
- **Transporte público.** El potencial del transporte público para reducir las emisiones de contaminantes se presenta del hecho que permite mover mas gente en un solo vehículo a la vez de reducir la carga vial, conservar la energía y reduce los gastos en nuevas obras viales y automóviles.
- **Reducción de la hora pico.** Puesto que las violaciones a la normatividad ambiental (IMECAS) ocurre normalmente en días hábiles una forma de reducir las emisiones durante estos periodos es la reprogramación de las actividades que requieren el uso del automóvil o del transporte de carga a las horas valle o durante la noche. Se presentan a continuación las Figuras 33 a la 37 que muestra los efectos de variar los horarios de trabajo.

Figura 33.

# VARIACION HORARIA DE LA OFERTA Y DEMANDA: ZONA CENTRO



HORA	VPD	INGRESO AUTOS	%	GOBIERNO	%	INDUSTRIA	%	BANCA	%	CONSTRUCCION	%	COMERCIO	%	ESCUELA	%	OFERTA	%
1	719	80	0.1			517	0.1			202	0.1					1870	0.2
2	252	28	0			181	0			71	0					654	0.1
3	395	44	0			284	0.1			111	0.1					1028	0.1
4	359	40	0			259	0.1			101	0.1					3478	0.3
5	1007	112	0.1			724	0.2			282	0.2					8114	0.7
6	9002	1005	0.7			5661	1.3			2209	1.3			1129	0.5	25387	2.3
7	125318	13998	9.7	3256	11.6	41274	9.8			16103	9.8			35346	16.5	64780	5.7
8	223187	24930	17.3	44178	15.8	66342	15.8	16610	21.2	25882	15.8			70106	32.7	104124	9.2
9	98894	11046	7.7	23128	8.2	34731	8.2	10728	13.7	13550	8.2	14400	10.9	2308	1.1	91710	8.1
10	49996	5585	3.9	10578	3.8	15885	3.8	7221	9.2	6197	3.8	8694	6.6	1393	0.6	53428	4.7
11	40042	4473	3.1	8024	2.9	12049	2.9	6507	8.3	4701	2.9	7533	5.7	1206	0.6	48630	4.3
12	52434	5857	4.1	10514	3.7	15788	3.7	10046	12.8	6160	3.7	8530	6.4	1366	0.6	49560	4.4
13	61520	6872	4.8	12846	4.6	19291	4.6	10697	13.6	7526	4.6	9590	7.2	1536	0.7	69204	6.1
14	178424	19930	13.8	20620	7.4	30965	7.4	12871	16.4	12080	7.4	13125	9.9	88714	41.4	83314	7.4
15	90339	10090	7.0	22712	8.1	34105	8.1	3688	4.7	13306	8.1	14211	10.7	2278	1.1	91764	8.1
16	66668	7447	5.2	16883	6.0	25353	6.0			9891	6.0	12507	9.4	2007	0.9	79583	7.1
17	58559	6541	4.5	14667	5.2	22025	5.2			8593	5.2	11421	8.6	1830	0.9	69136	6.1
18	57051	6372	4.4	14254	5.1	21405	5.1			8351	5.1	11219	8.5	1798	0.8	67192	6.0
19	62800	7015	4.9	15826	5.6	23766	5.6			9272	5.6	11989	9.1	1921	0.9	63944	5.7
20	42064	4698	3.3	10157	3.6	15252	3.6			5950	3.6	9212	7.0	1476	0.7	47876	4.2
21	38060	4251	2.9	12323	4.4	18505	4.4			7219	4.4					41491	3.7
22	22412	2503	1.7	7256	2.6	10897	2.6			4251	2.6					34204	3.0
23	10695	1195	0.8	3463	1.2	5200	1.2			2029	1.2					23317	2.1
24	1337	149	0.1	433	0.2	650	0.2			254	0.2					2914	0.3
SUMA	1291534	144264	100.0	280424	100.0	421109	100.0	78368	100.0	164289	100.0	132430	100.0	214414	100.0	1126700	100.0
PORCENTAJE		100.0	%	21.7	%	32.6	%	6.1	%	12.7	%	10.3	%	16.6	%		

### HORARIOS ACTUALES DE ENTRADA CONSIDERADOS

- GOBIERNO ENTRE LAS 7 Y 9 HRS.
- INDUSTRIA A LO LARGO DEL DIA CON CENTRADO ENTRE LAS 7 Y 9 HRS.
- BANCA ENTRE LAS 8 Y 9 HRS.
- COMERCIO ENTRE LAS 9 Y 10 HRS.
- ESCUELAS: SECUNDARIA, BACHILLERATO Y PRIMARIA 8 Y 9 HRS. 14 Y 15 HRS. PREESCOLAR 8 Y 9 HRS.

### FUENTE EN BASE A :

- CAMARA NACIONAL DE COMERCIO DE LA CIUDAD DE MEXICO. PROBLEMAS DE CIRCULACION VIAL DE LA CIUDAD DE MEXICO Y SU POSIBLE TRATAMIENTO. MEXICO S.E. CA. 1981.
- COORDINACION GENERAL DE TRANSPORTE. ANUARIO DE VIALIDAD Y TRANSPORTE 1984. MEXICO: PEREZ Y RICO 1985.
- DIRECCION GENERAL DE POLITICA POBLACIONAL. AGENDA ESTADISTICA SOCIODEMOGRAFICA DEL D.F. MEXICO DDF 1984.
- COMISION DE VIALIDAD Y TRANSPORTE URBANO. DISTRIBUCION DE MOTIVOS QUE ATRAEN VIAJES. MEXICO ESTUDIO DE ORIGEN Y DESTINO 1984.

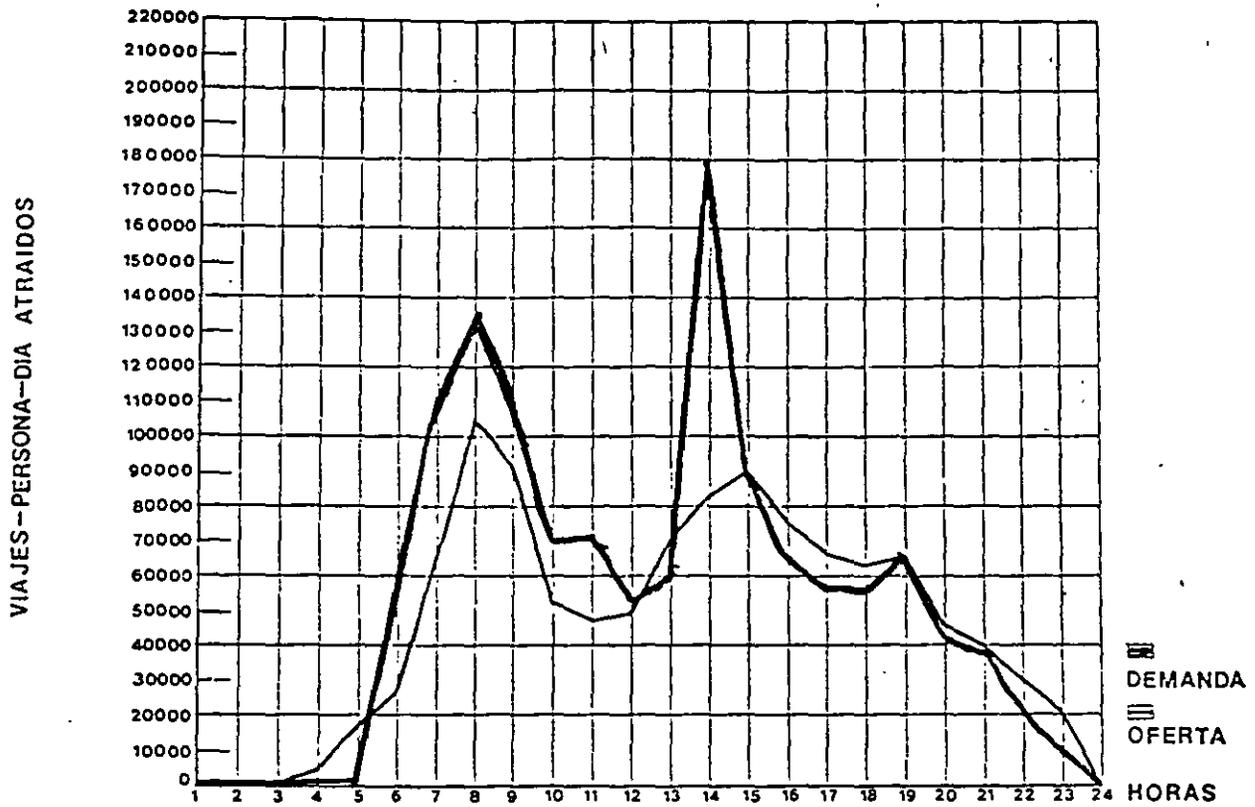
SE CONSIDERAN DEL TOTAL DE VPD. UN 81% SE REALIZA EN TRANSPORTE PUBLICO Y EL 19% EN VEHICULOS PARTICULARES

NO SE CONSIDERAN LAS PERDIDAS DE INFRAESTRUCTURA GUBERNAMENTAL ESCOLAR Y DE SERVICIOS DERIVADO DE LOS SISMOS DEL PASADO SEPTIEMBRE DE 1985

96

# ALTERNATIVA 1 FRACTURACION DE HORARIOS

## DEMANDA Y OFERTA DE TRANSPORTE EN ZONA CENTRO FRACTURACION DE HORARIOS



### CONSIDERACIONES

SE REPARTEN 546,237 VPD EN INTERVALOS DE 1 HR ENTRE LAS 6 Y 11 HRS. ESTE VALOR INCLUYE LOS VPD ESCOLARES ESTIMADOS.

SE MANTIENEN LOS VPD ESCOLARES TAL Y COMO SE ESTIMA SE DAN EN LA SITUACION ACTUAL

HORA	VPD	GOBIERNO	INDUSTRIA	BANCA	CONSTRUCCION	COMERCIO	ESCUELA
6	10.0%	0.0%	26.7%	0.0%	9.3%	0.0%	1.0%
7	20.0%	6.4%	30.9%	0.0%	17.6%	0.0%	31.7%
8	25.0%	30.5%	1.1%	18.5%	30.3%	0.0%	62.9%
9	20.0%	39.8%	19.7%	28.6%	19.7%	0.0%	2.1%
10	12.5%	16.5%	14.7%	16.4%	9.0%	28.4%	1.2%
11	12.5%	6.8%	6.8%	36.5%	14.1%	71.6%	1.1%
<b>PORCENTAJE</b>							
	100.0%	100.0%	100.0%	100.0%	100.0%	100.0%	100.0%

### RESULTADOS

SE REALIZAN 245,000 VPD ENTRE LAS 7 Y 9 HRS. EN COMPARACION CON LOS 348,000 VPD QUE SE LLEVAN A CABO ACTUALMENTE (103,000 VPD MENOS 29.6%)

SE PRESENTA UN DEFICIT MUY ALTO ENTRE LAS 14 Y 15 HRS. DE 95,000 VPD. LA OFERTA AUN CUANDO ASCIENDE EN ESE PERIODO NO PUEDE CUBRIR LA DEMANDA. SE DIFICULTA LA FRACTURACION DE HORARIOS VESPERTINOS ESCOLARES PUESTO QUE IMPLICA TERMINAR TARDE LAS CLASES, ESPECIALMENTE EN ESCUELAS PRIMARIAS Y SECUNDARIAS.

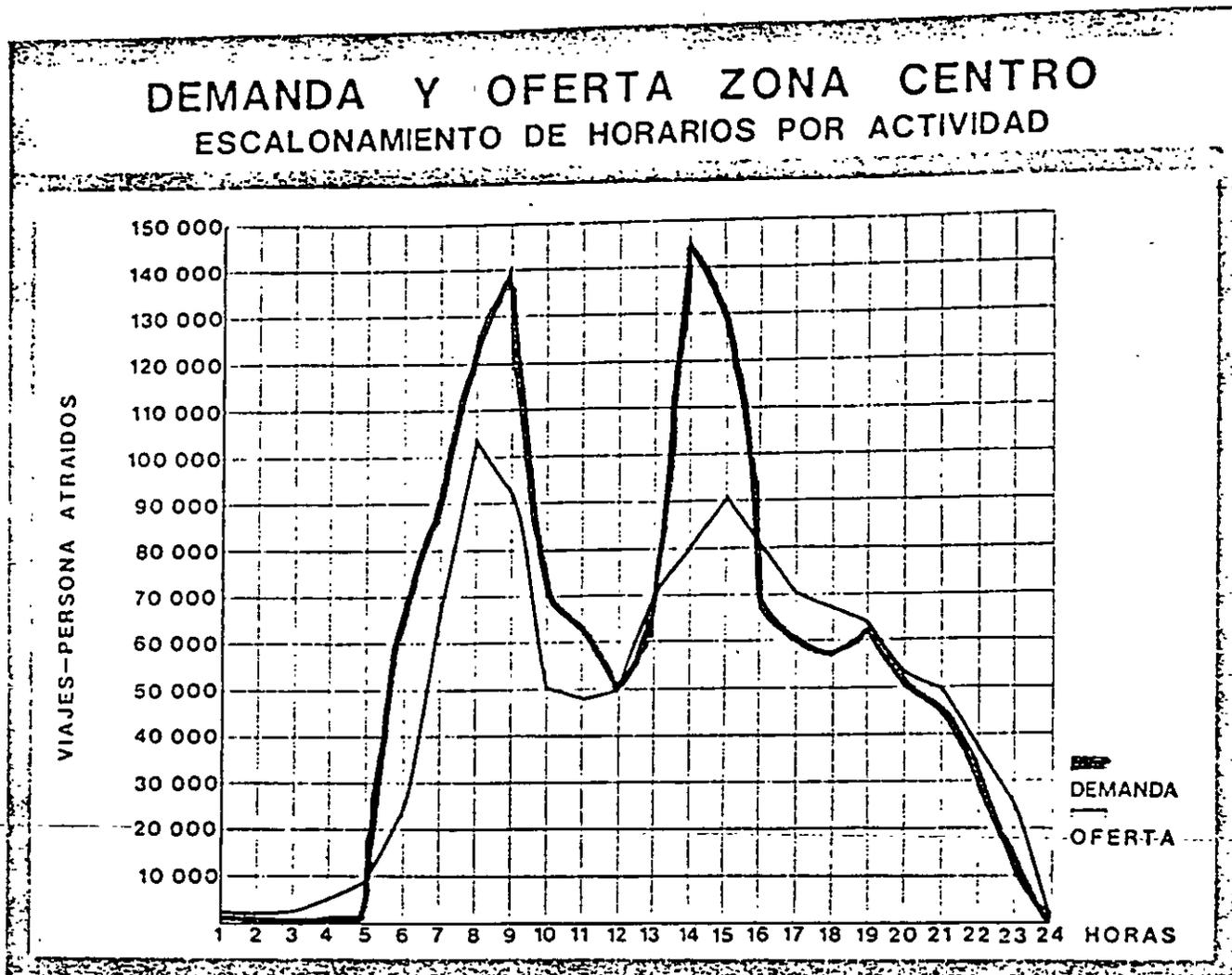
DESPUES DE LAS 16 HRS. SE LOGRA UN SERVICIO ADECUADO DE TRANSPORTE CON UNA OFERTA POR ARRIBA DE LA DEMANDA.

AUN CUANDO LA DEMANDA ES MAYOR QUE LA OFERTA EN EL PERIODO MATUTINO ESTA SE MANTIENE CONFORME A LA TENDENCIA DE LA OFERTA LO CUAL IMPLICA QUE SE PUEDE BALANCEAR EL SISTEMA DE TRANSPORTE AL INCREMENTAR EL PARQUE VEHICULAR ASI COMO EL MANTENIMIENTO DE LAS UNIDADES (STE Y R100)

LA REDUCCION DE 103,000 VPD ENTRE LAS 7 Y LAS 9 HRS REPRESENTA 11,000 AUTOMOVILES MENOS EN CIRCULACION DURANTE ESAS DOS HORAS LAS CUALES SE REPARTEN ANTES Y DESPUES DE ESE PERIODO.

Figura 35

**ALTERNATIVA 2 ESCALONAMIENTO DE HORARIOS POR ACTIVIDAD**



## CONSIDERACIONES

### GOBIERNO INICIA

80% ENTRADA 9 HRS. SALIDA 17 HRS  
20% ENTRADA 10 HRS. SALIDA 18 HRS

### INDUSTRIA INICIA

55% ENTRE 6 Y 7 HRS. SALIDA 14 Y 15 HRS  
45% ENTRE 7 Y 8 HRS. SALIDA 15 Y 16 HRS

### BANCA INICIA

100% ENTRADA 10 HRS. SALIDA 18 HRS

### COMERCIO INICIA

100% ENTRADA 11 Y 12 HRS. SALIDA 19 Y 20 HRS

### ESCUELA INICIA

2.5% SECUNDARIA BACHILLERATO Y NORMAL  
ENTRADA ENTRE 7 Y 8 HRS  
47.5% SECUNDARIA BACHILLERATO Y NORMAL  
ENTRADA ENTRE 9 - 10 HRS  
50% SECUNDARIA BACHILLERATO Y NORMAL  
ENTRADA ENTRE 15 Y 16 HRS  
100% PREESCOLAR Y 50% PRIMARIA ENTRADA  
ENTRE 8 Y 9 HRS. SALIDA 14 HRS  
50% PRIMARIA ENTRADA 14 HRS. SALIDA 18 HRS  
ESTUDIOS SUPERIORES ENTRADA Y SALIDA  
CONFORME AL PATRON HORARIO ACTUAL

## RESULTADOS

SE REDUCEN EN 146.000 VPD ENTRE LAS 7 Y LAS 9 HRS. LO QUE IMPLICA QUE DEJARAN DE CIRCULAR DURANTE ESAS HORAS 16.300 VEHICULOS Y SE TRANSFERIRAN A OTRAS HORAS 118.600 VPD EN TRANSPORTE PUBLICO

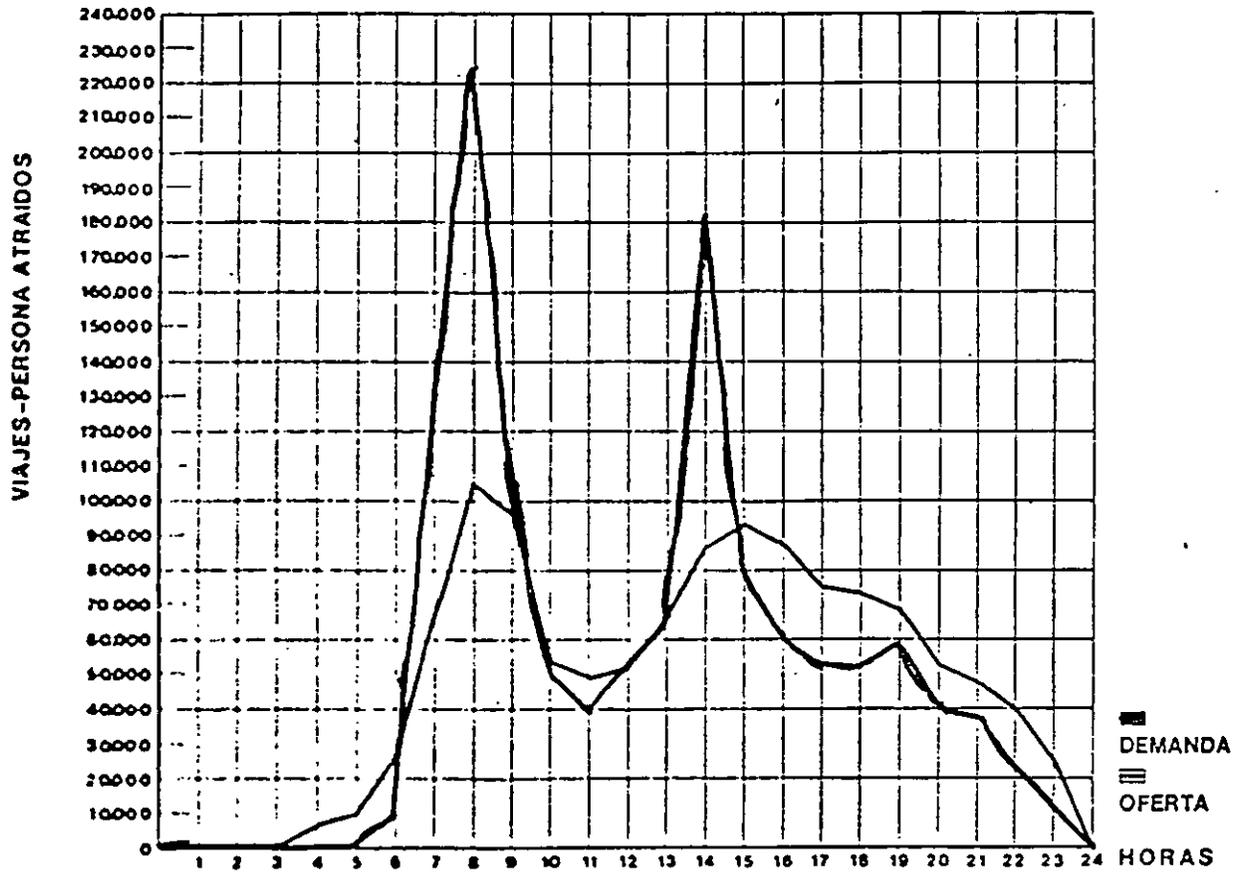
SE REDUCE UN 41.81% LOS VPD QUE SE PRESENTAN ENTRE LAS 7 Y 9 HRS

98  
492

Figura 36

**ALTERNATIVA 3 HORARIO CORRIDO**

**DEMANDA Y OFERTA ZONA CENTRO  
(HORARIO CORRIDO)**



**CONSIDERACIONES**

LOS VPD ESCOLARES NO SUFREN MODIFICACION EN SU SITUACION ACTUAL AL SER EN SU GRAN MAYORIA DE HORARIO CORRIDO

SE MANTIENEN LOS HORARIOS ESCOLARES ACTUALES

HORARIOS ACTUALES DE ENTRADA CONSIDERADOS

**GOBIERNO**  
ENTRE LAS 7 Y 9 HRS

**INDUSTRIA**  
A LO LARGO DEL DIA CONCENTRADO ENTRE LAS 7 Y 9 HRS

**BANCA**  
ENTRE LAS 8 Y 9 HRS

**COMERCIO**  
ENTRE LAS 9 Y 10 HRS

**ESCUELAS**  
SECUNDARIA BACHILLERATO Y PRIMARIA 8 Y 9 HRS 14 Y 15 HRS  
NORMAL 7 Y 8 HRS 14 Y 15 HRS  
PREESCOLAR 8 Y 9 HRS

**RESULTADOS**

NO SE REALIZAN 57 000 VPD QUE REPRESENTAN UN 6% DEL TOTAL DE VPD ATRAIDOS A LA ZONA CENTRO

LOS HORARIOS ESCOLARES AL SER CONTINUOS NO AFECTAN LA DISTRIBUCION HORARIA DE LA DEMANDA A LO LARGO DEL DIA

AL CONSIDERAR EL TURNO VESPERTINO ESCOLAR SE MODIFICA LA HORA DE MAXIMA DEMANDA DE LA 14 A LAS 15 HRS CON UNA DEMANDA QUE SOBREPASA LA OFERTA EN 95000 VPD

SE TIENE UN DEFICIT DURANTE TODO EL DIA DE 107 000 VPD AUN CUANDO LA OFERTA DESPUES DE LAS 15 HRS ES MAYOR QUE LA DEMANDA

SE EVITA QUE PENETREN A LA ZONA DE ESTUDIO 6 300 AUTOMOVILES

Figura 37

**ALTERNATIVAS DE ACCION**

ALTERNATIVA	DESCRIPCION	VENTAJAS RELATIVAS	DESVENTAJAS RELATIVAS	ACTIVIDADES SUSCEPTIBLES A PARTICIPAR
FRAGMENTACION DE HORARIOS	SE VARIAN LAS HORAS DE ENTRADA Y SALIDA DE GRUPOS DE EMPLEADOS DENTRO DE UNA MISMA EMPRESA	<ul style="list-style-type: none"> <li>• SE EVITA LA PLATICA INFORMAL AL INICIO Y AL TERMINO DE LAS ACTIVIDADES</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• INCOMPATIBILIDAD CON HORARIOS DE OTROS DEPARTAMENTOS</li> <li>• INTERFERENCIA CON PERSONAL DE SERVICIO</li> <li>• DIFICIL PARTICIPACION DE EMPRESAS PEQUEÑAS</li> <li>• MAYOR GASTO EN SERVICIOS</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- INDUSTRIA</li> <li>- BANCA</li> <li>- COMERCIO</li> </ul>
HORARIOS CORRIDOS	SE ELIMINA, O BIEN SE MANTIENE A UN MINIMO EL TIEMPO ASIGNADO AL ALMUERZO	<ul style="list-style-type: none"> <li>• SE REDUCEN LOS VIAJES A MEDIO DIA</li> <li>• AHORRO EN SERVICIOS</li> <li>• MAYOR CONTROL Y SEGURIDAD</li> <li>• EL EMPLEADO DISPONE DE MAS TIEMPO LIBRE</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• INCOMPATIBILIDAD CON HORARIOS DE OTRAS EMPRESAS</li> <li>• FUERTES DEMANDAS EN LA MAÑANA Y TARDE</li> <li>• INCOMPATIBILIDAD CON LOS HORARIOS DE LA ALTA DIRECCION</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• CONSTRUCCION</li> <li>- COMERCIO</li> </ul>
ESCALONAMIENTO DE HORARIOS POR ACTIVIDAD	SE VARIAN LAS HORAS DE ENTRADA Y SALIDA DE LAS EMPRESAS DE ACUERDO A SU GIRO O ACTIVIDAD	<ul style="list-style-type: none"> <li>• FACTIBLE</li> <li>• IMPLANTACION</li> <li>• Poca SUPERVISION Y CONTROL INTERNO</li> <li>• MINIMOS AJUSTES INTERNOS EN LA ORGANIZACION</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• SE REQUIERE CONCERTACION ENTRE LOS DIFERENTES SECTORES QUE PARTICIPAN</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• GOBIERNO</li> <li>• BANCA</li> <li>• INDUSTRIA</li> </ul>

103  
47E



**FACULTAD DE INGENIERIA U.N.A.M.  
DIVISION DE EDUCACION CONTINUA**

**DIPLOMADO INTERNACIONAL DE TRANSPORTE**

**MODULO II: PLANIFICACION DEL TRANSPORTE URBANO**

**TEMA: INTRODUCCION AL PROCESO DE PLANIFICACION DEL  
TRANSPORTE URBANO**

**PRESENTA: ARQ. SONIA LIST MENDOZA**

**PRIMAVERA 1997**

# INTRODUCCIÓN AL PROCESO DE PLANIFICACIÓN DEL TRANSPORTE URBANO

## INTRODUCCIÓN

Antes de iniciarnos a explicar el Proceso de Planificación del Transporte Urbano, es necesario mencionar algunos conceptos generales.

La historia de las civilizaciones está estrechamente vinculada al desarrollo de los transportes y de las comunicaciones.

“Para demostrarlo se destaca la relación estrecha que ha prevalecido entre el transporte y el comercio. La historia de la humanidad proporciona ejemplos que demuestran que el transporte no es una respuesta mecánica para acercar una mercancía a una demanda, sino que es un instrumento imprescindible en los procesos de estructuración y expansión geográfica de los mercados”.

“El transporte es uno de los motores de la expansión de la economía de mercado. La disponibilidad de medios para poner en movimiento la oferta de bienes materiales, ha sido el origen de la construcción de los espacios económicos, la especialización espacial de la producción y la polarización del desarrollo.”<sup>2</sup>

**COMUNICACIÓN.** Comunicar proviene del latín “Comunicare”, consiste en hacer común, en hacer partícipe a otro de lo que se tiene material ó intelectualmente.

La prosperidad del mundo en general ha dependido de los avances en la comunicación. “Así como la historia económica de la humanidad se

---

<sup>1</sup> Dr.Cortez Claude. Flujos Comerciales y de Transporte- Un Panorama Histórico. IMT:SCT.Documento Técnico 13. Sanfandila, Qro. 1995

<sup>2</sup> Dr.Cortez Claude.Ibid.,p.5  
Planeación 97  
Ing. Román Vázquez Berber

ha caracterizado...por superar las restricciones impuestas por el medio natural y el ambiente cultural de las sociedades”.<sup>3</sup>

Una de las principales tareas de la comunidad para fomentar el progreso y las relaciones humanas, se centra en la actividad de transmitir a los demás: Los pensamientos, las ideas, los avances, los descubrimientos, las emociones, ésto es a través de la palabra hablada ó escrita y otros medios así como el acercamiento de las mercancías a las demandas.

El concepto de comunicación se ha enriquecido a través de las consecuciones del ingenio humano, que representaron los cimientos de las sociedades y los intercambios entre pueblos.

Actualmente los avances en la comunicación durante éste siglo, han sido inimaginables, como lo vivimos a diario, especialmente en los últimos 15 años. “Hoy en día los transportes están contribuyendo a crear una economía de mercado a escala planetaria”.<sup>4</sup>

---

## **COMPONENTE URBANÍSTICA Y USO DEL SUELO**

Todos los pobladores del planeta, se agrupan para vencer los obtáculos de su desarrollo, propiciándose así el nacimiento de las ciudades.

“El traslado de personas y bienes sería la única constante que definiese al transporte...” cuando se intenta estudiar el proceso de urbanización que experimentan todos los países del mundo, es un hecho irreversible de los grupos humanos que tienden a vivir en forma comunitaria para lograr mayores índices de bienestar.

---

<sup>3</sup> Dr. Cortez Claude.Ibid.,p.5

<sup>4</sup> Dr. Cortez Claude.Ibid., p.6

Resalta el hecho que en países en desarrollo como el nuestro, vivamos permanentemente en déficit en términos de dotación de vivienda y servicios, debido al acelerado crecimiento poblacional.

En relación al transporte urbano de pasajeros y de carga, en la actualidad se destacan tres aspectos que deberán vincularse con las normas, tendencias e impactos en el desarrollo urbano:

1o. El avance de las tecnologías aplicadas a los sistemas de transporte urbano.

2o. La capacidad y versatilidad de los diversos sistemas de transporte urbano.

3o. La planeación y realización de obras para el transporte en los diversos horizontes: corto, mediano y largo plazos.



**FACULTAD DE INGENIERIA U.N.A.M.  
DIVISION DE EDUCACION CONTINUA**

**DIPLOMADO INTERNACIONAL DE TRANSPORTE**

**MODULO II: PLANIFICACION DEL TRANSPORTE URBANO**

**TEMA: LOCALIZACION DE UN PUENTE DE ZONA URBANA EN  
BASE A UN ESTUDIO DE ORIGEN Y DESTINO**

**PRESENTA: ING. ROMAN VAZQUEZ BERBER**

**PRIMAVERA 1997**

# LOCALIZACION DE UN PUENTE DE ZONA URBANA EN BASE A UN ESTUDIO DE ORIGEN Y DESTINO

Ing. Román Vázquez Berber

## Localización de un puente.

El Método de Momentos también puede ser utilizado en la localización óptima de un puente o cruce de un río por diversos medios tales como se ilustra en la Fig. 6-10.

Utilizando la misma ciudad hipotética y los datos de las Figs 6-3 6-4, se propone ubicar el mejor cruce en el río para todos los movimientos de tránsito. Los centroides de todos los distritos han sido localizados por el Método de Momentos o utilizando criterios prácticos en base a usos de suelo, patrones de distribución de calles y condiciones que utilizan las líneas de deseo para cruzar el río por el tránsito generado en los distritos y estaciones que quieren dirigirse al otro lado del río. Los volúmenes de cada línea de deseo se indican en la Fig.6-10.

Puesto que todo el tránsito deberá cruzar el río en un punto, la línea recta que sigue más cercanamente el curso del río, forma un eje y puede ser usada como una línea de referencia. El punto en el cual cada línea de deseo cruza éste eje es la localización ideal para el cruce de un volumen de tránsito en particular.

Los momentos de cada volumen que cruza el río se toman con respecto a un eje arbitrario, tal como se muestra en el punto M sobre el eje del río. Por ejemplo, el movimiento interzonal entre los distritos 3 y 11 es de 1 300 vehículos. La línea de deseo de éste movimiento de cruce cae a 0.46 km desde el punto de referencia M, y su momento con respecto a M es por lo tanto 598 vehículos-kilómetro. La suma de todos los momentos es de 106547 vehículos-kilómetro. Puesto que la tabla muestra el total de vehiculos que cruzan y que es de 96 773 veh., los cruces ideales del río para éste tránsito es de  $106\ 547 / 96\ 773$ , o 1.10 kilómetros, río arriba del punto de referencia M.

## Volúmenes de Tránsito Relativo:

A lo largo de la línea de deseo AD = 1000 veh.  
CF = 2000 veh.  
AF = 3000 veh.

## Localización del puente.

1) La vialidad Oeste y la vialidad Este son igualmente deseables para su uso:

Despreciando el Tránsito AF:

$$\begin{aligned}\Sigma M_{\text{puente}} &= 0 = AD \times \text{distancia} - CF \times \text{distancia.} \\ &= 1000 D''_1 - 2000 D'_1 \\ D''_1 &= 2 D'_1\end{aligned}$$

En la práctica., los patrones de calles y red vial en general, así como las condiciones de tránsito y otras consideraciones frecuentemente modifican la aplicación del Método de Momentos al analizar los datos de O-D y al encarar un problema para el cruce de un río. La Fig. 6-11 muestra un diagrama de 6 zonas de O-D colindantes a un río, se muestran las líneas de deseo y las trayectorias actuales de viaje entre las zonas A y D, A y F y C y D. La localización calculada para el puente se muestra en la posición 1.

En éste caso, las condiciones del camino y del tránsito a lo largo de los bordos del río son idénticos y las consecuencias variarán poco con respecto a la localización del puente entre A y F. Pero para el flujo de tránsito A-D y C-F hay una solución única e ideal que es obvia.

En el caso de los movimientos de tránsito calculados desde el flujo A-F y los otros movimientos diagonales no deberán ser considerados, solo aquellas corrientes de tránsito que formen un patrón en forma de U, J o de gancho deberán ser consideradas.

Por otro lado, si las vialidades ubicadas a lo largo de los bordos del río son desiguales para los movimientos de viaje, es necesario evaluar el grado de desigualdad y considerar los deseos diagonales del tránsito en el mismo grado.

En algunos casos los tiempos de viaje pueden ser empleados en lugar de las distancias de viaje, de tal manera que los movimientos estén expresados en vehículos-minuto en vez de vehículos-kilómetro. La ubicación del puente se define sobre la base del tiempo de viaje mínimo en vez de la distancia de viaje mínima.

Fuente: Theodore M. Matson, Wilbur S. Smith y Frederick W. Hurd. "Traffic Engineering".

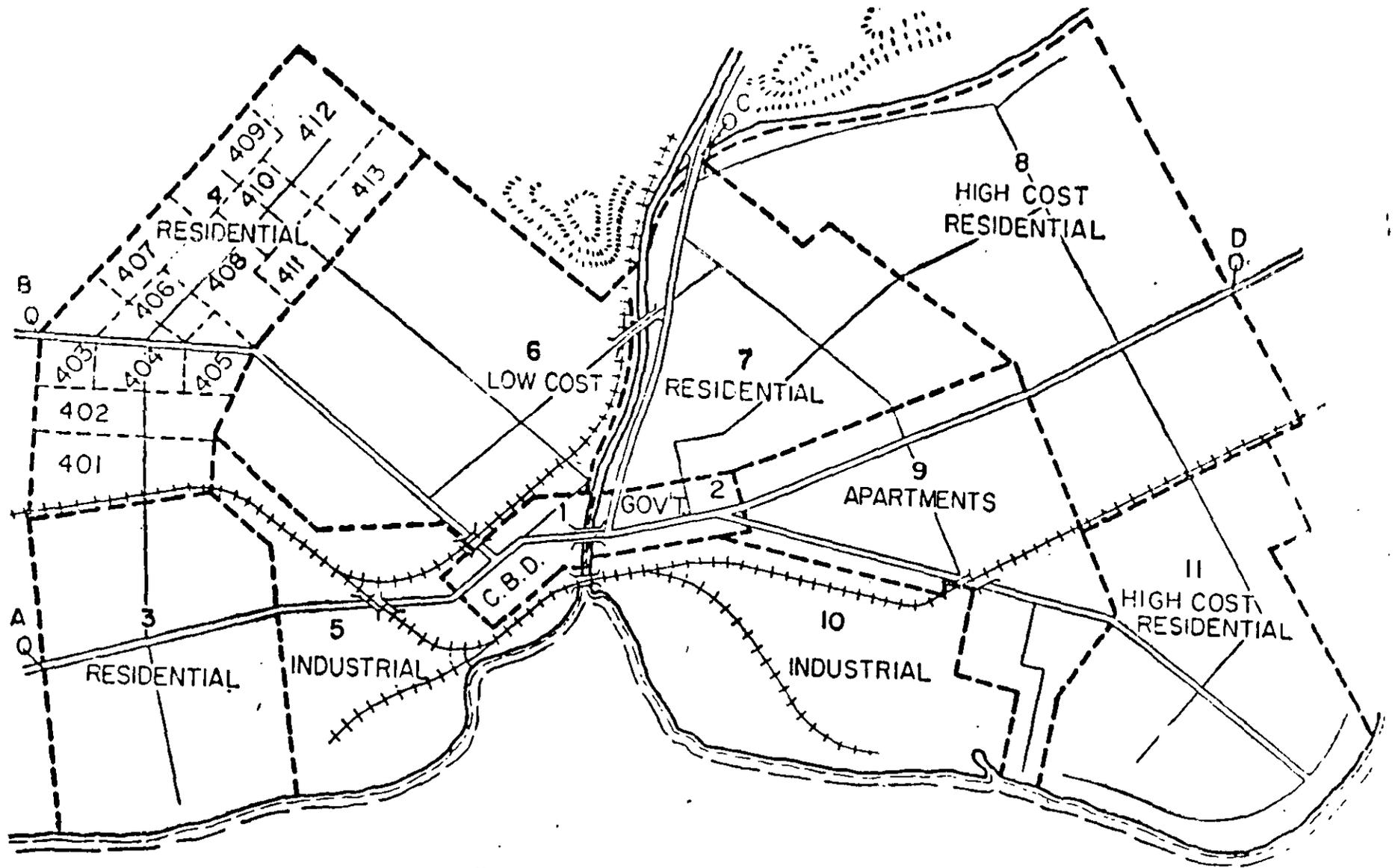


FIG. 6-3. Districts and zones of O-D for a hypothetical city.

**TOTAL PRIVATE PASSENGER VEHICLE TRIPS**  
**DISTRICTS OF DESTINATION**

DISTRICTS OF ORIGIN		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	SUB TOTAL	A	B	C	D	SUB TOTAL	GRAND TOTAL
	1	9526	1143	849	862	4002	1028	804	3195	5310	3692	3157	33568	2066	1689	989	1066	5810	39378
	2	1092	2786	579	645	888	231	455	825	1735	1139	892	11267	467	962	196	157	1791	13058
	3	761	469	155	355	1110	134	147	84	358	834	698	5105	498	667	231	181	1577	6682
	4	769	653	329	326	1161	343	103	284	255	931	694	5848	149	354	161	135	799	6647
	5	4046	761	1188	961	3122	723	612	1920	3697	2107	1558	20695	479	1128	273	222	2102	22797
	6	1004	281	139	337	908	500	503	485	286	951	822	6216	170	302	154	134	760	6976
	7	826	391	123	110	657	394	401	473	913	1203	897	6388	158	219	197	156	730	7118
	8	3026	928	111	240	2022	480	475	1255	3678	3281	2990	18486	135	301	321	310	1067	19553
	9	5233	1718	345	279	3604	420	941	3080	1090	4733	3390	24833	303	538	236	329	1406	26239
	10	4006	1129	850	988	2041	903	1149	3645	4507	2856	1984	24058	427	1030	215	403	2075	26133
11	3201	961	602	595	1675	815	803	3527	3444	2260	2070	19953	296	571	212	311	1390	21343	
SUB TOTAL	33490	11220	5270	5698	21190	5971	6393	18773	25273	23987	19152	176417	5157	7761	3185	3404	19507	195924	
A	2199	484	463	172	386	195	172	180	315	527	352	5445		86	592	632	1310	6755	
B	1687	845	570	337	1125	276	144	346	555	977	364	7226	126		1135	650	1911	9137	
C	1010	214	232	160	259	147	173	322	248	350	178	3293	420	937		472	1029	5122	
D	1003	166	184	137	214	133	142	332	404	267	336	3318	300	630	454		1384	4702	
SUB TOTAL	5899	1709	1449	806	1984	751	651	1180	1522	2121	1230	19282	846	1653	2181	1754	6434	25716	
GRAND TOTAL	39389	12929	6719	6504	23174	6722	7024	19953	26795	26108	20382	195699	6003	9414	5366	5158	25941	221640	

FIG. 6-4. Tabular array of O-D data by district and station interchange.

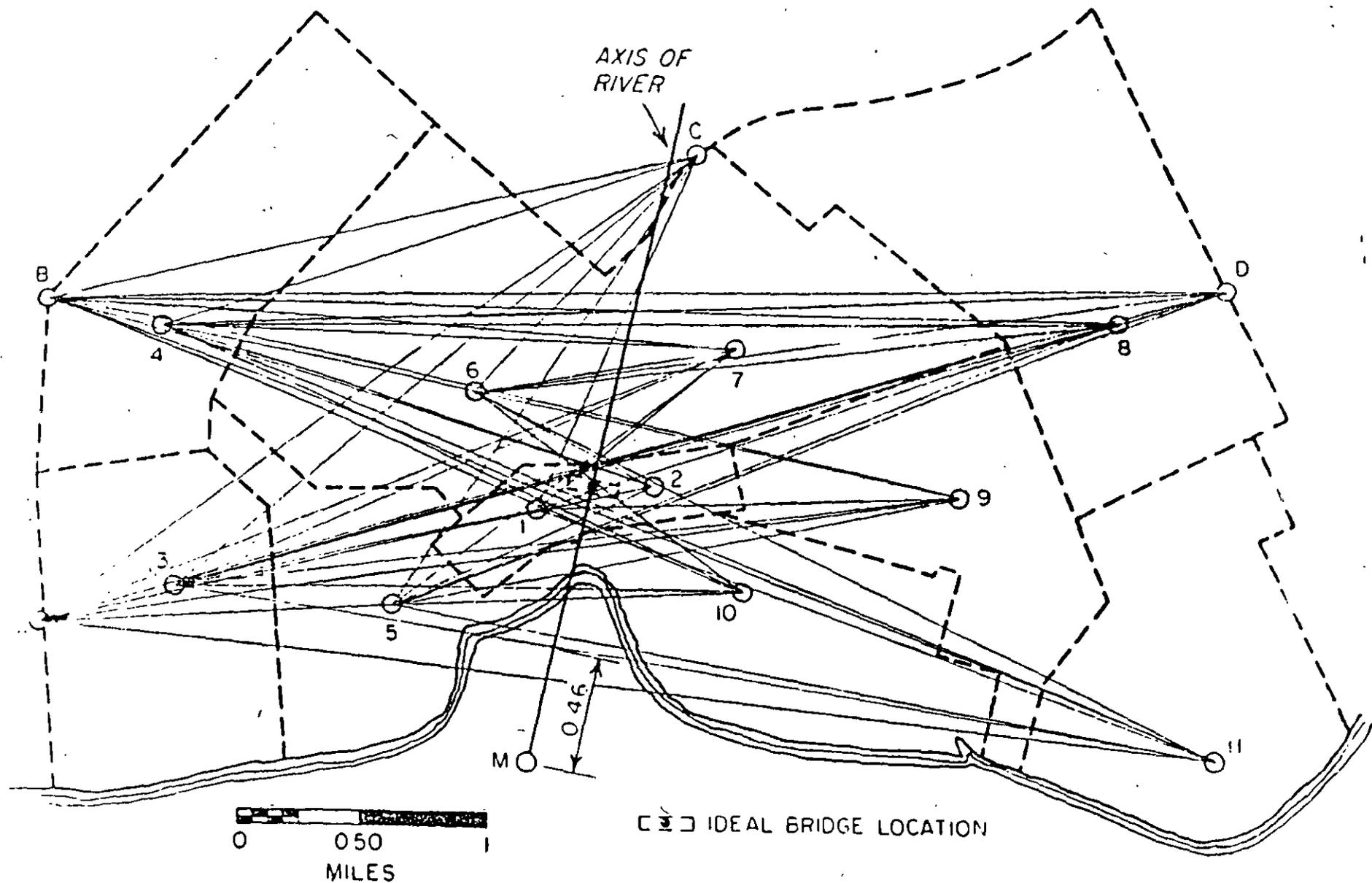


FIG. 6-10. Bridge location by method of moments.

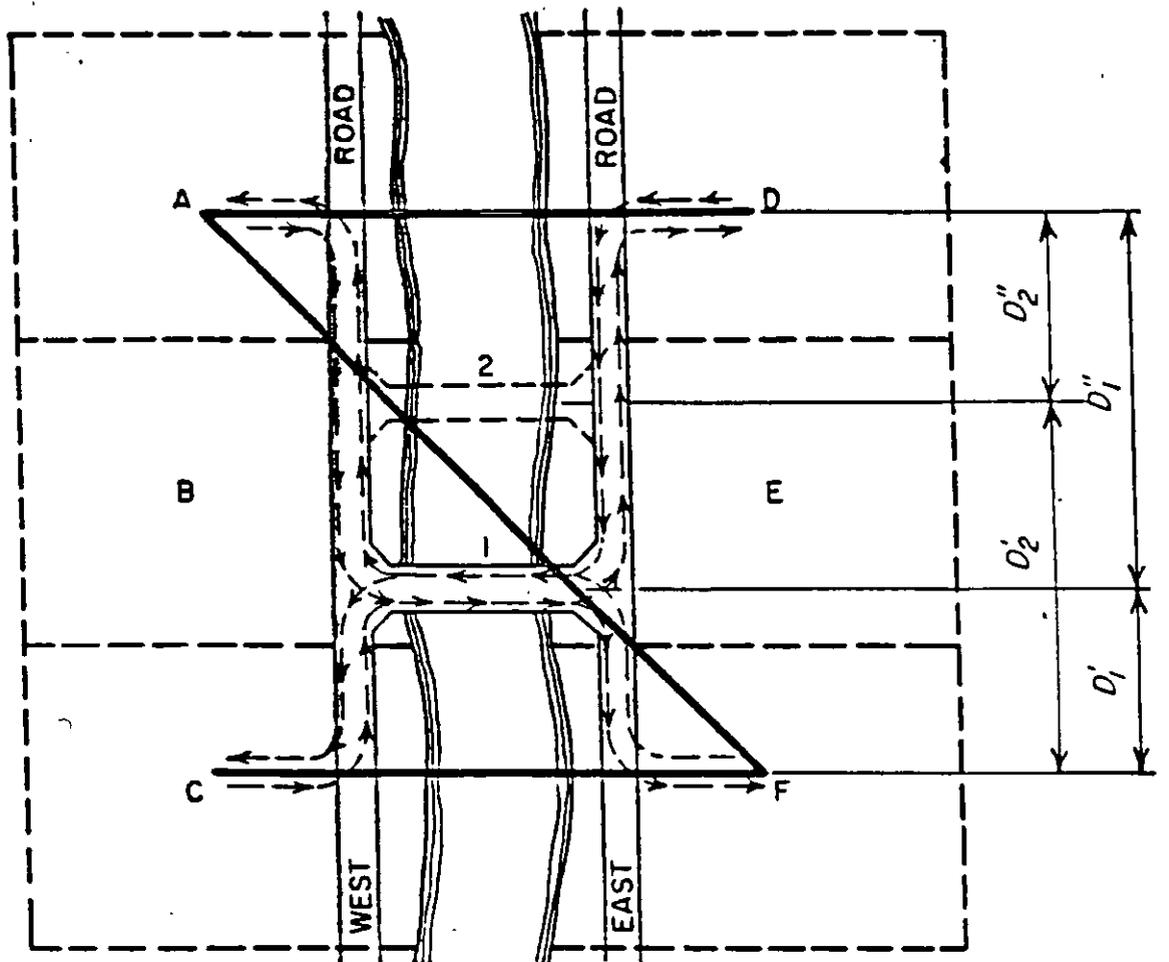
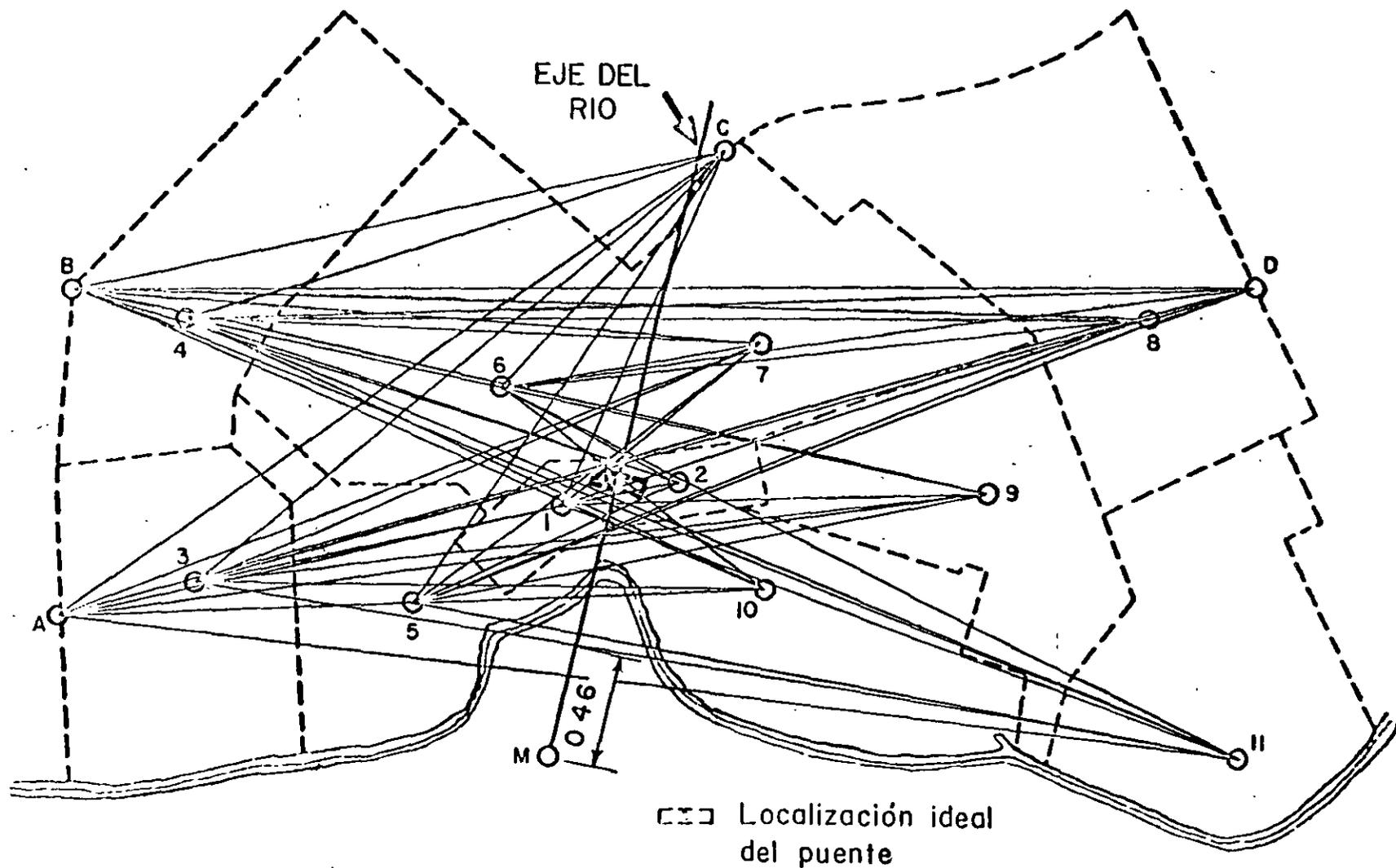
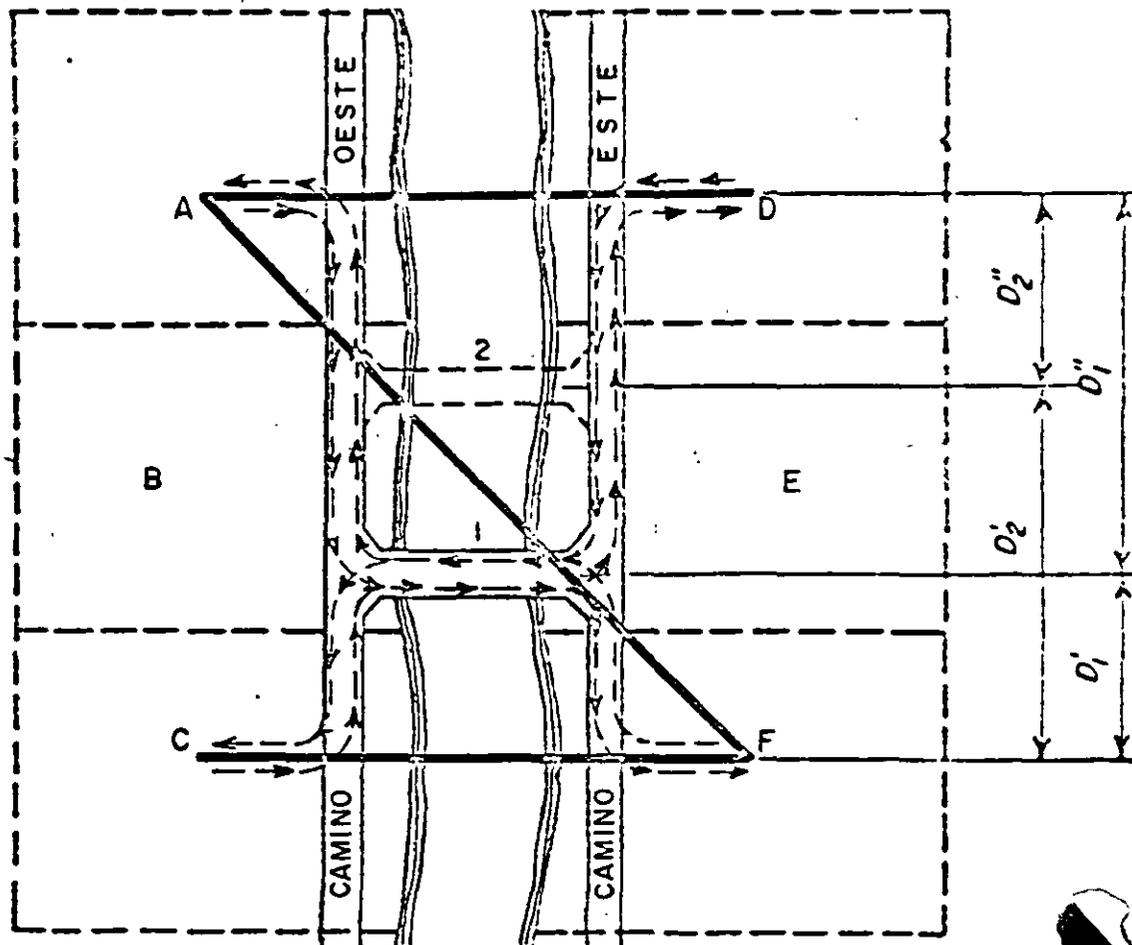


FIG. 6-11<sup>c</sup>. Practical considerations applied to bridge locations.



LOCALIZACION DE UN PUENTE POR EL METODO DE MOMENTOS



CONSIDERACIONES PRACTICAS APLICADAS EN LA LOCALIZACION DE PUENTES.

VOLUMEN DE TRÁNSITO RELATIVOS

A lo largo de la línea de deseo:  $AD = 1,000$

$CF = 2,000$

LOCALIZACION DE LOS PUENTES

$AF = 3,000$

(1) Tanto el camino Oeste como el Este son de igual deseo de uso

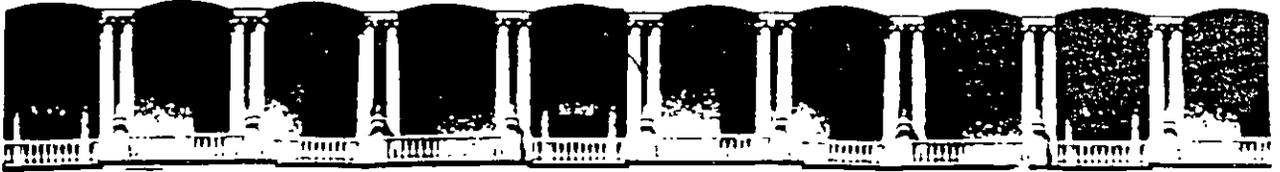
Omitiendo el tránsito  $\overline{AF}$

$$\begin{aligned} \Sigma M_{\text{puente}} = 0 &= \overline{AD} \times \text{Distancia} - \overline{CF} \times \text{Distancia} \\ &= 1,000D_1'' - 2,000D_1' \\ D_1'' &= 2D_1' \end{aligned}$$

(2) El camino Oeste es indeseable de usarse

Considere el tránsito  $\overline{AF}$  a lo largo de la línea  $\overline{AD}$

$$\begin{aligned} \Sigma M_{\text{puente}} = 0 &= \overline{CF} \times \text{Distancia} - (\overline{AD} + \overline{AF}) \times \text{Distancia} \\ &= 2,000D_2' - (1,000 + 3,000)D_2'' \\ D_2' &= 2D_2'' \end{aligned}$$



**FACULTAD DE INGENIERIA U.N.A.M.  
DIVISION DE EDUCACION CONTINUA**

**DIPLOMADO INTERNACIONAL DE TRANSPORTE**

**MODULO II: PLANIFICACION DEL TRANSPORTE URBANO**

**TEMA: UBICACION DE UNA TERMINAL DE PASAJEROS  
INTERURBANO**

**PRESENTA: ING. ROMAN VAZQUEZ BERBER**

**PRIMAVERA 1997**



# UBICACIÓN DE UNA TERMINAL DE PASAJEROS INTERURBANO

Ing. Román Vázquez Berber

## ANTECEDENTES.

El método que se expone a continuación es un procedimiento que pretende suprimir la subjetividad y por consecuencia trata de evitar la especulación derivada de opiniones personales, realizadas en el mejor de los casos con muy buena fe, pero sin la fundamentación técnica adecuada y que permita con base en hechos comprobados deducir resultados en forma objetiva e imparcial a partir de la información que proporcionan las encuestas de origen y destino, que constituye un recurso valioso para la localización óptima de una terminal de pasajeros, entre otras aplicaciones a la problemática de la movilidad urbana.

Una ventaja de éste procedimiento es la de minimizar los gastos por traslado desde y hacia la terminal en el ámbito urbano. Dicho de otra manera, se pretende reducir los gastos de traslado del hogar a la terminal y viceversa. Una desventaja podría ser que el procedimiento no permite dilucidar si se requiere o justifica más de una terminal, en el ámbito urbano considerado. para lo cual se requiere utilizar otros criterios sustentados en el conocimiento del medio urbano y la experiencia, que nunca podrán ser sustituidas por un procedimiento matemático, pero si orientarlo e incorporar un criterio económico que redunde en beneficio de los usuarios del transporte interurbano.

## UN CRITERIO DE UBICACION.

Con base en el procedimiento recomendado por Theodore M. Matson, Wilbur Smith y Frederic W. Hurd, profesores de la Universidad de Yale, en su tratado de Ingeniería de Tránsito y adaptándolo a los parámetros obtenidos por un estudio de Origen y Destino realizado en el área metropolitana de una ciudad, permite obtener una ubicación óptima desde el punto de vista de minimizar los gastos de traslado urbanos hacia y desde la terminal.

A continuación se expone en forma breve el procedimiento seguido, que se conoce con el nombre de Método de Momentos al caso de la Ciudad de Puebla, con base en un Estudio de Origen y Destino

- a) Conocidos los patrones de movimiento de Origen y Destino dentro del área urbana para los pasajeros foráneos que entran y salen, se divide

la ciudad en zonas y se determina el número de pasajeros que entran y salen de esas zonas en un día normal.

- b) Se calcula el centroide de cada una de las zonas en que se ha dividido el área urbana. Se considera que los pasajeros de cada zona salen o llegan al punto conocido como centroide.
- c) Se eligen dos ejes cartesianos, que en nuestro caso se ubicaron, para la ciudad de Puebla, uno a lo largo de la Avenida Reforma-Maximino Avila Camacho (Eje XX') y el otro eje a lo largo de la Avenida 16 de Septiembre-5 de Mayo (Eje YY').
- d) Se determinan las coordenadas de cada uno de los centroides de las zonas en que se ha dividido la ciudad. La Ciudad de Puebla se dividió en 53 zonas.
- e) Se procedió al cálculo de los parámetros multiplicando el número de pasajeros foráneos (que entran y salen de la ciudad) de cada zona, por sus respectivas coordenadas.
- f) Con los pasos anteriores se calcula la localización óptima de la terminal, obteniéndose su ubicación por medio de las coordenadas  $\bar{X}$  y  $\bar{Y}$ :

$$\bar{Y} = \frac{\sum B * Y}{\sum B} = \frac{+52077.80}{23283}$$

$$\bar{Y} = +2.24 \text{ cm}$$

$$\bar{X} = \frac{\sum B * X}{\sum B} = \frac{-82050.90}{23283}$$

$$\bar{X} = -3.52 \text{ cm}$$

Mediante estas coordenadas en el plano del Anexo 3, se indica la localización óptima con el punto A.

Como puede observarse, de acuerdo con éste criterio la localización se encuentra a cuadra y media de los terrenos de la antigua Terminal de los Ferrocarriles.

El Dr. Antonio Valdés en su tratado sobre Ingeniería de Tráfico y en el capítulo sobre "Instalaciones Terminales de Transporte" menciona los requisitos que deben cumplirse, en términos generales, para la ubicación de una terminal de autobuses foráneos en una ciudad importante y que son:

- 1) Buena conexión para los viajeros con la zona de origen y destino, dentro de la ciudad por medio de la red vial y de los transportes urbanos.
- 2) Espacio suficiente para los autobuses, para los usuarios y para el público en general (estacionamientos y taxis).
- 3) Buena conexión para los autobuses con las grandes arterias de acceso a la ciudad.

El primer concepto queda cubierto con la localización óptima de la terminal que minimiza los recorridos de los usuarios cuando salen o cuando llegan a la ciudad.

El segundo concepto se satisface al encontrarse a distancia corta un terreno con suficiente superficie para alojar las instalaciones necesarias terrenos de la antigua Terminal de los Ferrocarriles). Otra ventaja de la localización del terreno es de que está fuera del Centro Histórico de la Ciudad de Puebla.

El tercer concepto requiere de estudios y proyectos, para una localización adecuada de las arterias que sirvan de liga con las carreteras aledañas a la Ciudad de Puebla.

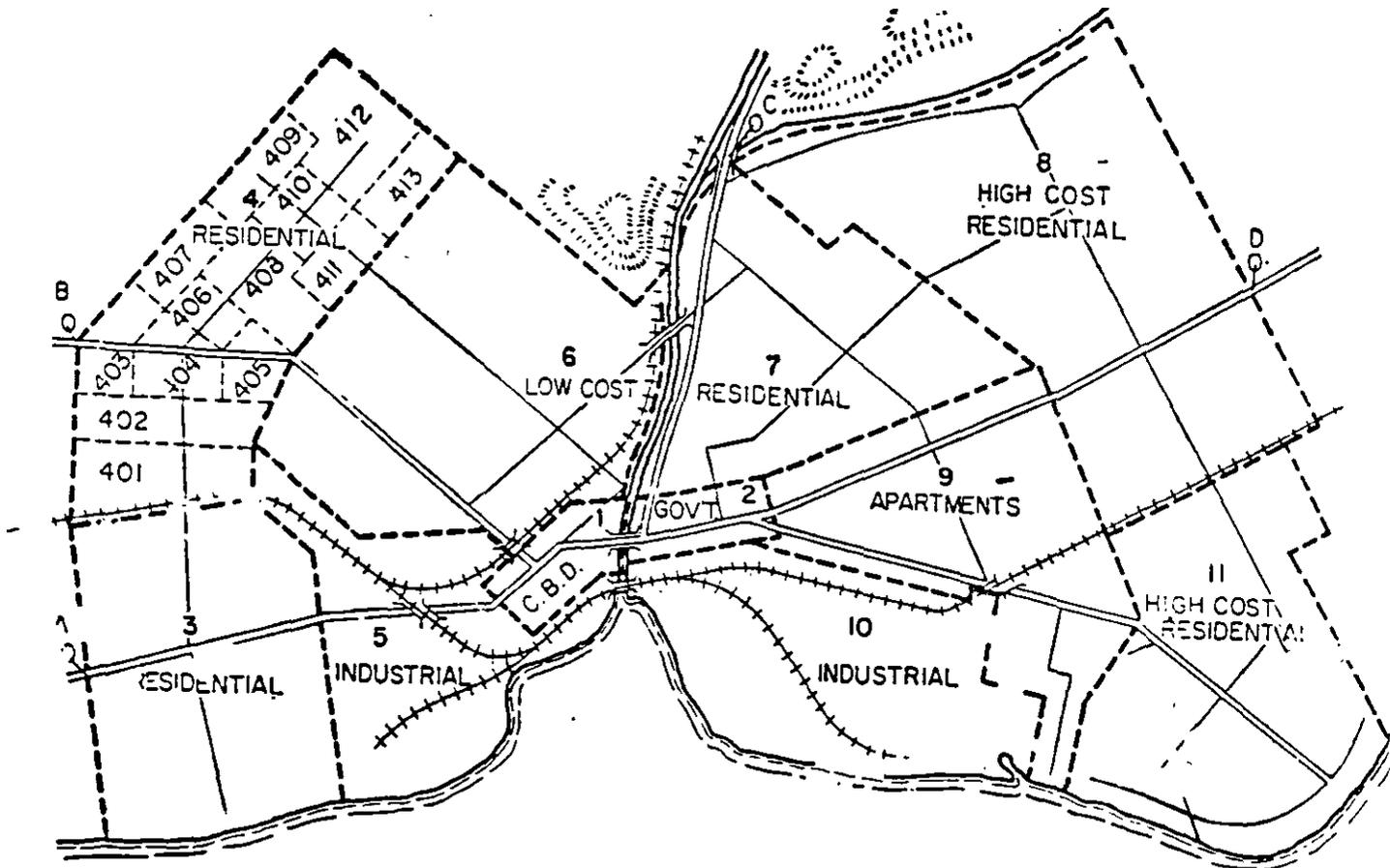


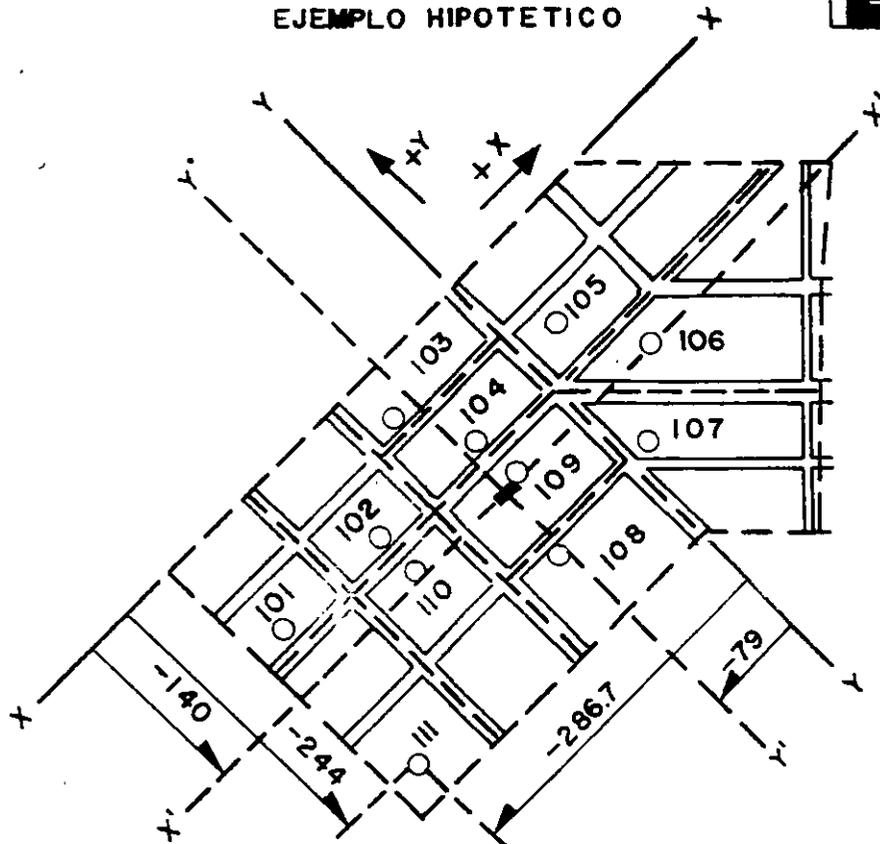
FIG. 6-3. Districts and zones of O-D for a hypothetical city.

TOTAL PRIVATE PASSENGER VEHICLE TRIPS  
DISTRICTS OF DESTINATION

DISTRICTS OF ORIGIN		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	SUB TOTAL	A	B	C	D	SUB TOTAL	GRAND TOTAL
	1	9526	1143	849	862	4002	1028	804	3195	5310	3692	3157	33568	2066	1689	989	1066	5810	39378
	2	1092	2786	579	645	888	231	455	825	1735	1139	892	11267	467	962	196	157	1791	13058
	3	761	469	155	355	1110	134	147	84	358	834	698	5105	498	667	231	181	1577	6682
	4	769	653	329	326	1161	343	103	284	255	931	694	5848	149	354	161	135	799	6647
	5	4046	761	1188	961	3122	723	612	1920	3697	2107	1558	20695	479	1128	273	222	2102	22797
	6	1004	281	139	337	908	500	503	485	286	951	822	6216	170	302	154	134	760	6976
	7	826	391	123	110	657	394	401	473	913	1203	897	6388	158	219	197	156	730	7118
	8	3026	928	111	240	2022	480	475	1255	3678	3281	2990	18486	135	301	321	310	1067	19553
	9	5233	1718	345	279	3604	420	941	3080	1090	4733	3390	24833	303	538	236	329	1406	26239
10	4006	1129	850	988	2041	903	1149	3645	4507	2856	1984	24058	427	1030	215	403	2075	26133	
11	3201	961	602	595	1675	815	803	3527	3444	2260	2070	19953	296	571	212	311	1390	21343	
SUB TOTAL	33490	11220	5270	5698	21190	5971	6393	18773	25273	23987	19152	176417	5157	7761	3185	3404	19507	195924	
A	2199	484	463	172	386	195	172	180	315	527	352	5445		86	592	632	1310	6755	
B	1687	845	57	337	1125	276	144	346	555	977	364	7226	126		1135	650	1911	9137	
C	1010	214	232	160	259	147	173	322	248	350	178	3293	420	937		472	1829	5122	
D	1003	166	184	137	214	133	142	332	404	267	336	3318	300	630	454		1384	4702	
SUB TOTAL	5899	1709	1449	806	1984	751	631	1180	1522	2121	1230	19282	846	1653	2181	1754	6434	25716	
GRAND TOTAL	39389	12929	6719	6504	23174	6722	7024	19953	26795	26108	20382	195699	6003	9414	5366	5158	25941	221640	

FIG. 6-4. Tabular array of O-D data by district and station interchange.

EJEMPLO HIPOTETICO

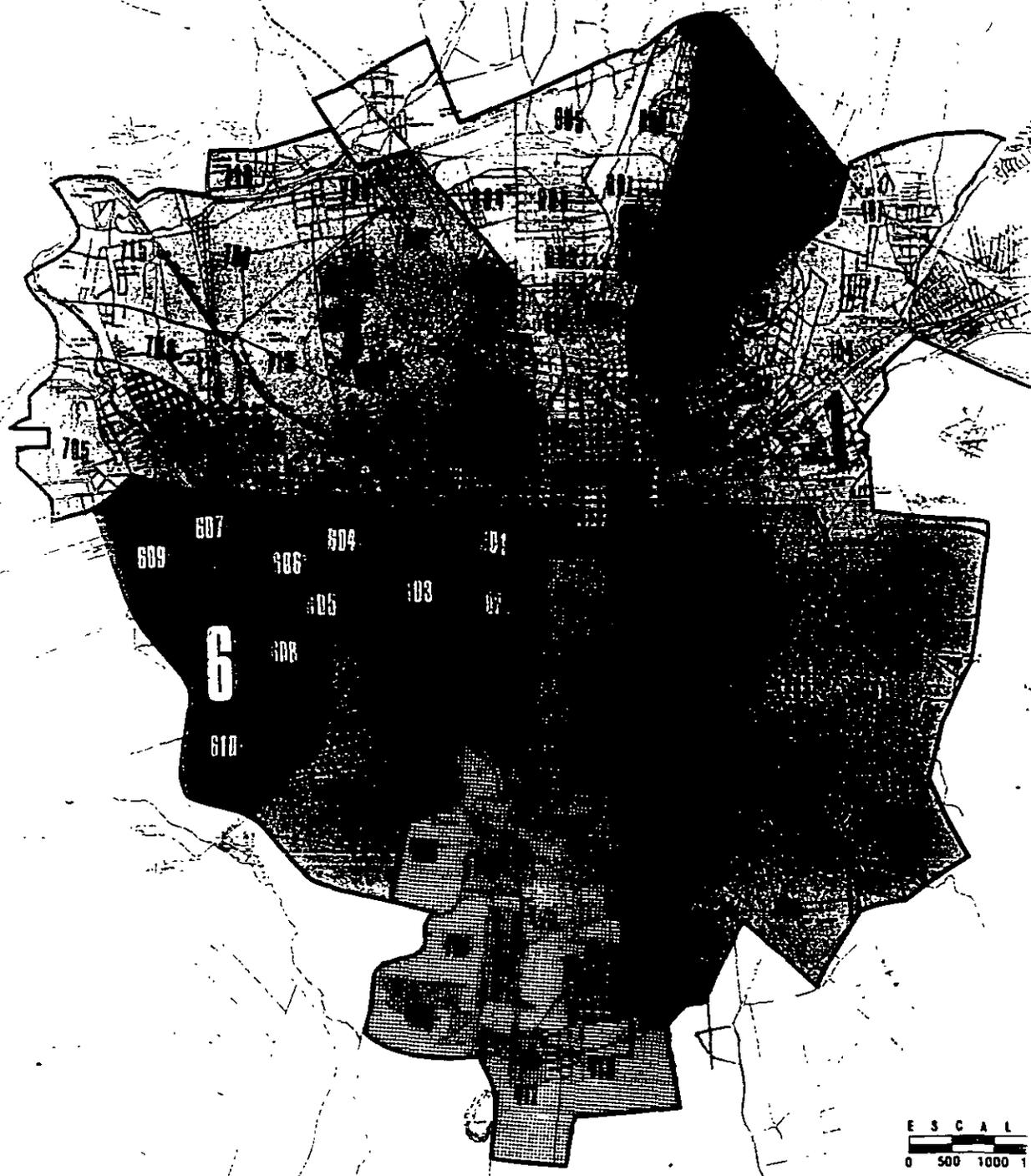


○ CENTROIDE DE ZONA  
 — CENTROIDE DE DISTRITO  
 (ubicacion ideal de la terminal)

ZONA	PASAJEROS DE AUTOBUS (B)	Y (m)	X (m)	B · Y.	B · X.
101	20	-94.55	-286.70	-1891.0	-5734.0
102	50	-94.55	-179.95	-4727.5	-8997.5
103	70	-39.65	-103.70	-2775.5	-7259.0
104	300	-94.55	-73.20	-28365.0	-21960.0
105	180	-88.45	+36.60	-15921.0	+6588.0
106	120	-137.25	+79.30	-16470.0	+9516.0
107	160	-192.15	+27.45	-30744.0	+4392.0
108	60	-207.40	-91.50	-12444.0	-5490.0
109	200	-137.25	-70.15	-27450.0	-14030.0
110	40	-137.25	-179.95	-5490.0	-7198.0
111	210	244.00	-286.70	-51240.0	-60207.0
TOTAL	1410			-197518.0	-110379.5
$\bar{Y} = \frac{-197518}{1410} = -140.08 \approx -140 \text{ m}$		$\bar{X} = \frac{-110379.5}{1410} = -78.28 \approx -79 \text{ m}$			

Fuente: Traffic Engineering. Matson, Smith and Hurd.  
 Mc Graw - Hill Book Company pag. 104.

UBICACION DE UNA TERMINAL POR EL METODO DE MOMENTOS



ESCALA  
0 500 1000 1



# ESTUDIO DE ORIGEN Y DESTINO

ZONAS Y DISTRITOS

**5**

CONSEJO DE PLANEACION DEL MUNICIPIO DE PUEBLA

plano actualizado por la junta de mejoramiento 1978

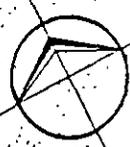
**CALCULO DE LA UBICACION DE UNA TERMINAL DE PASAJEROS EN LA CIUDAD DE PUEBLA POR EL METODO DE MOMENTOS.**

Z O N A	PASAJEROS DE AUTOBUS QUE SALEN Y ENTRAN (B)	Y (cm)	X (cm)	B.Y	B.X
101	570	+ 2.8	+ 2.1	+ 1,596.00	+ 1,197.00
102	495	+ 4.4	+ 4.5	+ 2,178.00	+ 2,227.50
104	515	+ 4.9	+ 7.3	+ 2,523.50	+ 3,759.50
105	544	+ 1.2	+ 5.9	+ 652.80	+ 3,209.60
106	286	+ 1.0	+ 2.7	+ 286.00	+ 772.20
107	61	+ 6.5	+ 9.8	+ 396.50	+ 597.80
201	70	- 0.7	+ 2.0	- 49.00	+ 140.00
202	0	-	-	0	0
205	246	- 4.9	+ 5.7	- 1,205.40	+ 1,402.20
206	111	- 5.1	+ 3.5	- 566.10	+ 388.50
208	0	-	-	0	0
209	0	-	-	0	0
301	82	- 3.8	+ 0.7	- 311.60	+ 0
302	0	-	-	0	0
303	0	-	-	0	0
304	122	- 10.5	+ 3.0	- 1,281.00	+ 366.00
401	425	- 2.3	- 1.1	- 977.50	- 467.50
402	189	- 4.3	- 1.0	- 812.70	- 189.00
403	0	-	-	0	0
405	242	- 10.1	- 3.5	- 2,444.20	- 847.00
406	0	-	-	0	0
407	579	- 12.0	- 2.6	- 6,948.00	- 1,505.40
409	0	-	-	0	0
410	0	-	-	0	0
501	188	- 5.1	- 3.7	- 958.80	- 695.60
502	48	- 6.3	- 6.6	- 302.40	- 316.80
601	1,677	- 1.0	- 3.3	- 1,677.00	- 5,534.10
602	249	- 2.8	- 3.3	- 697.20	- 821.70
603	161	- 1.9	- 5.4	- 305.90	- 869.40
604	408	- 0.8	- 7.4	- 326.40	- 3,020
605	471	- 2.8	- 8.3	- 1,318.80	- 3,909.30
606	0	-	-	0	0

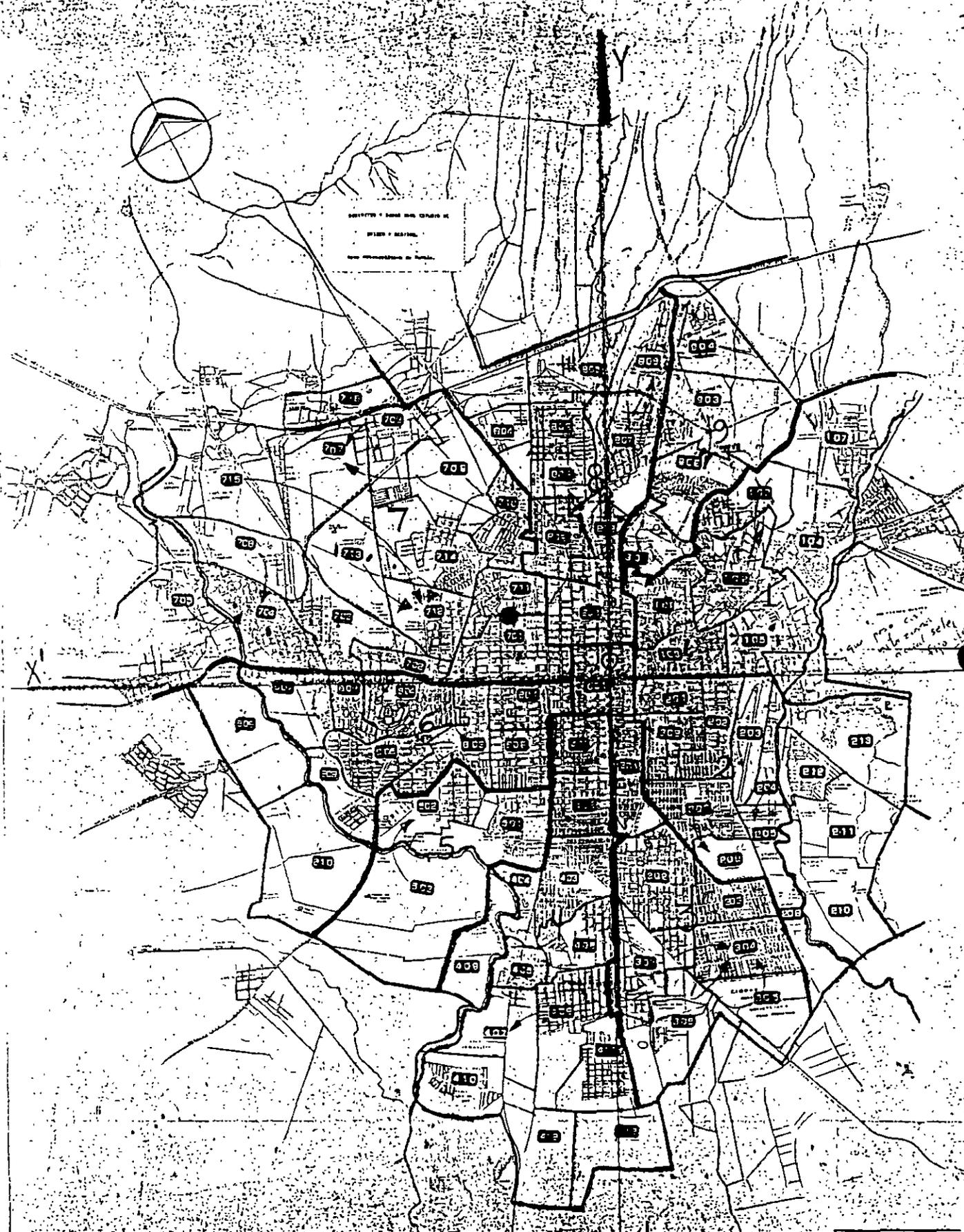
607	0	-	-	0	0
701	1,233	+	0.9	- 3.7	+ 1,109.70 - 4,562.10
702	0	-	-	-	0
703	1,194	+	2.0	- 9.6	+ 2,388.00 - 11,462.40
704	2,927	+	2.8	- 13.2	+ 8,195.60 - 38,636.40
707	96	+	8.3	- 8.1	+ 796.80 - 777.60
710	318	+	5.3	- 3.8	+ 1,685.40 - 1,208.40
711	626	+	2.9	- 4.0	+ 1,815.40 - 2,504.00
712	60	+	4.1	- 7.6	+ 246.00 - 456.00
716	1,628	+	9.6	- 9.7	+ 15,628.80 - 15,791.60
801	1,663	+	2.4	- 0.7	+ 3,991.20 - 1,164.10
802	1,113	+	4.9	- 2.0	+ 5,453.70 - 2,226.00
803	67	+	7.2	- 1.6	+ 482.40 - 107.20
804	401	+	9.0	- 3.8	+ 3,609.00 - 1,523.80
805	0	-	-	-	0
806	554	+	9.3	+ 1.1	+ 5,152.20 + 609.40
808	758	+	4.9	+ 0.6	+ 3,714.20 + 454.80
809	310	+	8.9	- 1.5	+ 2,759.00 - 465.00
902	140	+	8.6	+ 3.6	+ 1,204.00 + 504.00
904	542	+	11.8	+ 3.5	+ 6,395.00 + 1,897.00
001	1,914	0	0	- 0.3	0 - 574.20
SUMAS	23,283				+ 52,077.80 - 82,050.90

## NOTAS:

- 12 cm. —
- a) Los datos utilizados en la tabla fueron obtenidos del Estudio de Origen y Destino realizado para el Area Metropolitana de la Ciudad de Puebla. ( Tablas 27, 28 y 29 ) Año de 1976.
  - b) Los pasajeros de autobús (B) son tanto los que salen como los que llegan en un día normal.
  - c) Las distancias...



INSTITUTO NACIONAL DE ESTADÍSTICA Y GEOGRAFÍA  
 DIRECCIÓN GENERAL DE ESTADÍSTICA Y GEOGRAFÍA  
 SERVICIO DE PLANIFICACIÓN Y DISEÑO



BOCALA 1: 28 275.86  
 ESCALA: 1cm.: 282.8m

J.	M.	M.	C.	M.
PLANO GRAL. CD. DE PUEBLA				
ESC 1:20,000				



**FACULTAD DE INGENIERIA U.N.A.M.  
DIVISION DE EDUCACION CONTINUA**

## **SEGUNDO DIPLOMADO INTERNACIONAL DE TRANSPORTE**

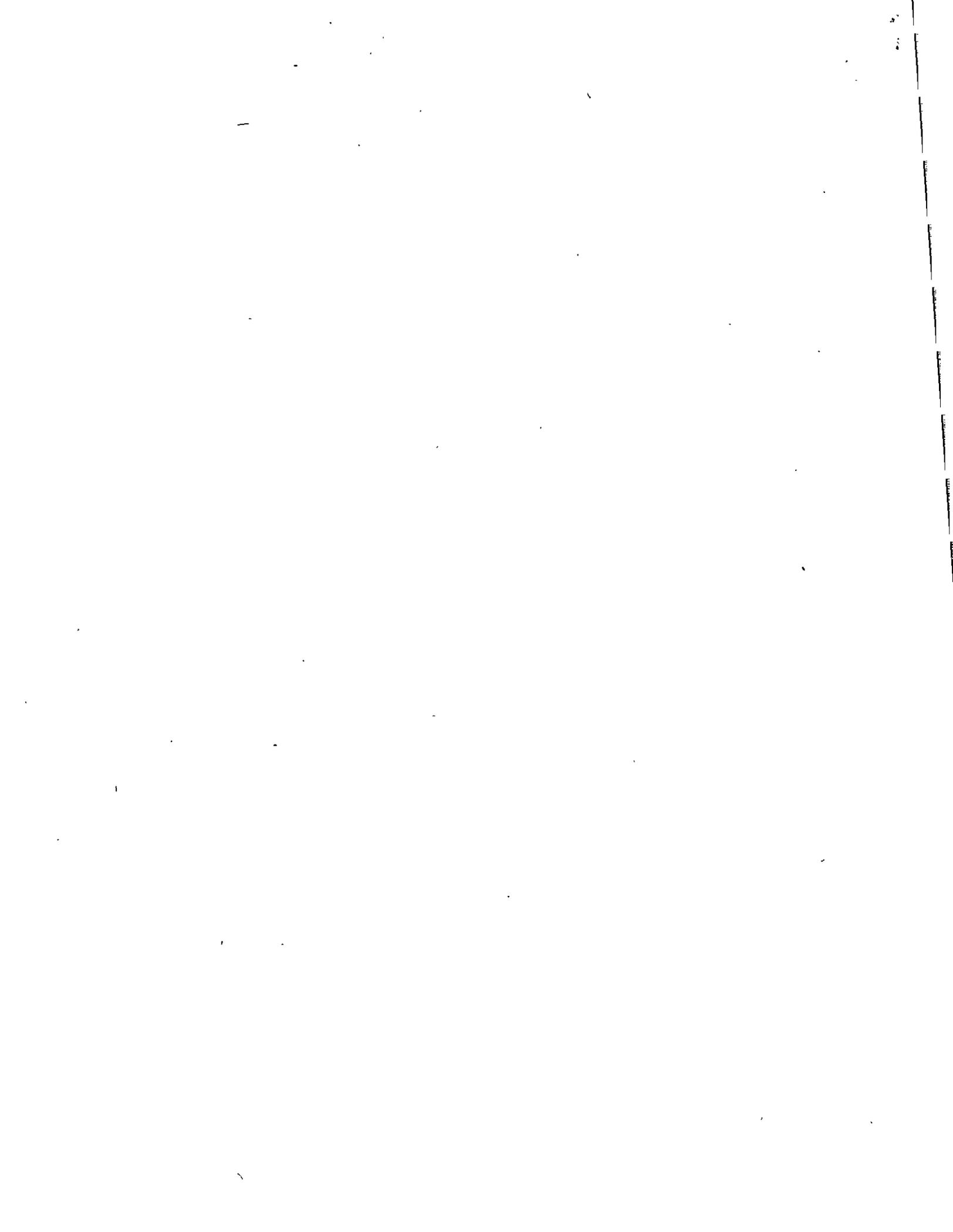
### **MODULO II: PLANIFICACION DEL TRANSPORTE URBANO**

#### **BIBLIOGRAFÍA**

**COORDINADOR GENERAL: ING. ROMAN VAZQUEZ BERBER**

**COORDINADORA DEL MODULO II: ARQ. SONIA LIZT  
MENDOZA**

**PRIMAVERA 1997**



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO**  
**Facultad de Ingeniería Civil**  
**División de Educación Continua.**  
**Abril de 1997**

---

**BIBLIOGRAFIA PARA EL MODULO II: PLANIFICACION DEL TRANSPORTE URBANO,  
DEL SEGUNDO DIPLOMADO INTERNACIONAL DE TRANSPORTE.**

**ESPAÑOL.**

- 1. MANUAL DE OPERACION DEL SISTEMA DE PLANEACION DEL TRANSPORTE URBANO. UTPS**  
Traducción de la Comisión de Vialidad y Transporte Urbano.  
COVITUR. 1987. DDF.
- 2. ESTRUCTURA Y DESARROLLO DEL SECTOR TRANSPORTE EN MEXICO.**  
Victor Islas Rivera. 1990. El Colegio de México.
- 3. MODELOS MATEMATICOS PARA DISTRIBUCION DE VIAJES.**  
Ing. Román Vázquez Berber. Instituto Mexicano del Transporte. SCT.  
Publicación Técnica No. 31. Querétaro, Qro. 1991.
- 4. ESTUDIO DE LOS SISTEMAS DE TRANSPORTE DE LA REGION DE QUERETARO.**  
Instituto Mexicano del Transporte. SCT. Publicación Técnica No. 27, Querétaro, Qro. 1991.
- 5. GUIA METODOLOGICA PARA EL ESTUDIO DE LOS SISTEMAS REGIONALES DE TRANSPORTE. 1991.**  
Instituto Mexicano del Transporte. SCY. Documento Técnico No. 6. Sanfandila, Qro.
- 6. INGENIERIA DE TRANSITO.**  
Rafael Cal y Mayor, con la colaboración de James Cárdenas G. Para la 7a. edición.  
Editorial Alfaomega, 1974.
- 7. METODOS Y MODELOS DE INVESTIGACION DE OPERACIONES.**  
Vol. I Modelos Determinísticos y Vol. II Modelos Estocásticos. Dr. Juan Prawda Witenberg.  
Editorial Limusa, 1981.
- 8. PLANIFICACION DEL TRANSPORTE URBANO.**  
Apuntes del Modulo 2 del Segundo Diplomado Internacional de Transporte.  
F.I., División de Educación Continua. UNAM. Primavera de 1997.
- 9. METODOS ESTADISTICOS EN INGENIERIA DE TRANSITO.**  
Johannès F. Schwar y José Puy Huarte. Departamento de Ingeniería Civil de la Universidad  
del Estado de Ohio. EUA. Traducción realizada por varios mexicanos para la Asociación  
Mexicana de Caminos, A.C.  
Edición de 1975.
- 10. LAS INCOGNITAS DEL TRAFICO URBANO.**  
Cecarelli, R. Rossi. Edit. Gustavo Gili, S.A.
- 11. INDAGACIONES SOBRE LA ESTRUCTURA URBANA.**  
M. Webber. Edit. Gustavo Gili, S.A.

12. **MODELOS MATEMATICOS Y LA MODERNIZACION DEL TRANSPORTE.**  
 Memoria del Curso impartido en el Centro de Actualización Profesional "Alfonso Olvera López", del Colegio de Ingenieros Civiles de México. Junio de 1990.  
 Autores: Varios profesores mexicanos especializados en el tema.  
 Coordinadora del Curso: Arq. Sonia List Mendoza.
13. **SEMINARIO INTERNACIONAL DE PLANEACION Y PROSPECTIVA DEL TRANSPORTE**  
 Memoria del Seminario realizado por el Instituto Mexicano del Transporte el 28, 29 y 30 de mayo de 1992. Sanfandila, Qro.
14. **ANUARIO DE VIALIDAD Y TRANSPORTE DEL DISTRITO FEDERAL**  
 Publicado por la Coordinación General de Transporte del Departamento del Distrito Federal. México D.F. 1983.
15. **ESTUDIO DE ORIGEN Y DESTINO EN EL AREA METROPOLITANA DE PUEBLA.**  
 Encuesta domiciliaria y en cordón exterior realizada por la Junta de Mejoras Materiales de Puebla, conjuntamente con el gobierno del Estado de Puebla y el H. Ayuntamiento Municipal de la Ciudad de Puebla. 1976.
16. **ESTUDIO DE ORIGEN Y DESTINO EN EL AREA METROPOLITANA DE PUEBLA.**  
 Encuesta realizada por Puebla de los Angeles. 1983.
17. **ENCUESTA DOMICILIARIA SOBRE EL TRANSPORTE, ORIGEN Y DESTINO, PUEBLA, PUE., 1993-94.**  
 Informe final de la encuesta domiciliaria del estudio de Origen y destino, realizada por el Grupo Interuniversitario de Montreal, Ciudad y Desarrollo, con la colaboración de la B. Universidad Autónoma de Puebla, en la zona metropolitana de Puebla, Pue., para el Gobierno del Estado de Puebla.
18. **ESTIMACION DE DEMANDA DE TRANSITO EN CARRETERAS COMBINANDO ESTUDIOS ORIGEN DESTINO CON AFOROS.**  
 Dr. Roberto de la Llata Gómez.  
 Instituto Mexicano del Transporte. SCT.  
 Publicación Técnica No. 25, Querétaro, Qro. 1991.
19. **ESTRATEGIAS PARA LA REALIZACION DE ESTUDIOS DE ORIGEN Y DESTINO.**  
 Dr. Roberto de la Llata Gómez, con la colaboración del Ing. Rosendo Silverio Guevara.  
 Instituto Mexicano del Transporte. SCT.  
 Publicación Técnica No. 48. Sanfandila, Qro.
20. **LOS SISTEMAS DE INFORMACION GEOGRAFICA Y EL TRANSPORTE.**  
 Geógrafos Gabriela García Ortega y Miguel Angel Backoff Pohls  
 Instituto Mexicano del Transporte. SCT.  
 Publicación Técnica No. 32. Querétaro, Qro. 1992.
21. **TRANSPORTE PUBLICO.**  
**Angel R. Molinero Molinero e Ignacio Sánchez Arellano.**  
**Secretaría de Transporte y Vialidad DDF.**  
**México. 1996.**

**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO**  
**Facultad de Ingeniería Civil**  
**División de Educación Continua.**  
**Abril de 1997**

---

**BIBLIOGRAFIA PARA EL MODULO II: PLANIFICACION DEL TRANSPORTE URBANO,  
DEL SEGUNDO DIPLOMADO INTERNACIONAL DE TRANSPORTE.**

**INGLES.**

1.     **MODELLING TRANSPORT.**  
Juan de Dios Ortuzar y L.G. Willumsen.  
John Wiley & Sons. 1990, England.
2.     **PRINCIPLES OF URBAN TRANSPORT SYSTEMS PLANNING.**  
B.G. Hutchinson.  
McGraw-Hill Book Company 1974.
3.     **MATRIX METHODS IN URBAN AND REGIONAL ANALYSIS.**  
Andrei Rogers.  
Holden-Day Inc. 1974.
4.     **MANUAL OF TRANSPORTATION ENGINEERING STUDIES.**  
Institute of Transportation Engineers.  
Prentice Hall, Inc. 1994.
5.     **TRAFFIC ENGINEERING HANDBOOK.**  
Institute of Transportation Engineers.  
Prentice Hall, Inc. 1992.
6.     **THE LAND USE/TRANSPORT SYSTEM. (Analysis and Syntesis)**  
W.R. Blunden, First Edition, 1971.  
Pergamon Press.
7.     **TRANSPORTATION PLANNING HANDBOOK.**  
Institute of Transportation Engineers.  
Prentice Hall, Inc. 1992.
8.     **FUNDAMENTALS OF TRAFFIC ENGINEERING.**  
Wolfgang S. Homburger, Jerome W. Hall, Roy C. Loutzheiser, William R. Reilly.  
Institute of Transportation Studies, University of California, Berkeley. May 1996.
9.     **ANALYTIC TECHNIQUES IN URBAN AND REGIONAL PLANNING.**  
John W. Dickey and Thomas M. Watts.  
McGraw-Hill Book Company. 1978.
10.    **HIGHWAY TRAFFIC ANALYSIS AND DESIGN.**  
R. J. Salter.  
The Macmillan Press. LTD.  
London. 1974.



**FACULTAD DE INGENIERIA U.N.A.M.  
DIVISION DE EDUCACION CONTINUA**

**DIPLOMADO INTERNACIONAL DE TRANSPORTE**

**MODULO II: PLANIFICACIÓN DEL TRANSPORTE URBANO**

**TEMA: COMPARACIÓN ENTRE LOS PRINCIPALES MÉTODOS DE  
ENCUESTAS**

**PRESENTA: ING. ROMAN VÁZQUEZ BERBER**

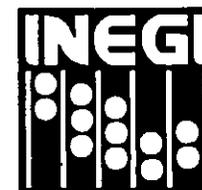
**PRIMAVERA 1997**

**TABLA B-1  
COMPARACIÓN ENTRE LOS PRINCIPALES MÉTODOS DE  
ENCUESTAS**

<b>CRITERIOS</b>	<b>ENTREVISTA PERSONAL</b>	<b>ENTREVISTA POR TELÉFONO</b>	<b>CUESTIONARIOS POR CORREO</b>
Costos de Colección de Información	ALTO	MEDIO	BAJO
Tiempo requerido para la Colección de Datos	MEDIO	BAJO	ALTO
Tamaño de la Muestra para un Presupuesto dado	PEQUEÑO	MEDIANO	GRANDE
Cantidad de datos por Encuestado	ALTO	MEDIO	BAJO
Obtención de una Muestra Amplia Dispersa	NO	TAL VEZ	SI
Acceder a especiales Localizaciones	SI	TAL VEZ	NO
Interacción con Encuestados	SI	SI	NO
Grado de sesgo provocado por el Encuestador	ALTO	MEDIO	NINGUNO
Severidad en el sesgo por la "no respuesta"	BAJO	BAJO	ALTO
Presentación del estímulo visual	SI	NO	TAL VEZ
Posible complejidad en la Preparación de encuestadores	ALTO	MEDIO	BAJO
Encuestados pueden consultar los Archivos	NO	NO	SI
Posible anonimato de los Encuestados	NO	SI	SI
Requerimiento de preparación en campo para los encuestadores	SI	SI	NO

---

FUENTES: Alreck, P.A. and Settle, R.B. The Survey Research Handbook, Richard D. Irwin, Inc. IL. 1985.  
Sudman, S. And Bradburn, N.M. Asking Questions, Jossey-Bass Publications, San Francisco, 1982.



INSTITUTO NACIONAL DE ESTADISTICA,  
GEOGRAFIA E INFORMATICA

FOLIO \_\_\_\_\_  
FORMA \_\_\_\_\_ DE \_\_\_\_\_

# ENCUESTA DE ORIGEN Y DESTINO DE LOS VIAJES DE LOS RESIDENTES DEL AREA METROPOLITANA DE LA CIUDAD DE MEXICO 1994 (CONFIDENCIAL)

-----

## UBICACION GEOGRAFICA

ENTIDAD FEDERATIVA:  
MUNICIPIO O DELEGACION:  
DISTRITO:

CONTROL:  
AREA DE ESTUDIO:  
AGEP:

MANZANA:  
VIVIENDA:

-----  
DISTRIBUCION SEMANA:  
Y DE VIAJES:



**EOD-94**

LA ENCUESTA ESTA AUTORIZADA POR  
LA LEY DE INFORMACION ESTADISTICA  
Y GEOGRAFICA, CAPITULO III,  
DECRETADA EL 30 DE DICIEMBRE DE  
1980 POR EL PRESIDENTE DE LA  
REPUBLICA.

DE ACUERDO AL ARTICULO 38 DE LA  
MENCIONADA LEY, LA INFORMACION  
SE MANTENDRA CON CARACTER  
ESTRICTAMENTE CONFIDENCIAL

HORA DE INICIO  :  :

I. DATOS GENERALES

I. DATOS DE LA VIVIENDA VIVIENDAS OMITIDAS	HOGARES EN LA VIVIENDA MARQUE CON "X" UN SOLO CIRCULO
<p><b>VIVIENDAS OMITIDAS FUERA DEL PREDIO</b></p> <p>1.- ENTREVISTADOR: Revise si entre la vivienda seleccionada y la siguiente vivienda de su listado existe(n) alguna(s) vivienda (s) que no esté (n) considerada(s). SI <input type="checkbox"/> 1 Cuántas <input type="text"/> <input type="text"/> Regístrelas en su listado NO <input type="checkbox"/> 2</p> <p><b>VIVIENDA OMITIDA DENTRO DEL PREDIO.</b></p> <p>2.- ENTREVISTADOR: Verifique si en el predio, terreno o construcción de la vivienda seleccionada hay alguna otra vivienda ocupada o desocupada que no haya sido considerada en el listado. SI <input type="checkbox"/> 1 Cuántas <input type="text"/> <input type="text"/> Regístrelas en su listado NO <input type="checkbox"/> 2</p> <p>3.- Total de Viviendas omitidas dentro o fuera del Predio o Terreno. <input type="text"/> <input type="text"/></p>	<p>5.- ¿TODAS LAS PERSONAS QUE VIVEN EN ESTA VIVIENDA SE SOSTIENEN DE UN GASTO COMUN, PRINCIPALMENTE PARA COMER? SI <input type="checkbox"/> 1 <small>Pase a 8</small> NO <input type="checkbox"/> 2</p> <p>6.- ¿CUANTOS HOGARES HAY EN ESTA VIVIENDA QUE SE SOSTIENEN DE GASTOS SEPARADOS, PRINCIPALMENTE PARA COMER? <input type="text"/> <input type="text"/> <small>Llene un cuestionario por hogar</small></p> <p>7.- ENTREVISTADOR: ¿Este Hogar es... PRINCIPAL? <input type="checkbox"/> 1 ADICIONAL? <input type="checkbox"/> 2</p> <p>8.- ¿PODRIA DECIRME CUANTOS DORMITORIOS TIENE SU VIVIENDA? <input type="text"/> <input type="text"/></p> <p>9.- ¿Y CUAL ES EL NUMERO TOTAL DE CUARTOS (Incluya dormitorios y cocina) QUE TIENE SU VIVIENDA? (Excluya baños y pasillos) <input type="text"/> <input type="text"/></p> <p>10.- ¿CUANTAS PERSONAS VIVEN NORMALMENTE EN ESTA VIVIENDA, CONTANDO A LOS NIÑOS CHIQUITOS, ANCIANOS, HUESPEDES, ABONADOS Y SERVIDORES DOMESTICOS? <input type="text"/> <input type="text"/></p> <p>11.- ¿CUANTOS DE ESTOS SON MAYORES DE CINCO AÑOS? <input type="text"/> <input type="text"/></p>
<p>4.- IDENTIFIQUE</p> <p>CASA SOLA <input type="checkbox"/> 1</p> <p>DEPARTAMENTO EN EDIFICIO <input type="checkbox"/> 2</p> <p>CASA EN VECINDAD <input type="checkbox"/> 3</p> <p>CUARTO DE AZOTEA <input type="checkbox"/> 4</p> <p>VIVIENDA MOVIL <input type="checkbox"/> 5</p> <p>REFUGIO <input type="checkbox"/> 6</p> <p>OTRO ESPECIFIQUE <input type="checkbox"/> 7</p>	<p>12.- ¿EXISTE ALGUN MINUSVALIDO EN EL HOGAR? SI <input type="checkbox"/> 1 Cuántos <input type="text"/> NO <input type="checkbox"/> 2 <small>Pase a 14</small></p> <p>13.- ¿PODRIA DECIRME SU(S) NOMBRE(S)? _____ No. Persona <input type="text"/></p> <p>_____ No. Persona <input type="text"/></p>
<p>OBSERVACIONES</p>	<p>14.- ¿CUANTOS VEHICULOS HAY DISPONIBLES EN EL HOGAR? No. DE UNIDADES</p> <p>1. AUTOMOVIL O CAMIONETA PARA TRANSPORTE PRIVADO <input type="text"/></p> <p>2. AUTOMOVIL O CAMIONETA PARA TRANSPORTE PUBLICO <input type="text"/></p> <p>3. MOTOCICLETA O MOTONETA <input type="text"/></p>

## II. CARACTERÍSTICAS DE LOS RESIDENTES DEL HOGAR

N U M E R O I D E N T I F I C A D O	PARA TODOS LOS RESIDENTES DEL HOGAR				SOLO PARA PERSONAS DE 12 AÑOS Y MAS													
	¿PODRÍA DECIRME LOS NOMBRES DE TODAS LAS PERSONAS QUE NORMALMENTE VIVEN AQUÍ, DE MAYOR A MENOR INCLUYENDOSE USTED?	PARENTESCO CON EL JEFE DEL HOGAR		SEXO	EDAD	USTED:		¿AQUE SE DEDICA EL NEGOCIO O EMPRESA EN QUE TRABAJA?										
		1 JEFE (A)	2 JEFE AUSENTE			3 ESPOSA (O) O COMPAÑERA (O)	4 HIJO (A)	5 OTROS PARIENTES	6 SERVIDOR DOMESTICO	7 ABONADO O HUESPED	8 OTROS NO PARIENTES	1 INDUSTRIA	2 COMERCIO	3 SERVICIOS BANCARIOS Y FINANCIEROS	4 OTROS SERVICIOS	5 OTROS		
(15)	(16)	(17)		(18)	(19)	(20)		(21)										
01			JEFE		1	2												
02					1	2												
03					1	2												
04					1	2												
05					1	2												
06					1	2												
07					1	2												
08					1	2												
09					1	2												
10					1	2												

HORA DE TERMINO

[ ] : [ ]

TELEFONO:

[ ] [ ] [ ] [ ] [ ] [ ] [ ] [ ] [ ] [ ]

## III. DATOS DE LOS VIAJES

HORA DE INICIO

[ ] : [ ]

No. DE RENGLON	SOLO PARA PERSONAS MAYORES DE 5 AÑOS						SOLO PARA PERSONAS DE 12 AÑOS Y MAS QUE TRABAJAN						29. - ¿CUANTOS DE LOS VEHICULOS DISPONIBLES EN LA VIVIENDA SE UTILIZARON EL DIA DE LOS VIAJES?											
	¿PARA REALIZAR SUS ACTIVIDADES EL DIA DE LOS VIAJES (MENCIONAR DIA) UTILIZO ALGUN MEDIO DE TRANSPORTE?		¿SE LE ENTREVISTO PERSONALMENTE?		¿UTILIZO SU TARJETA DE VIAJES?		¿TRABAJO EL DIA DE LOS VIAJES FUERA DE SU CASA?		¿REALIZO VIAJES DURANTE LA JORNADA DE TRABAJO?		¿REALIZO OTRO TIPO DE VIAJES ANTES Y DESPUES DE LA JORNADA DE TRABAJO?			30. - ¿CUANTOS DE LOS VEHICULOS DISPONIBLES EN LA VIVIENDA NO SE UTILIZARON EL DIA DE LOS VIAJES EN RAZON DEL PROGRAMA "HOY NO CIRCUA"?										
	SI	NO	SI	NO	SI	NO	SI	NO	SI	NO	SI	NO			(22)	(23)	(24)	(25)	(26)	(27)	(28)	(29)	(30)	
01	1		2	1		2	1		2	1		2	1		2	1		2	1		2	1		2
02	1		2	1		2	1		2	1		2	1		2	1		2	1		2	1		2
03	1		2	1		2	1		2	1		2	1		2	1		2	1		2	1		2
04	1		2	1		2	1		2	1		2	1		2	1		2	1		2	1		2
05	1		2	1		2	1		2	1		2	1		2	1		2	1		2	1		2
06	1		2	1		2	1		2	1		2	1		2	1		2	1		2	1		2
07	1		2	1		2	1		2	1		2	1		2	1		2	1		2	1		2
08	1		2	1		2	1		2	1		2	1		2	1		2	1		2	1		2
09	1		2	1		2	1		2	1		2	1		2	1		2	1		2	1		2
10	1		2	1		2	1		2	1		2	1		2	1		2	1		2	1		2

ENTREVISTADOR: Recuerde que si en las preguntas 23, 27 Y 28 tuvo respuesta negativa, no debe preguntarle a ese residente por los viajes que realizó.

Y PASE CON EL SIGUIENTE RESIDENTE DEL HOGAR

32.- ANOTE LOS DATOS DE LOS VISITANTES			
RENGLON	NOMBRE DE LOS VISITANTES	SEXO	EDAD
		H M	
21		1 2	
22		1 2	

OBSERVACIONES

5

### IV. HOJA DE VIAJES SOLO PARA PERSONAS MAYORES DE CINCO AÑOS

(34) SU 1er. VIAJE COMENZO EN:      HOGAR  1      OTRO  2

NOMBRE DEL LUGAR: \_\_\_\_\_

CALLE: \_\_\_\_\_

COL: \_\_\_\_\_

ESTADO: \_\_\_\_\_

MPIO. O DELEG: \_\_\_\_\_

AGEB: \_\_\_\_\_

ENTRE QUE CALLES: \_\_\_\_\_

MOTIVO: \_\_\_\_\_

ENTREVISTADOR ANOTE:  
(33) NOMBRE Y  
No. RENGLON \_\_\_\_\_

VIAJE N.O. (35)	EN QUE LUGAR TERMINO EL VIAJE (36)	¿QUE TIPO DE LUGAR ES? (37)	¿CUAL FUE EL PROPOSITO DEL VIAJE? (38)	¿A QUE HORA? (39)	¿COMO SE TRANSPORTO? (40)				SI CONDUJO CUANTAS PERSONAS IBAN EN EL VEHICULO INCLUYEN- DOSE USTED? (41)	TRANSPORTE PRIVADO		¿CUANTAS CUADRAS CAMINO HASTA SU DESTINO FINAL? (47)
					ORDEN		SI	NO		42.- ¿DONDE SE ESTACIONO? 43.- ¿CUANTO TIEMPO SE ESTACIONO? 44.- ¿PAGO POR ESTACIONARSE?	45.- ¿CUANTO PAGO EN TOTAL? 46.- ¿USTED PAGO?	
					1	2	1	2		1	2	
P R I M E R O  F U E  A	NOMBRE DEL LUGAR:	1 HOGAR 2 OFICINA 3 FABRICA	1 IR AL TRABAJO 2 REGRESAR A CASA 3 COMPRAS	COMENZO:    :    :	1 RUTA 100    ABONO    1    2 2 TROLEBUS    ABONO    1    2 3 METRO        ABONO    1    2	D E S P U E  P U E  A	S I C O N D U J O C U A N T A S P E R S O N A S I B A N E N E L V E H I C U L O I N C L U Y E N - D O S E U S T E D? (41)	DONDE:		CUANTO: NS	P A G O:  1 POR HORA 2 POR DIA 3 POR SEMANA 4 POR MES	
	CALLE:	4 TALLER, LABORATORIO 5 ESCUELA	4 IR A LA ESCUELA 5 SOCIAL, DIVERSION	TERMINO:    :    :	4 BICICLETA 5 AUTOMOVIL 6 MOTO 7 COLECTIVO    NS                8 TAXI            NS                9 SUBURBANO    NS                A TRAC            NS                B OTRO            NS			1 EST. PUBLICO 2 EST. PRIVADO 3 VIA PUBLICA	TIEMPO    :    :    HRS	1 POR HORA 2 POR DIA 3 POR SEMANA 4 POR MES		
	COL:	6 CENTRO COMERCIAL, TIENDA, MERCADO ETC.	6 RELACIONADO CON EL TRABAJO						PAGO			
	ESTADO	7 OTRA VIVIENDA 8 HOSPITAL, CLINICA CONSULTORIO	7 LLEVAR O RECOGER A ALGUIEN						SI NO 1 2			
	MPIO. O DELEG:	9 RESTAURANTE, BAR, FONDA, LONCHERIA, CANTINA, CAFETERIA	8 IR A COMER									
	AGEB:	10 DEPORTIVO, GIMNASIO	9 OTRO									
	ENTRE QUE CALLES:	11 PARQUE, CENTRO RECREATIVO										
		A OTROS										
D E S P U E  P U E  A	NOMBRE DEL LUGAR:	1 HOGAR 2 OFICINA 3 FABRICA	1 IR AL TRABAJO 2 REGRESAR A CASA 3 COMPRAS	COMENZO:    :    :	1 RUTA 100    ABONO    1    2 2 TROLEBUS    ABONO    1    2 3 METRO        ABONO    1    2	D E S P U E  P U E  A	S I C O N D U J O C U A N T A S P E R S O N A S I B A N E N E L V E H I C U L O I N C L U Y E N - D O S E U S T E D? (41)	DONDE:		CUANTO: NS	P A G O:  1 POR HORA 2 POR DIA 3 POR SEMANA 4 POR MES	
	CALLE:	4 TALLER, LABORATORIO 5 ESCUELA	4 IR A LA ESCUELA 5 SOCIAL, DIVERSION	TERMINO:    :    :	4 BICICLETA 5 AUTOMOVIL 6 MOTO 7 COLECTIVO    NS                8 TAXI            NS                9 SUBURBANO    NS                A TRAC            NS                B OTRO            NS			1 EST. PUBLICO 2 EST. PRIVADO 3 VIA PUBLICA	TIEMPO    :    :    HRS	1 POR HORA 2 POR DIA 3 POR SEMANA 4 POR MES		
	COL:	6 CENTRO COMERCIAL, TIENDA, MERCADO ETC.	6 RELACIONADO CON EL TRABAJO						PAGO			
	ESTADO	7 OTRA VIVIENDA 8 HOSPITAL, CLINICA CONSULTORIO	7 LLEVAR O RECOGER A ALGUIEN						SI NO 1 2			
	MPIO. O DELEG:	9 RESTAURANTE, BAR, FONDA, LONCHERIA, CANTINA, CAFETERIA	8 IR A COMER									
	AGEB:	10 DEPORTIVO, GIMNASIO	9 OTRO									
	ENTRE QUE CALLES:	11 PARQUE, CENTRO RECREATIVO										
		A OTROS										

D E S P U E S F U E A	NOMBRE DEL LUGAR	1	HOGAR	1	IR AL TRABAJO	COMENZO:  TERMINO:	1	RUTA 100	ABONO	1	2	DONDE: 1 EST. PUBLICO 2 EST. PRIVADO 3 VIA PUBLICA  TIEMPO: _____ HRS  PAGO: SI NO 1 2 Pase a 47	CUANTO:  PAGO: 1 POR HORA 2 POR DIA 3 POR SEMANA 4 POR MES	
	CALLE:	2	OFICINA	2	REGRESAR A CASA		2	TROLEBUS	ABONO	1	2			
	COL:	3	FABRICA	3	COMPRAS		3	METRO	ABONO	1	2			
	ESTADO	4	TALLER, LABORATORIO	4	IR A LA ESCUELA		4	BICICLETA						
	MPIO. O DELEG.	5	ESCUELA	5	SOCIAL DIVERSION		5	AUTOMOVIL						
	AGEB:	6	CENTRO COMERCIAL, TIENDA, MERCADO ETC.	6	RELACIONADO CON EL TRABAJO		6	MOTO						
	ENTRE QUE CALLES	7	OTRA VIVIENDA	7	LLEVAR O RECOGER A ALGUIEN		7	COLECTIVO	NS					
		8	HOSPITAL, CLINICA CONSULTORIO	8	IR A COMER		8	TAXI	NS					
		9	RESTAURANTE, BAR, FONDA, LONCHERIA, CANTINA, CAFETERIA	9	OTRO		9	SUBURBANO	NS					
		10	DEPORTIVO, GIMNASIO				A	TRAC	NS					
		11	PARQUE, CENTRO RECREATIVO				B	OTRO	NS					
	A	OTROS												
D E S P U E S F U E A	NOMBRE DEL LUGAR:	1	HOGAR	1	IR AL TRABAJO	COMENZO:  TERMINO:	1	RUTA 100	ABONO	1	2	DONDE: 1 EST. PUBLICO 2 EST. PRIVADO 3 VIA PUBLICA  TIEMPO: _____ HRS  PAGO: SI NO 1 2 Pase a 47	CUANTO: NS  PAGO: 1 POR HORA 2 POR DIA 3 POR SEMANA 4 POR MES	
	CALLE:	2	OFICINA	2	REGRESAR A CASA		2	TROLEBUS	ABONO	1	2			
	COL:	3	FABRICA	3	COMPRAS		3	METRO	ABONO	1	2			
	ESTADO	4	TALLER, LABORATORIO	4	IR A LA ESCUELA		4	BICICLETA						
	MPIO. O DELEG.	5	ESCUELA	5	SOCIAL DIVERSION		5	AUTOMOVIL						
	AGEB:	6	CENTRO COMERCIAL, TIENDA, MERCADO ETC	6	RELACIONADO CON EL TRABAJO		6	MOTO						
	ENTRE QUE CALLES	7	OTRA VIVIENDA	7	LLEVAR O RECOGER A ALGUIEN		7	COLECTIVO	NS					
		8	HOSPITAL, CLINICA CONSULTORIO	8	IR A COMER		8	TAXI	NS					
		9	RESTAURANTE, BAR, FONDA, LONCHERIA, CANTINA, CAFETERIA	9	OTRO		9	SUBURBANO	NS					
		10	DEPORTIVO, GIMNASIO				A	TRAC	NS					
		11	PARQUE, CENTRO RECREATIVO				B	OTRO	NS					
	A	OTROS												
D E S P U E S F U E A	NOMBRE DEL LUGAR:	1	HOGAR	1	IR AL TRABAJO	COMENZO:  TERMINO:	1	RUTA 100	ABONO	1	2	DONDE: 1 EST. PUBLICO 2 EST. PRIVADO 3 VIA PUBLICA  TIEMPO: _____ HRS  PAGO: SI NO 1 2 Pase a 47	CUANTO: NS  PAGO: 1 POR HORA 2 POR DIA 3 POR SEMANA 4 POR MES	
	CALLE:	2	OFICINA	2	REGRESAR A CASA		2	TROLEBUS	ABONO	1	2			
	COL:	3	FABRICA	3	COMPRAS		3	METRO	ABONO	1	2			
	ESTADO	4	TALLER, LABORATORIO	4	IR A LA ESCUELA		4	BICICLETA						
	MPIO. O DELEG.	5	ESCUELA	5	SOCIAL DIVERSION		5	AUTOMOVIL						
	AGEB:	6	CENTRO COMERCIAL, TIENDA, MERCADO ETC.	6	RELACIONADO CON EL TRABAJO		6	MOTO						
	ENTRE QUE CALLES	7	OTRA VIVIENDA	7	LLEVAR O RECOGER A ALGUIEN		7	COLECTIVO	NS					
		8	HOSPITAL, CLINICA CONSULTORIO	8	IR A COMER		8	TAXI	NS					
		9	RESTAURANTE, BAR, FONDA, LONCHERIA, CANTINA, CAFETERIA	9	OTRO		9	SUBURBANO	NS					
		10	DEPORTIVO, GIMNASIO				A	TRAC	NS					
		11	PARQUE, CENTRO RECREATIVO				B	OTRO	NS					
	A	OTROS												

48.- ENTREV!

los viajes que re.

Verifique con el entrevistado si son todos

Note el total

OBSERVACIONES

HORA DE TERMINO

## IV. HOJA DE VIAJES SOLO PARA PERSONAS MAYORES DE CINCO AÑOS

(34) SU 1er. VIAJE COMENZO EN: HOGAR  1 OTRO  2

NOMBRE DEL LUGAR: \_\_\_\_\_

CALLE: \_\_\_\_\_

COL: \_\_\_\_\_

ESTADO: \_\_\_\_\_

MPIO. O DELEG.: \_\_\_\_\_

AQEB: \_\_\_\_\_

ENTRE QUE CALLES: \_\_\_\_\_

MOTIVO: \_\_\_\_\_

ENTREVISTADOR ANOTE:  
(37) NOMBRE Y  
No. RENGLON \_\_\_\_\_

VIAJE N.O. (35)	EN QUE LUGAR TERMINO EL VIAJE (36)	¿QUE TIPO DE LUGAR EST? (37)	¿CUAL FUE EL PROPOSITO DEL VIAJE? (38)	¿A QUE HORA? (39)	¿COMO SE TRANSPORTO? (40)				SI CONDUJO CUANTAS PERSONAS IBAN EN EL VEHICULO INCLUYEN- DOSE USTED? (41)	TRANSPORTE PRIVADO			¿CUANTAS CUADRAS CAMINO HASTA SU DESTINO FINAL? (47)
					ORDEN	SI		NO		42 - ¿DONDE SE ESTACIONO? 43 - ¿CUANTO TIEMPO SE ESTACIONO? 44 - ¿PAGO POR ESTACIONARSE? 46 - ¿USTED PAGO?	45 - ¿CUANTO PAGO EN TOTAL?	48 - ¿USTED PAGO?	
P R I M E R O	NOMBRE DEL LUGAR:	1 HOGAR 2 OFICINA 3 FABRICA	1 IR AL TRABAJO 2 REGRESAR A CASA 3 COMPRAS	COMENZO: _____	1 RUTA 100 ABONO <input type="checkbox"/> 1 <input type="checkbox"/> 2 2 TROLEBUS ABONO <input type="checkbox"/> 1 <input type="checkbox"/> 2 3 METRO ABONO <input type="checkbox"/> 1 <input type="checkbox"/> 2	D O N D E: 1 EST. PUBLICO 2 EST. PRIVADO 3 VIA PUBLICA	C U A N T O: NS  P A G O: 1 POR HORA 2 POR DIA 3 POR SEMANA 4 POR MES	T I E M P O _____ HRS.	P A G O  SI NO <input type="checkbox"/> 1 <input type="checkbox"/> 2 Paso a 47	P A G O: 1 POR HORA 2 POR DIA 3 POR SEMANA 4 POR MES	P A G O  SI NO <input type="checkbox"/> 1 <input type="checkbox"/> 2 Paso a 47	T I E M P O _____ HRS.	P A G O: 1 POR HORA 2 POR DIA 3 POR SEMANA 4 POR MES
	CALLE:	4 TALLER, LABORATORIO 5 ESCUELA	4 IR A LA ESCUELA 5 SOCIAL, DIVERSION	TERMINO: _____	4 BICICLETA 5 AUTOMOVIL 6 MOTO								
	COL:	6 CENTRO COMERCIAL, TIENDA, MERCADO ETC	6 RELACIONADO CON EL TRABAJO		7 COLECTIVO NS 8 TAXI NS 9 SUBURBANO NS A TRAC NS B OTRO NS								
	ESTADO	7 OTRA VIVIENDA 8 HOSPITAL, CLINICA CONSULTORIO	7 LLEVAR O RECOGER A ALGUIEN 8 IR A COMER										
	MPIO. O DELEG.:	9 RESTAURANTE, BAR, FONDA, LONCHERIA, CANTINA, CAFETERIA	9 OTRO										
	AQEB:	10 DEPORTIVO, GIMNASIO 11 PARQUE, CENTRO RECREATIVO											
	ENTRE QUE CALLES:	A OTROS _____											
D E S P U E S	NOMBRE DEL LUGAR:	1 HOGAR 2 OFICINA 3 FABRICA	1 IR AL TRABAJO 2 REGRESAR A CASA 3 COMPRAS	COMENZO: _____	1 RUTA 100 ABONO <input type="checkbox"/> 1 <input type="checkbox"/> 2 2 TROLEBUS ABONO <input type="checkbox"/> 1 <input type="checkbox"/> 2 3 METRO ABONO <input type="checkbox"/> 1 <input type="checkbox"/> 2	D O N D E: 1 EST. PUBLICO 2 EST. PRIVADO 3 VIA PUBLICA	C U A N T O: NS  P A G O: 1 POR HORA 2 POR DIA 3 POR SEMANA 4 POR MES	T I E M P O _____ HRS.	P A G O  SI NO <input type="checkbox"/> 1 <input type="checkbox"/> 2 Paso a 47	P A G O: 1 POR HORA 2 POR DIA 3 POR SEMANA 4 POR MES	P A G O  SI NO <input type="checkbox"/> 1 <input type="checkbox"/> 2 Paso a 47	T I E M P O _____ HRS.	P A G O: 1 POR HORA 2 POR DIA 3 POR SEMANA 4 POR MES
	CALLE:	4 TALLER, LABORATORIO 5 ESCUELA	4 IR A LA ESCUELA 5 SOCIAL, DIVERSION	TERMINO: _____	4 BICICLETA 5 AUTOMOVIL 6 MOTO								
	COL:	6 CENTRO COMERCIAL, TIENDA, MERCADO ETC	6 RELACIONADO CON EL TRABAJO		7 COLECTIVO NS 8 TAXI NS 9 SUBURBANO NS A TRAC NS B OTRO NS								
	ESTADO	7 OTRA VIVIENDA 8 HOSPITAL, CLINICA CONSULTORIO	7 LLEVAR O RECOGER A ALGUIEN 8 IR A COMER										
	MPIO. O DELEG.:	9 RESTAURANTE, BAR, FONDA, LONCHERIA, CANTINA, CAFETERIA	9 OTRO										
	AQEB:	10 DEPORTIVO, GIMNASIO 11 PARQUE, CENTRO RECREATIVO											
	ENTRE QUE CALLES:	A OTROS _____											

D E S P U E S F U E A	NOMBRE DEL LUGAR:	1	HOGAR	1	IR AL TRABAJO	COMENZO.	1	RUTA 100	ABONO	1	2	DONDE:	1	EST. PUBLICO	CUANTO: NS
	CALLE:	2	OFICINA	2	REGRESAR A CASA		2	TROLEBUS	ABONO	1	2		2	EST. PRIVADO	
	COL:	3	FABRICA	3	COMPRAS		3	METRO	ABONO	1	2		3	VIA PUBLICA	
	ESTADO	4	TALLER, LABORATORIO	4	IR A LA ESCUELA		TERMINO.	4	BICICLETA	PAGO:	1		POR HORA		
	MPHO O DELEG	5	ESCUELA	5	SOCIAL, DIVERSION			5	AUTOMOVIL		2		POR DIA		
	AGES:	6	CENTRO COMERCIAL, TIENDA, MERCADO ETC	6	RELACIONADO CON EL TRABAJO			6	MOTO		3		POR SEMANA		
	ENTRE QUE CALLES	7	OTRA VIVIENDA	7	LLEVAR O RECOGER A ALGUIEN			7	COLECTIVO		NS		1	POR MES	
		8	HOSPITAL, CLINICA	8	IR A COMER			8	TAXI		NS		1		
		9	CONSULTORIO	9	OTRO			9	SUBURBANO		NS		1		
		10	RESTAURANTE, BAR, FONDA, LONCHERIA, CANTINA, CAFETERIA					A	TRAC		NS		1		
		11	DEPORTIVO, GIMNASIO					B	OTRO		NS		1		
	A	PARQUE, CENTRO RECREATIVO													
		OTROS													

D E S P U E S F U E A	NOMBRE DEL LUGAR	1	HOGAR	1	IR AL TRABAJO	COMENZO.	1	RUTA 100	ABONO	1	2	DONDE:	1	EST. PUBLICO	CUANTO: NS
	CALLE	2	OFICINA	2	REGRESAR A CASA		2	TROLEBUS	ABONO	1	2		2	EST. PRIVADO	
	COL	3	FABRICA	3	COMPRAS		3	METRO	ABONO	1	2		3	VIA PUBLICA	
	ESTADO	4	TALLER, LABORATORIO	4	IR A LA ESCUELA		TERMINO	4	BICICLETA	PAGO:	1		POR HORA		
	MPHO, O DELEG	5	ESCUELA	5	SOCIAL, DIVERSION			5	AUTOMOVIL		2		POR DIA		
	AGES:	6	CENTRO COMERCIAL, TIENDA, MERCADO ETC	6	RELACIONADO CON EL TRABAJO			6	MOTO		3		POR SEMANA		
	ENTRE QUE CALLES	7	OTRA VIVIENDA	7	LLEVAR O RECOGER A ALGUIEN			7	COLECTIVO		NS		1	POR MES	
		8	HOSPITAL, CLINICA	8	IR A COMER			8	TAXI		NS		1		
		9	CONSULTORIO	9	OTRO			9	SUBURBANO		NS		1		
		10	RESTAURANTE, BAR, FONDA, LONCHERIA, CANTINA, CAFETERIA					A	TRAC		NS		1		
		11	DEPORTIVO, GIMNASIO					B	OTRO		NS		1		
		PARQUE, CENTRO RECREATIVO													
		OTROS													

D E S P U E S F U E A	NOMBRE DEL LUGAR	1	HOGAR	1	IR AL TRABAJO	COMENZO:	1	RUTA 100	ABONO	1	2	DONDE:	1	EST. PUBLICO	CUANTO: NS
	CALLE	2	OFICINA	2	REGRESAR A CASA		2	TROLEBUS	ABONO	1	2		2	EST. PRIVADO	
	COL	3	FABRICA	3	COMPRAS		3	METRO	ABONO	1	2		3	VIA PUBLICA	
	ESTADO	4	TALLER, LABORATORIO	4	IR A LA ESCUELA		TERMINO	4	BICICLETA	PAGO:	1		POR HORA		
	MPHO, O DELEG	5	ESCUELA	5	SOCIAL, DIVERSION			5	AUTOMOVIL		2		POR DIA		
	AGES:	6	CENTRO COMERCIAL, TIENDA, MERCADO ETC.	6	RELACIONADO CON EL TRABAJO			6	MOTO		3		POR SEMANA		
	ENTRE QUE CALLES	7	OTRA VIVIENDA	7	LLEVAR O RECOGER A ALGUIEN			7	COLECTIVO		NS		1	POR MES	
		8	HOSPITAL, CLINICA	8	IR A COMER			8	TAXI		NS		1		
		9	CONSULTORIO	9	OTRO			9	SUBURBANO		NS		1		
		10	RESTAURANTE, BAR, FONDA, LONCHERIA, CANTINA, CAFETERIA					A	TRAC		NS		1		
		11	DEPORTIVO, GIMNASIO					B	OTRO		NS		1		
		PARQUE, CENTRO RECREATIVO													
		OTROS													

48.- ENTRE los viajes que  Verifique con el entrevistado si son todos  asote el total

OBSERVACIONES

HORA DE TERMINO



D E S P U E S I F U E A	NOMBRE DEL LUGAR:	1 2 3	HOGAR OFICINA FABRICA	1 2 3	IR AL TRABAJO REGRESAR A CASA COMPRAS	COMENZO: _____  TERMINO: _____	1 2 3	RUTA 100 TROLEBUS METRO	ABONO	1 1 1	2 2 2	DONDE: 1 EST. PUBLICO 2 EST. PRIVADO 3 VIA PUBLICA	CUANTO: NS 1																																																																																					
	CALLE:	4 5	TALLER, LABORATORIO ESCUELA	4 5	IR A LA ESCUELA SOCIAL, DIVERSION		4 5 6 7	BICICLETA AUTOMOVIL MOTO	NS				TIEMPO _____ HRS.	PAGO: 1 POR HORA 2 POR DIA 3 POR SEMANA 4 POR MES																																																																																				
	COL:	6	CENTRO COMERCIAL, TIENDA, MERCADO ETC	6	RELACIONADO CON EL TRABAJO		8 9	COLECTIVO TAXI	NS				PAGO SI NO 1 2	Pase a 47																																																																																				
	ESTADO:	7 8	OTRA VIVIENDA HOSPITAL, CLINICA CONSULTORIO	7 8	LLEVAR O RECOGER A ALGUIEN IR A COMER		4 5 6 7 8 9	8 TAXI 9 SUBURBANO A TRAC B OTRO	NS NS NS NS	                 	                 		TIEMPO _____ HRS.  PAGO SI NO 1 2 Pase a 47	CUANTO: NS 1       2       3       4																																																																																				
	MPIO. O DELEG.	9	RESTAURANTE, BAR, FONDA, LONCHERIA, CANTINA, CAFETERIA	9	OTRO																																																																																													
	AGEB:	10 11	DEPORTIVO, GIMNASIO PARQUE, CENTRO RECREATIVO	10 11																																																																																														
	ENTRE QUE CALLES:	A	OTROS	A																																																																																														
	<table border="1"> <tr> <td>NOMBRE DEL LUGAR:</td> <td>1 2 3</td> <td>HOGAR OFICINA FABRICA</td> <td>1 2 3</td> <td>IR AL TRABAJO REGRESAR A CASA COMPRAS</td> <td rowspan="11">COMENZO: _____  TERMINO: _____</td> <td>1 2 3</td> <td>RUTA 100 TROLEBUS METRO</td> <td>ABONO</td> <td>1 1 1</td> <td>2 2 2</td> <td rowspan="11">DONDE: 1 EST. PUBLICO 2 EST. PRIVADO 3 VIA PUBLICA</td> <td>CUANTO: NS 1      </td> </tr> <tr> <td>CALLE:</td> <td>4 5</td> <td>TALLER, LABORATORIO ESCUELA</td> <td>4 5</td> <td>IR A LA ESCUELA SOCIAL, DIVERSION</td> <td>4 5 6 7</td> <td>BICICLETA AUTOMOVIL MOTO</td> <td>NS</td> <td>       </td> <td>       </td> <td>TIEMPO _____ HRS.</td> <td>PAGO: 1 POR HORA 2 POR DIA 3 POR SEMANA 4 POR MES</td> </tr> <tr> <td>COL:</td> <td>6</td> <td>CENTRO COMERCIAL, TIENDA, MERCADO ETC</td> <td>6</td> <td>RELACIONADO CON EL TRABAJO</td> <td>8 9</td> <td>COLECTIVO TAXI</td> <td>NS</td> <td>       </td> <td>       </td> <td>PAGO SI NO 1 2</td> <td>Pase a 47</td> </tr> <tr> <td>ESTADO:</td> <td>7 8</td> <td>OTRA VIVIENDA HOSPITAL, CLINICA CONSULTORIO</td> <td>7 8</td> <td>LLEVAR O RECOGER A ALGUIEN IR A COMER</td> <td>4 5 6 7 8 9</td> <td>8 TAXI 9 SUBURBANO A TRAC B OTRO</td> <td>NS NS NS NS</td> <td>                               </td> <td>                               </td> <td rowspan="9">TIEMPO _____ HRS.  PAGO SI NO 1 2 Pase a 47</td> <td rowspan="9">CUANTO: NS 1       2       3       4      </td> </tr> <tr> <td>MPIO. O DELEG.</td> <td>9</td> <td>RESTAURANTE, BAR, FONDA, LONCHERIA, CANTINA, CAFETERIA</td> <td>9</td> <td>OTRO</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>AGEB:</td> <td>10 11</td> <td>DEPORTIVO, GIMNASIO PARQUE, CENTRO RECREATIVO</td> <td>10 11</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>ENTRE QUE CALLES:</td> <td>A</td> <td>OTROS</td> <td>A</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> </table>														NOMBRE DEL LUGAR:	1 2 3	HOGAR OFICINA FABRICA	1 2 3	IR AL TRABAJO REGRESAR A CASA COMPRAS	COMENZO: _____  TERMINO: _____	1 2 3	RUTA 100 TROLEBUS METRO	ABONO	1 1 1	2 2 2	DONDE: 1 EST. PUBLICO 2 EST. PRIVADO 3 VIA PUBLICA	CUANTO: NS 1	CALLE:	4 5	TALLER, LABORATORIO ESCUELA	4 5	IR A LA ESCUELA SOCIAL, DIVERSION	4 5 6 7	BICICLETA AUTOMOVIL MOTO	NS			TIEMPO _____ HRS.	PAGO: 1 POR HORA 2 POR DIA 3 POR SEMANA 4 POR MES	COL:	6	CENTRO COMERCIAL, TIENDA, MERCADO ETC	6	RELACIONADO CON EL TRABAJO	8 9	COLECTIVO TAXI	NS			PAGO SI NO 1 2	Pase a 47	ESTADO:	7 8	OTRA VIVIENDA HOSPITAL, CLINICA CONSULTORIO	7 8	LLEVAR O RECOGER A ALGUIEN IR A COMER	4 5 6 7 8 9	8 TAXI 9 SUBURBANO A TRAC B OTRO	NS NS NS NS	                 	                 	TIEMPO _____ HRS.  PAGO SI NO 1 2 Pase a 47	CUANTO: NS 1       2       3       4	MPIO. O DELEG.	9	RESTAURANTE, BAR, FONDA, LONCHERIA, CANTINA, CAFETERIA	9	OTRO							AGEB:	10 11	DEPORTIVO, GIMNASIO PARQUE, CENTRO RECREATIVO	10 11								ENTRE QUE CALLES:	A	OTROS	A									
	NOMBRE DEL LUGAR:	1 2 3	HOGAR OFICINA FABRICA	1 2 3	IR AL TRABAJO REGRESAR A CASA COMPRAS		COMENZO: _____  TERMINO: _____	1 2 3	RUTA 100 TROLEBUS METRO	ABONO	1 1 1				2 2 2	DONDE: 1 EST. PUBLICO 2 EST. PRIVADO 3 VIA PUBLICA	CUANTO: NS 1																																																																																	
	CALLE:	4 5	TALLER, LABORATORIO ESCUELA	4 5	IR A LA ESCUELA SOCIAL, DIVERSION			4 5 6 7	BICICLETA AUTOMOVIL MOTO	NS							TIEMPO _____ HRS.	PAGO: 1 POR HORA 2 POR DIA 3 POR SEMANA 4 POR MES																																																																																
	COL:	6	CENTRO COMERCIAL, TIENDA, MERCADO ETC	6	RELACIONADO CON EL TRABAJO			8 9	COLECTIVO TAXI	NS							PAGO SI NO 1 2	Pase a 47																																																																																
ESTADO:	7 8	OTRA VIVIENDA HOSPITAL, CLINICA CONSULTORIO	7 8	LLEVAR O RECOGER A ALGUIEN IR A COMER	4 5 6 7 8 9	8 TAXI 9 SUBURBANO A TRAC B OTRO		NS NS NS NS	                 	                 	TIEMPO _____ HRS.  PAGO SI NO 1 2 Pase a 47	CUANTO: NS 1       2       3       4																																																																																						
MPIO. O DELEG.	9	RESTAURANTE, BAR, FONDA, LONCHERIA, CANTINA, CAFETERIA	9	OTRO																																																																																														
AGEB:	10 11	DEPORTIVO, GIMNASIO PARQUE, CENTRO RECREATIVO	10 11																																																																																															
ENTRE QUE CALLES:	A	OTROS	A																																																																																															
NOMBRE DEL LUGAR:	1 2 3	HOGAR OFICINA FABRICA	1 2 3	IR AL TRABAJO REGRESAR A CASA COMPRAS	COMENZO: _____  TERMINO: _____	1 2 3		RUTA 100 TROLEBUS METRO	ABONO	1 1 1			2 2 2	DONDE: 1 EST. PUBLICO 2 EST. PRIVADO 3 VIA PUBLICA	CUANTO: NS 1																																																																																			
CALLE:	4 5	TALLER, LABORATORIO ESCUELA	4 5	IR A LA ESCUELA SOCIAL, DIVERSION		4 5 6 7		BICICLETA AUTOMOVIL MOTO	NS						TIEMPO _____ HRS.		PAGO: 1 POR HORA 2 POR DIA 3 POR SEMANA 4 POR MES																																																																																	
COL:	6	CENTRO COMERCIAL, TIENDA, MERCADO ETC	6	RELACIONADO CON EL TRABAJO		8 9		COLECTIVO TAXI	NS						PAGO SI NO 1 2		Pase a 47																																																																																	
ESTADO:	7 8	OTRA VIVIENDA HOSPITAL, CLINICA CONSULTORIO	7 8	LLEVAR O RECOGER A ALGUIEN IR A COMER		4 5 6 7 8 9		8 TAXI 9 SUBURBANO A TRAC B OTRO	NS NS NS NS	                 			                 		TIEMPO _____ HRS.  PAGO SI NO 1 2 Pase a 47		CUANTO: NS 1       2       3       4																																																																																	
MPIO. O DELEG.	9	RESTAURANTE, BAR, FONDA, LONCHERIA, CANTINA, CAFETERIA	9	OTRO																																																																																														
AGEB:	10 11	DEPORTIVO, GIMNASIO PARQUE, CENTRO RECREATIVO	10 11																																																																																															
ENTRE QUE CALLES:	A	OTROS	A																																																																																															

48.- ENTREVISTA: Verifique con el entrevistado si son todos los viajes que realizó, anote el total

RESERVACIONES \_\_\_\_\_

HORA DE TERMINO \_\_\_\_\_

### IV. HOJA DE VIAJES SOLO PARA PERSONAS MAYORES DE CINCO AÑOS

(34) BU 1er. VIAJE COMENZO EN: HOGAR  1 OTRO  2

NOMBRE DEL LUGAR: \_\_\_\_\_

CALLE: \_\_\_\_\_

COL: \_\_\_\_\_

ESTADO: \_\_\_\_\_

MPIO O DELEG. \_\_\_\_\_

AGEB. \_\_\_\_\_

ENTRE QUE CALLES: \_\_\_\_\_

MOTIVO: \_\_\_\_\_

ENTREVISTADOR ANOTE:  
(33) NOMBRE Y  
No. RENGLON \_\_\_\_\_

VIAJE N.O.	EN QUE LUGAR TERMINO EL VIAJE (36)	¿QUE TIPO DE LUGAR ES? (37)	¿CUAL FUE EL PROPOSITO DEL VIAJE? (38)	¿A QUE HORA? (39)	¿COMO SE TRANSPORTO? (40)		TRANSPORTE PRIVADO		¿CUANTAS CUADRAS CAMINO HASTA SU DESTINO FINAL? (47)																			
					SI CONDUJO CUANTAS PERSONAS IBAN EN EL VEHICULO INCLUYEN- DOSE USTED? (41)	43.- ¿DONDE SE ESTACIONO? 44.- ¿PAGO POR ESTACIONARSE? (42)	45.- ¿CUANTO PAGO EN TOTAL? 46.- ¿USTED PAGO? (43)																					
P R I M E R O	NOMBRE DEL LUGAR:	1 HOGAR 2 OFICINA 3 FABRICA	1 IR AL TRABAJO 2 REGRESAR A CASA 3 COMPRAS	COMENZO: _____	ORDEN	1 RUTA 100 ABONO <input type="checkbox"/> 1 <input type="checkbox"/> 2 2 TROLEBUS ABONO <input type="checkbox"/> 1 <input type="checkbox"/> 2 3 METRO ABONO <input type="checkbox"/> 1 <input type="checkbox"/> 2	SI NO	DONDE: 1 EST. PUBLICO 2 EST. PRIVADO 3 VIA PUBLICA	TIEMPO _____ HRS.	PAGO: 1 POR HORA 2 POR DIA 3 POR SEMANA 4 POR MES																		
	CALLE:	4 TALLER, LABORATORIO 5 ESCUELA	4 IR A LA ESCUELA 5 SOCIAL, DIVERSION	TERMINO: _____	4 BICICLETA 5 AUTOMOVIL 6 MOTO 7 COLECTIVO NS 8 TAXI NS 9 SUBURBANO NS A TRAC NS B OTRO NS	TIEMPO _____ HRS.					PAGO: SI NO 1 2																	
	COL:	6 CENTRO COMERCIAL TIENDA, MERCADO ETC	6 RELACIONADO CON EL TRABAJO									TIEMPO _____ HRS.	PAGO: SI NO 1 2															
	ESTADO	7 OTRA VIVIENDA 8 HOSPITAL, CLINICA CONSULTORIO	7 LLEVAR O RECOGER A ALGUIEN 8 IR A COMER											TIEMPO _____ HRS.	PAGO: SI NO 1 2													
	MPIO O DELEG.:	9 RESTAURANTE, BAR, FONDA, LONCHERIA, CANTINA, CAFETERIA	9 OTRO													TIEMPO _____ HRS.	PAGO: SI NO 1 2											
	AGEB.:	10 DEPORTIVO, GIMNASIO																TIEMPO _____ HRS.	PAGO: SI NO 1 2									
	ENTRE QUE CALLES:	11 PARQUE, CENTRO RECREATIVO																		TIEMPO _____ HRS.	PAGO: SI NO 1 2							
		A OTROS _____																				TIEMPO _____ HRS.	PAGO: SI NO 1 2					
																								TIEMPO _____ HRS.	PAGO: SI NO 1 2			
																										TIEMPO _____ HRS.	PAGO: SI NO 1 2	
																												TIEMPO _____ HRS.
					TIEMPO _____ HRS.		PAGO: SI NO 1 2																					
D E S P U E S	NOMBRE DEL LUGAR:	1 HOGAR 2 OFICINA 3 FABRICA	1 IR AL TRABAJO 2 REGRESAR A CASA 3 COMPRAS	COMENZO: _____		ORDEN		1 RUTA 100 ABONO <input type="checkbox"/> 1 <input type="checkbox"/> 2 2 TROLEBUS ABONO <input type="checkbox"/> 1 <input type="checkbox"/> 2 3 METRO ABONO <input type="checkbox"/> 1 <input type="checkbox"/> 2	SI NO	DONDE: 1 EST. PUBLICO 2 EST. PRIVADO 3 VIA PUBLICA	TIEMPO _____ HRS.																	
	CALLE:	4 TALLER, LABORATORIO 5 ESCUELA	4 IR A LA ESCUELA 5 SOCIAL, DIVERSION	TERMINO: _____				TIEMPO _____ HRS.				PAGO: SI NO 1 2																
	COL:	6 CENTRO COMERCIAL TIENDA, MERCADO ETC.	6 RELACIONADO CON EL TRABAJO										TIEMPO _____ HRS.	PAGO: SI NO 1 2														
	ESTADO	7 OTRA VIVIENDA 8 HOSPITAL, CLINICA CONSULTORIO	7 LLEVAR O RECOGER A ALGUIEN 8 IR A COMER												TIEMPO _____ HRS.	PAGO: SI NO 1 2												
	MPIO O DELEG.:	9 RESTAURANTE, BAR, FONDA, LONCHERIA, CANTINA, CAFETERIA	9 OTRO														TIEMPO _____ HRS.	PAGO: SI NO 1 2										
	AGEB.:	10 DEPORTIVO, GIMNASIO																	TIEMPO _____ HRS.	PAGO: SI NO 1 2								
	ENTRE QUE CALLES:	11 PARQUE, CENTRO RECREATIVO																			TIEMPO _____ HRS.	PAGO: SI NO 1 2						
																							TIEMPO _____ HRS.	PAGO: SI NO 1 2				
																									TIEMPO _____ HRS.	PAGO: SI NO 1 2		
																											TIEMPO _____ HRS.	PAGO: SI NO 1 2
						TIEMPO _____ HRS.	PAGO: SI NO 1 2																					
					TIEMPO _____ HRS.				PAGO: SI NO 1 2																			
								TIEMPO _____ HRS.		PAGO: SI NO 1 2																		

D E S P U E S	NOMBRE DEL LUGAR	1 HOGAR 2 OFICINA 3 FABRICA 4 TALLER, LABORATORIO ESCUELA 5 CENTRO COMERCIAL, TIENDA, MERCADO ETC 6 OTRA VIVIENDA 7 HOSPITAL, CLINICA 8 CONSULTORIO 9 RESTAURANTE, BAR, FONDA, LONCHERIA, CANTINA, CAFETERIA 10 DEPORTIVO, GIMNASIO 11 PARQUE, CENTRO RECREATIVO A OTROS											COMENZO	1 RUTA 100 2 TROLEBUS 3 METRO			4 BICICLETA 5 AUTOMOVL 6 MOTO 7 COLECTIVO 8 TAXI 9 SUBURBANO A TRAC B OTRO				DONDE	EST. PUBLICO 2 EST. PRIVADO 3 VIA PUBLICA			TIEMPO HRS	PAGO
		CALLE	COL:	ESTADO	MPIO. O DELEG:	AGEB:	ENTRE QUE CALLES	1 IR AL TRABAJO 2 REGRESAR A CASA 3 COMPRAS 4 IR A LA ESCUELA 5 SOCIAL DIVERSION 6 RELACIONADO CON EL TRABAJO 7 LLEVAR O RECOGER A ALGUIEN 8 IR A COMER 9 OTRO	COMENZO	B	B	1 2		1 2	1 2	1 2	1 2									
F U E A																										
D E S P U E S																										
F U E A																										
D E S P U E S																										
F U E A																										

48.- ENTRE. HOR: Verifique con el entrevistado si son todos los viajes que realizó y anote el total

OBSERVACIONES

HORA DE TERMINO

12



D E S P U E S F U E A	NOM. LUGAR:	1 2 3	HOGAR OFICINA FABRICA	1 2 3	IR AL TRABAJO REGRESAR A CASA COMPRAS	CUENZO:	1 2 3	RUTA 100 TROLEBUS METRO	ABONO ABONO ABONO	1 1 1	2 2 2	1 2 3	EST. PUBLICO EST. PRIVADO VIA PUBLICA	CUA	
	CALLE:	4 5	TALLER, LABORATORIO ESCUELA	4 5	IR A LA ESCUELA SOCIAL, DIVERSION	TERMINO:	4 5 6 7 8 9 A B	BICICLETA AUTOMOVIL MOTO COLECTIVO TAXI SUBURBANO TRAC OTRO	NS NS NS NS NS NS NS NS				TIEMPO	1 2 3 4	
	COL:	6	CENTRO COMERCIAL TIENDA, MERCADO ETC.	6	RELACIONADO CON EL TRABAJO								PAGO		
	ESTADO	7 8	OTRA VIVIENDA HOSPITAL, CLINICA	7 8	LLEVAR O RECOGER A ALGUIEN								SI NO		
	MPIO O DELEG:	9	CONSULTORIO RESTAURANTE, BAR, FONDA, LONCHERIA, CANTINA, CAFETERIA	9	IR A COMER								1 2		
	AGEB:	10	DEPORTIVO, GIMNASIO		OTRO										
	ENTRE QUE CALLES	11 A	PARQUE, CENTRO RECREATIVO OTROS												
	Paso 47														
	D E S P U E S F U E A	NOMBRE DEL LUGAR:	1 2 3	HOGAR OFICINA FABRICA	1 2 3	IR AL TRABAJO REGRESAR A CASA COMPRAS	COMENZO:	1 2 3	RUTA 100 TROLEBUS METRO	ABONO ABONO ABONO	1 1 1	2 2 2	1 2 3	EST. PUBLICO EST. PRIVADO VIA PUBLICA	CUANTO: NS
		CALLE:	4 5	TALLER, LABORATORIO ESCUELA	4 5	IR A LA ESCUELA SOCIAL, DIVERSION	TERMINO:	4 5 6 7 8 9 A B	BICICLETA AUTOMOVIL MOTO COLECTIVO TAXI SUBURBANO TRAC OTRO	NS NS NS NS NS NS NS NS				TIEMPO	1 2 3 4
		COL:	6	CENTRO COMERCIAL TIENDA, MERCADO ETC.	6	RELACIONADO CON EL TRABAJO								PAGO	
ESTADO		7 8	OTRA VIVIENDA HOSPITAL, CLINICA	7 8	LLEVAR O RECOGER A ALGUIEN								SI NO		
MPIO O DELEG:		9	CONSULTORIO RESTAURANTE, BAR, FONDA, LONCHERIA, CANTINA, CAFETERIA	9	IR A COMER								1 2		
AGEB:		10	DEPORTIVO, GIMNASIO		OTRO										
ENTRE QUE CALLES		11 A	PARQUE, CENTRO RECREATIVO OTROS												
Paso 47															
D E S P U E S F U E A		NOMBRE DEL LUGAR:	1 2 3	HOGAR OFICINA FABRICA	1 2 3	IR AL TRABAJO REGRESAR A CASA COMPRAS	COMENZO:	1 2 3	RUTA 100 TROLEBUS METRO	ABONO ABONO ABONO	1 1 1	2 2 2	1 2 3	EST. PUBLICO EST. PRIVADO VIA PUBLICA	CUANTO: NS
		CALLE:	4 5	TALLER, LABORATORIO ESCUELA	4 5	IR A LA ESCUELA SOCIAL, DIVERSION	TERMINO:	4 5 6 7 8 9 A B	BICICLETA AUTOMOVIL MOTO COLECTIVO TAXI SUBURBANO TRAC OTRO	NS NS NS NS NS NS NS NS				TIEMPO	1 2 3 4
		COL:	6	CENTRO COMERCIAL TIENDA, MERCADO ETC.	6	RELACIONADO CON EL TRABAJO								PAGO	
	ESTADO	7 8	OTRA VIVIENDA HOSPITAL, CLINICA	7 8	LLEVAR O RECOGER A ALGUIEN								SI NO		
	MPIO O DELEG:	9	CONSULTORIO RESTAURANTE, BAR, FONDA, LONCHERIA, CANTINA, CAFETERIA	9	IR A COMER								1 2		
	AGEB:	10	DEPORTIVO, GIMNASIO		OTRO										
	ENTRE QUE CALLES	11 A	PARQUE, CENTRO RECREATIVO OTROS												
	Paso 47														

48.- ENT: **OR:** Verifique con el entrevistado si son todos los viajes q. y anote el total

OBSERVACIONES

HORA DE TERMINO

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

V. INGRESOS DE LOS RESIDENTES DEL HOGAR

NUMERO DE RENGLON	¿CUAL ES SU INGRESO?	CADA CUANDO:	OBSERVACIONES
		1 DIARIO 2 SEMANAL 3 QUINCENAL 4 MENSUAL 5 ANUAL	
(49)	(50)	(51)	
1			
2			
3			
4			
5			
6			
7			
8			
9			
10			

52.- ¿EN DONDE UBICA EL INGRESO DE TODOS LOS MIEMBROS DEL HOGAR? CRUCE

RANGOS DE INGRESO

1	MENOS DE LA MITAD DEL SALARIO MINIMO	0	A	228
2	DE LA MITAD HASTA EL SALARIO MINIMO	229	A	458
3	MAS DEL SALARIO MINIMO HASTA 1.5	459	A	687
4	MAS DEL 1.5 A EL DOBLE	688	A	916
5	MAS DEL DOBLE HASTA EL TRIPLE	917	A	1,374
6	MAS DEL TRIPLE HASTA 4 VECES	1,375	A	1,832
7	MAS DE 4 VECES HASTA 6 VECES	1,833	A	2,290
8	MAS DE 6 VECES HASTA 10 VECES	2,291	A	4,580
9	MAS DE 10 VECES HASTA 20 VECES	4,581	A	9,160
10	MAS DE 20 VECES HASTA 30 VECES	9,161	A	13,740
11	MAS DE 30 VECES			MAS DE 13,740

VI. RESULTADO DE LA ENTREVISTA

NUMERO DE LA VISITA (53)	FECHA DE LA VISITA (54)		DURACION DE LA ENTREVISTA (55)		NUMERO DE PERSONAS ENTREVISTADAS (56)	No. RENGLON DE LA PERSONA QUE DIO LA INFORMACION (57)	LA ENTREVISTA FUE: VER CODIGOS DE RESULTADO (58)	¿SE DIO NUEVA CITA? SI NO (59)		FECHA Y HORA DE LA CITA (60)	OBSERVACIONES (61)
	DIA	MES	HORAS	MINUTOS				SI	NO		

(62) RESULTADO FINAL

PUESTO	NOMBRE	CLAVE	FIRMA	FECHA DE ENTREGA
ENTREVISTADOR				
JEFE DE GRUPO				
SUPERVISOR				
JEFE DE AREA				
CRITICO-CODIFICADOR				
JEFE DE CRITICA				
JEFE DE ZONA				

SIN ENTREVISTA

- 1 AUSENCIA TEMPORAL
- 2 SE NEGÓ A DAR INFORMACION
- 3 EL INFORMANTE NO PODIA DAR INFORMACION
- 4 HOGAR CON 4 O MAS ABONADOS
- 5 EL DOMICILIO NO ES VIVIENDA (ES NEGOCIO, TALLER, ETC.)
- 6 VIVIENDA DESOCUPADA
- 7 VIVIENDA USADA TEMPORALMENTE PARA NEGOCIO
- 8 VIVIENDA DEMOLIDA
- 9 VIVIENDA EN CONSTRUCCION
- 10 VIVIENDA FUSIONADA
- 11 VIVIENDA DE USO TEMPORAL
- 12 OTROS (ESPECIFIQUE)

CON ENTREVISTA

- 13 ENTREVISTA COMPLETA CORRECTA
- 14 ENTREVISTA INCOMPLETA PORQUE SE DIO OTRA CITA
- 15 ENTREVISTA INCOMPLETA PORQUE SE NEGÓ A CONTINUAR PROPORCIONANDO INFORMACION
- 16 ENTREVISTA INCOMPLETA PORQUE NO SE LOCALIZO AL INFORMANTE EN LA SIGUIENTE VISITA
- 17 ENTREVISTA INCOMPLETA POR OTROS MOTIVOS (ENFERMEDAD, FENOMENOS CLIMATOLOGOS, ETC.)
- 18 ENTREVISTA COMPLETA LEVANTADA EN OTRO PERIODO
- 19 ENTREVISTA INCOMPLETA LEVANTADA EN OTRO PERIODO



**FACULTAD DE INGENIERIA U.N.A.M.  
DIVISION DE EDUCACION CONTINUA**

**DIPLOMADO INTERNACIONAL DE TRANSPORTE**

**MODULO II: PLANIFICACIÓN DEL TRANSPORTE URBANO**

**TEMA: EL DESARROLLO URBANO EN RELACIÓN CON EL  
TRANSPORTE**

**PRESENTA: ING. FERNANDO AUDIFFRED**

**PRIMAVERA 1997**

**EL DESARROLLO URBANO EN  
RELACION CON EL TRANSPORTE.**

**EL QUE UN PAIS EN VIAS DE DESARROLLO, EN EL LAPSO DE UN SIGLO, CAMBIE DE ESTRUCTURA ECONOMICA (DE UNA ECONOMIA TRADICIONAL BASADA EN EL SECTOR PRIMARIO A UNA ECONOMIA MODERNA BASADA EN LOS SECTORES SECUNDARIO Y TERCEARIO) TIENE COMO EFECTO DIRECTO E IRREVERSIBLE UN PROCESO DE URBANIZACION.**

**LA URBANIZACION TIENE COMO CARACTERISTICA PRINCIPAL LA REUBICACION DE LA POBLACION DENTRO DEL ESPACIO NACIONAL: DE LA ESTRUCTURA TRADICIONAL, EN LA QUE EL ALTO PORCENTAJE DE LA POBLACION ES RURAL, A LA MODERNA, EN LA QUE INMENSA MAYORIA DE LA POBLACION CAMBIA SU RESIDENCIA A LAS CIUDADES. LA ELEVADA TASA DE CRECIMIENTO DEMOGRÁFICO HACE AÚN MÁS INTENSO EL PROCESO DE CONCENTRACIÓN POBLACIONAL EN LAS CIUDADES. SI PARA 1980 MÁS DE LA MITAD DE LA POBLACION ERA CONSIDERADA URBANA, SE ESTIMA QUE EN LOS PROXIMOS 20 AÑOS LA POBLACION DE LAS MAYORES CIUDADES DEL PAIS SE DUPLICARA, Y CON ELLO SE MULTIPLICARAN LOS YA SERIOS PROBLEMAS URBANOS DE INSUFICIENCIA E INEFICIENCIA DE SERVICIOS, USO EFICIENTE DEL SUELO, INCIPIENTE ESTRUCTURACION VIAL, TRANSPORTE OBSOLETO Y DEMAS. POR LO QUE HABRA QUE ANTICIPARSE A LOS PROBLEMAS URBANOS.**

**PARA LAS AREAS METROPOLITANAS EN CONJUNTO, LA DISPERSION PERIFERICA DE LA POBLACION HA MARCADO UNA NOTABLE SEPARACION ENTRE LAS FUENTES DE TRABAJO, LAS ZONAS DE VIVIENDA Y LAS ZONAS DE SERVICIOS, AFECTANDO LAS CONDICIONES DE VIDA DE LA MAYORIA DE LOS HABITANTES AFECTANDO LAS CONDICIONES DE ESTAS CIUDADES, PARTICULARMENTE LA DE AQUELLOS SECTORES QUE RESIDEN EN LAS AREAS MAS ALEJADAS Y DESARTICULADAS DE LA ESTRUCTURA URBANA.**

**PARA LA CIUDAD DE MEXICO EN 1987 SE REALIZO UN ESTUDIO DETECTANDO QUE UN TRABAJADOR DESTINABA DE UN 8 A UN 9% DEL INGRESO FAMILIAR PARA TRASLADARSE 5 DIAS DE LA SEMANA A SU CENTRO DE TRABAJO Y EN 1990 EL GASTO ERA DEL ORDEN DEL 12 AL 13%.**

#### **FIG. A1. PLANIFICACION URBANA**

**EL DESARROLLO URBANO DEBE ENTENDERSE COMO UN FENOMENO ECONOMICO-SOCIAL QUE ATIENDE LAS NECESIDADES BASICAS DE UNA POBLACION, AL IGUAL QUE OTRAS ACTIVIDADES EN EL PROCESO DE DESARROLLO POLITICO, ECONOMICO Y SOCIAL DE UN PAIS, CONLLEVA UN PROCESO IMPORTANTE DE ASIGNACION DE RECURSOS**

EN TERMINOS FISICOS( TERRENO), FINANCIEROS, DE INFRAESTRUCTURA Y MUCHOS OTROS. ESTE PROCESO ATIENDE DETERMINADAS PRIORIDADES, METAS Y OBJETIVOS Y SE ORIENTA TANTO A LA SATISFACCION DE NECESIDADES ESPECIFICAS DE UN GRUPO COMO A LA ATENCION DE PROBLEMAS GENERALES DE LA SOCIEDAD EN SU CONJUNTO.

DESDE EL PASADO, EL CONCEPTO DE DESARROLLO URBANO SE HA VENIDO INTERPRETANDO DE MANERA PARCIAL, PUES POR UNA PARTE SE ANALIZAN TRADICIONALMENTE LOS ASPECTOS SOCIO-ECONOMICOS DE LA POBLACION Y POR LA OTRA, EL ENFASIS HA RECAIDO EN FORMA IMPORTANTE HACIA EL DISEÑO URBANO, O BIEN EL TRANSPORTE, DESTACANDOSE UNICAMENTE LAS CARACTERISTICAS FISICO ESPACIALES EN LOS PLANTEAMIENTOS Y SOLUCIONES.

ESTO CONDUCE A QUE AL ASIGNAR RECURSOS PARA INSTRUMENTAR LAS ACTIVIDADES DEL DESARROLLO URBANO (HABITACIONAL, RECREACION, SERVICIOS INCLUIDO EL TRANSPORTE, INFRAESTRUCTURA Y OTROS), ESTO SEA PARCIAL Y POCO OBJETIVO PUES NO SE CUENTA CON ALTERNATIVAS INTEGRALES QUE PERMITEN JERARQUIZACION Y EVALUCION ECONOMICA EN TERMINOS DE " UN ROYECTO DE INVERSION"

FIG.A2. RELACION DEL DISEÑO URBANO CON OTRAS DISCIPLINAS.

ES IMPORTANTE CONSIDERAR LA RELACION QUE EXISTE ENTRE LAS DIFERENTES DISCIPLINAS PARA ALCANZAR LOS OBJETIVOS DEL DESARROLLO URBANO.

FIG. A3. METAS Y OBJETIVOS DEL DISEÑO URBANO .

ES CONVENIENTE ENTENDER QUE LA VARIABLE DE USO DEL SUELO NO ES LA UNICA QUE DEFINE EL DESARROLLO URBANO POR ENDE NO ES LA UNICA QUE INCIDE EN EL TRANSPORTE. EN CONSECUENCIA EL DESARROLLO URBANO NO SE RESUME EN EL USO DEL SUELO. TAMBIEN ES IMPORTANTE CONSIDERAR QUE EL CAMBIO EN EL DISEÑO URBANO MODIFICA EL FUNCIONAMIENTO DEL TRANSPORTE Y VICEVERSA.

ASIMISMO DEBEN ENTENDERSE Y CONOCERSE LOS IMPACTOS QUE GENERAN TODAS Y CADA UNA DE LAS VARIABLES QUE INCIDEN EN EL DESARROLLO URBANO PARA PREVEER EN LO POSIBLE LAS TENDENCIAS Y CONSECUENCIAS QUE PROVOCAN. HACIENDO NOTAR QUE ESTOS ESTUDIOS DEBEN SER APEGADOS A CASOS PARTICULARES PUES NO ES IGUAL EL COMPORTAMIENTO Y NECESIDADES POR EJEMPLO DE UNA SOCIEDAD EN EL SURESTE QUE

**EN EL NORTE DE LA REPUBLICA AMEN DE OTROS ASPECTOS QUE INFLUYEN EN EL DESARROLLO URBANO**

**FIG.1. EL TRANSPORTE Y EL DESARROLLO URBANO SIEMPRE HAN INTERACTUADO. CONFORME UNA POBLACION SE ASIENTA Y LAS CIUDADES EMPIEZAN A CRECER, APARECEN MEDIOS DE TRANSPORTE MÁS SOFISTICADOS, A SU VEZ, LA APARICION DE TRANSPORTES MAS RAPIDOS Y FLEXIBLES HAN IDO ESTIMULANDO EL DESARROLLO URBANO**

**-EL CICLO DE TRANSPORTE-DISEÑO URBANO**

**LA CONSTRUCCION DE UNA NUEVA VIALIDAD PRIMARIA O LA MODERNIZACION Y READAPTACION DE ESTA MODIFICA LA EFICIENTE ACCESIBILIDAD DEL AREA Y POR CONSECUENCIA LOS NIVELES DE SERVICIO.**

**-LA ZONIFICACION SOLAMENTE PUEDE SER PARCIALMENTE EFECTIVA EN LA INTEGRACION DEL TRANSPORTE Y USO DEL SUELO LAS RAZONES SON**

**\*LA ZONIFICACION NO TRATA DIRECTAMENTE CON EL TIPO Y VOLUMEN DE TRANSITO GENERADO POR UN DESARROLLO INMOBILIARIO**

**\*EL USO DEL SUELO DE CUALQUIER DESARROLLO URBANO TENDERÁ A CAMBIAR VARIAS VECES A LO LARGO DE LA VIDA DE UNA ARTERIA.**

**\*LA ZONIFICACION ES CONSTANTEMENTE CAMBIADA SIN UNA MEDICION CONSISTENTE E INTEGRAL DE LAS CONSECUENCIAS**

**UN DILEMA CONCEPTUAL ES SABER SI SE PUEDEN DEFINIR LOS MOMENTOS EN EL TIEMPO CUANDO EL DESARROLLO INMOBILIARIO Y EL SISTEMA DE TRANSPORTE ESTARAN BALANCEADOS.**

**FIG. 2 ACCESIBILIDAD**

**LA MEJORA EN LA ACCESIBILIDAD QUE OFRECE UNA MEJORA AMPLIA DE LA RED ARTERIAL ESTIMULA EL DESARROLLO INMOBILIARIO QUE A SU VEZ TIENE COMO RESULTADOS INCREMENTOS EN LOS VOLUMENES DE TRANSITO Y EN EL VALOR DE LAS PROPIEDADES.**

**FIG. 3 EJEMPLO**

**+AREA DE COMERCIO PRIMARIA DE UN CENTRO COMERCIAL ES DE 20 MIN.**

**+SI LA VELOCIDAD PROMEDIO DE LA RED VIAL ES DE 70 KM/HREL RADIO DE COMPRAS ES DE 24 KM. Y EL AREA PRIMARIA DE COMPRAS ES DE 1800 KM2.**

+SI EL NIVEL DE SERVICIO SE REDUCE A 50 KM/HR.DEBIDO A LAS CAUSAS SEÑALADAS, EL RADIO DE COMPRAS ES DE 16 KM/HR. Y UN AREA DE 800KM2.

+POR LO TANTO UNA REDUCCION DE UN TERCIO EN LA VELOCIDAD REDUCIRA EL AREA DE MERCADO EN UN 45% DE SU TAMAÑO ORIGINAL.

#### 4.-TABLA 4.

EN UNA ZONIFICACION AL ALTERARSE LOS NODOS DEFINIDOS POR EL EQUIPAMIENTO ALTERARAN LOS TIEMPOS DE RECORRIDO. ADEMÁS AL ALTERARSE LOS USOS ALTERARA TODO EL SISTEMA PORQUE SI LOS USOS SON PUNTOS DE ATRACCION QUE DISMINUYEN LOS NIVELES DE SERVICIO DISMINUIRAN LOS RADIOS DE INFLUENCIA DEL MERCADO, LO MISMO EN EL CASO DE LAS VIALIDADES PRIMARIAS. EL PROBLEMA GENERADO POR MUCHOS ACCESOS POR LA CANTIDAD DE LOS SERVICIOS AUTORIZADOS CONVIRTIENDOSE LA ZONA EN UN CORREDOR, DISMINUYEN LOS NIVELES DE SERVICIOS Y AUMENTAS LOS COSTOS DE OPERACION QUE REPERCUTEN EN LOS COSTOS DEL TRANSPORTE.EJEMPLO DE LA CENTRAL DE ABASTOS DE OAXACA.

#### 5.FIG4.

NORMALMENTE, LA RED VIAL NO ES UNIFORME NI TAMPOCO SE PRESENTAN LAS MISMAS VELOCIDADES PARA TODOS LOS TRAMOS, CONSECUENTEMENTE, LA FORMA REAL DEL AREA DEL MERCADO SERA IRREGULAR.

#### 6.FIG. 5

IA CREACION DE VIALIDADES SIN LA CONVENIENTE PLANEACION URBANA DEFINE CORREDORES QUE DISMINUYEN EL POTENCIAL REAL DE LAS VIALIDADES DIRIGIENDO EL COMERCIO HACIA ESAS ZONAS QUE CONSECUENTEMENTE LIMITARAN SU RADIO DE ACCION

#### 6. FIG. 6 Y 7

EN LA PLANEACION DEL TRANSPORTE NO SE TOMAN EN CUENTA TODOS LOS ASPECTOS DEL DESARROLLO URBANO, LO QUE HACE INCOISTENTES LAS PROPUESTAS YA QUE SE TIENE RELACION DIRECTA CON LOS ASPECTOS DE ORIGEN Y DESTINO, HORARIOS DE ACTIVIDADES Y HORAS PICO DEL TRANSPORTE QUE SE MODIFICAN CONTINUAMENTE.

#### 8.FIGURA 8:

SE ESTABLECEN LAS INTERSECCIONES DE LAS VIALIDADES DE ACCESO CON LAS VIALIDADES ADYACENTES CON POCA O NINGUNA CONSIDERACION DUE ESTAS PUEDAN TENER EN LA ARTERIA.

SI NO SE DA UNA ATENCION ADECUADA A LA UBICACION Y DISEÑO DE LOS ACCESOS, LOS SIGUIENTES PROBLEMAS SE PRESENTARAN.

+CAPACIDAD INADECUADA DE LOS ACCESOS

+CONGESTIONAMIENTO DENTRO DEL DESARROLLO

**+CONGESTIONAMIENTO EN LAS VIALIDADES  
+INCREMENTO EN LOS ACCIDENTES  
+FLEXIBILIDAD LIMITADA PARA AJUSTAR EL DISEÑO U OPERACION A LAS CONDICIONES CAMBIANTES.**

**ES TAMBIEN IMPORTANTE ENTENDER QUE LAS PROPUESTAS QUE MODIFICAN EL SENTIDO DE LAS CIRCULACIONES EN LAS CIUDADES POR AUTORIDADES INCOMPETENTES PRODUCEN MODIFICACIONES SUSTANCIALES EN EL DESARROLLO URBANO ALENTANDO O DESALENTANDO ACTIVIDADES, EQUIPAMIENTOS Y USOS DEL SUELO SIN CONOCIMIENTO DEL IMPACTO QUE PUEDAN CAUSAR.**

#### **9.FIG.9 ESQUEMA PARA EL DISEÑO DE UN DESARROLLO INMOBILIARIO**

**LOS PROBLEMAS DE TRANSITO DEBIDOS A UN DESARROLLO INMOBILIARIO SONDESCUBIERTOS UNA VEZ QUE EL ESTUDIOS DE FACTIBILIDAD FINANCIERA HA SIDO TERMINADO Y QUE LA DECISION DE INVERTIR HA SIDO REALIZADA.**

**UN ESTUDIOINTEGRAL QUE CONTEMPLA EL ESTUDIO DE MERCADO, DISEÑO URBANO Y DE TRANSITO PREPARADO ACORDE AL PROYECTO DE INVERSION EVITARA TALES PROBLEMAS.**

**CAMBIOS POSIBLES O PROBABLES EN LAS CONDICIONES DEL TRANSITO EN LA OPERACION DEL TRANSITOO EN EL DISEÑO URBANO PUEDEN INFLUENCIAR LA CANTIDAD O NATURALEZADEL DESARROLLO QUE PUEDA ACOMODARSE EN EL SITIO O EN DISEÑO DEL MISMO  
¿CUANTO INFLUIRA SI FRENTE AL ACCESO DE UN DESARROLLO INMOBILIARIO SE INSTALA UNA ESCUELA DE EDUCACION PRIMARIA CON CAPACIDAD DE 1000 ALUMNOS?**

**MUCHAS VECES, ES EL DISEÑO Y LOCALIZACION DEL ACCESO Y NO LOS VOLUMENES DE TRANSITO LOS QUE CREAN EL PROBLEMA DE TRANSITO.**

#### **10.FIG.9A**

**UN ANALISIS COMPLETO DE IMPACTOS DEL TRANSITO DEBE SER REALIZADO EN CADA UNO DE LOS SIGUIENTES CASOS.**

**+CUALQUIER DESARROLLO INMOBILIARIO DE QUE SE ESPERA QUE PUEDA GENERAR MAS TRANSITO QUE UN DETERMINADO UMBRAL ( COMO POR EJEMPLO, 100 VEHICULOS EN LA HMD EN LA VIALIDAD ADYACENTE O GENERADORA) O PARA UN VOLUMEN MENOR CUANDO LA REVISION DEL PLANO DE DISTRIBUCION DE PLANTAS DEL DESARROLLO INDIQUE QUE ES DESEABLE INFORMACION ADICIONAL.**

**+CUALQUIER CASO EN EL QUE SE SOLICITE UAN REVISION DE ZONIFICACION.**

**+CUALQUIER CAMBIO EN EL USO DE UN PREDIO INDUSTRIAL O COMERCIAL EXISTENTE O INSTALACION DE EQUIPAMIENTO IMPORTANTE.**

**+EN LOS CASOS DONDE EL INCREMENTO EN LA INTENSIDAD DEL USO DEL SUELO PUEDA RESULTAREN UN INCREMENTO LA GNERACION DE VIAJES DE MAS DE 15 % O UNA DISTRIBUCION DE LA DIRECCIONDEL DESARROLLO DE MAS DEL 20 %  
ESTE TIPO DE ANALISIS NO ESTAN REGULADOS EN MEXICO.**

**11.FIG.9A**

**EL DESARROLLO DE UN SISTEMA DE CIRCULACION REQUIERE qu QUE EL ANALISIS DEL TRANSITO Y EL DISEÑO DEL DESARROLLO INMOBILIARIO PROGRENEN DESDE LOS ASPECTOS GENERALES HASTA DETALLES ESPECIFICOS.**

- + ASPECTOS DE LOS CORREDORES**
- + ASPECTOS DEL PROYECTO**
- +ASPECTOS DEL DESARROLLO INMOBILIARIO**

**A NIVEL CORREDOR LOS PUNTOS A TRATAR DEBEN INCLUIR LA UBICACION DE LA INFRAESTRUCTURA MÁS IMPORTANTE COMO ARTERIAS O COLECTORAS EN AREAS DE DESARROLLO, O BIEN EL ANALISIS DEL IMPACTO QUE PUEDE OCASIONAR UN DESARROLLO IMPORTANTE EN LAS ARTERIAS EXISTENTES Y COLECTORAS DENTRO DE UN AREA EN PROCESO DE REVITALIZACION.**

**12.-FIG 10**

**A NIVEL PROYECTO CONCRETO, LOS TEMAS QUE DEBEN TRATARSE INCLUYEN LOS IMPACTOS QUE OCASIONA EL DESARROLLO EN LAS PROIEDADES Y VIALIDADES ADYACENTES ASI COMO LA COLOCACION DE ACCESO. CABE ACLARAR QUE ELLO NO ES SUFICIENTE SE DEBE ANALIZAR Y REALIZAR UN DIAGNOSTICO URBANO MAS PRECISO REALIZADO POR UN EXPERTO.**

**13.FIG. 11**

**EL PREDIO EN RELACION CON LA INFRAESTRUCTURA DEL AREA .**

**14. FIG. 12**

**SE MUESTRA UNA HOJA DE TRABAJO QUE RESUME LAS CARACTERISTICAS DE LAS SEIS SUBAREAS EN QUE FUE DIVIDIDO EL PREDIO.**

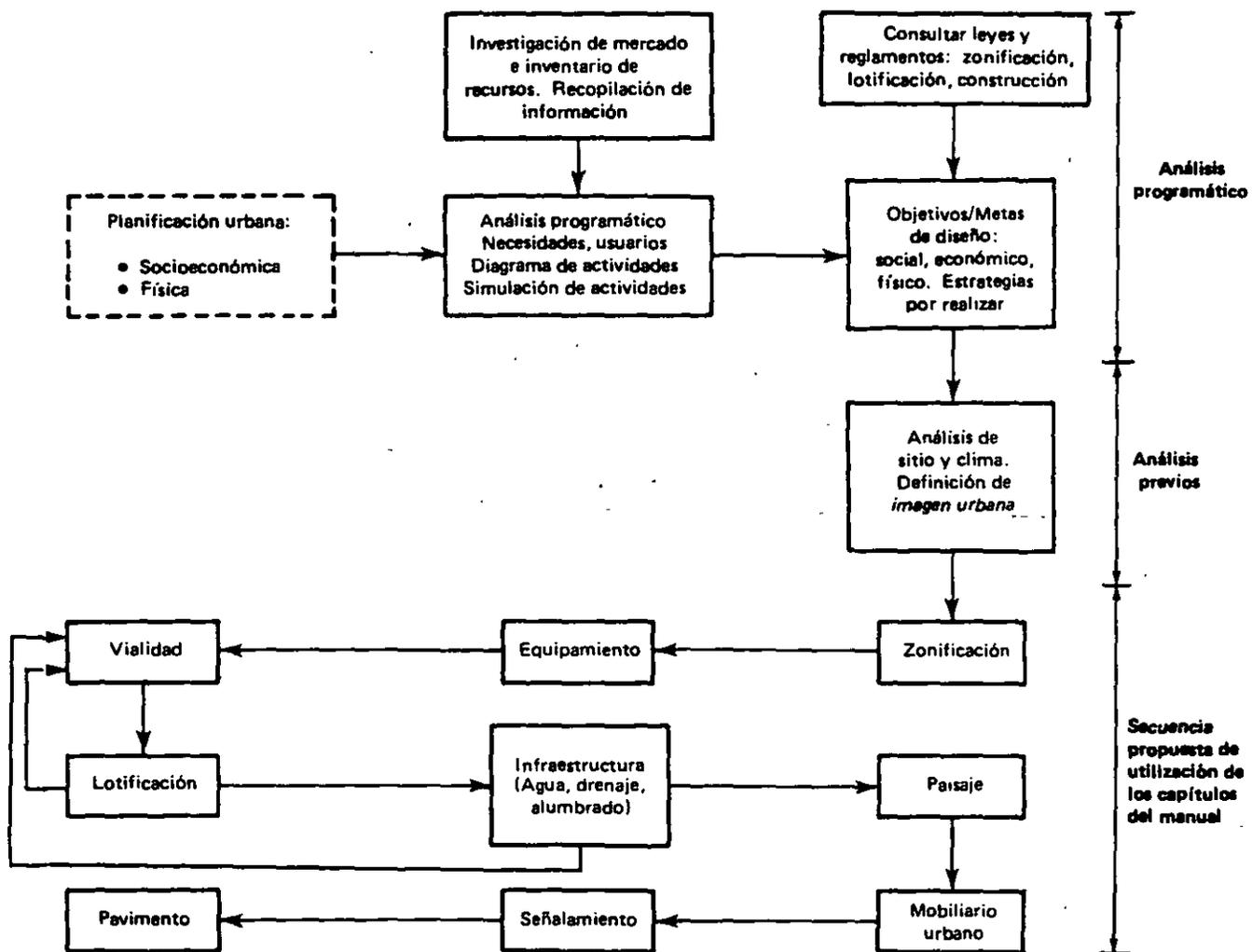
**15.- GENERACION DEL TRANSITO CUADRO 7**

**16.CUADRO 8**

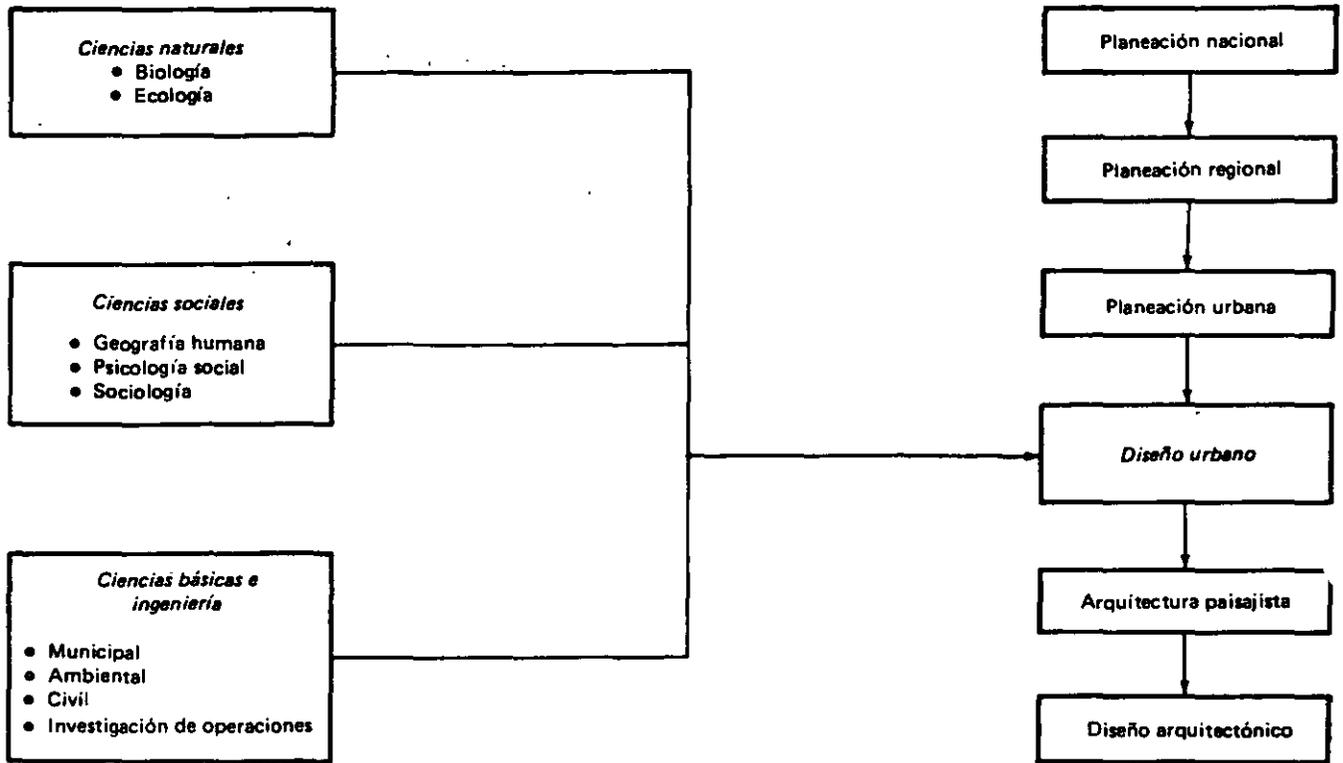
**VIAJES GNERADOS HORA MAXIMA DEMANDA.**

## **CONCLUSIONES:**

**EL DESARROLLO URBANO SE HA DIVIDIDO POR DOS TIPOS DE ESTUDIOS QUE DEBEN COINCIDIR EN SUS METAS Y ESTRATEGIAS, POR LO QUE ESAS RESPUESTAS TIENEN QUE DESARROLLARSE POR UN GRUPO INTERDISCIPLINARIO. SI NO ES ASI TIENDEN AL FRACASO SOBRE TODO TOMANDO EN CUENTA QUE EL DESARROLLO URBANO ES UN ENTE VIVO Y CONSTANTEMENTE CAMBIANTE. DE OTRA MANERA LAS ACCIONES QUE SE REALICEN SERAN OBSOLETAS E INCONSISTENTES. ADEMAS QUE DEBEN PARTIR DE LA IDEA DE UN PROYECTO DE INVERSION. ASIMISMO ES NECESARIO CONOCER LOS IMPACTOS DE CADA UNA DE LAS VARIABLES DEL DESARROLLO URBANO GENERAN EN EL TRANSITO , ECONOMICAS, SOCIALES, URBANISTICAS (USO DEL SUELO Y DENSIDADES, EQUIPAMIENTO, INFRAESTRUCTURA, DISEÑO URBANO, ARQUITECTONICO, SERVICIOS ETC. DE ESA MANERA PODREMOS DETERMINAR UN MODELO GENERAL Y ADAPTARLO PARA CADA CASO PUES EN UN DETERMINADO SITIO UNA VARIABLE QUE ES IMPORTANTE EN OTRA CIUDAD NO TENDRA RELEVANCIA.**



**Gráfica 1. Relación del diseño urbano con otras disciplinas.**



**METAS Y OBJETIVOS DEL DISEÑO URBANO**

<b>TEMAS</b>	<b>SUBTEMAS</b>	<b>METAS DE DISEÑO</b>	<b>OBJETIVOS</b>
<b>A</b>	<b>Análisis preliminares</b>		
<b>A.1.</b>	<b>Análisis programático</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Marco general</li> <li>• Determinantes, condicionantes</li> <li>• Lineamientos, programa</li> <li>• Conceptos</li> </ul>	Programa urbano conteniendo los alcances sociales, físicos y financieros del proyecto.	Definir usuarios y mercado, tipo de productos urbanos y estrategias de realización del proyecto.
<b>A.2.</b>	<b>Análisis urbano</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>• actividades humanas</li> <li>• usos del suelo</li> <li>• transporte</li> </ul>	Diagramas de organización de actividades urbanas. Diagramas de funcionamiento y flujos.	Definir principales actividades que potencialmente pueden desarrollarse en la zona de estudio y estimar el tipo y volumen de su interacción.
<b>A.3.</b>	<b>Imagen Urbana.</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Elementos de espacios</li> <li>• Conceptos y criterios</li> </ul>	Croquis de cualidades formales y espaciales de la zona de estudio.	Proponer elementos visuales que estructuren y hagan claramente memorable la imagen del lugar, reforzando su carácter y sentido social.
<b>A.4.</b>	<b>Análisis del clima:</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Temperatura</li> <li>• Asoleamiento</li> <li>• Vientos</li> </ul>	Diagramas de asoleamiento, vientos, temperatura, orientación y característica del trazado urbano.	Describir los diferentes componentes del clima y valorar su efecto sobre el terreno. Determinar la orientación de lotes o edificaciones, abertura de vanos, uso de rompevientos, etc.
<b>A.5.</b>	<b>Análisis de sitio</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Topografía, vegetación</li> <li>• Hidrografía</li> <li>• Suelos, subsuelos</li> <li>• Clima, paisaje</li> <li>• Valores del suelo, accesos</li> <li>• Restricciones</li> </ul>	Plano de vocación de uso del suelo.	Describir y valorizar los diferentes elementos naturales y artificiales del terreno. Determinar la vocación de usos del suelo en las diferentes zonas del terreno en función de sus aspectos naturales, ambientales y usos del suelo.
<b>B.</b>	<b>Diseño Urbano</b>		
<b>B.1.</b>	<b>Zonificación:</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Uso del suelo</li> <li>• Intensidad, densidades</li> <li>• Requerimientos</li> </ul>	Esquemas de usos del suelo	Representar usos del suelo con base en un programa de necesidades urbanas, de diagramas de funcionamiento de actividades urbanas y acorde con los análisis de sitio y clima.
<b>B.2.</b>	<b>Equipamiento:</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Educación</li> <li>• Salud</li> <li>• Comercio, otros</li> </ul>	Tablas de necesidad de equipamiento. Ubicación en plano.	Determinar, agrupar, ubicar y minimizar el equipamiento urbano, satisfaciendo las necesidades de la población.

**METAS Y OBJETIVOS DEL DISEÑO URBANO (continuación)**

<b>TEMAS</b>	<b>SUBTEMAS</b>	<b>METAS DE DISEÑO</b>	<b>OBJETIVOS</b>
<b>B.3. Vialidad:</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Estructuración</li> <li>• Secciones</li> <li>• Intersecciones</li> <li>• Enlaces</li> <li>• Entronques</li> <li>• Pasos a desnivel</li> <li>• Estacionamiento y retorno</li> <li>• Dispositivos</li> </ul>	Planos alternativos de vialidad con secciones	<p>Determinar la estructura vial, su jerarquización, adaptación al sitio y usos del suelo propuestos.</p> <p>Acorde con el origen, destino y volumen de tráfico esperado por la interrelación de las actividades de cada zona.</p>
<b>B.4. Lotificación:</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Tipo de desarrollo</li> <li>• Tamaño de lotes</li> <li>• Dimensiones</li> </ul>	Planos alternativos de subdivisión de la tierra y lotes. Cuantificación de tipos de lotes y áreas para equipamiento o servicios.	Determinar la configuración y mezcla de los lotes, según el programa.
<b>B.5. Esquemas de infraestructura:</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Agua</li> <li>• Drenaje</li> <li>• Alumbrado</li> </ul>	Planos de tendido preliminar de redes (a nivel anteproyecto). Estimación de demanda de servicios. El proyecto ejecutivo final deberá ser calculado por el respectivo especialista.	Esquemas alternativos de trazado de redes para seleccionar el que mejor se adapte a las características del proyecto urbano.
<b>B.6. Paisaje:</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Vegetación</li> <li>• Manejo de espacio exterior</li> </ul>	Esquemas de espacialidad y efectos en recorridos. Planos de plantación de especies y cuantificación.	Localizar las áreas verdes en relación con el sistema urbano y el uso de la vegetación con fines estéticos o funcionales de regularización climática.
<b>B.7. Mobiliario:</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Basureros</li> <li>• Bancas</li> <li>• Paradas de autobús</li> </ul>	Tipos y especificaciones de mobiliario y su localización.	Apoyar el funcionamiento del proyecto. Reforzar el carácter de la zona con mobiliario apropiado.
<b>B.8. Señalamiento:</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Vial</li> <li>• Comercial</li> </ul>	Tipos y especificaciones de señalamiento y lugar de colocación.	Apoyar el funcionamiento de la estructura vial. Buscar la compatibilidad estética del señalamiento con el carácter del espacio.
<b>B.9. Pavimentos:</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Concreto</li> <li>• Piedras</li> <li>• Tabique</li> <li>• Asfalto</li> </ul>	Tipos y especificaciones; formas de colocación del pavimento, según función o efecto.	Apoyar el funcionamiento del sistema vial. Imprimir cualidades estéticas al pavimento para hacerlo agradable al recorrido.

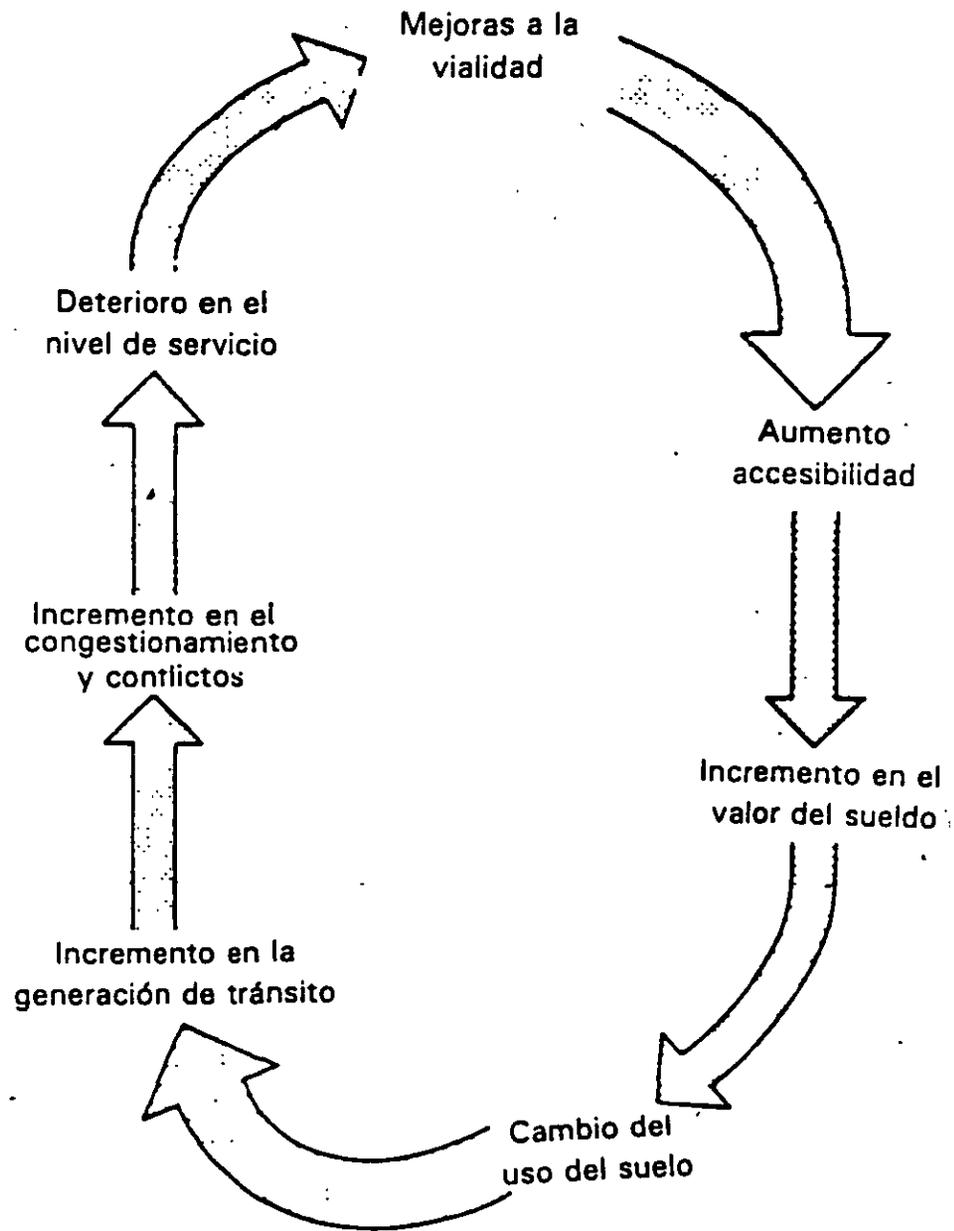


Figura 1. Ciclo uso del suelo - transporte.

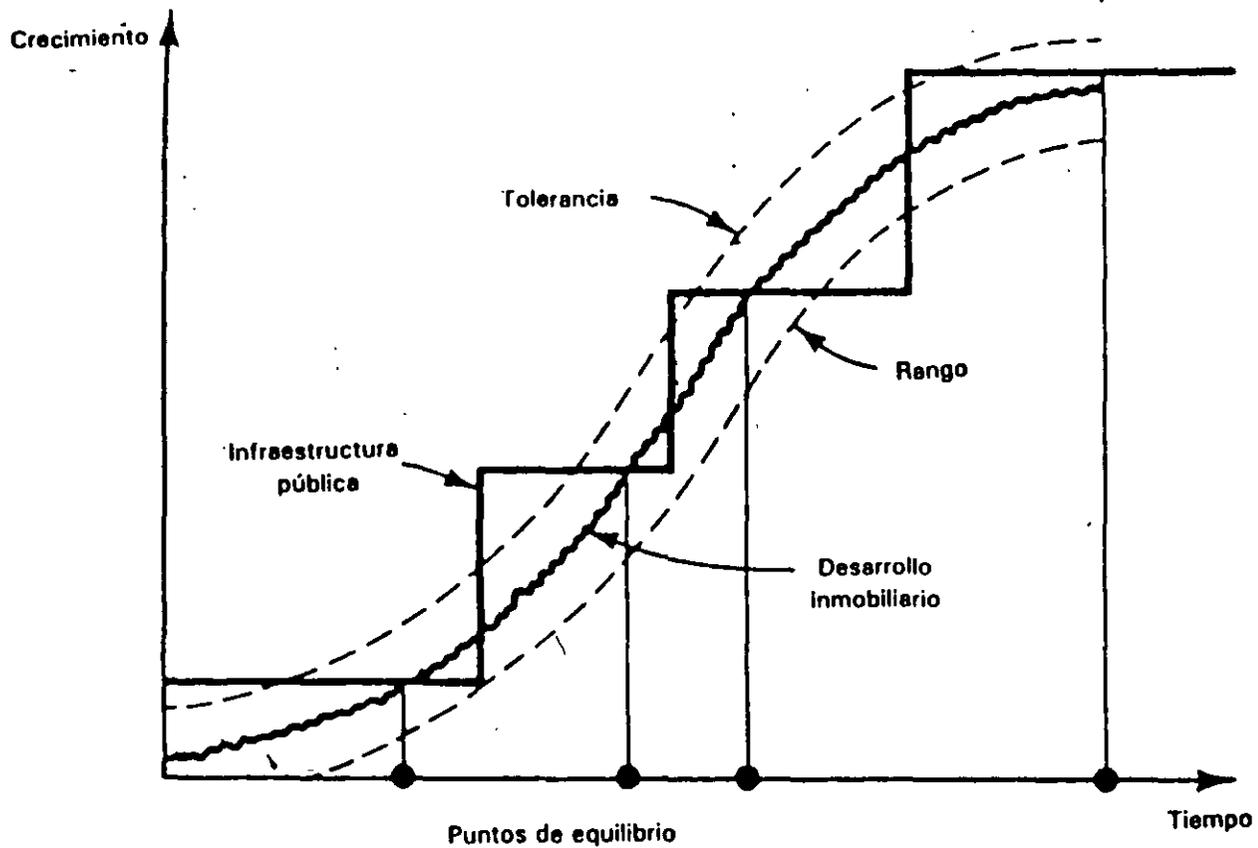
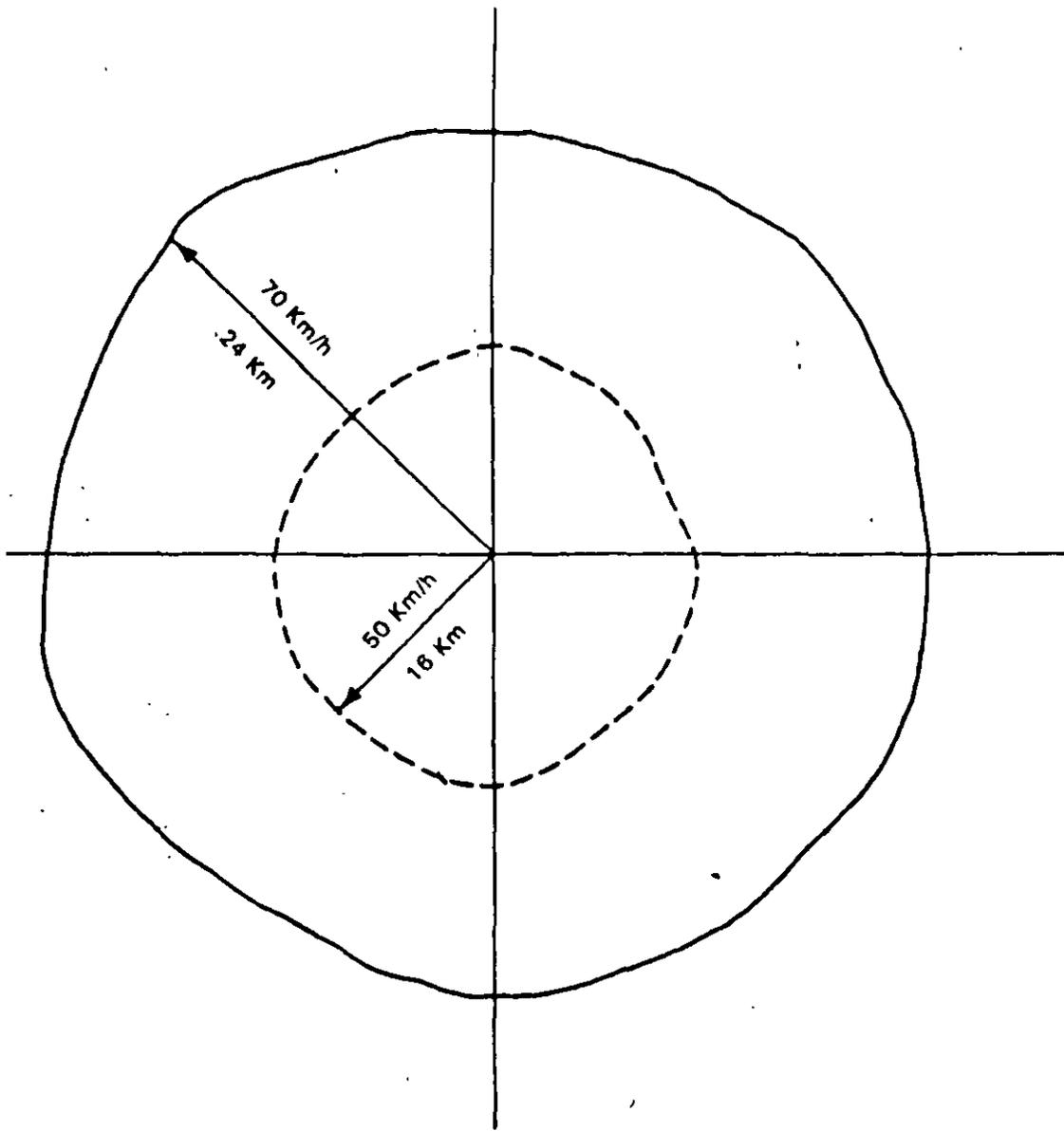


Figura 2. Balance entre el incremento en el desarrollo inmobiliario y las mejoras en la infraestructura del transporte.

14

14



<u>Velocidad</u>	<u>Radio del mercado</u>	<u>Area del mercado</u>
70 Km/h	24 Km	1800 Km <sup>2</sup>
50 Km/h	16 Km	800 Km <sup>2</sup>

Relación de áreas

$$800/1800 = 0.44$$

$$1800/800 = 2.25$$

Figura 3. Areas de mercado teóricas bajo la condicionante de una red vial que ofrezca igual oportunidad de movimientos en todas direcciones.

52  
15

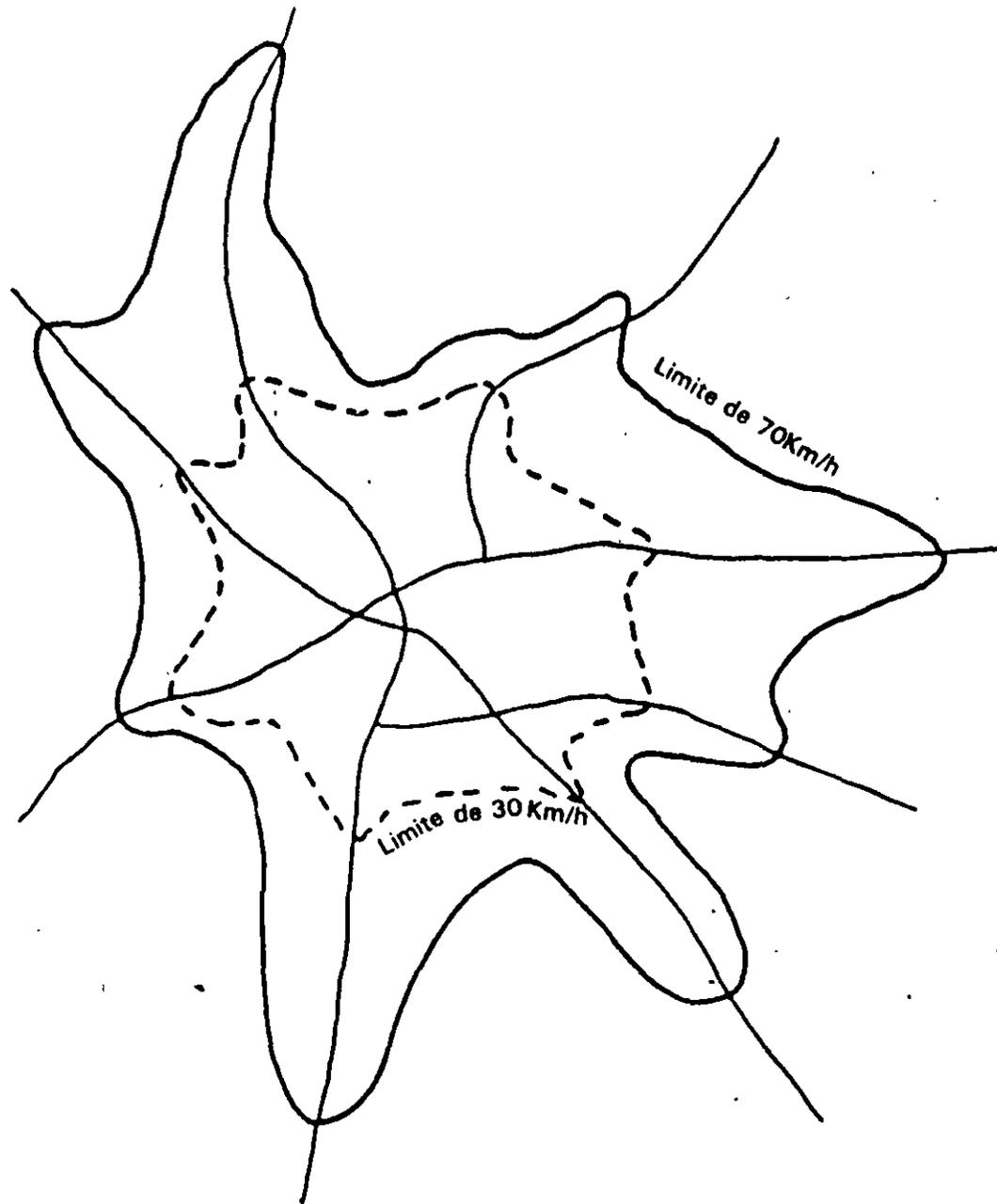


Figura 4. Areas esquemáticas de mercado con un sistema vial radical y velocidades no uniformes para varias rutas.

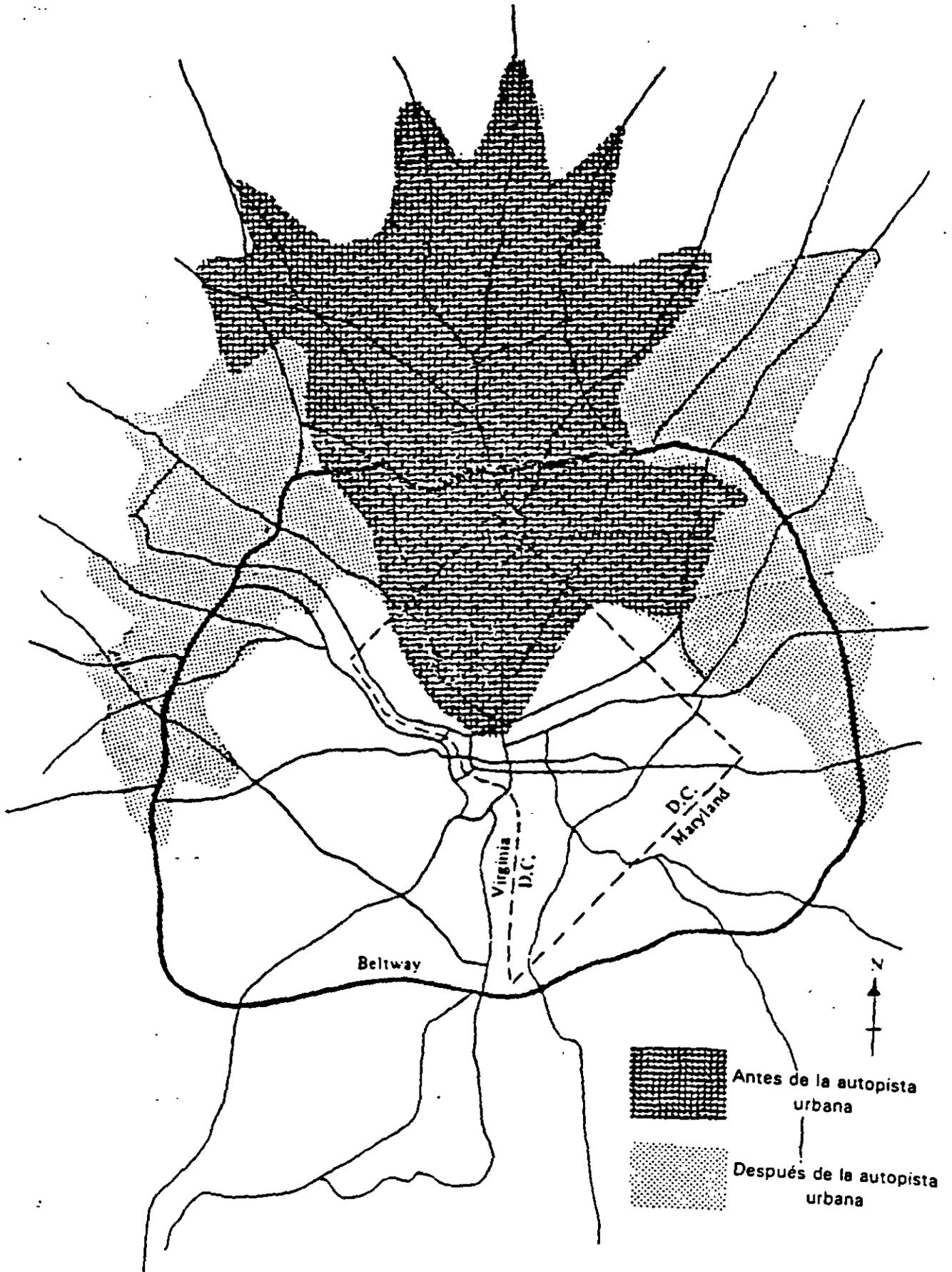


Figura 5. Area de mercado antes y después de la apertura de la autopista.

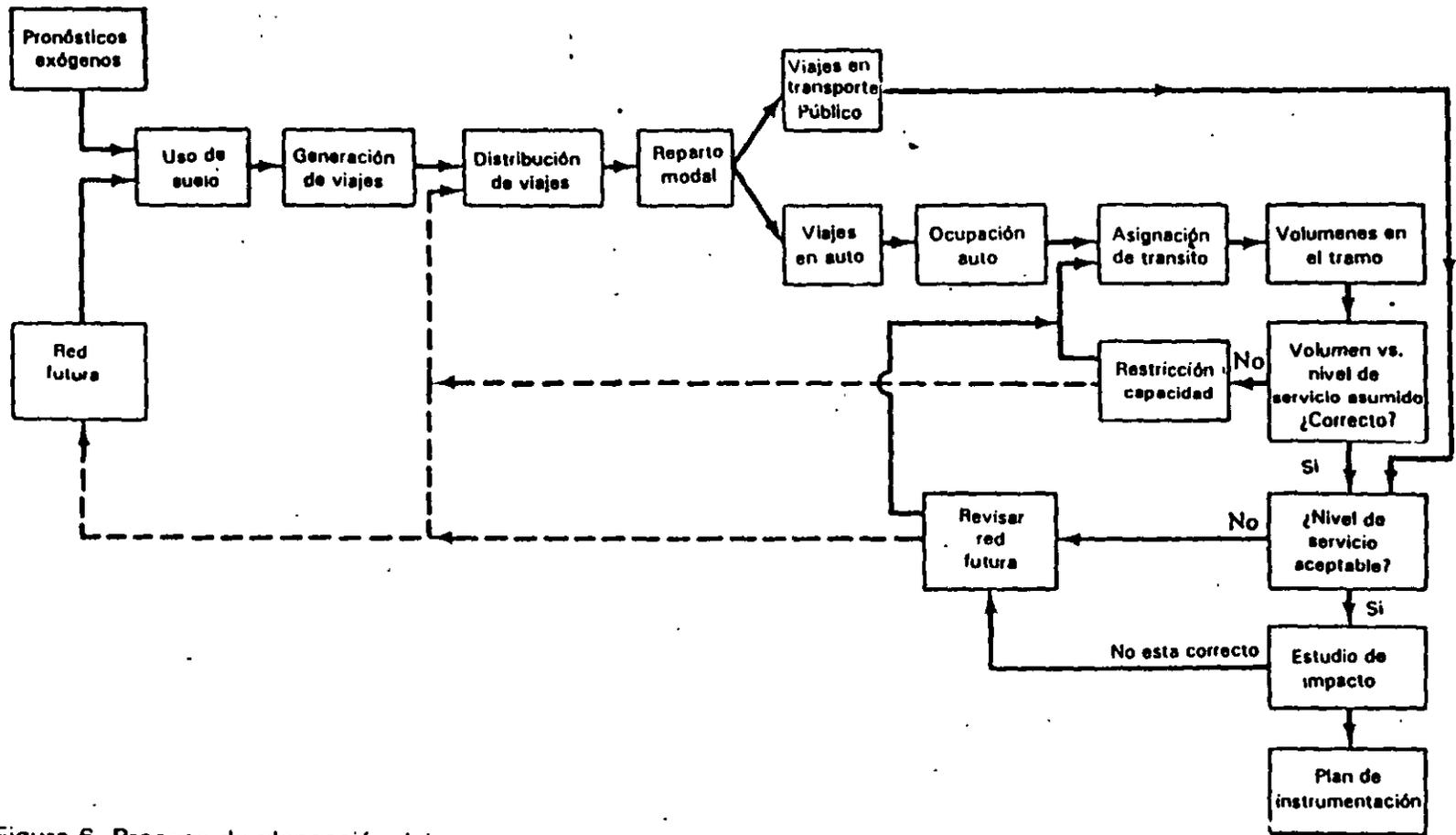


Figura 6. Proceso de planeación del transporte urbano.

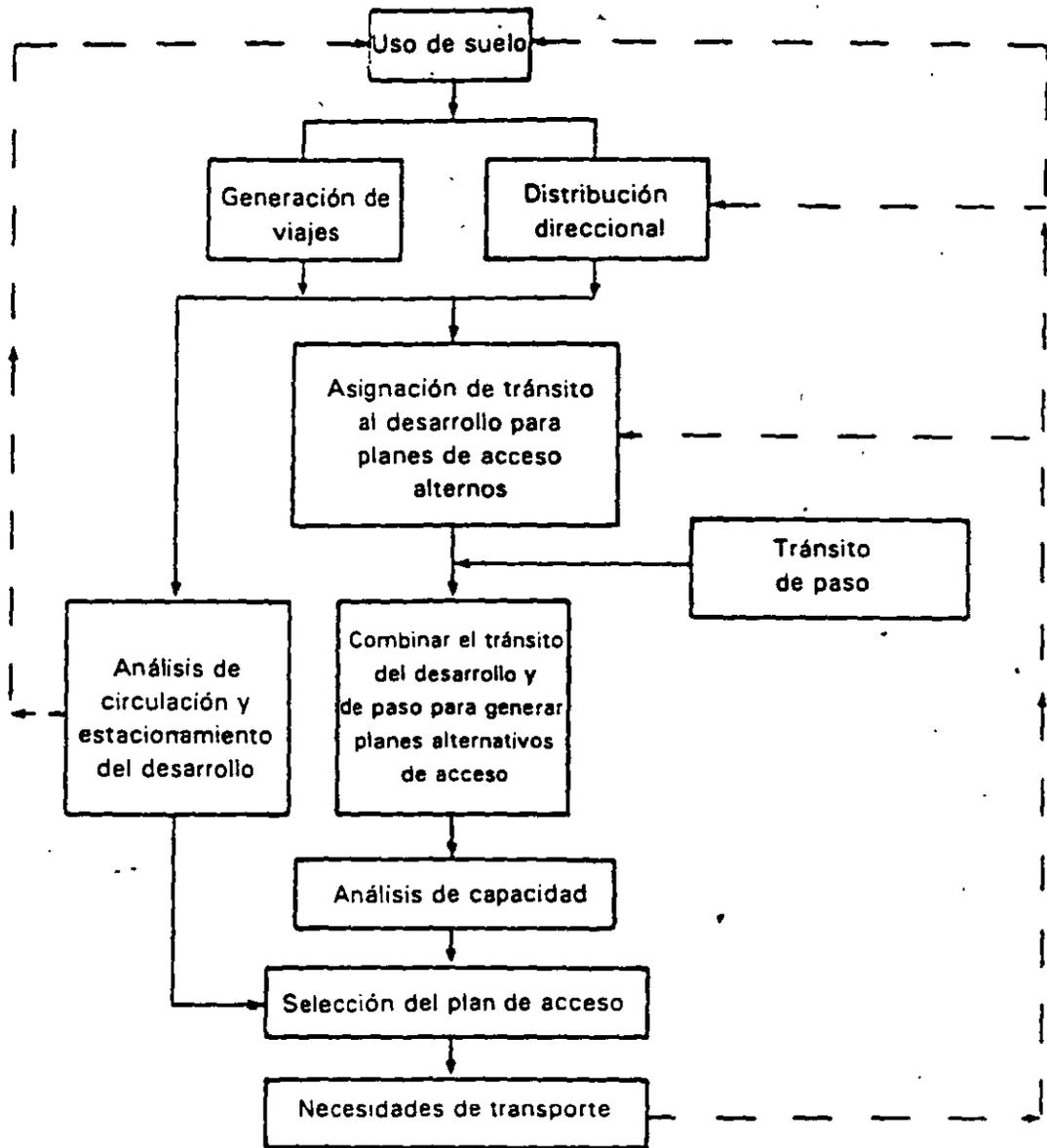
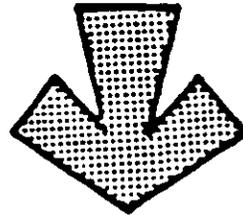


Figura 7. Análisis del tránsito en un desarrollo inmobiliario.

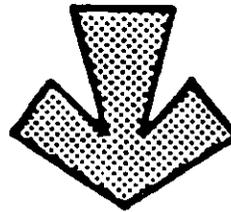
Edificios

Ubicación y diseño



Desarrollo

Estacionamiento y circulación



Acceso

Ubicación y diseño

Figura 8. Representación esquemática del proceso prevaleciente en el diseño de un desarrollo.

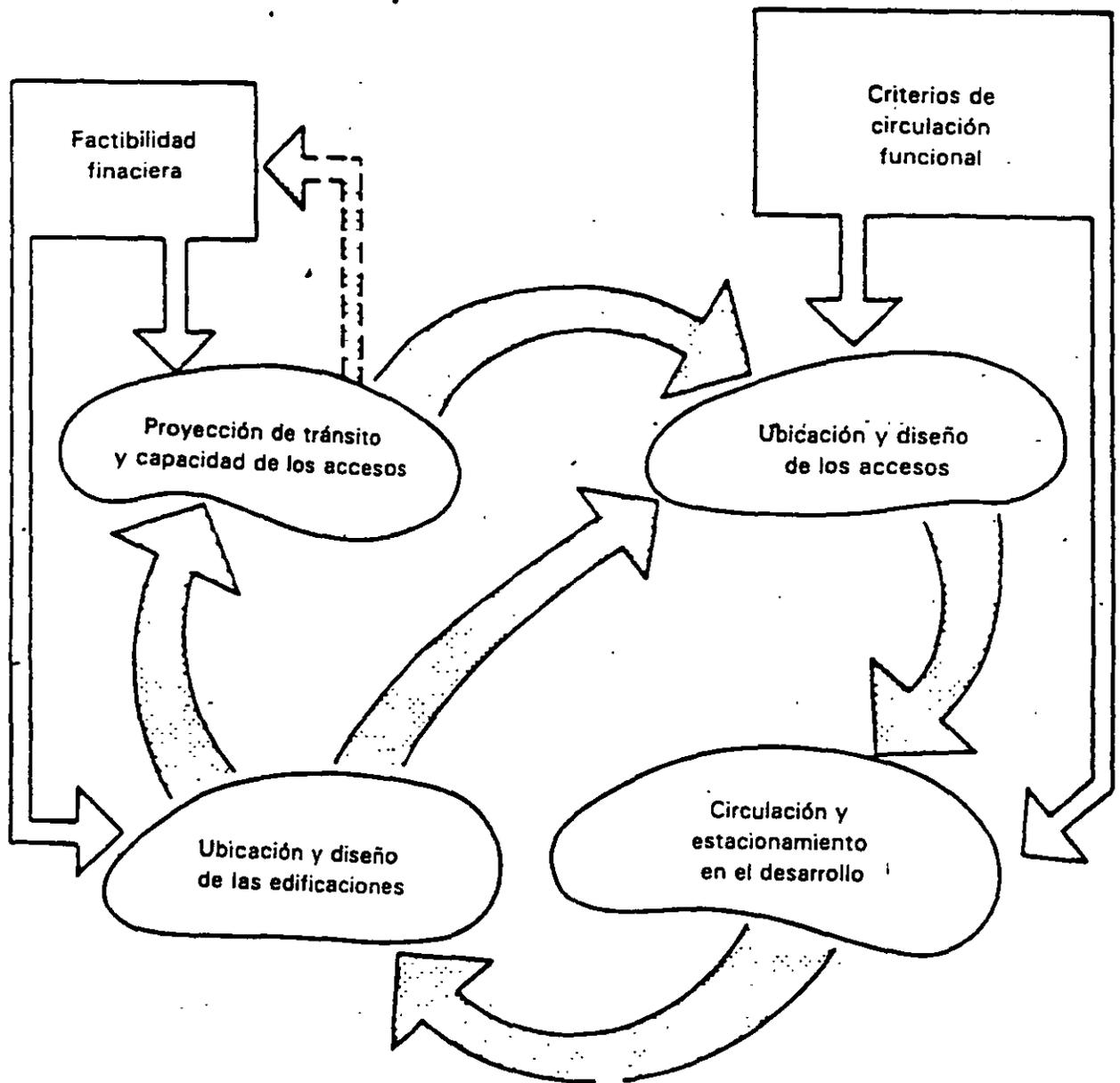


Figura 9. Esquema recomendable para el diseño de un desarrollo.

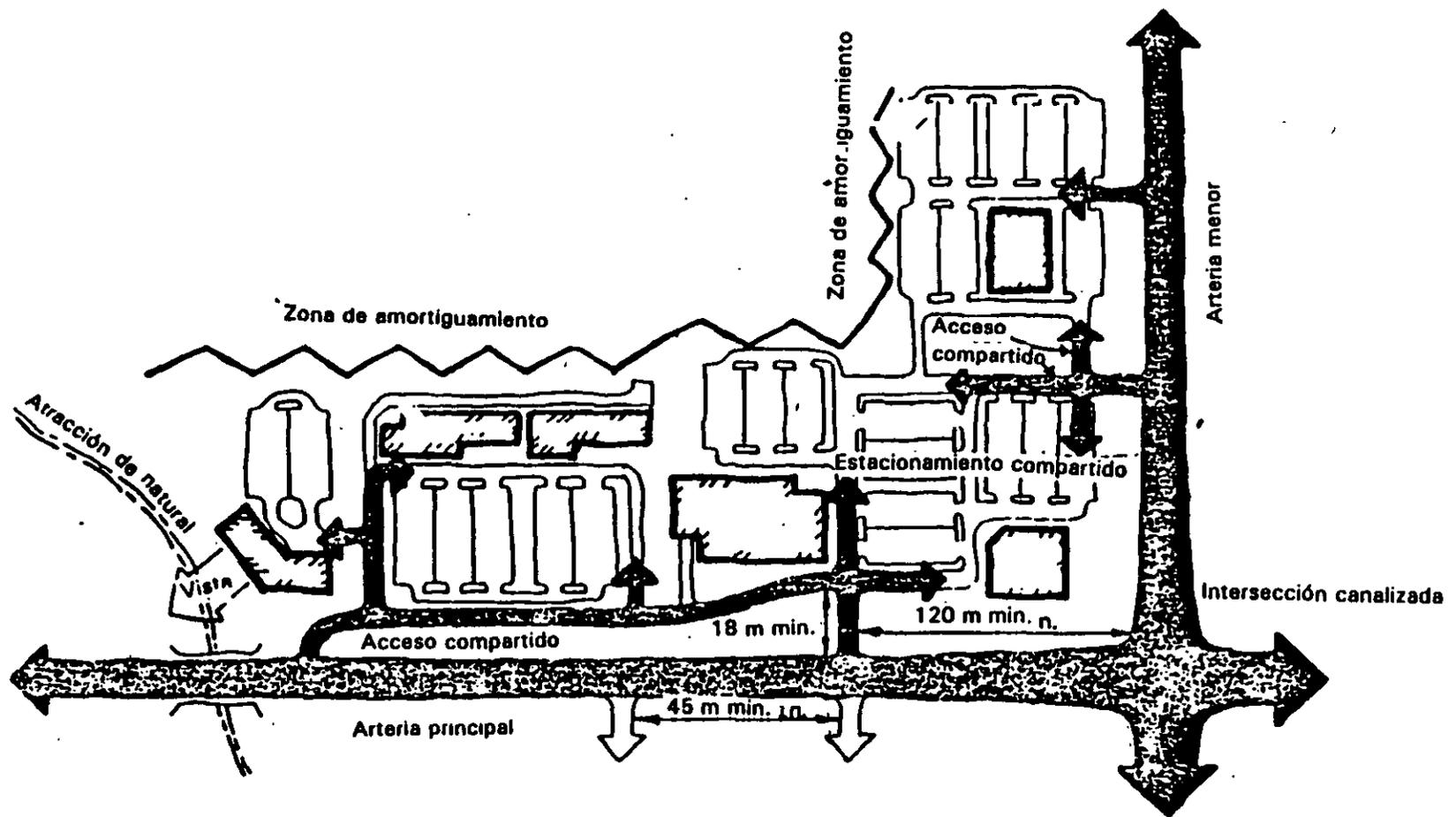


Figura 9A. Nivel correc...

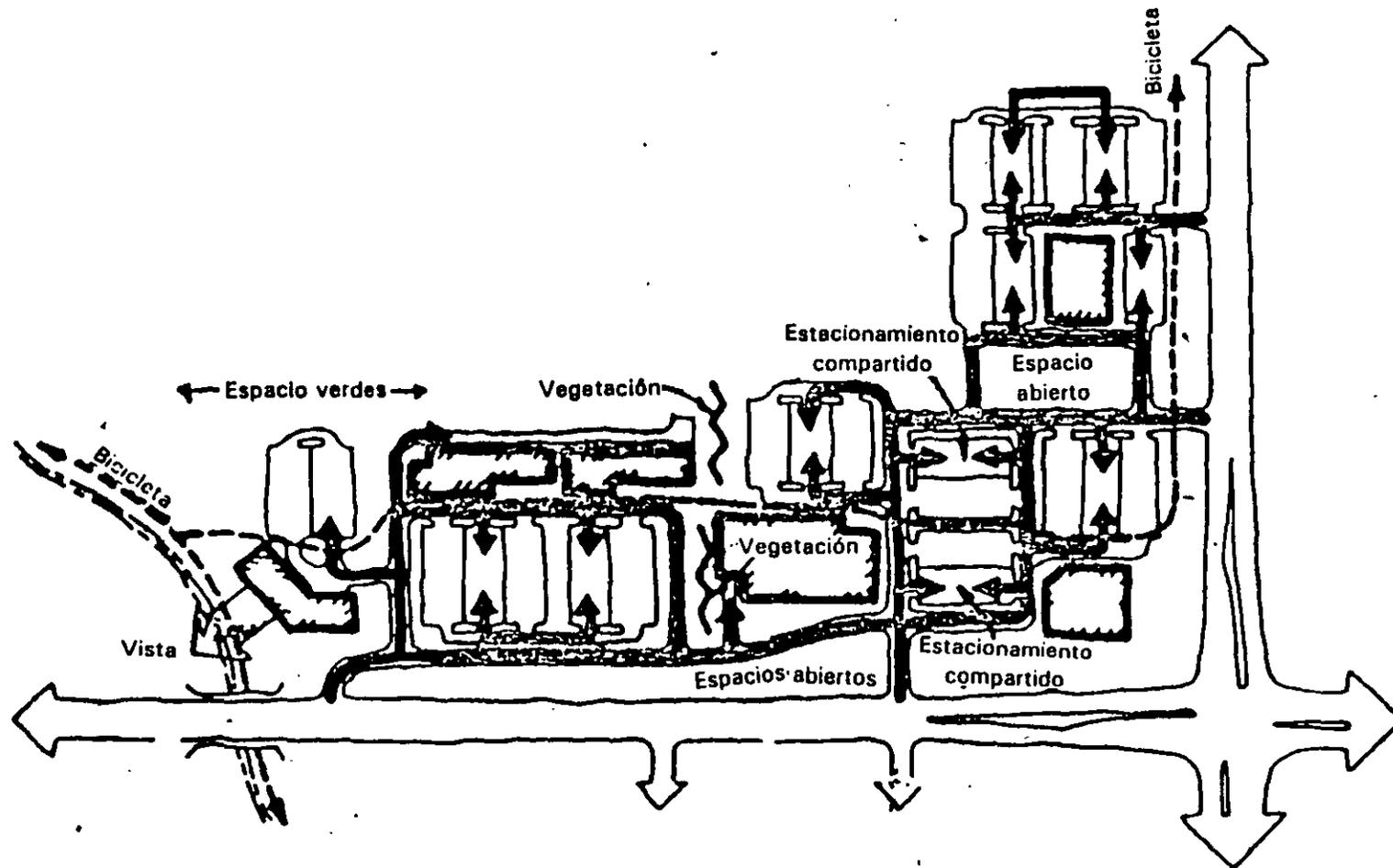


Figura 10. Nivel p'oyecto.

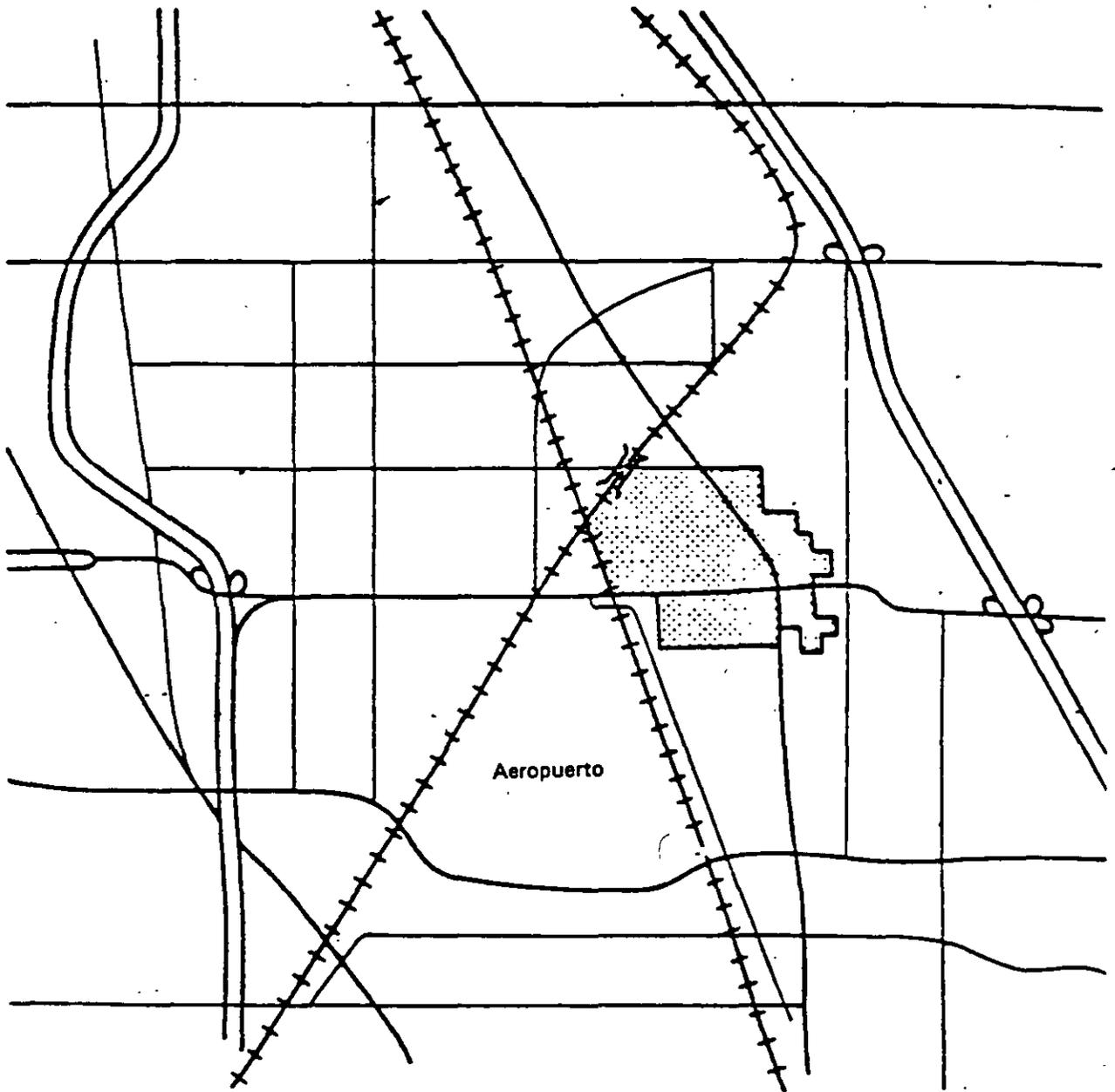


Figura 11. Red vial del area donde se ubica el desarrollo.

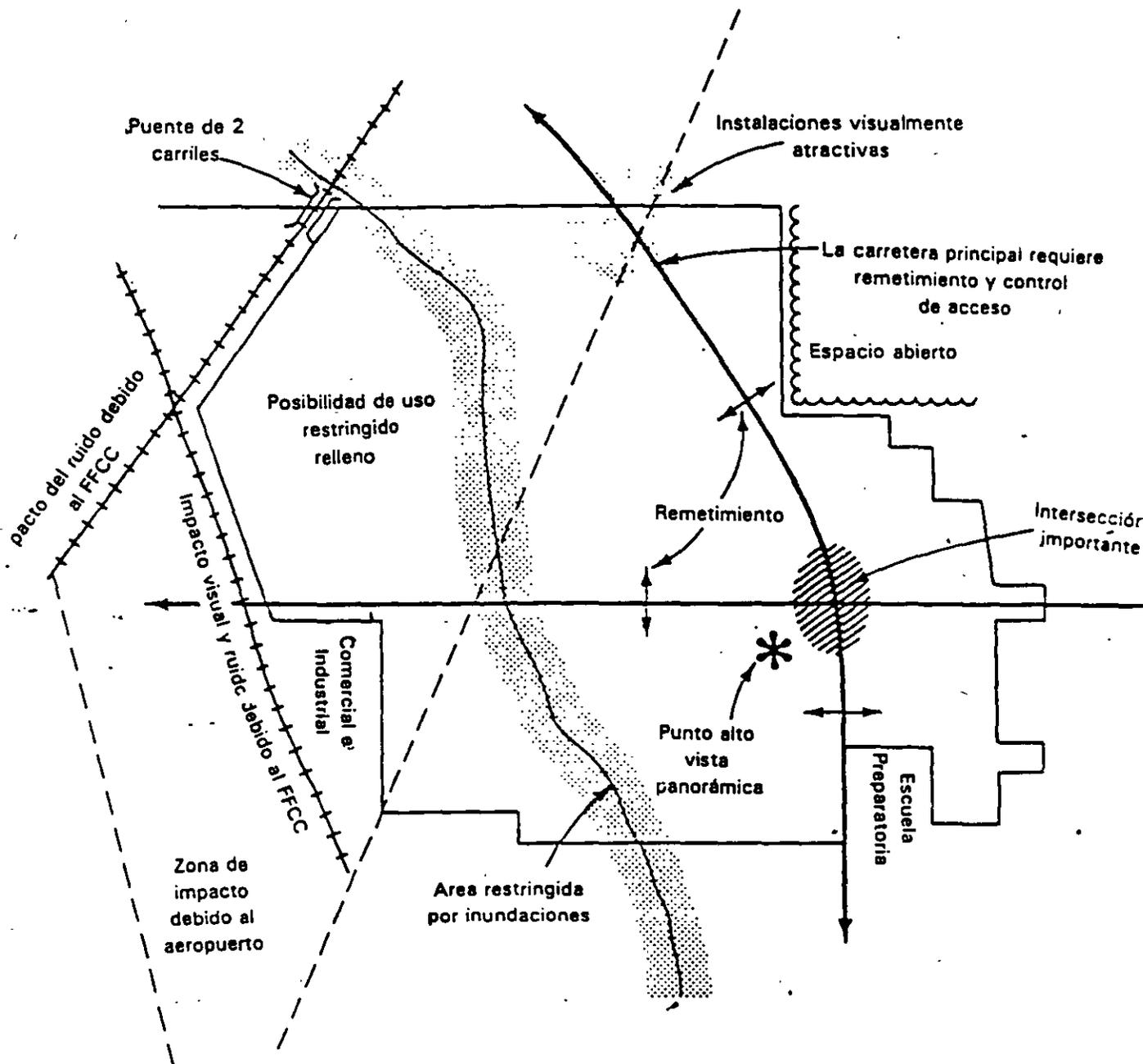
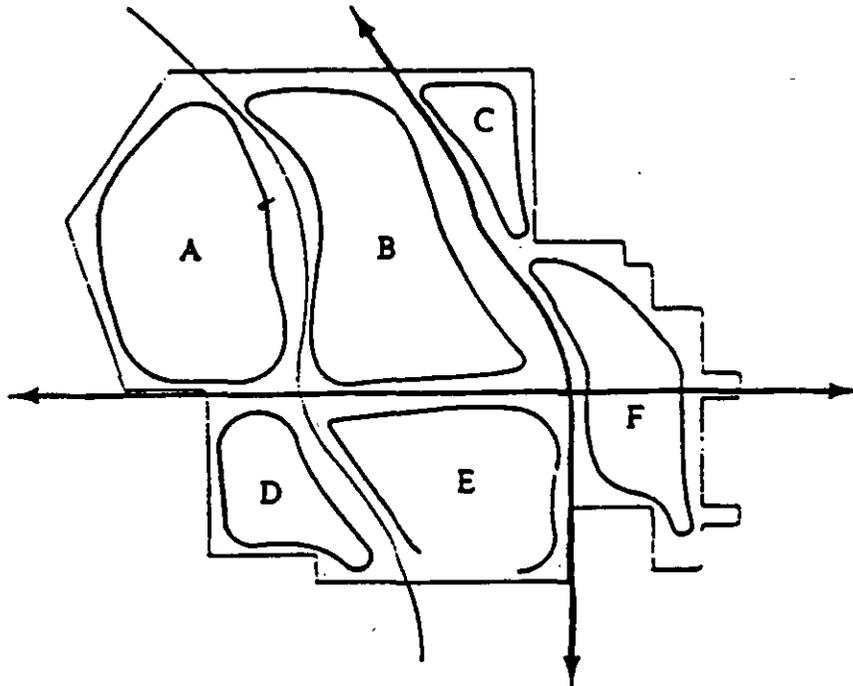


Figura 12. Principales determinantes en la planeación del uso de suelo.

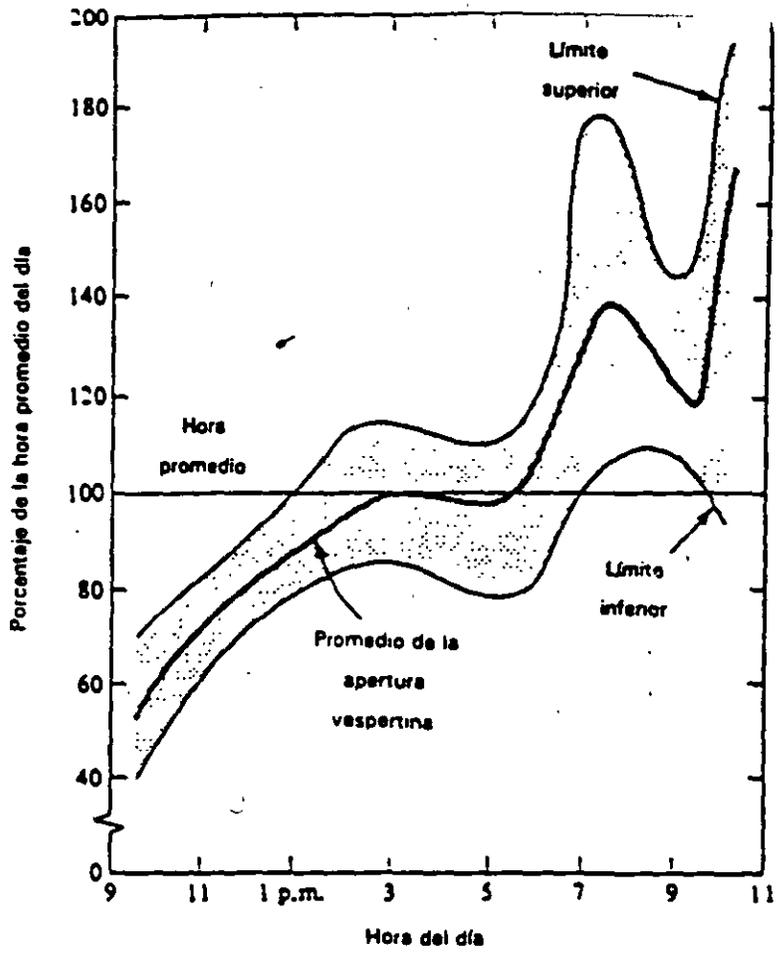


Area	Criterio	Usos	Area	Criterio	Usos
A	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Mala accesibilidad</li> <li>• Relleno sanitario</li> <li>• Impactos por ruido</li> <li>• Impacto por aeropuerto</li> <li>• Agua</li> </ul>		D	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Accesibilidad moderada</li> <li>• Adyacente o industria y</li> <li>• Impacto aeropuerto</li> <li>• Atractivo acuático</li> <li>• Problemas de inundación</li> </ul>	
B	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Buena accesibilidad</li> <li>• Atractivo acuático</li> <li>• Problemas de suelo</li> <li>• Problemas de inundación</li> <li>• No existen usos adyacentes</li> </ul>		E	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Alta accesibilidad</li> <li>• Sin desarrollos adyacentes</li> <li>• Atractivo acuático</li> <li>• Estacionamiento de trailers</li> <li>• Problemas de inundación</li> </ul>	
C	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Accesibilidad moderada</li> <li>• Adyacente a espacio abierto</li> <li>• Area boscosa</li> </ul>		F	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Alta accesibilidad</li> <li>• Adyacente a habitación</li> <li>• Adyacente a escuelas</li> <li>• Problemas de suelo</li> </ul>	

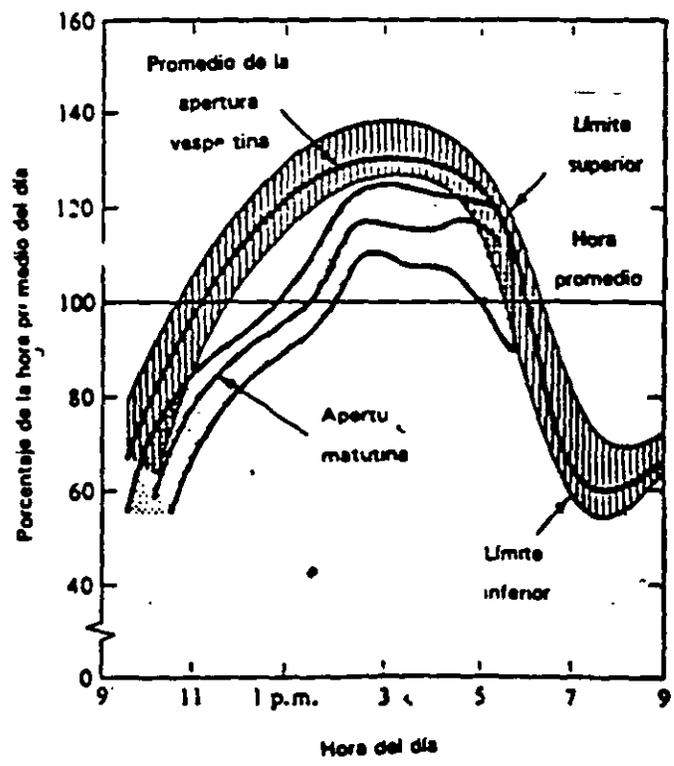
Figura 13. Análisis del desarrollo por áreas.

<b>Generador</b>	<b>Porcentaje del tránsito del desarrollo</b>
Bancos con autoservicio	14%
Supermercados	28%
Tiendas de enceres	8%
Restaurantes de comida rápida	45%
Estaciones de servicio	58%
Centros comerciales: m <sup>2</sup> de área rentable bruta	
mayor de 93,000m <sup>2</sup> ; 2 centros; rango 12-25%	19%
de 74,000 a 93,000m <sup>2</sup> ; 3 centros; rango 9-25%	15%
de 56,000 a 74,000m <sup>2</sup> ; 2 centros; rango 14-23%	19%
de 37,000 a 56,000m <sup>2</sup> ; 6 centros; rango 5-48%	32%
de 19,000 a 37,000m <sup>2</sup> ; 4 centros; rango 17-36%	41%
menor 19,000m <sup>2</sup> ; 4 centros; rango 51-72%	60%

**Cuadro 9. Viajes atraídos del tránsito de paso.**



(a) Tránsito total entrando y saliendo de los centros comerciales regionales (día hábil)



(b) Tránsito total del sábado que entra y sale de un centro comercial regional

Figura 14. Ejemplos de la variación horaria del tránsito en un centro comercial regional



**FACULTAD DE INGENIERIA U.N.A.M.  
DIVISION DE EDUCACION CONTINUA**

**DIPLOMADO INTERNACIONAL DE TRANSPORTE**

**MODULO II: PLANIFICACIÓN DEL TRANSPORTE URBANO**

**TEMA: BIBLIOGRAFIA**

**PRIMAVERA 1997**

**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO**  
**Facultad de Ingeniería Civil**  
**División de Educación Continua.**  
**Abril de 1997**

---

**BIBLIOGRAFIA PARA EL MODULO II: PLANIFICACION  
DEL TRANSPORTE URBANO, DEL SEGUNDO  
DIPLOMADO INTERNACIONAL DE TRANSPORTE.**

**ESPAÑOL.**

1. **MANUAL DE OPERACION DEL SISTEMA DE PLANEACION  
DEL TRANSPORTE URBANO. UTPS**  
Traducción de la Comisión de Vialidad y Transporte Urbano.  
COVITUR. 1987. DDF.
2. **ESTRUCTURA Y DESARROLLO DEL SECTOR TRANSPORTE  
EN MEXICO.**  
Victor Islas Rivera.1990. El Colegio de México.
3. **MODELOS MATEMATICOS PARA DISTRIBUCION DE  
VIJES.**  
Ing. Román Vázquez Berber. Instituto Mexicano del  
Transporte. SCT.. Publicación Técnica No. 31. Querétaro,  
Qro. 1991.
4. **ESTUDIO DE LOS SISTEMAS DE TRANSPORTE DE LA  
REGION DE QUERETARO.**  
Instituto Mexicano del Transporte.SCT.Publicación Técnica  
No.27, Querétaro, Qro.1991.
5. **GUIA METODOLOGICA PARA EL ESTUDIO DE LOS  
SISTEMAS REGIONALES DE TRANSPORTE. 1991.**  
Instituto Mexicano del Transporte.SCT.Documento Técnico  
No.6. Sanfandila,Qro.

- 6. METODOS Y MODELOS DE INVESTIGACION DE OPERACIONES.**  
Vol. I Modelos Determinísticos y Vol. II Modelos Estocásticos  
Dr. Juan Prawda Witenberg.  
Editorial Limusa, 1981.
- 7. PLANIFICACION DEL TRANSPORTE URBANO.**  
Apuntes del Módulo 2 del Segundo Diplomado Internacional de Transporte. F.I., División de Educación Continua. UNAM.  
Primavera de 1997.
- 8. METODOS ESTADISTICOS EN INGENIERIA DE TRANSITO.**  
Johannes F. Schwar y José Puy Huarte. Departamento de Ingeniería Civil de la Universidad del Estado de Ohio. EUA. Traducción realizada por varios mexicanos para la Asociación Mexicana de Caminos, A.C.  
Edición de 1975.
- 9. LAS INCOGNITAS DEL TRAFICO URBANO.**  
Cecarelli, R. Rossi. Edit. Gustavo Gili, S.A.
- 10. INDAGACIONES SOBRE LA ESTRUCTURA URBANA.**  
M. Webber. Edit. Gustavo Gili, S.A.
- 11. MODELOS MATEMATICOS Y LA MODERNIZACION DEL TRANSPORTE.**  
Memoria del Curso impartido en el Centro de Actualización Profesional "Alfonso Olvera López", del Colegio de Ingenieros Civiles de México. Junio de 1990.  
Autores: Varios profesores mexicanos especializados en el tema. Coordinadora del Curso: Arq. Sonia List Mendoza
- 12. SEMINARIO INTERNACIONAL DE PLANEACION Y PROSPECTIVA DEL TRANSPORTE**  
Memoria del Seminario realizado por el Instituto Mexicano del Transporte el 28, 29 y 30 de mayo de 1992. Sanfandila, Qro.

- 13. ANUARIO DE VIALIDAD Y TRANSPORTE DEL DISTRITO FEDERAL**  
Publicado por la Coordinación General de Transporte del Departamento del Distrito Federal. México D.F. 1983.
- 14. ESTUDIO DE ORIGEN Y DESTINO EN EL AREA METROPOLITANA DE PUEBLA.**  
Encuesta domiciliaria y en cordón exterior realizada por la Junta de Mejoramiento Moral, Cívico y Material del Municipio de Puebla, conjuntamente con el Gobierno del Estado de Puebla y el H. Ayuntamiento Municipal de la Ciudad de Puebla. 1976.
- 15. ESTUDIO DE ORIGEN Y DESTINO EN EL AREA METROPOLITANA DE PUEBLA.**  
Encuesta realizada por el Gobierno del Estado de Puebla, el H. Ayuntamiento de Puebla y la Junta de Mejoramiento Moral, Cívico y Material del Municipio de Puebla. Puebla de Zaragoza. 1983.
- 16. ENCUESTA DOMICILIARIA SOBRE EL TRANSPORTE, ORIGEN Y DESTINO, PUEBLA, PUE., 1993-94.**  
Informe final de la encuesta domiciliaria del estudio de Origen y Destino, realizada por el Grupo Interuniversitario de Montreal, Ciudad y Desarrollo, con la colaboración de la Benemérita Universidad Autónoma de Puebla, en la zona metropolitana de Puebla, Pue., para el Gobierno del Estado de Puebla.
- 17. ESTIMACION DE DEMANDA DE TRANSITO EN CARRETERAS COMBINANDO ESTUDIOS ORIGEN DESTINO CON AFOROS.**  
Dr. Roberto de la Llata Gómez. Instituto Mexicano del Transporte. SCT.  
Publicación Técnica No. 25, Querétaro, Qro. 1991.

- 18. ESTRATEGIAS PARA LA REALIZACION DE ESTUDIOS DE ORIGEN Y DESTINO.**  
Dr. Roberto de la Llata Gómez, con la colaboración del Ing. Rosendo Silverio Guevara. Instituto Mexicano del Transporte. SCT.  
Publicación Técnica No. 48. Sanfandila, Qro.
- 19. LOS SISTEMAS DE INFORMACION GEOGRAFICA Y EL TRANSPORTE.**  
Geógrafos Gabriela García Ortega y Miguel Angel Backoff Pohls  
Instituto Mexicano del Transporte. SCT.  
Publicación Técnica No. 32. Querétaro, Qro. 1992.
- 20. TRANSPORTE PUBLICO.**  
Angel R. Molinero Molinero e Ignacio Sánchez Arellano.  
Secretaría de Transporte y Vialidad DDF. México, 1996.
- 21. MODELOS DE PLANEACION DEL TRANSPORTE URBANO.**  
Volúmenes I y II. Comisión del Transporte del Estado de México y la Comisión de Conurbación del Centro del País.  
Felipe Ochoa y Asociados, S. C. Agosto de 1983.
- 22. MANUAL DE OPERACION DEL SISTEMA DE PLANEACION DEL TRANSPORTE URBANO.(UTPS).**  
Traducción de la Comisión de Conurbación del Centro del País. Secretaría de Asentamientos Humanos y Obras Públicas. Julio 14-25 de 1980.
- 23. PLANIFICACION DE REDES Y TRANSPORTE URBANO.**  
Ing. Román Vázquez Berber. Dirección General de Ingeniería de Tránsito y Transportes. DDF. Febrero 16 de 1977.
- 24. MODELOS MATEMATICOS PARA LA GENERACION DE VIAJES A NIVEL REGIONAL Y URBANO.**  
Ing. Román Vázquez Berber. Instituto Mexicano del Transporte SCT. (No publicado).  
Sanfandila, Qro. 1994.

**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO**  
**Facultad de Ingeniería Civil**  
**División de Educación Continua.**  
**Abril de 1997**

---

**BIBLIOGRAFIA PARA EL MODULO II: PLANIFICACION DEL TRANSPORTE URBANO, DEL SEGUNDO DIPLOMADO INTERNACIONAL DE TRANSPORTE.**

**INGLES.**

- 1. MODELLING TRANSPORT.**  
Juan de Dios Ortuzar y L.G. Willumsen.  
John Wiley & Sons. 1990, England.
- 2. PRINCIPLES OF URBAN TRANSPORT SYSTEMS PLANNING.**  
B.G. Hutchinson.  
McGraw-Hill Book Company 1974.
- 3. MATRIX METHODS IN URBAN AND REGIONAL ANALYSIS.**  
Andrei Rogers.  
Holden-Day Inc. 1971.
- 4. MANUAL OF TRANSPORTATION ENGINEERING STUDIES.**  
Institute of Transportation Engineers.  
Prentice Hall, Inc. 1994.
- 5. TRAFFIC ENGINEERING HANDBOOK.**  
Institute of Transportation Engineers.  
Prentice Hall, Inc. 1992.
- 6. THE LAND USE/TRANSPORT SYSTEM. (Analysis and Syntesis)**  
W.R. Blunden, First Edition, 1971.  
Pergamon Press.

- 7. TRANSPORTATION PLANNING HANDBOOK.**  
Institute of Transportation Engineers.  
Prentice Hall, Inc. 1992.
- 8. FUNDAMENTALS OF TRAFFIC ENGINEERING.**  
Wolfgang S. Homburger, Jerome W. Hall, Roy C.  
Loutzheiser, William R. Reilly.  
Institute of Transportation Studies, University of California,  
Berkeley. May 1996.
- 9. ANALYTIC TECHNIQUES IN URBAN AND REGIONAL  
PLANNING.**  
John W. Dickey and Thomas M. Watts.  
McGraw-Hill Book Company. 1978.
- 10. HIGHWAY TRAFFIC ANALYSIS AND DESIGN.**  
R. J. Salter.  
The Macmillan Press. LTD.  
London. 1974.
- 11. FUNDAMENTALS OF NETWORK ANALYSIS.**  
Dont T. Phillips and Alberto García Díaz. Texas  
Transportation Institute, Texas A & M University.  
Prentice-Hall, Inc. 1981.
- 12. COMPUTERS PROGRAMS FOR URBAN TRANSPORTATION  
PLANNING. PLANPAC\BACKPAC. General Information  
Manual. Federal Highway Administration. U.S. Department of  
Transportation. April 1977.**
- 13. TRANSPORT PLANS: METHODOLOGY AND AREAS OF  
APPLICATION.**  
Emile Quinet. Infraestructure and Urban Development  
Deparment, The World Bank. February 1990.

- 14. URBAN TRIP DISTRIBUTION FRICTION FACTORS.**  
Federal Highway Administration. U.S. Department of Transportation. 1974
- 15. MODELS IN PLANNING.** An introduction to the use of quantitative models in planning.  
C. Lee. University of Newcastle.  
Pergamon Press. 1974.
- 16. DATA REQUIREMENTS FOR METROPOLITAN TRANSPORTATION PLANNING.**  
Crighton, Hamburg. Planning Consultants.  
National Cooperative Highway Research Program.  
Report 120. 1971. Highway Research Board.
- 17. TRANSPORTATION PLANNING FOR SMALL URBAN AREAS.**  
W. L. Grecco, F. j. Wegmann, J. A. Spender and A. Chatterjee. University of Tennessee.  
National Cooperative Highway Research Program. Report 167. Transportation Research Board. 1976.
- 18. TRIP GENERATION ANALYSIS. And Appendix E.**  
Urban Planning Division. Federal Highway Administration.  
U. S. Department of Transportation.  
August 1975.
- 19. HIGHWAY SKETCH PLANNING: CAPM.**  
James M. Ryan. Urban Planning Division.  
Federal Highway Administration  
Washington, D.C. 20590. April 2, 1979.
- 20. GUIDELINES FOR TRIP GENERATION ANALYSIS.**  
Prepared by: Urban Development Branch. Urban Planning Division. Office of Planning.  
U.S. Department of Transportation / Federal Highway Administration. Bureau of Public Roads. June 1967.



**FACULTAD DE INGENIERIA U.N.A.M.  
DIVISION DE EDUCACION CONTINUA**

**DIPLOMADO INTERNACIONAL DE TRANSPORTE**

**MODULO II: PLANIFICACIÓN DEL TRANSPORTE URBANO**

**TEMA: BIBLIOGRAFIA**

**( ANEXO )**

**PRIMAVERA 1997**

**Lecture on**  
**Transportation Impacts on Land Use**  
Robert Cervero, Professor of City and Regional Planning  
University of California, Berkeley

**1. Introduction**

Transportation has long been known to effect land-use patterns and urban form -- including the: (1) *locations*; (2) *intensities*; (3) *land values*; and (4) *land-use compositions* of urban activities.

There is nothing inherent in a transportation facility that entices urban growth other than its ability to provide *accessibility* -- that is, providing certain parts of a city locational advantages relative to other parts. In turn, land uses are important determinants of travel behavior. We know that people are more likely to walk or patronize mass transit in dense, mixed-use environments than in sprawling suburbs. Thus, transportation and land use *mutually influence* each other in a symbiotic way.

To most lay people, the meaning of *land use* is unclear. By land use, we mean "how land is put to use" -- meaning whether used as open space, for residential purposes, for commercial activities, for industries, or any other enterprise wherein organizations and individuals make claims on space. Inherently, land use planning involves organizing and managing urban space so as to maximize overall public welfare and social good. It is land use that is the focus of comprehensive planning. We are only interested in transportation from a secondary standpoint -- in terms of its abilities to link origins and destinations. It is the origins and destinations -- that is, *places* -- that matter most. In many ways, transportation is something we seek to minimize -- it represents an impedance to interactions which must be overcome.

The focus of this lecture is on how transportation investments effect land use patterns and shape urban form. The topic of how land uses and built environments shape travel behavior is not covered.

**2. Location and Land Use Theory**

It is instructive to review what urban economic theory tells us should be the impacts of transportation investments and services on land use patterns. This theory draws from the theoretical work of Von Thünen on agricultural rents and locations, as adapted by urban economists like William Alonso and Edwin Mills. We'll focus mainly on the matter of residential location and rents.

Theoretical models of residential location are based on the notion that people seek locations to minimize commuting costs. They end up trading off between expenditures for transportation versus housing. Thus, the theoretical model of residential location is also referred to as the *trade-off model*.

Adding multiple competing land uses results in different series of bid rent curves. As shown in Figure 4, offices outbid ancillary (business-serving activities) which outbid residential. Offices are said to be a "higher and best use", in the sense that they are able to outbid other activities for the accessibility advantages. Offices depend on agglomeration economies -- the value added from clustered activities, like access to specialized skills, ease of external transactions, and innovations. Once one starts relaxing assumptions, a more realistic (but complicated) perspective on the location of urban activities is gained. Realistic factors include: (1) multi-centered development; (2) importance of non-transportation factors in location (e.g., quality of schools, crime levels); and (3) economic re-structuring and post-industrialization -- many businesses have become *footloose*, no longer as concerned about physical access to transportation facilities (rail heads, ports), materials sources, and distribution centers when making a locational choice.

Our focus will be primarily on the impacts of rail transit systems and busways on urban form. Theory tells us then that the investments should: (1) effect locations, encouraging future growth to occur along rail corridors to exploit accessibility improvements; (2) encourage clustering and agglomeration of higher-end land uses, like offices and commercial-retail activities; (3) increase land values near stations and major access points; and (4) barring zoning restrictions, encourage more mixed land use activities.

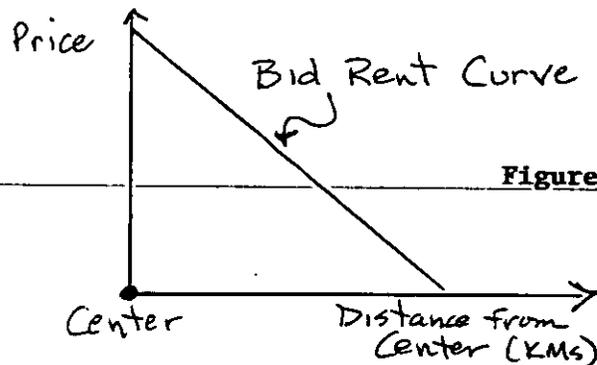


Figure 1

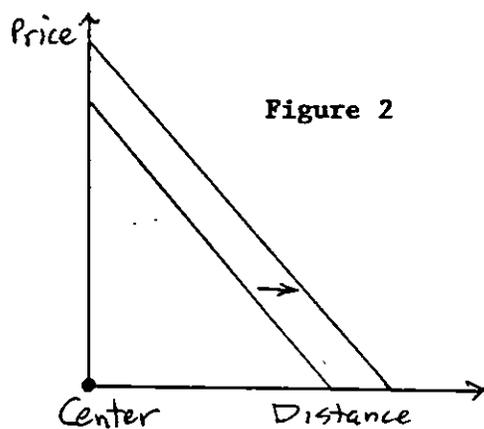


Figure 2

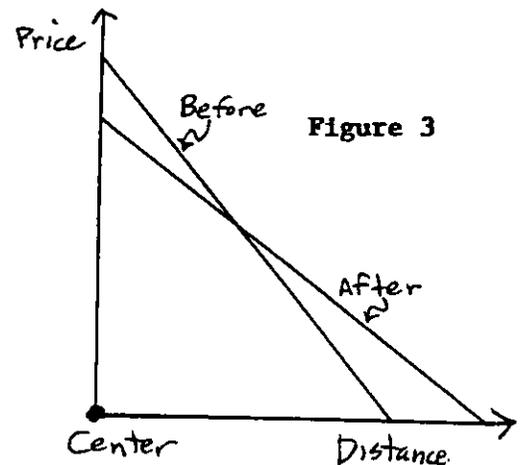
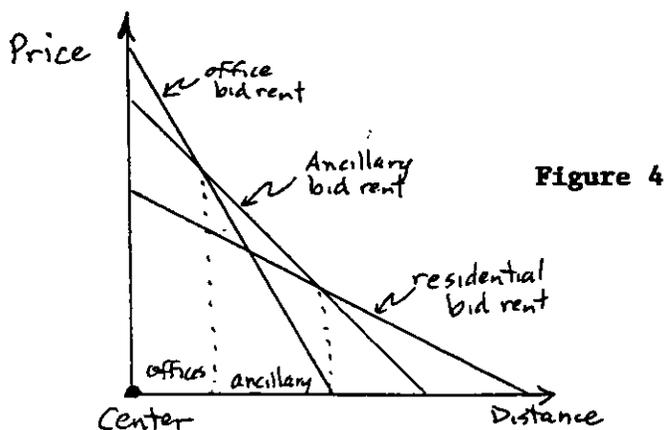


Figure 3

Adding multiple competing land uses results in different series of bid rent curves. As shown in Figure 4, offices outbid ancillary (business-serving activities) which outbid residential. Offices are said to be a "higher and best use", in the sense that they are able to outbid other activities for the accessibility advantages. Offices depend on agglomeration economies -- the value added from clustered activities, like access to specialized skills, ease of external transactions, and innovations. Once one starts relaxing assumptions, a more realistic (but complicated) perspective on the location of urban activities is gained. Realistic factors include: (1) multi-centered development; (2) importance of non-transportation factors in location (e.g., quality of schools, crime levels); and (3) economic re-structuring and post-industrialization -- many businesses have become *footloose*, no longer as concerned about physical access to transportation facilities (rail heads, ports), materials sources, and distribution centers when making a locational choice.



Our focus will be primarily on the impacts of rail transit systems and busways on urban form. Theory tells us then that the investments should: (1) effect locations, encouraging future growth to occur along rail corridors to exploit accessibility improvements; (2) encourage clustering and agglomeration of higher-end land uses, like offices and commercial-retail activities; (3) increase land values near stations and major access points; and (4) barring zoning restrictions, encourage more mixed land use activities.

### 3. History

History gives us the richest insights into how transportation investments shape land use and urban form. A century of more ago, breakthroughs in transportation and major new investments provided tremendous incremental increases in accessibility, thus the impacts of new transportation investments on cities were substantial, much than today. Peter Muller has traced four phases of transportation development and their impact on cities: (1) *pedestrian cities*; (2) *streetcar/tram cities*; (3) *automobile cities*; and (4) *telecommunications cities*.

Walking cities consist of the core of most cities that are a century of more older. They generally extended 2-3 kms from the core and accommodated 40-50,000. They were compact (emphasis was on travel avoidance), mixed use, non-segregated by class, and lacked privacy.

Streetcar cities, that emerged when electricity was harnessed and flanged wheels were adapted rail embedded in streets (around 1890) were heralded as a triumph over walking city, for they allowed the middle class to escape central-city irritations. Suburbs blossomed with streetcar cities. Saw social stratification of cities. Streetcars defined the radial spines of most regions. Streetcar cities extended 5-10 kms from a center, and accommodated 80,000-200,000 residents.

With the ascendancy of the internal combustion engine during the 20th century came the automobile city. It allowed development to fill in the wedges between radial corridors of the streetcar city and metropolitan boundaries to expand outward four to five times. As a flexible and ubiquitous mode, activities dispersed, giving rise to the dreaded *urban sprawl*. With freeways came a more polycentric urban form, with shopping malls, office parks, airports, and other major activity centers congregating near major access points. Los Angeles epitomizes the transformation of a region from a streetcar to a freeway-oriented metropolis.

The effects of the *telecommunication city* are still unknown. Many suspect activities to further disperse. We will probably continue to see polycentricism, though it will occur over a much larger landscape. What is unclear is whether telecommunications will be a *substitute* or a *stimulant* to travel.

#### 4. Case Studies and Lessons: Heavy Rail

Case studies embellish theories, and help illuminate how a host of institutional, political, and social factors come to play in shaping land-use outcomes. They tell us much about the political economy of urban transportation systems. Most recent studies of transportation impacts on land use have focused on heavy rail systems or metros (e.g., grade-separated, centralized train control, high speeds) because this technology provides the largest incremental increases in regional accessibility and thus could be expected to have the most measureable land-use impacts.

Measuring the impacts of rail investments on urban form is fraught with methodological difficulties. It does not necessarily follow that if land-use changes occur following a transportation investment that the investment *caused* the change. Other factors, like an upswing in the regional economy or improved quality of local schools, might be responsible. The challenge then is to separate out the influence of transit investments from all other possible explanatory factors. Statistical techniques like regression analysis are often called upon to do this, with varying levels of success.

Four cases are focused on in this section: (1) Toronto, Canada; (2) San Francisco Bay Area, U.S.A.; (3) Stockholm, Sweden; and (4) Tokyo, Japan.

##### *Toronto*

Toronto is often heralded as the best North American example of rail transit's city-shaping abilities. A frequently cited statistic is that during the early 1960s following the opening of

Toronto's Yong Street subway line, around one-half of high-rise apartments and 90 percent of office construction in the city of Toronto was within a 5-minute walking distance of a train station. Aerial photos provide testament to the clustering that occurred around stations. The subway not only brought about the development of vacant or under-used areas (some within a few miles of the city center), but it also recycled areas that were already built up. One study claimed that the subway brought about \$15 billion in land-value appreciation over a 10 year period. Careful studies of the Toronto experience attribute these results to several key factors:

(1) *Timing*: The subway system was built in the 1950s and 1960s, a period of rapid growth. Thus, rail transit was in a position to channel where the growth occurred.

(2) *Immigrant populations*: Toronto experienced a massive wave of in-migration from Europe following WWII. Most came from places where transit was popular, and thus they supported transit at the farebox and ballot box. Immigrants were also housed in social housing, consciously located away from downtown and near rail stations.

(3) *Public policy*: Toronto has high proportion of its population living in apartments and multi-family housing. This is partly due to the fact that mortgage interest payments and property taxes are not deductible from income taxes, thus there's less of an incentive for single-family homeownership. Freeway revolts also stopped proposed inner-city freeway project, giving Toronto fewer lane miles of freeway per capita than comparable size American metropolises. Canada also has no federal ministry in charge of promoting highways.

(4) *Land use initiatives*. The metropolitan government of Toronto aggressive promoted concentrated development around rail stations. They did this through: (a) density bonuses, allowing plot ratios of 15:1; (b) transferable development rights; (c) supplemental/excess land acquisition -- 22 city blocks over and beyond that necessary to build the Yonge Street line were purchased by local government. Some parcels were sold to selected developers for large-scale commercial projects. This not only generated ridership, but provided rent premiums, allowing the public authorities to *recapture value-added*.

(5) *Efficient metropolitan government*. A regional authority in charge of transit development, zoning, and physical land use planning ensured careful coordination.

### ***San Francisco BART***

San Francisco's Bay Area Rapid Transit (BART) system opened in 1973, extending 110 kilometers throughout the region. Studies suggest that, outside of San Francisco's CBD, BART has been a stronger force toward decentralization than concentration. This is actually consistent with theory, suggesting that BART helped flatten the region's "bid rent curve". In downtown San Francisco, some 30 million square feet of office floorspace was built within a one-half

kilometer radius of BART stations. While BART was one of several factors in helping to stimulate this growth, as shown in Figure 5, it failed to provide an office rent premium for properties near stations. This reflects BART's value in providing access to the whole of the CBD, rather than properties immediate to stations. BART was associated with higher office occupancy rates in downtown San Francisco, however (Figure 6). Outside of the region's CBD, job growth has been faster away from BART, much of it concentrated along Interstate-680 freeway corridor (where numerous campus-style office parks were opened in the 1980s). The exceptions have been several stations -- Walnut Creek, Pleasant Hill, Fremont, and El Cerrito del Norte -- where aggressive station-area planning has occurred to promote transit-oriented development. Figure 7 shows the rapid growth in office and mixed-use development around Walnut Creek during the early 1980s following BART's introduction, and Figure 8 shows that proximity to BART in more suburban settings clearly has been capitalized into office rents.

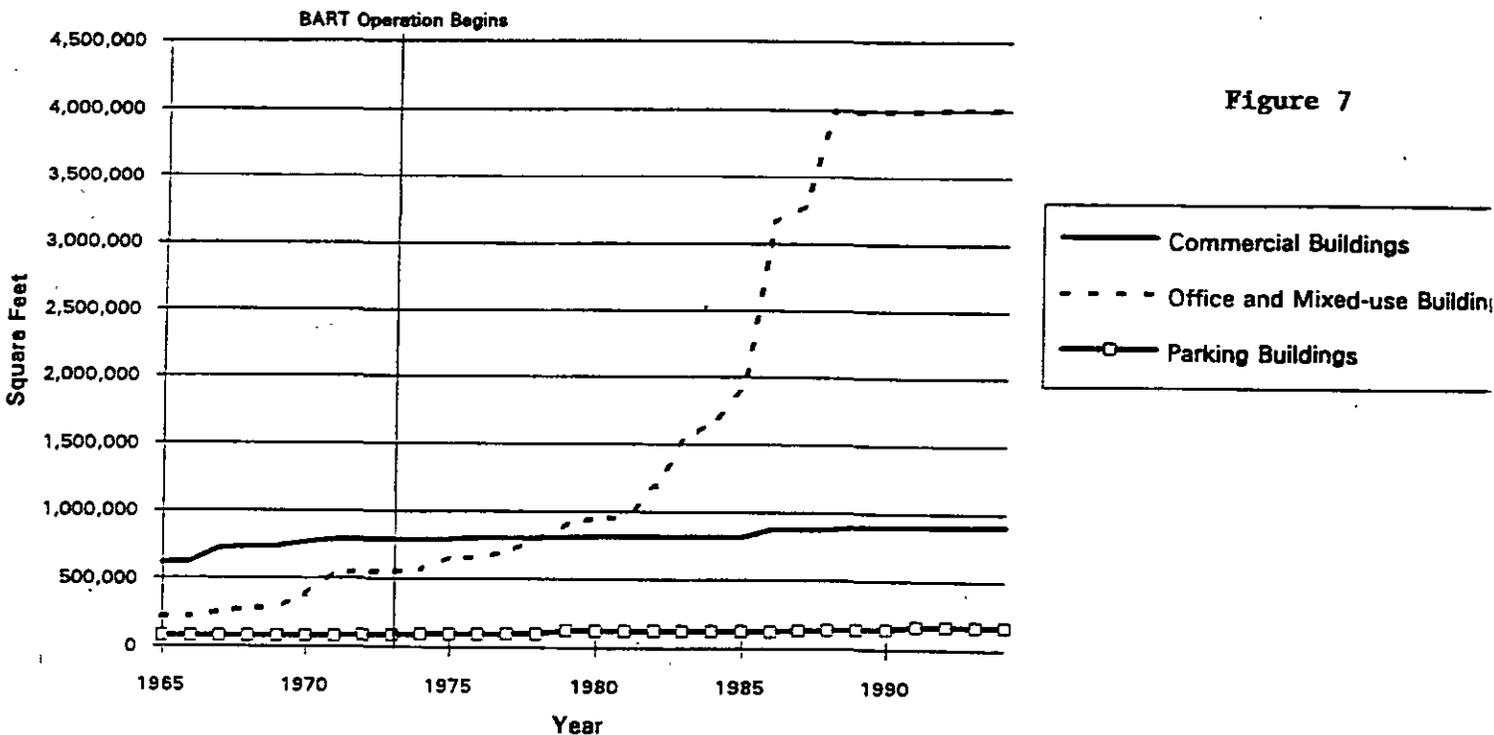
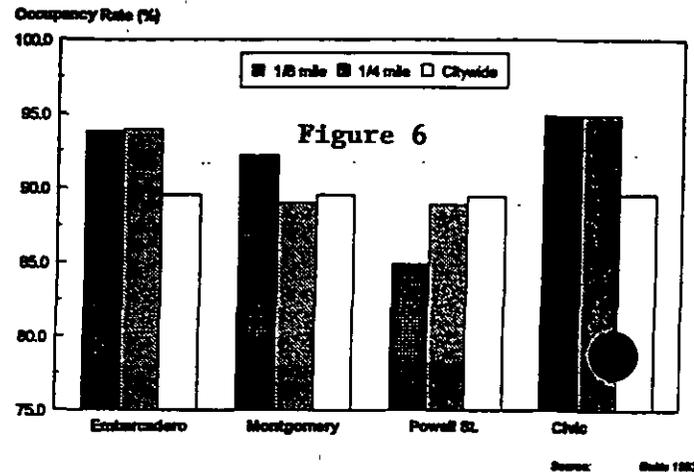
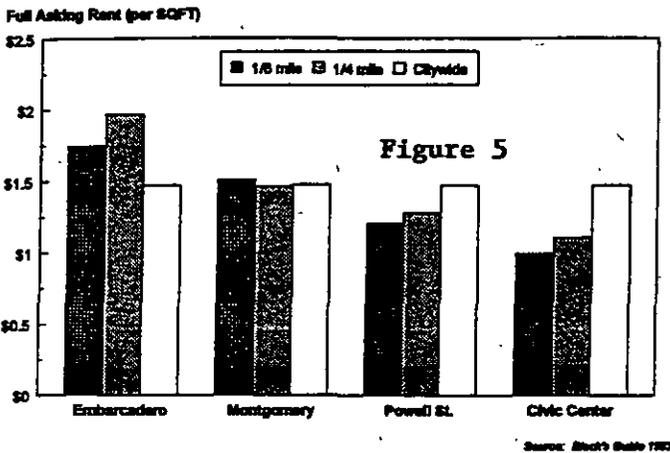
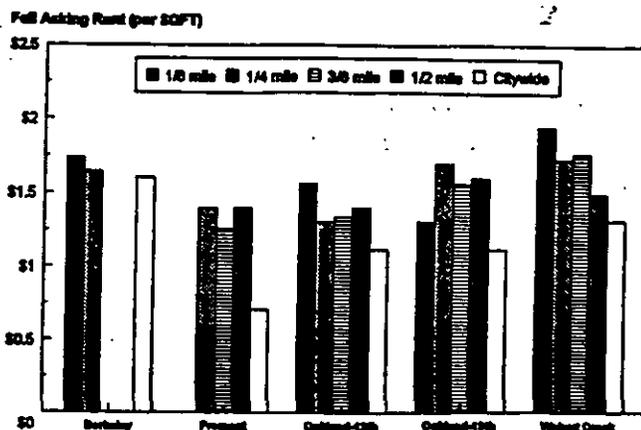


Figure 8



BART's most significant accomplishment in inducing land-use changes in the suburbs has been to attract multi-family housing and spawn transit village development. In the case of the Pleasant Hill station some 45 kms east of San Francisco, for example, over 1,700 apartments were built within a half kilometer of the station between 1990 and 1995. Much of the housing development was attributable to aggressive actions on the part of the local redevelopment authority through underwriting infrastructure investments, assisting with land assemblage, and in several instances, becoming equity partners in building transit-based housing. Many apartments near these stations are commanding 10-15% rent premiums. Studies show many people residing in apartments near BART consciously sought out housing near transit to economize on commuting, as theory would suggest. There are other stations (like Richmond) where, despite aggressive planning and incentives, little land use changes occurred. These are areas with unattractive real estate markets. The mere presence of BART proved incapable of turning around flat or declining local real estate markets, or overcoming negative images of neighborhoods. BART clearly was not a sufficient condition to significant land development around stations; however, under the right conditions, it has proven to be an important contributor. BART also seems to have played a role in producing a more polycentric regional settlement pattern, consistent with theory.

### *Lessons from Toronto, BART, and Other North American Metros*

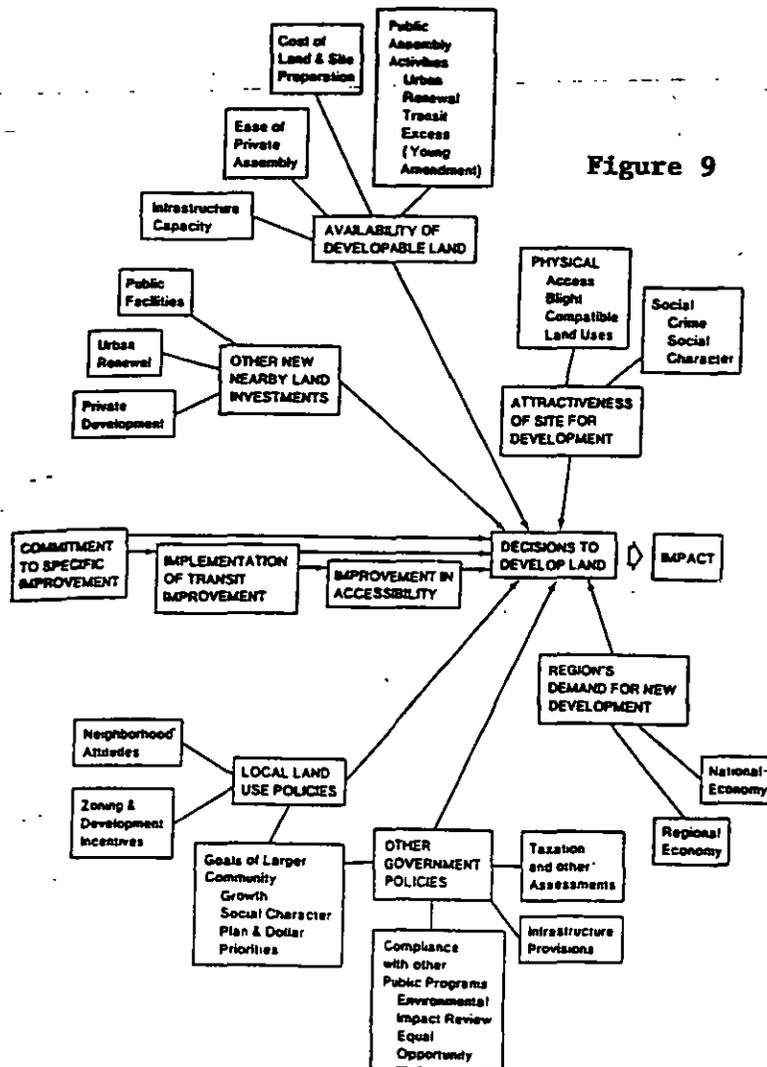
Experiences in North America provide important lessons about the land-use impacts of metros:

- \* *Redistributes rather than creates growth:* Transit influences the distribution, not the amount, of development that occurs within a region; it helps to channel where already committed growth occurs.
- \* *Healthy regional econom:* There needs to be growth for transit to channel; transit will exert negligible land-use impacts in areas with weak economies.
- \* *Force toward decentralization:* Transit induces a flattening of the rent gradient, though it appears to encourage a more multi-nucleated form:

\* *Accelerate land-use conversions:* Transit can speed up the conversion of old, close-in neighborhoods that are suffering from slow commercial encroachment.

\* *Complementary and reinforcing factors:* In a classic 1977 study, Robert Knight and Lisa Trygg found that stringent land-use controls and various pro-development forces (e.g., regional governance that promoted coordinated planning) were largely responsible for significant land-use changes in places like Toronto. Besides complementary zoning and taxation policies, the consensus is that other factors need to co-exist with rail transit for meaningful land-use changes to occur, including: vacant assemblable land; permissive zoning; community support; hospitable physical setting (in terms of aesthetics, ease of pedestrian access); other public improvements; few physical constraints; and existence of some automobile constraints (such as controls on parking supplies) (see Figure 9).

\* *Obstacles to residential housing* -- absence of large vacant sites, pre-emption of land for park-and-ride; NIMBY opposition to high-density housing; commercial uses outbid residences for land.

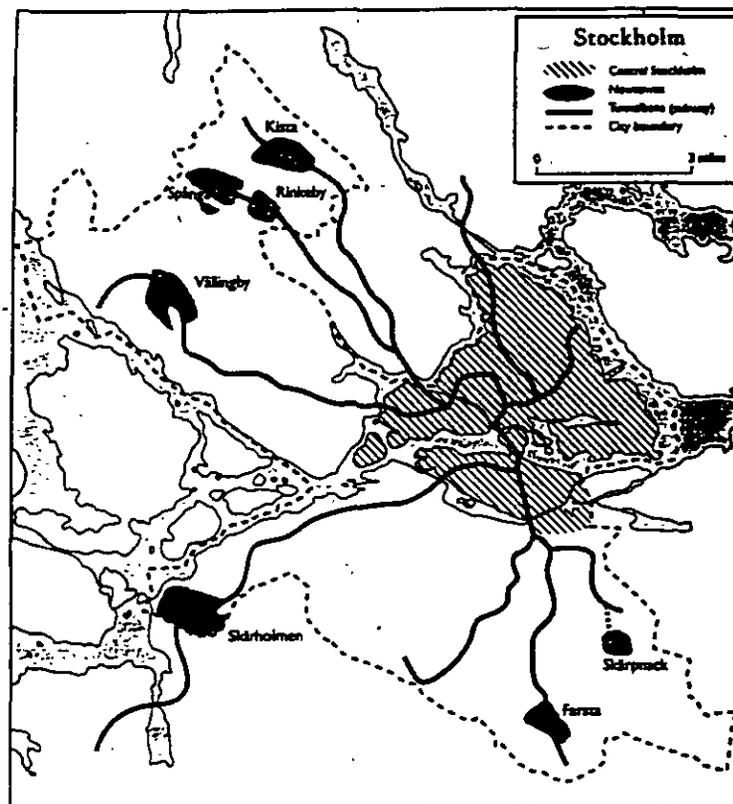


## *Stockholm, Sweden*

Stockholm is arguably the best example anywhere of coordinated planning of rail transit and urban development. Following the opening of the Tunnelbana system, numerous satellite new towns sprouted along the rail corridors, separated by greenbelts and open space (Map 1). Stockholm, with self-contained satellite communities oriented to rail, has come the closest to putting Ebenezer Howard's "garden cities of tomorrow" into practice. Over time, Stockholm's settlement pattern and rail network have become mutually dependent and, indeed, inseparable. What makes Stockholm's story all the more remarkable is that the transformation to a transit metropolis occurred in a well-to-do national during a period of economic boom.

Stockholm's city council deserves much of the credit for orchestrating and coordinating land-use and transportation development over the post-WWII period. Besides careful planning, there were two other decisive factors. One, beginning in 1904, the city council began purchasing land for future expansion decades in advance of need. By 1980, it owned 70 percent of the land within its boundaries. Second, Sweden has long been committed to social housing, and public authorities have aggressively sought to target housing growth around transit stations.

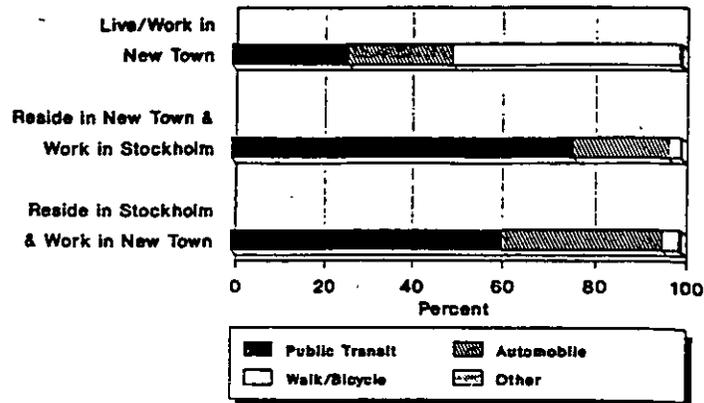
Map 1



The blueprint for building Stockholm's transit metropolis was Sven Markelius's General Plan of 1945-1952. Markelius, an architect by training, believed that, while suburbanization was inevitable and needed to be accommodated, Stockholm's vitality and pre-eminence as the region's commercial and cultural hub had to be preserved at all costs. This was accomplished by building satellite new towns radially connected to Stockholm by rail. The intent was that these not be complete, self-sufficient towns. Residents were still to think of themselves as Stockholmers. The aim was to have half the employed residents of these new towns working locally and the other half commuting elsewhere.

Stockholm has evolved according to formula. While rail-served new towns are balanced, most residents out-commute and most employees in-commute. Because of an efficient designed rail system and surrounding communities oriented toward rail, the Tunnelbana has become the preferred mode of commuting -- around 60 percent of new town workers and employed residents use transit to get to work (Figure 10). Those living and working within new towns tend to commute via non-motorized modes. Overall, Stockholm's carefully planned codevelopment of new towns and rail transit has put the region on a sustainable development path.

Figure 10



### Tokyo, Japan

Tokyo, Japan shows the value of entrepreneurship in developing transit systems and real estate projects -- namely, rail transit and land development have been effectively co-bundled in greater Tokyo by the private sector, leading to an extraordinarily high level of transit and land-use integration. Tokyo is a huge metropolis with a dense and extensive rail transit network totaling over 1500 km in length, with private lines making up 52 percent of the trackage in 1990 (Map 2). Nearly all suburban rail lines in greater Tokyo have been privately built, typically by large consortiums that link transit and new town development. Besides rail and real estate, these consortiums are involved in retailing, construction, hoteling, amusement centers, and other commercial pursuits.

The chief reason why Japanese railway companies have aggressively pursued real estate development has been to exploit opportunities for *value capture*. Figure 11 shows that for the 8 largest private railway companies in the Tokyo region, six of the eight earned more from real



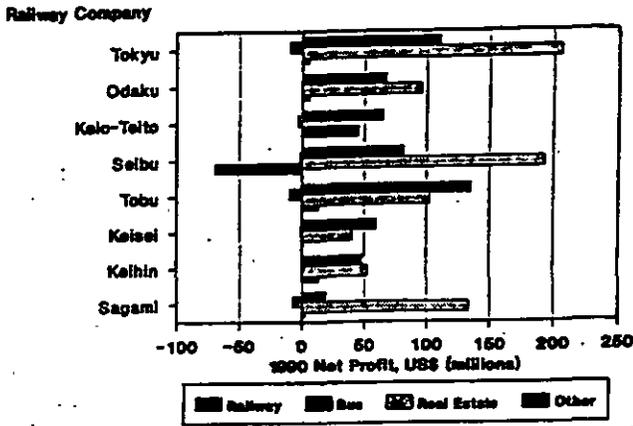


Figure 11

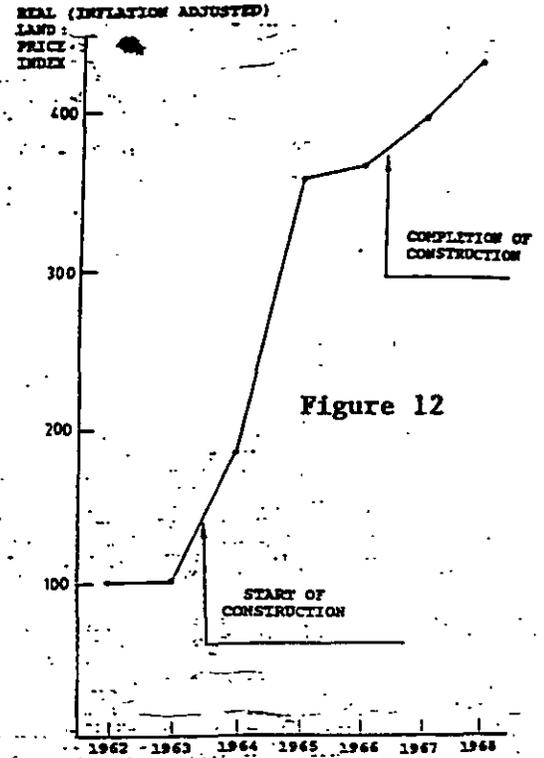


Figure 12

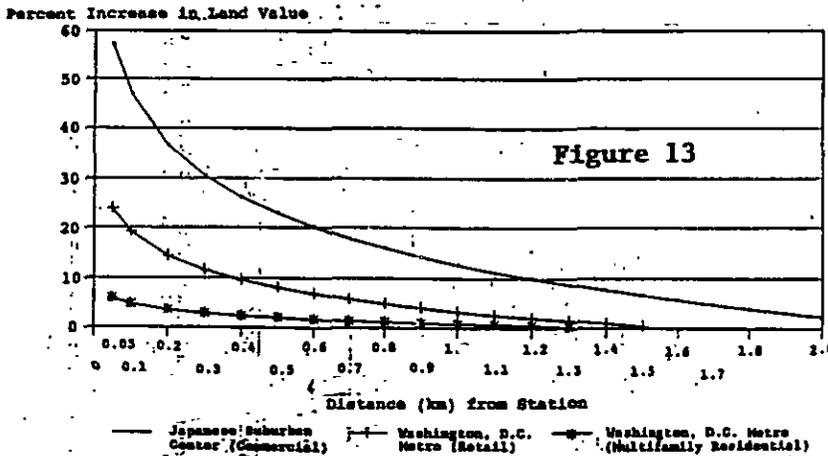


Figure 13

### 5. Case Studies and Lessons: Light Rail

Few studies of other transit technologies have been conducted to date. Light rail transit has garnered increased attention because it can be a significantly lower cost alternative to heavy rail systems. The prospect of inducing real economic growth is often used to justify new light rail investments. Claims for LRT investments often include stimulating community redevelopment, job creation, economic development along specific corridors, and maintaining dense urban centers whose vitality is being threatened by auto-oriented development.

Studies have generally found fewer land-use impacts associated with light rail than heavy rail because light rail generally is less extensive, operates at slower speeds, and is vulnerable to more

interference. Because it confers fewer accessibility advantages, its land use impacts tend to be less. Studies also show that the land-use impacts of light rail systems tend to be suppressed for other reasons: (1) low-cost rights-of-way are also chosen, such as abandoned railroad rights-of-way and along industrial belts and freeway medians; (2) most suburban stations are surrounded by park-and-ride lots in order to serve larger market catchments; (3) in the U.S., they have often been built in areas where downtowns are losing significant market shares of regional employment and retail activities.

Two cities with highly successful light rail systems are Zurich, Switzerland and Portland, Oregon. Zurich averages the highest per capita transit usage in the world -- around 500 trips per person per year. There, trams saturated the cityscape, supplemented by commuter rail and trolley buses. Many factors enter into the formula for light rail's success in Zurich -- integrated fares and services (through a regional transit federation, the Verkehrsverbund); extensive pedestrian-only inner city zones; dedicated roadspace specifically to trams and cyclists; limited inner-city parking; and high vehicle ownership and motoring fees.

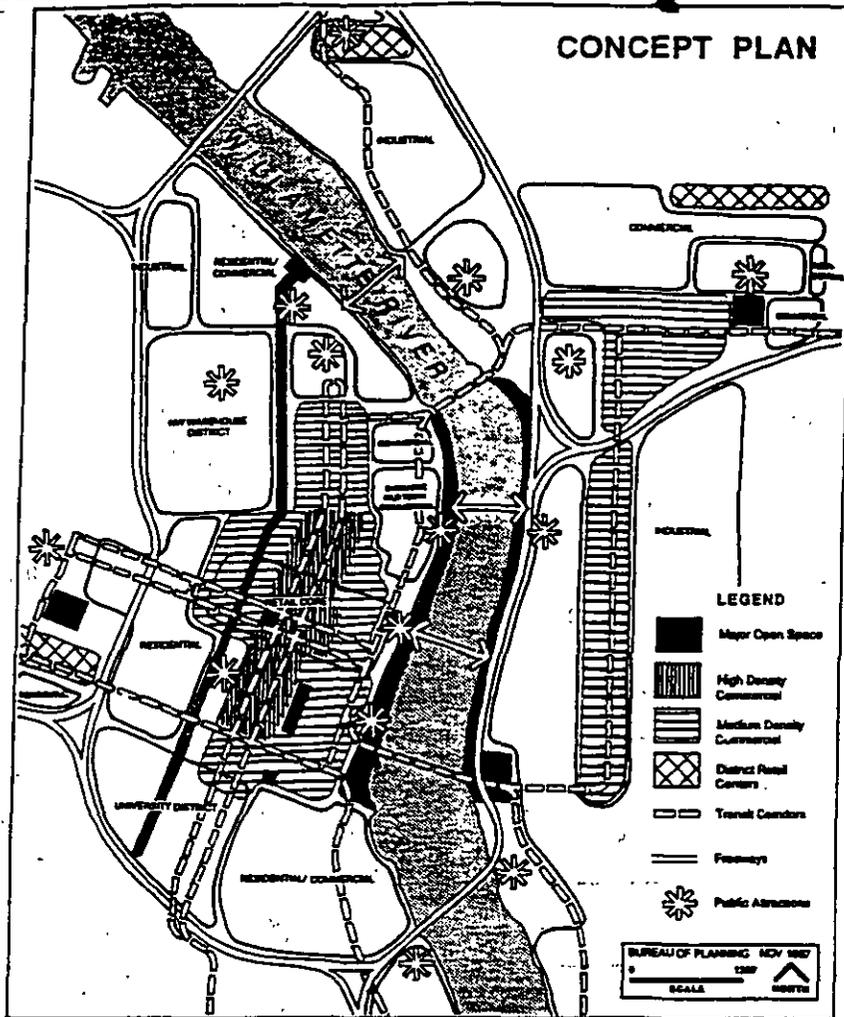
Portland is America's success story with light rail. The MAX system has been a key link in the revitalization of Portland's downtown area, where 43 percent of workers commute by mass transit, a very high share by American standards. High-quality urban design, a busway corridor, constraints on parking, and development incentives were used to create a successful marriage of downtown redevelopment and light rail services in downtown Portland, as shown in the Concept Plan in Map 3. Through integration of light rail and urban development, an estimated \$1.2 billion worth of development was attracted to parcels immediately adjacent to the light rail corridor on the east side (Figure 14). With the proposed extension of the west line to the fast-growing Hillsboro area, Portland hopes to create several successful transit villages (dense, mixed-use communities) as alternatives to typical auto-oriented suburban living and working.

## **6. Case Studies and Lessons: Busways**

As a flexible technology, bus transit is thought to exert few land-use impacts, other than reinforcing decentralized growth. Bus transit need not precede development because it can immediately serve developments of all types in all locations. Unlike rail transit, which is a permanent investment, bus transit does not prompt competition for choice land sites.

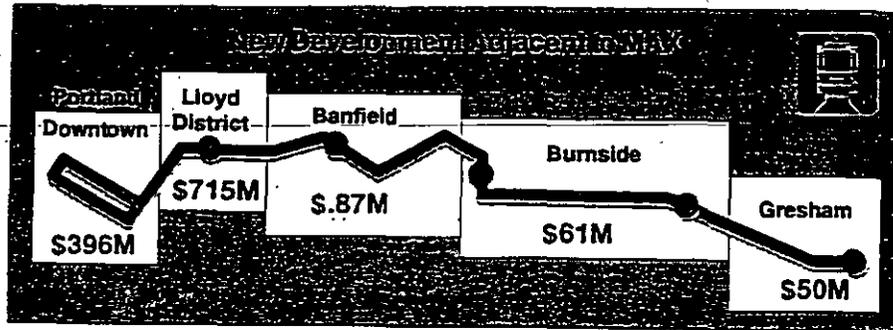
Where bus transit can exert more significant land-use impacts is when rights-of-way are dedicated. Two examples where busways have been shown to induce significant land-use changes are Ottawa, Canada and Curitiba, Brazil. Both places have helped to debunk the myth that high-end commercial development will be deflected away from bus transit because of the smoke emitted by diesel engines and the generally lower social class associated with bus transit usage. In both areas, the middle class often patronize bus transit for trips other than for work to central business districts.

Portland Central City Plan



"Transit corridors are the spine for future growth. The most intense development will locate along the transit corridors."—Central City Plan

Map 3

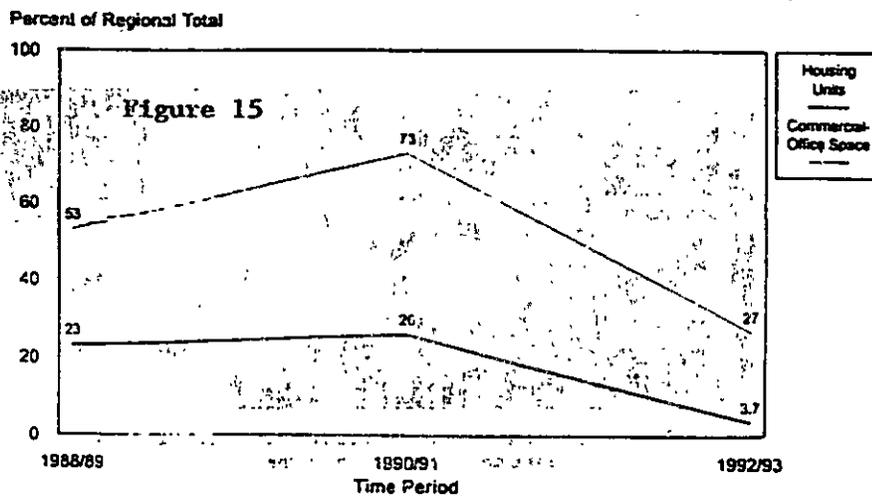
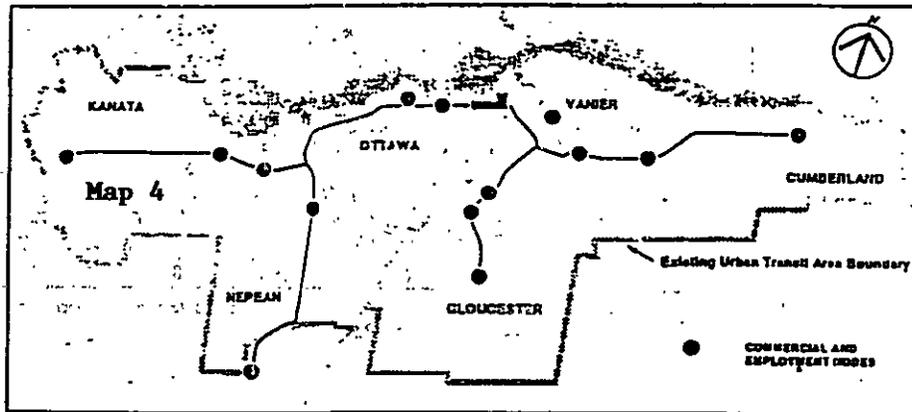


Over \$1.23 billion worth of development has occurred immediately adjacent to the MAX line since the decision to construct the project.

Figure 14

## Ottawa, Canada

Ottawa, Canada is a bit of a maverick, having decided to build a busway instead at the time virtually every other medium-sized North American metropolis was going with the eminently more popular light rail technology. For Ottawa, it made eminently good sense, costing around one-quarter as much as a light rail system would have. However, the Ottawa region was committed to integrating busway and urban development. The region designed a dedicated busway that ties together regional town centers (Map 4). Through the regional governing body, laws were passed that required future employment and commercial growth occurring outside of the CBD to be within a half mile catchment of a busway station. Numerous other improvements were introduced, including: integrated pedestrian facilities; reductions in downtown parking supplies; development incentives around stations; real-time passenger information systems. Today, Ottawa averages 16,800 daily passengers per route mile of its busway, compared to an average of only 2,100 to 3,900 passengers per LRT mile in Calgary and Edmonton, and rates under 1,300 passengers per day per LRT mile in U.S. LRT cities. As shown in Figure 15, significant shares of regional housing and employment growth has occurred around busway stations. Some stations have attracted mid-rise housing that commands rent premiums



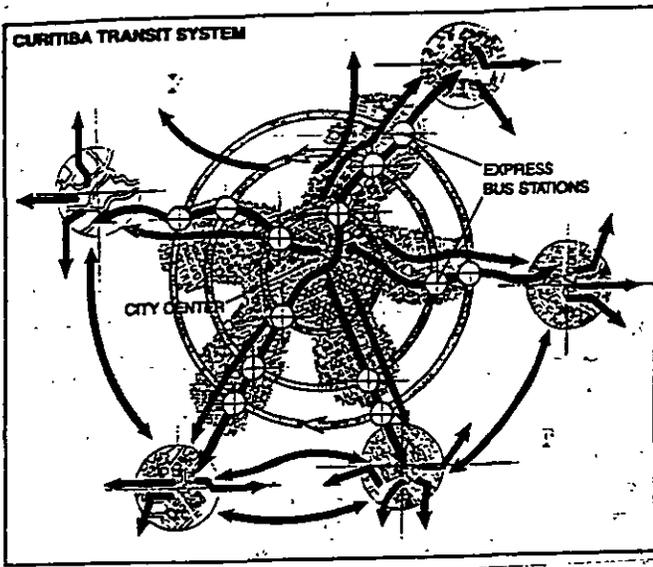
## ***Curitiba, Brazil***

Curitiba, Brazil has become the darling of the city planning profession. Most modern cities have developed to meet the demands of the automobile. Curitiba has followed a different path. The result is a transit-oriented built form, designed around a busway system, significantly less pollution, and a highly liveable inner city.

During the 1970s, Curitiba leaders, under the vision of Jaime Lerner, decided to encourage decentralized growth along "structural axes" as an alternative to formless sprawl. The tool to achieve this would be a busway, designed along five major axes (Map 5). Each axis was designed as a "trinary" -- three parallel roadways with compatible land uses (Figure 16). The central road contains two express bus lanes blanketed by local roads; one block away to either side run high-capacity oneway streets heading into and out of the central city. Land-use legislation has encouraged high-density occupation, together with services and commerce, in the areas adjacent to each axis. Densities taper away from the central route. Transfer development rights and density bonuses were used to create this wedding-cake density pattern.

Curitiba's bus system is well adapted to the cityscape. It has a cob-web pattern. The high capacity corridors (including dual-articulated buses) carry theoretically as many as 15,000 passengers per lane per hour, matching the throughput of many smaller metro systems. Two service options -- a skip stop (direct service) on the oneway couplets of each structural axes, and a frequent stop (double-articulated) service on the center lane. The service alignment matches the origin-destination pattern of trip-making. Connecting the corridors are interdistrict buses (cross-towns) and feeder buses, that tie into large bus terminals on the structural axes (Figure 17).

The details of the system are designed for speed and efficiency. Important are the raised boarding tubes, where passengers pay their fares in advance (as in a subway station), and can board and alight at the same level, reducing dwell times. The superior quality transit services has resulted in a 65% transit mode split for work trips in Curitiba, significantly higher than in the two metro-served Brazilian metropolises, São Paulo and Rio de Janeiro. These modal splits are all the more remarkable because Curitiba is one of Brazil's richest cities, with one of the highest automobile ownership rates. Superior quality bus services, tailored to the region's cityscape, has made the difference.



Map 5

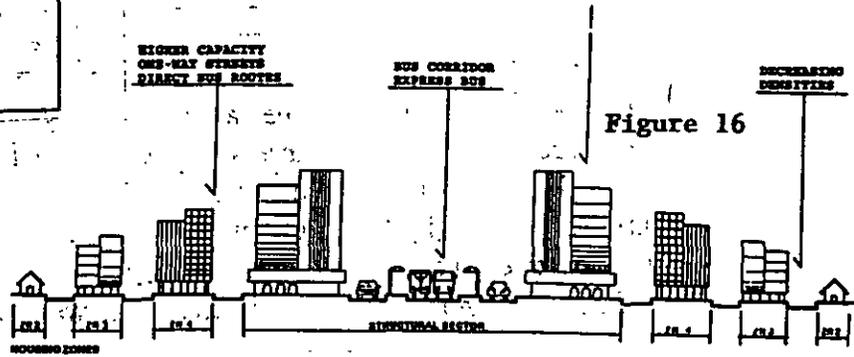


Figure 16

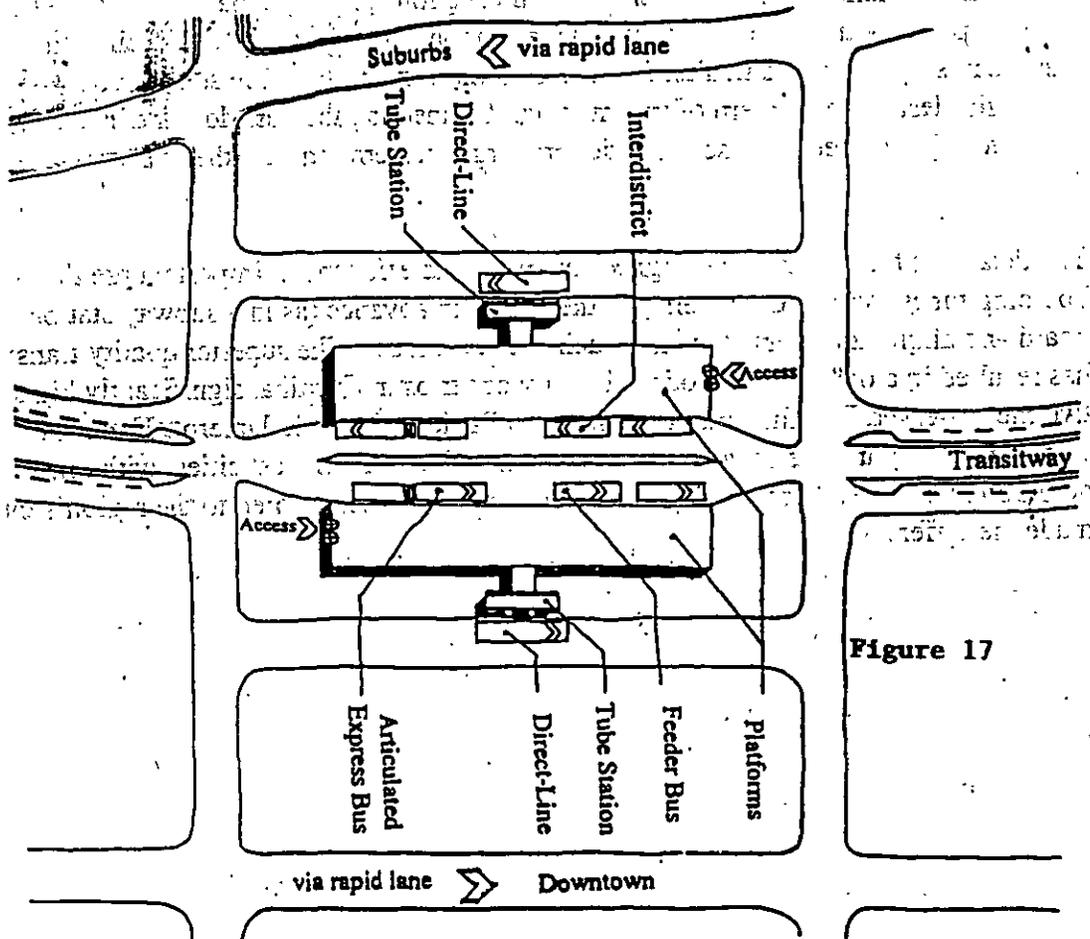


Figure 17

## 7. Land Use Impacts of Freeways and Beltways

American metropolises like Los Angeles and Phoenix are testaments to the impacts of highway and freeways on urban form. Since access is nearly ubiquitous with a car-based system, activities tend to be dispersed and segregated. Like a rail system, whatever clustering and agglomeration occurs tend to be around freeway interchanges -- like shopping malls.

Because of the deleterious effects of automobiles -- noise, fumes, vibration, headlights -- the accessibility advantages conferred by roads can be offset by diseconomies, especially in the case of residential land uses. Designs can be used to attenuate negative impacts. Studies show, for instance, that single-family homes can increase in value on the order of 5-10% following the erection of a soundwall along freeway corridors. Overall, research shows that accessibility improvements brought by new roads increase land values by 4-10 percent. However, environmental problems caused by cars and trucks can reduce residential values by as much as 15 percent. On balance, the capitalized benefits of new roads tend to be less than transit, around 3 to 5%.

Beltways are often viewed as a threat to inner-city areas, encouraging more decentralization and sapping downtown retail districts of their vitality. A comparison of 27 U.S. cities with and without beltways found beltways had no effect on regional growth rates, and only modest effects on retail sales differentials between CBDs and suburban locations.

Road investments, like rail transit, are thought to have redistributive impacts. A study of economic productivity in California found that increased highway spending in one county correlated not only with higher economic output in that county, but also with lower economic output in neighboring counties.

Roads are thought to induce growth in congested areas by providing corridors with accessibility advantage. For this reason, many environmental groups in the U.S. have sought to block planned freeway projects and road expansions in fear that these improvements would encourage auto-oriented, exurban growth. Studies show that residential development is accelerated in corridors with capacity additions in California.

## 8. Close

Transportation and land use is an area that has and will continue to receive increased public policy attention in years to come. Concerns over environmental quality, social equity, economic rationality, and questions of government intervention into private land markets are intimately tied to the field. Past experiences make it clear that the coordination of transportation and land development can be a powerful combination and place regions on a sustainability path. It has long been observed that urban form is a consequence of the dominant transportation system in place during the period of a region's prevailing growth. In fast-growing areas, how transportation resources are managed and used will continue strongly shape cities of the future.

## Bibliography

Alonso, W. 1964. *Location and Land Use*. Cambridge: Harvard University Press.

Bernick, M. and R. Cervero, 1997. *Transit Villages for the 21st Century*. New York: McGraw-Hill.

Cervero, R. and S. Seskin. 1995. *The Relationship Between Transit and Urban Form*. Washington, D.C.: Transit Cooperative Research Program, Research Results Digest, No. 5.

Kelley, E. 1994. "The Transportation-Land Use Link": *Journal of Planning Literature* Vol. 9, No. 2, pp. 128-145.

Knight, R. and L. Trygg. 1977. "Evidence of Land Use Impacts of Rapid Transit Systems". *Transportation* Vol. 6, pp. 231-247.

Muller, P. 1995. "Transportation and Urban Form: Stages in the Spatial Evolution of the American Metropolis". *The Geography of Urban Transportation*, S. Hanson, ed. 2nd edition, Guildford Press.

Rabinovitch, J. and J. Leitman. 1996. "Urban Planning in Curitiba". *Scientific American* (March), pp. 46-53.

