



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

FACULTAD DE INGENIERIA

RUTAS OPTIMAS PARA AUTOS PARTICULARES EN LA
DELEGACION BENITO JUAREZ: APLICACION PRACTICA DE UN
SISTEMA DE INFORMACION GEOGRAFICA

T E S I S
QUE PARA OBTENER EL TITULO DE :
I N G E N I E R O C I V I L
P R E S E N T A :
E D G A R G R E G O R I O C H I M A L R E Y E S



DIRECTOR DE TESIS: DR. RICARDO ACEVES GARCIA

MEXICO, D.F.

2004



Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.



UNIVERSIDAD NACIONAL
AUTÓNOMA DE
MÉXICO

FACULTAD DE INGENIERÍA
DIRECCIÓN
FING/DCTG/SEAC/UTIT/086/03

Señor
EDGAR GREGORIO CHIMAL REYES
Presente

En atención a su solicitud me es grato hacer de su conocimiento el tema que propuso el profesor DR. RICARDO ACEVES GARCIA, que aprobó esta Dirección, para que lo desarrolle usted como tesis de su examen profesional de INGENIERO CIVIL.

"RUTAS OPTIMAS PARA AUTOS PARTICULARES EN LA DELEGACION BENITO JUAREZ: APLICACION PRACTICA DE UN SISTEMA DE INFORMACION GEOGRAFICA"

- INTRODUCCION
- I ANTECEDENTES
- II SITUACION DEL TRANSPORTE DENTRO DE LA CIUDAD DE MEXICO
- III SISTEMAS DE INFORMACION GEOGRAFICA (SIG)
- IV. APLICACION DEL SIG EN LA GENERACION DE RUTAS ALTERNATIVAS PARA AUTOS PARTICULARES
- V CONCLUSIONES

Ruego a usted cumplir con la disposición de la Dirección General de la Administración Escolar en el sentido de que se imprima en lugar visible de cada ejemplar de la tesis el Título de ésta.

Asimismo le recuerdo que la Ley de Profesiones estipula que deberá prestar servicio social durante un tiempo mínimo de seis meses como requisito para sustentar Examen Profesional.

Atentamente
"POR MI RAZA HABLARÁ EL ESPÍRITU"

Cd. Universitaria a 4 Septiembre 2003.
EL DIRECTOR

M.C. GERARDO FERRANDO BRAVO
GFB/GMP/mstg.

M. I. Mayra Elizondo

José Antonio Kuri Abdala

A mi madre,
por ser la persona que
siempre ha cuidado de mí.

A mis amigos,
por ayudarme a sobrellevar
todos estos años en la universidad.

A los profesores,
que con sus enseñanzas enriquecen
nuestra vida y nuestra formación.

A todas las demás personas
que de una manera directa o indirecta
colaboraron en la realización de este proyecto.

Índice

Introducción.....	2
1. Antecedentes.....	7
1.1 La Ciudad de México, sus orígenes y su desarrollo.....	7
1.2 La ciudad en la actualidad.....	14
2. Situación del transporte dentro de la Ciudad de México.....	17
2.1 La necesidad de transporte en la ciudad.....	17
2.2 Modos de transporte.....	20
2.3 Encuestas de Origen y Destino.....	24
2.4 Selección del problema: Viajes de autos particulares.....	38
2.5 Zona de estudio: Delegación Benito Juárez.....	42
3. Sistemas de Información Geográfica (SIG).....	46
3.1 Origen y desarrollo de los SIG.....	46
3.2 Importancia y Aplicaciones.....	56
3.3 Modelos de redes y algoritmos de transporte.....	61
3.4 TransCAD.....	65
4. Aplicación del SIG en la generación de alternativas.....	68
4.1 Tipificación de la zona de estudio.....	68
4.2 Implementación del modelo en el SIG.....	72
4.3 Análisis y simulación de casos.....	77
4.4 Generalización del procedimiento para toda la ciudad.....	88
5. Conclusiones.....	91
Referencias.....	95
Anexos.....	97
Anexo 1. Glosario de términos.....	97
Anexo 2. Cuadros completos con las tablas de resultados de la Encuesta Origen Destino, INEGI 1994.....	103
Anexo 3. Archivos incluidos en este SIG.....	109

Introducción.

La Ciudad de México se encuentra situada en la zona centro del país, dentro de la cuenca de México, a una altura promedio de 2240 metros sobre el nivel del mar y en las coordenadas geográficas de 19°26' latitud norte y 99°06' longitud oeste. Son casi siete siglos de historia alrededor de la Ciudad de México desde su fundación, y muchos los cambios que se han presentado. De capital del imperio Azteca, paso a ser la capital de la Nueva España, y posteriormente del México independiente. Cambios políticos, ideológicos, administrativos, y ambientales han tenido lugar y efecto a través de toda su historia, modificando el entorno y la forma de vida de sus habitantes.

Es en la segunda mitad del siglo XX cuando se ha dado la gran expansión de la ciudad. A consecuencia de la centralización de bienes y servicios se ha generado un gran desarrollo urbano que ha traído grandes consecuencias como son los problemas de contaminación del medio ambiente, de transporte, de abastecimiento de agua potable y de eliminación de aguas residuales.

La desecación de la región de los lagos ha traído como consecuencia el descenso del nivel de la capa freática y el hundimiento gradual de la ciudad, y aunque se han realizado esfuerzos en la planeación del crecimiento de la ciudad estos han sido rebasados por el desmedido crecimiento de la mancha urbana. Si bien hace veinte años se tenía una visión apocalíptica de la ciudad, pues se estimaba que la población de la Ciudad de México sería de 35 millones de habitantes en el año 2000, y que como consecuencia entraría en una grave crisis, generando una parálisis urbana debida a la saturación; es un hecho que los esfuerzos realizados para detener el desmesurado crecimiento población han tenido efecto, frenando la expansión demográfica y creando una conciencia de planificación familiar. Se debe aceptar que en general los países tercermundistas no estaban preparados para el crecimiento demográfico, y que a pesar de que en la actualidad se están planteando soluciones, no se ha implementado una planeación adecuada para resolver los problemas de esta megalópolis.

Nuestra ciudad, al igual que muchas otras, ha seguido el mismo patrón de desarrollo, en el cual la zona del centro se convierte en un área comercial y de negocios, y la población se desplaza y se reubica en las afueras, lo cual genera un cambio en el balance natural que existe entre el uso del suelo y el transporte. Esto trae como consecuencias problemas a diferentes niveles, que van desde la obtención de vivienda, hasta el desplazamiento diario hacia los centros de trabajo.

Cabe destacar que dentro del esquema de desarrollo de cualquier área urbana se deben contemplar, entre otros múltiples factores, espacios abiertos para recreación y otros destinados a la infraestructura de transporte y, en el caso de la Ciudad de México, el área utilizada por las vialidades ocupa más de la cuarta parte del total en oposición a diez por ciento que ocupan los espacios abiertos o aun el diez por ciento que ocupa el área destinada a comercios y servicios, por lo que se puede inferir que la infraestructura vial puede no estar optimizada para hacer un buen uso de ella.

Es muy frecuente que al mencionar la Zona Metropolitana del Valle de México (ZMVM) se haga referencia a la ciudad central y su conurbación con municipios del Estado de México. Esta generalización ha sido particularmente injusta cuando se hace un mínimo análisis sobre sus consecuencias. La primera, y más obvia, es que no ha permitido comprender que, aunque físicamente conurbadas, la capital y su expansión hacia la periferia tienen, y han tenido durante décadas, condiciones diferentes en su desarrollo. La segunda es que, aunque están localizadas físicamente en el mismo valle, existe una división política que las separa. Existen algunas opiniones de que debido a esa división política deben de tratarse los problemas de ambas entidades con diferentes enfoques, pues es cierto que existe una desigualdad en la asignación de recursos federales y es evidente que ese criterio ha sido una de las causas del desarrollo diferencial, y aun del subdesarrollo y marginación de algunas de las poblaciones conurbadas. En el Distrito Federal la infraestructura, los servicios y los costos de los mismos no sólo son mejores, sino más baratos que en las zonas del Estado de México de la ZMVM, por lo que se

debería reconocer a dichas poblaciones como verdaderas ciudades, pues de lo contrario se favorece y refuerza la centralidad y se ignora la pauperización de sus periferias. Al favorecer este modelo de desarrollo se ha propiciado un crecimiento horizontal y se ha reforzado la centralidad de la Ciudad de México. Es un hecho que el problema de transporte de los habitantes de la Zona Metropolitana del Valle de México no debe contemplarse dentro de ese criterio, sino que, debido a la dificultad de los habitantes del Estado de México para llegar a sus centros de trabajo en el Distrito Federal, y debido a la falta de un adecuado sistema de transporte colectivo, lo que acarrea un uso desmedido del automóvil, se deben unificar esfuerzos y soluciones para generar una verdadera red vial metropolitana que permita eliminar esas barreras y discontinuidades que existen entre las diferentes entidades, permitiendo de esa manera el flujo de personas en cualquiera de los sentidos.

Para resolver los problemas de circulación dentro de la ciudad, ocasionados por el gran número de vehículos y las grandes distancias que se deben recorrer diariamente, para que la población lleve a cabo sus actividades cotidianas, se han realizado obras de mejoramiento y ampliación de la vasta red de vías rápidas y se ha establecido una red de transporte público masivo, que es el Sistema de Transporte Colectivo Metro. Pero todas estas acciones resultan insuficientes para resolver la problemática.

Si se considera que la expansión de la población hacia los municipios conurbados del Estado de México ha ocasionado un crecimiento poblacional negativo en algunas de las delegaciones del Distrito Federal, como es el caso de la delegación que se utiliza en el presente trabajo, se podría pensar que los problemas de transporte ligados al número de habitantes han disminuido. Sin embargo, la creciente tasa de motorización, y en particular la de autos particulares, genera en la actualidad una problemática que no debe ser tomada a la ligera.

Así pues, tenemos una variedad de problemas generados en la ciudad, dentro de los cuales los de transporte conllevan una complejidad considerable. Afortunadamente hoy en día contamos con herramientas nuevas que son muy útiles

para nuestros propósitos, pues nos permiten aplicar a un modelo de la red de transporte diferentes análisis y realizar simulaciones para obtener diferentes soluciones a nuestros problemas. La principal dificultad para realizar este tipo de análisis radica en generar una base de datos confiable, la cual puede ser difícil de obtener o generar en un principio, pero una vez que se ha logrado ese propósito, la cantidad de análisis posibles es casi infinita, trayendo como resultado soluciones confiables.

El objetivo de esta tesis es analizar una pequeña parte de esa problemática, tomando en cuenta, tanto información recabada en diversos estudios y que está disponible para su consulta, así como generando nueva información recabada en campo y valiéndose de herramientas tecnológicas (en este caso, un Sistema de Información Geográfica) de las que podemos disponer en la actualidad y que representan la ventaja de automatizar operaciones e implementar algoritmos que nos representan una gran ganancia de tiempo (comparados con las soluciones que se obtienen con los métodos tradicionales), para establecer opciones de desplazamiento, basándose en un análisis de una red transporte, que minimicen los tiempos de los viajes y, por consiguiente, los costos, entre diferentes puntos de la zona en estudio, generando alternativas a los desplazamientos por las vialidades principales.

La estructura de este trabajo es la siguiente: En el primer capítulo se dan los antecedentes históricos de la ciudad, desde sus orígenes hasta su situación actual, pasando por varias etapas de crecimiento y haciendo énfasis en el crecimiento demográfico del siglo pasado, que engloba a varios municipios conurbados. En el segundo capítulo se muestra el panorama del transporte en esta época, destacando la necesidad vital del mismo, y la problemática que acarrea el diario ir y venir de la población. Asimismo, se da una breve recopilación de los diversos modos de transporte que existen, y una descripción de las encuestas utilizadas para saber el comportamiento de los viajes. Se finaliza el capítulo señalando las causas de la selección del problema, así como de la zona de estudio. El tercer capítulo abarca lo relacionado a los Sistema de Información Geográfica; sus orígenes, desarrollo,

importancia y aplicaciones. Se incluye, además, una breve descripción de la estructura de las redes y algunos de los algoritmos utilizados comúnmente en los análisis de las mismas, y se termina con un breve resumen de las principales características del software utilizado en este estudio. El cuarto capítulo expone las fases del análisis realizado, incluyendo las fases previas en las que se recabó la información, así como la implementación de la misma en el Sistema. También incluye una sección con una breve exposición de la generalización que podría hacerse del estudio para estudiar el flujo en toda la ciudad. Para finalizar, se incluye una serie de conclusiones, en las que se destacan los alcances del estudio, del sistema implementado y las posibilidades de este tipo de análisis y del paquete utilizado. Se incluyen, como referencia adicional, tres anexos. El primero contiene un glosario, donde se incluyen los términos utilizados en este trabajo, y que requieren de definición adicional para su mejor comprensión. El segundo comprende las tablas completas de los resultados de la Encuesta Origen Destino 1994 que fueron utilizadas en este estudio. El último anexo da una lista detallada de los archivos que están incluidos en el CD que acompaña esta tesis, para su consulta en diversos formatos.

1. Antecedentes.

El presente capítulo describe la evolución histórica de la Ciudad de México, desde su fundación en el islote de un lago, su escaso crecimiento en los primeros siglos de su existencia, pasando al acelerado crecimiento que la llevó hasta su actual expansión hacia el Estado de México. También presenta un panorama de la ciudad en nuestros días y la infraestructura vial con la que cuenta.

1.1 La Ciudad de México, sus orígenes y su desarrollo.

Los aztecas fueron la última de las tribus nahuas que llegó al valle de México bajo la guía del dios Huitzilopochtli, y después de residir temporalmente en diversos lugares y estar subyugados por otros pueblos, en el año de 1325 fundaron Mexico-Tenochtitlan, en un pequeño islote del lago de Texcoco. El crecimiento de la ciudad en la época prehispánica, se limitó al espacio que se le fue ganando al lago mediante el uso de las chinampas. Conforme los aztecas fueron ganando poderío, la ciudad fue embelleciéndose con palacios y grandes templos, reflejando la vocación constructora de los aztecas. Desde sus orígenes, la ciudad de Mexico-Tenochtitlan estuvo bien planeada, y la traza tan ordenada de sus calles fue algo que maravilló a los españoles a su llegada a la ciudad en el año de 1519, pues ésta estaba comunicada por tres amplias calzadas con tierra firme, pero a su vez había varios canales que servían para el transporte de mercancías dentro de la ciudad.

Después de la conquista de la ciudad por Hernán Cortés y sus tropas en el año de 1521, los españoles refundaron la ciudad sobre las ruinas de los antiguos templos y centros de gobierno. La nueva traza de la ciudad estuvo basada en la antigua de Tenochtitlan, con lo que se mantuvo el sistema original de división de la ciudad en la que las sedes de gobierno se situaban en el centro de la ciudad y a su alrededor había cuatro barrios con la población mexicana, de la misma manera que estaba esta antes de la conquista. Estos barrios eran: Cuexpopan, que se convirtió en Santa María; Atzacolco, después llamado Sn. Sebastián; Moyotlan, que se volvió Sn. Juan y Zoquipan, convertido en Sn. Pablo. Esta división no sólo tenía la

función de dividir la ciudad geográficamente, sino que también servía para funciones tanto administrativas como religiosas. En general, la ciudad no se extendió hacia las afueras de la misma y la creación de nuevos barrios fue escasa durante la época de la Colonia, si bien alcanzó su máximo esplendor durante el siglo XVIII, cuando las familias ricas de hacendados mineros y comerciantes construyeron grandes palacios y magníficas casonas. Las poblaciones cercanas a la ciudad se consideraban villas independientes, como ejemplos de esas villas podemos mencionar: Tacubaya, Villa de Guadalupe, Coyoacán y San Ángel.

La época colonial tuvo su fin al consumarse la independencia en el año de 1821, y es ya en el periodo independiente que se llevó a cabo una verdadera reforma urbana, ya que con la expropiación y nacionalización de las propiedades de la iglesia, la ciudad se transformó radicalmente, con lo que se inició un proceso continuo de expansión espacial, mientras que la "Antigua Ciudad de México" se mantenía como el centro de las principales actividades económicas, culturales, administrativas y de gobierno.

De los cambios presentados en la configuración de la ciudad, tal vez el más importante, no sólo porque significó un cambio radical en la vida cotidiana de la ciudad, sino porque dio pauta a otros cambios significativos, fue la desecación del lago. Este proceso fue muy largo, pues comenzó con un proyecto presentado en la época de la colonia, en una reunión proclamada por el virrey Luis de Velasco en el año de 1555, debido a una gran inundación que se presentó en la ciudad. Entre los años de 1607 y 1608 se realizó la obra del desvío del río Cuautitlán para evitar que este siguiera alimentando con su cauce los lagos de la cuenca, y así reducir el riesgo de nuevas inundaciones, pero esto no fue suficiente, y en 1629 se presentó una inundación que duró cinco años y que puso en riesgo la supervivencia de la ciudad pues las condiciones de salud eran deplorables. Dentro de las medidas que se tomaron para evitar las inundaciones de la ciudad, estuvo la construcción de varios diques en los diferentes lagos que estaban interconectados para evitar el desbordamiento de los mismos. Debido a que se siguieron presentando inundaciones, se procedió a trabajar, siempre de manera inconclusa, en varios

proyectos que pretendían desaguar los lagos hacia el norte de la cuenca. Estos proyectos avanzaron parcialmente a través de los siglos, tomando la mayor importancia el del Túnel de Nochistongo (posteriormente Tajo de Nochistongo), y se les dio seguimiento en sus diferentes etapas desde la época de la Colonia, viéndose coronados en el Porfiriato.

Fue así que a través de los siglos la ciudad sufrió varias modificaciones, algunas de gran magnitud, pero fue en siglo pasado cuando se desarrolló de manera casi increíble, ya que a principios del siglo XX la Ciudad de México ocupaba apenas un poco más que el actual centro histórico, pues apenas comenzaban a desarrollarse algunas colonias a su alrededor como la Guerrero, la Juárez, la San Rafael, la Santa María la Ribera, la Roma, la Cuauhtémoc y la Condesa.

Fue en la década de los años cuarenta cuando comenzó en forma la expansión territorial de la ciudad, la cual continúa aún en nuestros días, y que generó la ocupación de gran parte del actual territorio del Distrito Federal y que desbordo los límites del mismo provocando la ocupación de gradual del Estado de México, comenzando con los municipios limítrofes en primer lugar, y continuando posteriormente con los municipios subsecuentes.

Podemos distinguir tres etapas en la evolución de la ciudad en el siglo a partir de la expansión de la misma en el siglo XX:

1. Comienzo de la expansión: Entre 1930 y 1950 la industria manufacturera generó una demanda de la fuerza de trabajo que provocó que la población creciera un 56% entre 1930 y 1940 y que su superficie se incrementara en un 36%, en la década siguiente ambos factores se duplicaron, y comenzó el crecimiento hacia los municipios del Estado de México.
2. La metropolización: En el periodo comprendido entre 1950 a 1980 la superficie y la población de la ciudad se triplicaron, la tercera parte de este crecimiento se generó en los municipios conurbados. A pesar de la existencia de políticas de desconcentración industrial, en la década de 1970 a 1980 la

población continuó asentándose en la zona metropolitana de la Ciudad de México.

3. La megalópolis: Mas allá del desmedido crecimiento de la ciudad, se produjo un crecimiento significativo en las metrópolis ubicadas alrededor del valle de México, cuyo crecimiento fue mas acelerado que el de la ciudad, pues esta ya había entrado en una etapa de desaceleración.

1.1.1 Evolución demográfica.

La población de Mexico-Tenochtitlan a la llegada de los españoles se estima alrededor de 100,000 habitantes, pero después de la guerra de la conquista y a causa de las grandes epidemias que hubo por el contacto con nuevas enfermedades, esta se redujo drásticamente a 30,000 habitantes aproximadamente. El crecimiento de la población fue paulatino y no fue sino hasta finales del siglo XVI que la población de la ciudad alcanzó de nuevo los 100,000 habitantes. A partir de la independencia de España, y debido a la expansión de la urbe, en un periodo de noventa años se incrementó la población y la superficie de la ciudad en más de 150%, pasando de una población de 137,000 habitantes a 344,721.

Las diferentes guerras que se han suscitado en la historia de nuestro país, como son la guerra de Independencia, la guerra contra el imperio de Maximiliano o la Revolución, han sido casi el único factor que marcó saldos negativos en la población, si bien siempre se ha presentado el restablecimiento de la población y de la tasa de crecimiento de la misma, y fue alrededor del año 1925 que se alcanzó una población de 1, 000,000 de habitantes en la ciudad.

El crecimiento de la población fue paulatino y acorde con la expansión de la ciudad, pero ya en el siglo XX se presentó el incremento más importante en toda historia de la ciudad, principalmente en la segunda mitad, pues de 3.5 millones de habitantes la población paso a 18.4 millones, lo que significó un incremento de 14.9 millones de habitantes. Si se comparan estas cifras con las correspondientes a los totales del país, podemos notar que en los últimos cincuenta años más de la quinta parte del crecimiento poblacional ha tenido lugar en esta zona del país.

Detallando un poco mas este proceso demográfico, podemos distinguir dos etapas de crecimiento en esos cincuenta años:

- crecimiento acelerado; que se presentó en el periodo de 1950 a 1980, en el cual la tasa de crecimiento fue de alrededor de 4.4% anual, debido tanto al crecimiento natural como a la fuerte atracción de inmigrantes.
- crecimiento moderado: que se presentó en el periodo de 1980 a 2000, en el que la tasa de crecimiento presento una disminución, siendo menor que la media nacional. A pesar de que la tasa de crecimiento presentó una desaceleración, la población continuó creciendo de manera significativa.

Año	Población
1950	3 500 000
1960	5 251 750
1970	8 799 930
1980	13 354 270
1990	14 586 000
1995	16 500 000
2000	18 400 000

Tabla 1.1. Evolución de la población en la Ciudad de México.

Aunque los datos presentados son el promedio de la Zona Metropolitana de la Ciudad de México, debemos aclarar que el crecimiento diferencial interno es muy importante, pues nos muestra las diferencias que hay principalmente entre el Distrito Federal y los municipios conurbados. En general, la mayor parte del incremento de la población se debe a los municipios del Estado de México, pues es en estos donde se han presentado las tasas más altas de crecimiento. En contra parte, el Distrito Federal ha presentado tasas negativas en los últimos diez años en algunas delegaciones, sobre todo en las centrales, lo cual se explica por el hecho de que la población se ha ido desplazando hacia las orillas de la ciudad, dejando la zona central como corredor comercial y de negocios.

1.1.2 El Distrito Federal y la Zona Metropolitana de la Ciudad de México.

Debemos hacer la aclaración de que el actual concepto del Distrito Federal ha ido variando a través del tiempo, pues en su fundación en el año de 1824 se le asignó la superficie comprendida en un círculo de dos leguas (8,800 metros), tomando como centro la plaza mayor. A través de los años y como consecuencia de varios decretos ha ido cambiando de tamaño y de forma, por lo que diversos poblados han pasado a ser jurisdicción tanto del Distrito Federal como del Estado de México. De esta forma, poblaciones como son Tlalpan, Coyoacán, Xochimilco, Iztapalapa, formaron alguna vez parte del Estado De México y otras como Tlalnepantla, Ecatepec y Los Remedios, del Distrito Federal. Durante esos cambios, las determinaciones de los límites no se realizaban con demasiada exactitud, pues en general las poblaciones no eran muy grandes, y bastaba con considerar cuáles formaban parte del Distrito y cuáles no, de acuerdo a la posición o porcentaje de área que estuviera afectada por los decretos.

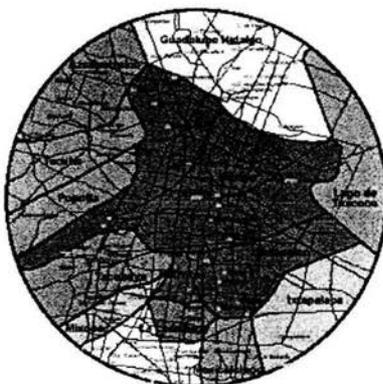


Figura 1.1. Plano con los límites aproximados de las municipalidades que comprendía el Distrito federal en su fundación en 1824 (Tomado del Diccionario Universal de Historia y Geografía, p. 84 - 86).

Después de los cambios sufridos, no sólo en forma y tamaño, sino también en la forma de administrarse, la configuración definitiva del Distrito Federal quedó establecida en la Ley Orgánica de 1978. En esta se determinó que el Distrito Federal

está dividido en 16 delegaciones con sus límites bien definidos. En la actualidad esa configuración sólo debería usarse como una mera división política, pues como ya hemos mencionado, la actual Ciudad de México ha rebasado ya esos límites integrando varios municipios del Estado de México.

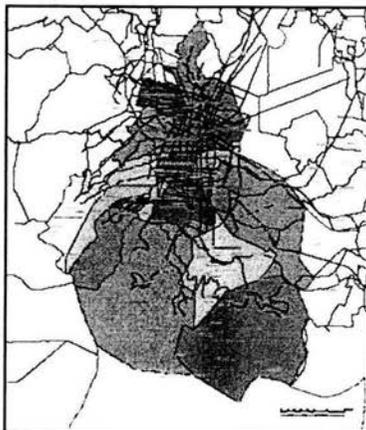


Figura 1.2. Plano base del Distrito Federal con la división en 1978, vigente hasta la fecha. Basado en varios planos del Distrito Federal y en los planos parciales de las 16 delegaciones.

Dado que existe en la actualidad la controversia de llamar “Ciudad de México” sólo a la parte comprendida dentro del distrito Federal y no así a la zona conurbada del Estado de México, para evitar confusiones, se ha acuñado un término para denominar a todo el conjunto, sin hacer deferencias entre la parte correspondiente al Estado De México o la del Distrito Federal. La “**Zona Metropolitana de la Ciudad de México**”¹ es el termino con el que se designa a todo el conjunto de la urbe, y al que se dedican gran parte de los estudios realizados en la actualidad pues aunque esta comprendida en dos grandes entidades con diferentes sistemas administrativos, debe ser tratada y estudiada como una sola unidad, para fines de comprender su funcionamiento como entidad, y poder resolver gran parte de los problemas que la aquejan.

¹ Si bien en la Encuesta Origen y Destino 1994, INEGI se maneja el concepto de Área Metropolitana de la Ciudad de México (AMCM), en este trabajo se toman como sinónimos ambos conceptos.

Si bien gran parte de la ciudad se ha desarrollado sin ninguna planeación del desarrollo urbano, se han implementado, aunque en ocasiones de forma parcial, planes para establecer una vasta red de transporte en la que se pueda contar con velocidades de operación favorables, que permitan obtener un nivel de transporte eficiente. Pero en la actualidad, ésta resulta insuficiente en muchas ocasiones, al verse rebasada su capacidad, ocasionando por lo tanto grandes congestionamientos, lo que conlleva a una gran pérdida de horas-hombre al día.

El Distrito Federal abarca con sus 16 delegaciones una extensión de poco más de 1,500 km², de los cuales casi el 50% tienen un uso urbano. La ciudad en su desmedido crecimiento ha incorporado paulatinamente diversos poblados contenidos en varios municipios del Estado de México, integrándolos en la cada vez más compleja traza urbana que la compone. En el año de 1994 eran ya 28 municipios conurbados los que se habían agregado a la Zona Metropolitana de la Ciudad de México, a los cuales corresponde un área de casi 3400 km². Si a eso le añadimos que hoy en día se habla de que son ya 58 municipios conurbados en los que habitan poco más de 20 millones de personas, la superficie total sería de más de 5000 km². Sin embargo, sería erróneo decir que la ciudad comprende toda esa área, pues las zonas urbanizadas no comprenden ni la totalidad del Distrito Federal ni de los municipios, por lo que el área urbanizada cubre alrededor de 1328 km². Esta es el área que comprende la Zona Metropolitana de la Ciudad de México (ZMCM).

De la población de la ZMVM que se estima alrededor de 20 millones de personas, poco más de 8.5 millones, son habitantes del Distrito Federal, lo que implica que la gran mayoría de la población habita en los municipios conurbados. No obstante, debido a que esta situación se generó por la expansión de la mancha urbana, gran parte de los habitantes del Estado de México se desplazan diariamente hacia la ciudad a los centros de trabajo y regresan posteriormente a sus domicilios. Es en ese desplazamiento diario que se generan grandes congestiones viales y esta es una de las principales problemáticas de la ciudad.

1.2.1 Las vialidades

El sistema vial de la Ciudad de México está compuesto por calles, calzadas, avenidas, viaductos, ejes viales, circuitos, entre otros. Este sistema se ha enfrentado a una serie de problemas, como la ejecución incompleta de proyectos, las obstrucciones físicas generadas en las vialidades y las prácticas incorrectas de los usuarios, que representan algunas de las agravantes que han ocasionado la pérdida de capacidad vial. Éstas son unas de las razones más atractivas para mejorar las condiciones de tránsito, por lo que el gobierno debe encaminar sus esfuerzos a recuperar por lo menos su capacidad física, lo que permitirá incrementar la velocidad de operación en la circulación vial, lo que llevaría además a disminuir los índices de contaminación generada por vehículos. La longitud total de la red vial en el Distrito Federal es de aproximadamente unos 10,200 Kilómetros, de entre los cuales unos 930 kilómetros (9%) están conformados por las vialidades primarias; 171.42 kilómetros son de vías de acceso controlado; otros 421.16 kilómetros están distribuidos entre los 31 ejes viales; 320.57 kilómetros más son de arterias principales y por último 9,229 kilómetros componen las vialidades secundarias.

Por otro lado, en los años anteriores el desarrollo de la red vial no se visualizó de forma metropolitana, por lo tanto no existe continuidad en algunas vías principales que cruzan los límites entre el Distrito Federal y el Estado de México, debido a que en la planeación de la red no se consideraron los requerimientos combinados de las entidades. Por ello se han comenzado varias obras con visión metropolitana para eliminar los cuellos de botella que se presentan entre estas dos entidades.

Así pues, el gobierno, en la búsqueda de la calidad y la eficiencia, debe preocuparse por el mejoramiento de la infraestructura, modernizando el equipamiento y el conjunto de servicios urbanos que ofrece para que los habitantes de la ciudad puedan desplazarse y realizar sus actividades cotidianas.

2. Situación del transporte dentro de la Ciudad de México.

Este capítulo presenta algunos aspectos del transporte como medio para el desplazamiento de personas en sus actividades cotidianas y la gran demanda de movilidad que genera. Incluye descripciones de los modos utilizados para las actividades de transporte, los aspectos por los que fue seleccionado el problema en particular que es objeto de este estudio, y las características de la zona designada que acreditan la realización del análisis en la misma. Además está contenida una descripción detallada de las encuestas utilizadas en el estudio del comportamiento de los viajes, la información que estas generan, la utilidad que tienen, y una breve reseña de la Encuesta Origen Destino de la que se obtuvieron algunos de los datos que se utilizaron en este trabajo.

2.1 La necesidad de transporte en la ciudad.

El transporte es un instrumento mediante el cual se llevan a cabo gran cantidad de actividades, no sólo dentro de la ciudad, sino también a niveles más grandes. Es un elemento fundamental para el traslado de personas y el intercambio de bienes y toma un lugar muy importante en la integración de la sociedad de cualquier país. Permite enlazar y englobar regiones desde el nivel más básico de una comunidad, hasta el nacional. Es un fenómeno que está ligado a la geografía y distribución territorial de las poblaciones y que permite superar los obstáculos de tiempo y distancia mediante diversos medios. Su estudio debe ser considerado como elemento fundamental por los planeadores del desarrollo de cualquier ciudad, ya sea desde el punto de vista público o por la inversión privada. La implicación geográfica del transporte obliga necesariamente al análisis espacial. La diversidad de variables que deben considerarse, la interrelación de estas y la expresión cartográfica de las mismas hacen del análisis espacial una actividad compleja y laboriosa.

De acuerdo con los resultados de la Encuesta Origen Destino del INEGI de 1994, se generan en la población de la Zona Metropolitana de la Ciudad de México más de 20 millones de viajes² al día, utilizando los distintos modos de transporte. De éstos, el 74.1% se realiza en algún modo de transporte público, de los cuales el que presenta mayor demanda es el concesionado, realizando el 55% de los viajes. Un 13.36% más se realiza en el Sistema de Transporte Colectivo Metro. Los viajes restantes son realizados en autobús urbano y suburbano, trolebús y taxi. El 24.7% de los viajes restantes se realizan en transporte privado, incluyendo al automóvil, bicicleta, motocicleta y otros, siendo el automóvil el medio de mayor frecuencia.

En este ámbito, el periodo de máxima demanda matutino, se presenta entre las 6:00 y las 8:59 horas, con mayor demanda a la mitad del mismo, después de ese horario comienza a disminuir, por lo que se presentan altibajos hasta la 14:00 y 18:00 horas, donde se registra otro intervalo importante.

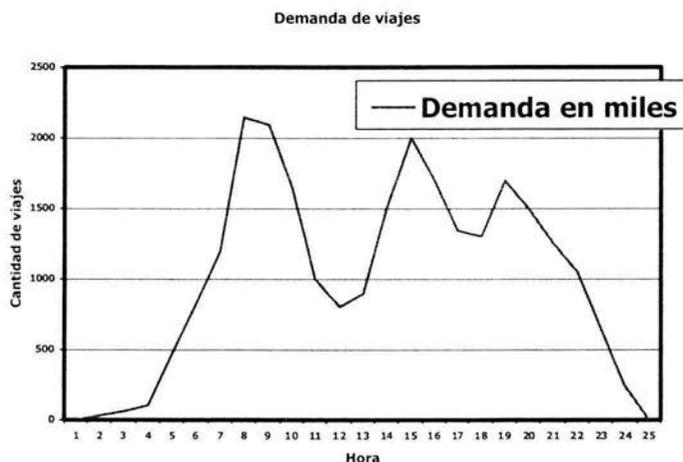


Figura 2.1 Demanda de viajes en la zona metropolitana.

² Un viaje se refiere al desplazamiento de una persona de un origen a un destino final con un solo propósito determinado, por ejemplo si una persona para ir de su casa al trabajo aborda un autobús y luego el Metro, esto se toma como un solo viaje. La suma de los viajes de las personas en un día se expresan en viajes - persona - día.

La distribución de viajes por unidad político administrativa (UPA) refleja que las tres Delegaciones que producen más viajes son: Cuauhtémoc, 10.5%; Gustavo A. Madero, 8.5%; e Iztapalapa, 6.9%. Estas tres atraen el 25.9 por ciento del total de viajes en la ZMCM. Existe una proporción similar en los viajes atraídos: Cuauhtémoc con 10.6% seguido de Gustavo A. Madero con 8.5% e Iztapalapa con 6.8%. Entre las tres atraen mismo el total.

De los 20, 539,180 viajes que se inician en el AMCM, 66.5% se producen en el Distrito Federal, 33.4% en los Municipios conurbados del Estado de México y 0.1% corresponde a localidades fuera del Área Metropolitana.

En el AMCM los viajes entre la vivienda y el trabajo equivalen al 40.5%; de éstos el mayor volumen tiene una duración de 51 a 60 minutos y representan el 23.4% de ese total. La mayor duración de viaje registrada en esta clase fue de más de 240 minutos, con 410 viajes.

Es conveniente resaltar que los traslados que se realizan entre la vivienda y el trabajo, son los que cuentan con mayor número de viajes, y por lo regular ocupan más tiempo de trayecto que cualquier otro viaje con diferente propósito.

Duración de los viajes, en minutos	En el AMCM	En el DF
21 - 30	4,884,774	3,257,306
51 - 60	3,653,846	2,456,885
11 - 20	3,552,750	2,397,376
HASTA 10	1,660,512	1,144,079
41 - 50	1,615,984	1,113,153
81 - 90	1,363,667	921,020
31 - 40	1,274,355	823,379
111 - 120	735,496	449,776
71 - 80	686,952	418,597
61 - 70	431,913	292,706

Tabla 2.1 Viajes del los habitantes del AMCM y del DF según duración.

De los viajes iniciados en el D.F., 5, 385,472 se realizan entre el hogar y el trabajo. Destaca en primer término el rango de duración que va de 51 hasta 60 minutos, con 23.8%; el segundo lugar lo ocupa el rango de 21 a 30 minutos, con 21.5%, seguido por el rango de 11 a 20 minutos, con 10.0%. En conjunto representan el 55.3% de los viajes generados en esa categoría.

2.2 Modos de transporte.

La mayoría de las actividades globales de transporte se llevan a cabo en cinco grandes sistemas: carretero, ferroviario, aéreo, acuático, y de flujos continuos. Cada uno de ellos se divide en dos o más modos específicos, y se evalúan en términos de los siguientes atributos:

- 1) Ubicación.- Grado de accesibilidad al sistema, facilidad de rutas directas entre puntos extremos y facilidad para acomodar un tránsito variado.
- 2) Movilidad.- Cantidad de tránsito que puede acomodar el sistema (capacidad y la rapidez con que se puede transportar.
- 3) Eficiencia.- Relación entre los costos totales (directos mas indirectos) del transporte y su productividad.

En la tabla 2.1 se presentan, en términos globales, los sistemas de transporte, sus medios, atributos, modos y el tipo de servicio que prestan. Cuando se analiza un sistema de transporte, se deben tomar en cuenta sus aspectos tecnológicos y operativos, y dentro de las características que comúnmente se analizan están la velocidad, la capacidad y el tipo de vehículo, la maniobrabilidad y la comodidad.

Se entiende por modo de transporte a las entidades para la transportación que se caracterizan por una similitud tecnológica, operativa y administrativa; la cual se traduce en una forma específica de realizar el traslado de personas y/o de bienes. En un modo de transporte existe un tipo específico de vehículo mediante el cual se realiza la acción de desplazamiento de una persona de un lugar a otro.

Sistema	Medio	Ubicación	Movilidad	Eficiencia	Modo	Servicio de pasajeros	Servicio de carga
Carretero	Carreteras y calles	Muy alta. Acceso directo a la propiedad lateral. Rutas directas limitadas por la topografía y el uso del suelo.	Velocidades limitadas por factores humanos y controles. Baja capacidad vehicular, pero alta disponibilidad de vehículos.	No tan alta en términos de seguridad, energía y algunos costos.	Camión		Interurbano, local y rural, hacia centros de procesamiento y mercados. Cargas pequeñas y contenedores.
					Autobus Automóvil Bicicleta	Interurbano y local. Interurbano y local. Local y recreacional.	Paquetes (interurbano). Objetos personales Insignificante.
Ferrovionario	Rieles	Limitada por la alta inversión en la estructura de las rutas y por la topografía.	Mayor velocidad y capacidad que los modos por carretera.	Generalmente alta, pero los costos laborales pueden bajar la eficiencia.	Ferrocarril	Regional y urbano.	Interurbano. En volumen. Contenedores.
					Meiro	Interurbano a grandes distancias. Transoceánico	Ninguno.
Aéreo	Aire	Los costos de los aeropuertos reducen la accesibilidad. Rutas completamente directas	Las velocidades son las más altas, con capacidad vehicular limitada.	Moderadamente baja en términos de energía y costos de operación	Aviación comercial	Interurbano, recreacional y de negocios.	Mercancías de alto valor. Contenedores
					Aviación general	Tránsito de crucero.	Poco.
Acuático	Mares y ríos	Rutas directas. Accesibilidad limitada por la disponibilidad de mares y ríos navegables y puertos seguros.	Baja velocidad. Capacidad muy alta por vehículo.	Muy alta por los bajos costos y poco consumo de energía. La seguridad es variable.	Barcos	Transbordo en lanchas y barcazas.	En volumen (petróleo). Contenedores.
					Cabotaje y fluvial	Ninguno.	Volumenes medianos de carga.
Flujos continuos	Ductos Rodillos Cables	Limitada a pocas rutas y puntos de acceso.	Bajas velocidades. Alta capacidad.	Generalmente alta. Bajo costos por consumo de energía	Ductos	Escaleras y bandas a nivel	Líquidos y gases.
					Bandas	Transporte en cabinas.	Manejo de materiales.
					Cables	Transporte en cabinas	Manejo de materiales.

Tabla 2.2 Sistema Global de Transporte.

En el caso del sistema carretero, podemos clasificar los modos de transporte como públicos y privados. Dentro de los modos de transporte público podemos mencionar los siguientes: Autobús, Trolebús, Metro, Colectivo, Taxi y Autobús suburbano. Dentro de los modos privados se encuentran: Automóvil, Moto, Bicicleta y otros. A continuación se hace una breve descripción de algunos vehículos utilizados cotidianamente en el transporte de personas en la Ciudad de México:

AUTOBÚS URBANO Y SUBURBANO.- Vehículo automotor de combustión interna y capacidad de 30 asientos o más en el cual se viaja sentado o parado, siguiendo una ruta específica y abordando o descendiendo en lugares señalados como paradas de autobús; los hay de empresas públicas como el RTP en el Distrito Federal y de algunas empresas privadas. La capacidad unitaria de los autobuses oscila entre 70 y 110 pasajeros y su velocidad comercial varía entre 15 y 25 km/hr.

EL MICROBÚS.- Más que una versión acortada del autobús, el mini y el microbús pueden concebirse como unidades de tamaño reducido, que compensan su menor capacidad unitaria con una mayor agilidad y ello los lleva a competir con ventaja con vehículos más grandes. Están particularmente recomendados en trayectos cortos y sinuosos sin una demanda excesiva; cubren con eficiencia demandas comprendidas entre 400 y 800 pas/hr, más allá de las cuales se obligan a adoptar frecuencias que les acarrearán muchas interferencias.

TROLEBÚS.- Vehículo automotor eléctrico con ruta fija; tiene ruedas de hule; toma la electricidad de las líneas tendidas para tal fin; su capacidad de pasajeros sentados es de 45 y es operado por el Servicio de Transportes Eléctricos del Distrito Federal.

METRO.- Transporte Colectivo automotor eléctrico con ruedas de hule o metal; se desplaza sobre rieles en ruta fija y cuenta con estaciones terminales e intermedias con correspondencias en sus diferentes líneas. Cuenta con un tren de nueve vagones y tiene gran capacidad de pasajeros. Opera en línea subterránea, elevada o en superficie, sin cruzarse con calles o ejes viales.

TREN LIGERO.- Transporte público automotor eléctrico, que se desplaza sobre rieles en ruta fija con 2 vagones articulados; es operado por el Servicio de Transportes Eléctricos del Distrito Federal, sólo existe una línea: Taxqueña a Xochimilco.

COLECTIVO.- Vehículo automotor con capacidad de 10 a 23 asientos, en el cual se viaja sentado o parado, sigue una ruta específica y tiene ascensos y descensos de usuarios a lo largo de la misma.

CAMIONETAS O COLECTIVOS.- Es un vehículo automotor de tipo Van o Combi, en el cual se viaja sentado. Tienen una capacidad que oscila entre los 10 y 15 pasajeros. Siguen una ruta específica y tienen ascensos y descensos de usuarios a lo largo de la misma. Su empleo sólo se explica en función de alguna necesidad repentina de transporte, debida a una baja brusca o intempestiva de la oferta, o bien por algún crecimiento explosivo de la demanda que no diera tiempo para habilitar otro vehículo más eficiente.

TAXI.- Vehículo automotor de combustión interna tipo automóvil para alquiler. Existen 2 tipos: taxi de sitio, que es el que toma su pasaje en una base y no tiene una ruta definida; y taxi libre, que es el que circula por las calles para ofrecer su servicio y que tampoco tiene una ruta definida.

AUTOMÓVIL.- Vehículo automotor con capacidad de hasta 10 asientos, con motor de combustión interna, el cual sirve fundamentalmente para transporte de personas; sus dimensiones son menores a los de otros vehículos automotores.

MOTOCICLETA.- Vehículo automotor de 2 ruedas con motor de combustión interna; transporta hasta 2 personas incluyendo al conductor; en ocasiones se les instala una tercera rueda y un aditamento para llevar a otra persona, o bien carga.

MOTONETA.- Vehículo automotor de 2 ruedas para transporte de personas, de combustión interna; transporta a una persona y en algunos modelos hasta 2, incluyendo al conductor; su capacidad de transporte, y de motor, así como su velocidad, son menores que los de una motocicleta.

En los últimos 15 años ha cambiado la participación de los distintos modos de transporte. En 1986 el transporte eléctrico (Metro, Trolebús y Tren Ligero) proporcionó el 22% de los viajes persona/día. Actualmente su participación es menor al 14%. Por otra parte, la del transporte colectivo y taxis se ha incrementado de un 11% a un 58%.

En 1986 la captación de usuarios de los modos de transporte de alta y mediana capacidad fue de casi el 65%. Actualmente se ha reducido a menos del 20%. Esta tendencia continúa, pues se estima que en el periodo 1994 - 1998, la captación de los modos de mediana y alta capacidad se redujo aún más, frente a una mayor participación de los colectivos y de los automóviles particulares.

2.3 Encuestas de Origen y Destino.

Un aforo de tráfico nos permite conocer de qué manera se utiliza una determinada red vial. De la misma manera, mediante un recuento de los viajeros en un sistema de transporte se determina el uso que se hace de determinados medios. Si las autoridades desean ejercer control sobre el usuario y el vehículo, para facilitar sus viajes, deben conocer cuáles son sus deseos básicos de movimiento y cuál es la demanda de traslado: de dónde viene y a dónde va.

En las primeras etapas de los estudios de tránsito, los datos que se obtenían con la simple medida del nivel de utilización de las vialidades, se consideraban suficientes para ser utilizados como base para el pronóstico de la evolución de la demanda, a mediano y largo plazo. Con el transcurso del tiempo se comprobó que esto no es tan sencillo como se planteaba, y fue necesario profundizar más en el conocimiento real de la demanda, analizando tanto sus características como sus objetivos, así como su relación con otros sucesos de una ciudad o de una zona rural. Ello es posible gracias al estudio específico de la ingeniería de tránsito que normalmente se denomina **encuesta de origen y destino**.

El fundamento de estas encuestas de transporte, estriba en el hecho comprobado de que los viajes realizados por un determinado grupo de personas (en cuanto a su trayectoria y en cuanto a su finalidad), se repiten con gran similitud día tras día. El objetivo de las encuestas es identificar la forma en que durante un día típico, una muestra representativa de la población realiza sus viajes cotidianos. Partiendo de los datos que la encuesta nos proporciona, es posible deducir cómo se manifiestan los viajes en una zona establecida.

Este estudio es un complemento indispensable de los estudios de planificación vial. En una red de caminos se realiza el estudio sobre aquellas rutas que será necesario analizar, para determinar la construcción de una nueva ruta o el mejoramiento de alguna de las existentes. En las poblaciones, en la mayoría de los casos, el estudio se concentra sobre las principales arterias que son las que conducen al distrito comercial. Dependiendo de la importancia del estudio, se pueden establecer diferentes horarios y días para realizar las encuestas, normalmente se recomienda realizar las encuestas en días típicos con un horario de siete de la mañana a siete de la tarde si es que el estudio amerita una cobertura amplia del horario. En caso contrario, un horario aceptable para realizar las encuestas es de siete a nueve de la mañana y posteriormente de cuatro a siete de la tarde. En algunos casos especiales, se pueden realizar encuestas los días sábado y domingo, en caso de que la encuesta deba tomar en cuenta los viajes que realicen en esos días por otro tipo de viajeros que podrían ser, por ejemplo, los turistas.

En todo el mundo se han realizado durante las últimas tres décadas un gran número de encuestas de transporte de todo tipo, por lo que la técnica con la que se estudian gran parte los complicados procesos del planeamiento de transporte, se ha depurado considerablemente, especialmente en las grandes urbes. La finalidad de las encuestas no es sólo conocer opiniones y realizar preguntas hipotéticas, sino recoger, clasificar y analizar convenientemente hechos comprobados, cuya consideración objetiva se deduce en los resultados de la encuesta.

Las encuestas suelen denominarse de origen y destino porque uno de los datos que recogen es el del origen y destino de los viajes. En las antiguas encuestas estos datos eran los que fundamental y casi únicamente se buscaban. En la actualidad y sobre todo en las encuestas internas que están destinadas a analizar los problemas de transporte de las grandes áreas urbanas, se consiguen otros datos tan o aún más valiosos, como puede ser el propósito del viaje, o la duración del mismo.

Se recomienda aplicar una Encuesta de Origen y Destino cada diez años para conocer las características de los viajes que se realizan cotidianamente en una gran ciudad, pues los datos que proporcionan son una base confiable e indispensable para identificar las necesidades de transporte de los habitantes de una ciudad, y a partir de ellos diseñar e implementar soluciones a problemas de transporte y planificación vial.

2.3.1 Tipos de encuesta.

Las encuestas de transportes tratan de recoger información a través de una muestra, ya sea de vehículos o de personas, acerca de los viajes realizados en un área. Esto puede servir ya para una primera clasificación de las encuestas.

La diferencia más clara, se establece por la forma de realizar la encuesta, que generalmente es una de las siguientes:

1. Encuestas que se realizan a conductores en la vía pública, deteniendo a todos o a una parte de los vehículos que utilizan una calle o carretera determinada. Éstas están orientadas a obtener información del origen y destino de los viajes de los vehículos, así como algunas características de los viajes como su finalidad, longitud y ocupación de los vehículos.

2. Encuestas que se realizan en los domicilios, por entrevistas con una o varias personas que residan en la misma vivienda. Generalmente están orientadas a la obtención de información de viajes de personas, cualquiera que sea en medio de transporte utilizado. Por tratarse precisamente de una encuesta a domicilio, la información es completa en cuanto los llamados viajes generados, es decir, a aquellos en que uno de sus extremos coincide con un domicilio. En las entrevistas a domicilio pueden obtenerse también cierta información sobre los viajes no generados, sin embargo, los viajes no generados en los domicilios tienen una importancia relativamente pequeña dentro del conjunto de un área urbana, aunque en ciertas zonas céntricas pueden representar un porcentaje considerable de los desplazamientos totales.
3. Encuestas por tarjetas postales o impresos entregados directamente o por correspondencia. En estas tarjetas se les pide a los destinatarios llenar los datos y devolverlas por correo, por lo que deben ir debidamente timbradas. Los objetivos de estas encuestas pueden estar orientados a los viajes de vehículos o de personas.
4. Método de identificación de placas. Se realiza mediante observaciones directas de las placas de los automóviles. De esas observaciones se deduce el origen del vehículo y se anota el lugar donde se estacionó como destino del viaje.
5. Encuestas por entrevistas con fines específicos, como son las realizadas para estudios de estacionamientos o para determinar índices de atracción de viajes hacia determinados centros de actividades.

Otra manera de clasificar las encuestas es como internas y externas. En las primeras se estudia el tráfico dentro de los límites de un área urbana, mientras que en las externas se estudia fundamentalmente la conexión de un núcleo con su entorno exterior, generalmente analizando el tráfico que cruza un anillo que lo rodea.

2.3.2 Factores a tener en cuenta en el desarrollo de las encuestas.

Cada uno de los tipos de encuesta tiene una sistemática especial, aunque ciertos aspectos que en líneas generales son comunes a todos ellos se analizan a continuación.

A) Determinación del tamaño de la muestra.

Las encuestas estudian unos hechos mediante un tratamiento estadístico, sin pretender llegar a valores exactos, sino que estiman con una cierta aproximación cómo se producen los viajes de personas o vehículos. La encuesta supone un porcentaje apreciable del costo y tiempo preciso para desarrollar el proceso de planeamiento de los transportes de una ciudad, y cómo ambos, costo y duración, dependen en cierto modo del número de entrevistas, es interesante que éste sea el mínimo compatible con la calidad que se pretende en los resultados.

El tamaño que debe tener la muestra depende fundamentalmente de cómo se vayan a elaborar los datos y de cuál sea el proceso que ha de seguirse en el estudio. Por otra parte, en el dimensionamiento de la muestra no interesa sólo el número absoluto de entrevistas sino la forma en que éstas se eligen para que representen mejor el fenómeno que se trata de estudiar.

Hay dos criterios esencialmente distintos para dimensionar la muestra de una encuesta. La elección entre los dos depende de cuál ha de ser la forma de utilizar los datos obtenidos. Si se trata de extrapolar los resultados de la encuesta, el conjunto de la población y, a partir de una determinada distribución de viajes entre zonas, hacer la predicción de situaciones futuras, el tamaño de la muestra está relacionado indudablemente con el de la población y con el grado de precisión que se pretende. Pero si se trata de conocer las características básicas de los viajes en función de una serie de variables o parámetros, para la posterior elaboración de modelos matemáticos, el tamaño de la muestra no depende exactamente de la población total, sino del número de variables que han de intervenir en el proceso y

de las combinaciones que deben considerarse, tales como objeto de los viajes, medios de transporte utilizados, longitudes recorridas, características de las viviendas, ingreso y motorización, densidad de población y distancia al centro urbano.

Para los casos en que la encuesta sirva para establecer una determinada distribución de viajes entre zonas, lo que es frecuente sobre todo en encuestas realizadas deteniendo a los vehículos en la vía pública, la muestra debe ser relativamente grande.

B) División del área de estudio en zonas.

Los datos que se recogen en una encuesta han de agruparse para su posterior análisis y una de las formas de hacerlo es, por razones geográficas, subdividiendo el área de estudio en zonas relativamente pequeñas. Teniendo en cuenta que el objetivo de un estudio de demanda es determinar o analizar un sistema de transporte en el que normalmente se entra o se sale únicamente por determinados accesos, los datos correspondientes a cada zona pueden considerarse concentrados en ciertos puntos representativos, que suelen llamarse centroides, para efectos de las posteriores asignaciones de tráfico o de viajes. En cualquier caso, las zonas son elementos esenciales del estudio y gran parte de los resultados están referidos a ellas.

Las zonas pueden ser internas al área de estudio o externas. Las zonas internas son básicas para analizar los movimientos que se producen dentro del área y las externas sirven para situar uno de los extremos de los viajes que van al exterior. Las zonas exteriores suelen ser de dimensiones mucho mayores que las internas, y su tamaño normalmente va aumentando a medida que se alejan del área urbana que se considera.

Las dimensiones de las zonas internas dependen de las circunstancias de cada estudio. Cuanto menores sean las zonas, el estudio puede ser más completo y exacto, pero requiere mayores medios para su desarrollo. En general, las partes de la ciudad que generan o atraen mayor número de viajes por unidad de superficie, deben subdividirse en zonas más pequeñas. También requieren una subdivisión en zonas pequeñas, las zonas de la ciudad en que la red vial es más densa, ya que uno de los objetivos del estudio es poder asignar el tráfico a la red vial.

En general, es conveniente que las zonas sean lo más homogéneas posibles y que sus límites coincidan con divisiones administrativas, lo que facilita la obtención de datos estadísticos de carácter socioeconómico.

Para el análisis de los movimientos de vehículos, conviene que los límites de una zona coincidan con barreras al tráfico, tales como ríos o ferrocarriles. Para el estudio de viajes en transportes públicos, como el metro o el ferrocarril, conviene que las estaciones sean centroides de zonas.

2.3.3 Análisis de los resultados obtenidos.

A través de la encuesta se puede saber cuál es el origen o destino, por zonas, de los vehículos que pasan por cada acceso. De los que llegan o salen de cada zona, puede determinarse cuáles son los generados en ella, es decir, aquellos producidos por los vehículos que residen en la zona, y cuáles son los atraídos. Para los efectos de predicción de tráfico futuro, es interesante relacionar los viajes atraídos y generados con el uso del suelo en cada zona y con la finalidad del viaje. Los que son resultado de las encuestas a domicilio proporcionan información aún más completa que la obtenida de una encuesta realizada en la vía pública. Sus objetivos son más amplios y variados por lo que resulta más difícil su adecuada sistematización y en cada caso puede ser preferible una distinta presentación. Si bien el domicilio es una unidad fundamental en la planeación urbana, y por ello muchas veces las encuestas se refieren a esta unidad y no a las personas, en algunos casos, la encuesta

considera los desplazamientos de personas, y se puede prescindir de la unidad *domicilio*.

El objetivo final de una encuesta a domicilio, además de conocer las características de la demanda de transporte en un momento determinado, es servir de base para previsiones futuras. La previsión puede hacerse, ya sea extrapolando una situación inicial, para lo que es imprescindible conocer bien los movimientos actuales entre pares de zonas, o bien estableciendo unos índices tipo, que sirvan de base para elaborar modelos matemáticos. Las encuestas a domicilio tratan de analizar íntegramente el problema de transporte en una zona urbana, comprendiendo todo tipo de desplazamientos: en coche, en transporte colectivo y a pie. Generalmente de estos últimos sólo se considera los que rebasa en una cierta longitud, por ejemplo trescientos metros, que en cierto modo son susceptibles de ser realizados en un medio de transporte mecánico.

Es conveniente distinguir entre los viajes simples (es decir, cualquier desplazamiento realizado en un medio de transporte) y los viajes básicos, que son aquellos que se realizan entre dos puntos con un cierto propósito, aunque para ello haya que utilizar sucesivamente varios medios de transporte.

Una vez completada la información previa, en la que, mediante aforos, se han definido las características del tráfico en la zona de estudio, así como la situación de congestión y velocidades típicas de las vialidades principales; se deben definir los objetivos generales y particularidades de la encuesta: muestra, zonificación, cuestionario, método y estudios complementarios. Posteriormente se deben presentar los resultados generales de los estudios, clasificándolos como internos, externos, y de paso, para viajes de personas, y por tipos de vehículos, definiendo los movimientos que existen entre los grandes sectores. Si es posible, se deben comparar los resultados con los obtenidos en encuestas complementarias. Hecho esto, debe procederse al análisis de las características de los viajes. Generalmente, éstas están referidas a otras características socioeconómicas, que muchas veces conviene también describir en el estudio, especialmente en cuanto se refiere a datos

de distribución de población, densidades, puestos de trabajo, niveles de ingreso y motorización, así como datos sobre los grandes centros de atracción de tráfico de la zona. Las características de los viajes que en general interesan más son aquellas que sirven para definir la generación de viajes, es decir, el número de viajes de personas que se producen (por domicilio o por persona) distinguiendo el medio utilizado y las particularidades de la vivienda: nivel de ingreso, motorización y situación en el área urbana. Después han de incluirse aquellos factores que definen la atracción, para lo cual es interesante destacar el papel de los centros comerciales y de negocios. Son útiles para estos fines, las matrices que proporcionan información entre el uso del suelo en el destino y el número de viajes realizados en cada medio de transporte.

Por último, toda la información acerca de distribuciones horarias, objetivos y longitudes de viajes y ocupación de vehículos, proporciona datos complementarios de interés.

2.3.4 Comprobación de los resultados.

Los resultados de una encuesta, generalmente basados en una muestra que supone un porcentaje muy pequeño de la población, deben ser verificados en algunos aspectos para certificar que representan la realidad, al menos en términos generales.

Los controles que pueden establecerse son de cuatro tipos:

- a) Comparación de datos socioeconómicos derivados de las estadísticas oficiales con los obtenidos en la propia encuesta. Algunos datos como la tasa motorización requieren reajustes con frecuencia.
- b) Encuestas de pantalla en secciones típicas del área urbana, que permiten comparar la situación real con las asignaciones de tráfico realizadas partiendo de los datos de la encuesta.

- c) Aforos en puntos singulares de cada zona, con objeto análogo al de las encuestas de pantalla.
- d) Comparación del número de viajes al exterior realizados por los residentes, deducidos en la encuesta a domicilio, con los que resultan de una encuesta en la vía pública, realizada en un cordón de estaciones de control alrededor del área urbana. Estos controles permiten estimar la precisión obtenida en el estudio y aplicar en su caso factores de corrección. Es normal que las comprobaciones *in-situ* den un número de viajes algo mayor que el obtenido en la encuesta a domicilio, ya que hay cierta tendencia a que en las respuestas a los entrevistadores se omitan algunos viajes.

2.3.5 Aplicaciones.

Para conocer el papel que juega el tránsito en el proyecto y operación de un buen sistema vial, es necesario saber qué hace: a donde va, que problemas se presentan cuando se incrementa el flujo y cuáles son los propósitos principales de los viajes.

Entre las principales aplicaciones del estudio tenemos las siguientes:

- 1) Nos permite conocer la demanda que existe dentro de una ciudad para usar, en menor o mayor grado, ciertas calles.
- 2) Nos permite determinar la ubicación óptima de uno o varios pasos a través de una barrera natural, como puede ser un río.
- 3) Permite fijar rutas a través de la ciudad, para desviar el movimiento de turistas y vehículos pesados.
- 4) Considerando una red de caminos, nos permite conocer la localización más conveniente para uno nuevo o para mejorar alguno de los existentes.

- 5) Este estudio también nos permite conocer el mejor tramo para el paso de un camino por una población, ya sea por dentro por fuera, si así conviene.
- 6) Permite justificar la construcción de un nuevo camino, aportando datos como los volúmenes de tránsito futuros.

Un ejemplo de la aplicación es el estudio que se realizó en la ciudad de Monterrey en 1951, cuando se construyó el canal para regularizar el río Santa Catarina. Los habitantes de la ciudad utilizaban para atravesar el río los vados que estaban localizados no en el mejor lugar, sino donde la topografía de la sección transversal del río lo permitía. Durante dos semanas, se realizó una encuesta a los conductores que cruzaban por los vados, para conocer los puntos de origen y destino de los autos. Mediante este procedimiento, se obtuvieron líneas de demanda, de entre las cuales destacaban cuatro haces. Basándose en ellos, se determinó el lugar geométrico de cuatro puntos principales para construir los pasos sobre el río. La última fase del proyecto fue alinear las calles que desembocaban a dichos pasos.

2.3.6 Encuesta de Origen y Destino INEGI 1994.

El Área Metropolitana de la Ciudad de México, por su magnitud e importancia, obliga a estar pendiente de los cambios que su mismo desarrollo genera. Esa es la razón principal de 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 Área 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 tienen, entre muchas aplicaciones por parte de diferentes organismos, una inmediata: ser el insumo básico para la elaboración del Programa Maestro de Ferrocarriles Urbano y Suburbano del Área Metropolitana de la Ciudad de México 1994 - 1995, que sustituye y actualiza 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. Aquí se describe inicialmente el objetivo general de la encuesta, así como los objetivos específicos.

La información contenida en la encuesta detalla la metodología empleada durante el desarrollo de la misma, 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 la encuesta incluye 36 tabulados básicos y 11 tabulados que contienen resultados complementarios: porcentajes y promedios de ciertas variables de interés, como son: viajes según modalidad y modo; viajes producidos y atraídos, según unidad político administrativa y distrito; duración de los viajes, entre otros.

En términos generales, este texto 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.

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 ESPECÍFICOS

- 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.

3. ÁMBITO GEOGRÁFICO

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 Distritos³.

ZONIFICACIÓN DEL ÁREA 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).
- Áreas Geoestadísticas Básicas (AGEB).

³ La CGT definió 135 Distritos aunque para motivos de la muestra sólo se manejaron 134. El restante correspondió al Aeropuerto, donde no existen viviendas.

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.

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 Áreas de Municipios Conurbados (AMC) I, II, III, y IV, quedando agrupados como sigue:

NOMBRE	MUNICIPIOS
AMC I	Tepotzotlán, Teoloyucan, Cuautitlán.
AMC II	Zumpango, Jaltenco, M. Ocampo, Nextlalpan, Tultepec.
AMC III	Tecamac, Acolman.
AMC IV	Amecameca, Tlalmanalco.

Tabla 2.3 Áreas de Municipios Conurbados. FUENTE: INEGI, Encuesta de Origen y Destino de los Viajes de los Residentes del Área 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 AGEB⁴ 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.

2.4 Selección del problema: Viajes de autos particulares.

Si bien la mayor parte de los viajes en el AMCM se realizan en un modo de transporte público, debemos poner atención en los viajes realizados en los transportes privados, particularmente los autos, pues estos son un factor importante. El incremento de los autos va de la mano con la urbanización de las zonas adyacentes a la ciudad y genera un círculo vicioso, pues en cuanto existe la posibilidad de llegar a nuevas zonas recién urbanizadas, la creciente población, en su búsqueda de una vivienda, se desplaza hacia el exterior, lo que trae como consecuencia que se tenga que desplazar cada vez mayores distancias, desde su hogar, hacia los centros de trabajo y las escuelas.

Aunque las ventas de autos nuevos no han seguido un patrón estable, hemos visto que en los últimos años el incremento de autos particulares ha sido grande. Por consiguiente, han aumentado los viajes en auto y a pesar de los grandes embotellamientos, su uso no disminuye. Esto se justifica en parte por la comodidad y disponibilidad que representa un automóvil particular frente a los transportes de

⁴ En el Glosario se describe más ampliamente este concepto.

pasajeros convencionales. Podemos mencionar que el gobierno ha realizado varios programas para extender los horarios, mejorar las rutas y ampliar la capacidad de los transportes públicos, provocando con esto la preferencia de éstos sobre el transporte privado y disminuyendo de esta manera la carga de tráfico en las vialidades al concentrar muchos usuarios en un solo vehículo, en oposición a los vehículos particulares, que tienen una tasa de ocupación de 1.5 pasajeros por vehículo.

Ventas de vehículos a gasolina nuevos en el Área Metropolitana de la Ciudad de México			
Año	Carros	Año	Carros
1974 a 1951	857,815	1987	80,585
1975	111,076	1988	99,770
1976	94,203	1989	124,169
1977	88,102	1990	160,325
1978	106,700	1991	186,627
1979	125,297	1992	203,630
1980	126,858	1993	190,755
1981	155,228	1994	200,020
1982	138,835	1995	69,405
1983	81,214	1996	96,614
1984	100,750	1997	143,322
1985	114,572	1998	202,802
1986	84,673	1999	220,133

Tabla 2.4. Histórico de ventas de vehículos en la ZMVM. Fuente: Grupo Trafalgar.

En lo que respecta a los autos particulares, la mayoría de las fuentes consultadas sugieren que la flota vehicular en la Ciudad de México ha estado creciendo a una tasa de 6% al año. Sin embargo, de acuerdo con otros datos, ésta incrementó en promedio alrededor de 10% anual entre 1976 y 1996. Esta estimación más alta implica un estimado adicional del incremento de la tasa de motorización (vehículos por habitante) de más de 5% al año; pasando de 78 autos por cada 1000 habitantes en 1976, a 91 para 1986, y a 166 en 1996. Si bien esto no tiene una relación directa con la venta de autos nuevos, se explica cuando se observa que muchos autos de modelos antiguos siguen en circulación y a ellos se van sumando los nuevos modelos.

Así pues, cuando analizamos la tendencia de la motorización en la ciudad vemos que la cantidad de vehículos en circulación por cada mil habitantes ha evolucionado de manera considerable. En 1940 era tan sólo de 27.3; para 1960 llegó a 51; en 1980 a 126.7 y en 1990 fue alrededor de 167.7 (es decir, un vehículo por cada seis mil habitantes).

Año	Población	Total de vehículos	Índice de motorización
1940	1,757,530	47,980	27.3
1960	4,870,876	248,414	51
1980	8,831,079	1,118,771	126.7
1990	8,235,744	1,372,624	167.7
2000	8,605,239	1,532,533(*)	178.1

Tabla 2.5. Índice de motorización en la ciudad. Fuente: SEDUVI, sobre la base de INEGI, 1950-1990 Distrito Federal, resultados definitivos. Perfil Sociodemográfico; Censo de Población XI y XII; Censo General de Población, México, 1990, 1995 y 2000.

Como se muestra en la gráfica siguiente, la tendencia en la motorización se incrementa considerablemente a partir de los años 60's y a partir de la década de los 90's la tendencia se estabiliza. Se observa que en 1990 el índice de motorización era de 167.7% y en el 2000 se incremento a 178.1, y a pesar de el incremento ha disminuido, sigue conservando una tendencia positiva.

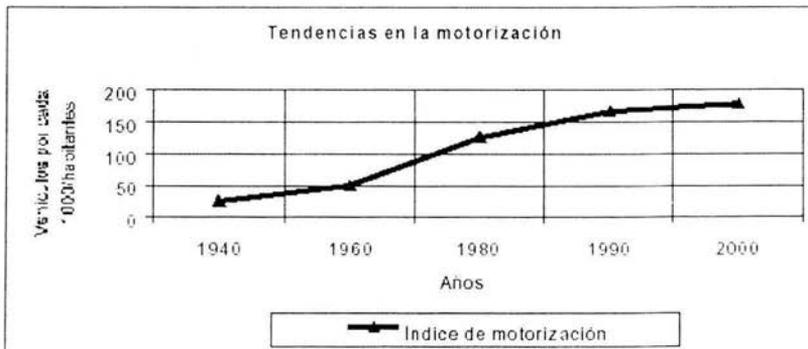


Figura 2.2 Tendencias en la motorización.

De esta manera, podemos notar que como consecuencia de ese incremento en la flota de autos particulares también se ha incrementado su participación en los viajes generados, si bien no son muy eficientes, debido a su baja tasa de ocupación.

Modo de transporte	Millones de viajes-persona día			
	1972	%	1994	%
Colectivo - Metro	1,146	10,3	3,234	13,9
Autobuses urbanos (RTP, ex R-100)	5,576	50,3	1,566	6,8
Taxis colectivos (minibuses)	0,371	3,3	12,510	54
Taxis libres y de sitio	1,195	10,8	0,568	2,4
Trolebuses y tranvías	0,610	5,5	0,131	0,6
Automóviles particulares	1,186	10,7	4,042	17,4
Autobuses suburbanos	0,307	2,8	0,802	3,5
Autobuses escolares y particulares	0,233	2,1	N.D.	-
Autobuses foráneos	0,156	1,4	N.D.	-
Bicicleta	N.D.	-	0,167	0,7
Moto	N.D.	-	0,018	0,1
Otro modo	0,305	2,8	0,148	0,6
TOTAL	11.085	100	23,186	100

Tabla 2.5. Comparación de los viajes-persona-día según modo de transporte en 1972 y 1994. Fuente: Coordinación General del Transporte, D.D.F.

Otro factor importante que no debe ser pasado por alto, es el hecho de que los modos de transporte con baja capacidad han aumentado su participación de una manera significativa a través de los años, desplazando a los modos de alta capacidad.

Participación en el total de viajes	1972	1979	1983	1985	1989
Baja (taxis, taxis colectivos y autos particulares)	31,5	32,2	32,1	29	49,97
Alta (metro, autobuses, trolebuses y tranvías)	66,6	65,5	67,2	54	51,06
Otros (taxis sin itinerario fijo y autobuses privados)	2,3		0,7	17	N.D

Tabla 2.5. Evolución de los medios de transporte en la distribución modal por capacidad de vehículos 1972 - 1989. Fuente: Navarro B. Tesis doctoral economía, 1991.

Por todo lo anterior, los viajes realizados en automóvil particular deben ser considerados como un elemento importante en el sistema vial, ya que tienen una participación alta, y los pronósticos estiman que ésta puede seguir aumentando. En proporción con otros medios, su aumento es el más significativo, y se podría cometer un error si esto se toma a la ligera. Por todo lo expuesto anteriormente, es el modo de transporte privado el que se seleccionó para este estudio.

2.5 Zona de estudio: Delegación Benito Juárez.

En el capítulo anterior se definió el problema a tratar. En el presente capítulo se definirán algunas características de la zona en estudio y algunos motivos del porque de su elección. De acuerdo a los resultados de la Encuesta de Origen y Destino INEGI 1994, podemos destacar varios puntos importantes. A nivel de unidad político administrativa, la delegación Benito Juárez ocupa el quinto lugar tanto en viajes producidos como en atraídos, con 1.2 millones.

UNIDAD POLÍTICO ADMINISTRATIVA	NUMERO DE VIAJES		
	PRODUCIDOS	ATRAÍDOS	INTERNOS
CUAUHTEMOC	2,176,275	2,185,428	600,794
GUSTAVO A. MADERO	1,753,470	1,754,763	770,824
IZTAPALAPA	1,419,598	1,414,703	593,750
ECATEPEC DE MORELOS	1,227,919	1,219,588	608,553
BENITO JUÁREZ	1,199,659	1,201,442	414,976
COYOACAN	1,115,823	1,119,887	397,678
MIGUEL HIDALGO	1,008,280	1,014,496	255,098
NAUCALPAN	1,000,951	1,001,536	524,319
ÁLVARO OBREGÓN	979,789	978,960	410,273
NEZAHUALCOYOTL	955,747	949,105	370,869

Tabla 2.7. Viajes de los residentes del AMCM producidos, atraídos e internos, según unidad político administrativa.

Debe resaltarse que en este grupo hay dos situaciones importantes de movilidad en las Delegaciones Cuauhtémoc y Benito Juárez: en éstas se observan dos corredores de demanda⁵ que forman bloques continuos. El primero está conformado por los Distritos Portales - Del Valle - Vertiz Narvarte - Condesa - Zona Rosa (números 39, 40, 42, 7 y 2). El segundo corredor, de menor extensión, está integrado por Colonia Obrera - Zócalo - Buenavista (6, 1 y 3).

Asimismo, al analizar los viajes generados a nivel de distrito, es de relevancia destacar que tres distritos pertenecientes a la delegación Benito Juárez destacan dentro de los diez distritos con mayor número de viajes internos generados.

<i>DISTRITO</i>	<i>NUMERO DE VIAJES</i>		
	<i>PRODUCIDOS</i>	<i>ATRAÍDOS</i>	<i>INTERNOS</i>
SAN ÁNGEL INN	383,648	382,344	64,863
DEL VALLE	341,706	341,179	63,472
BALBUENA	305,469	305,326	59,994
CHAPULTEPEC	376,165	379,870	50,371
BUENAVISTA	238,251	238,997	48,068
POLITÉCNICO	262,428	261,927	46,928
PORTALES	228,069	229,357	44,410
LINDAVISTA	321,554	328,315	41,787
ZONA ROSA	472,045	473,098	38,405
CIUDAD DE LOS DEPORTES	247,793	248,370	37,600

Tabla 2.8. Viajes de los residentes del AMCM producidos, atraídos e internos, según distrito.

Partiendo del hecho de que la mayoría de viajes se generan entre distritos contiguos, se presenta también en la EOD INEGI 1994 un listado con los pares de origen destino a nivel distrito con mayor incidencia, y entre ellos nuevamente se encuentran presentes dos distritos pertenecientes a la delegación Benito Juárez.

⁵ La mayoría de las interacciones de viajes son entre centroides de Distritos contiguos.

DISTRITO DE ORIGEN	DISTRITO DE DESTINO	NUMERO DE VIAJES
NATIVITAS	LA NORIA	47,457
LA NORIA	NATIVITAS	46,854
SATÉLITE	SAN MATEO	32,862
SAN MATEO	SATÉLITE	32,054
DEL VALLE	VERTIZ NARVARTE	28,282
VERTIZ NARVARTE	DEL VALLE	27,245
POLITÉCNICO	LINDAVISTA	26,397
COL. OBRERA	ZÓCALO	25,545
LINDAVISTA	POLITÉCNICO	25,454
ZÓCALO	COL. OBRERA	23,873

Tabla 2.9. Viajes de los residentes del AMCM por distrito de origen y destino, según los 50 pares de distritos con mayor incidencia de viajes.

La delegación Benito Juárez, dada su situación geográfica, es objetivo de gran cantidad de viajes, ya sea desde otras entidades geográficas, o dentro de la misma delegación, pues contiene de igual forma zonas habitacionales así como zonas de comercio y servicios. De acuerdo a las tablas anteriores, aparece entre los primeros lugares de viajes realizados, si bien no aparenta ser el mejor candidato para el estudio. Es cuando nos centramos en los viajes generados mediante el uso del automóvil, motivo particular de este trabajo, podemos notar el lugar tan importante que ocupa, pues es en esta delegación en la que se presentan la mayor parte de viajes en esta modalidad a nivel distrito, y este es el principal soporte de la elección de esta zona para nuestro análisis.

Los viajes que aparecen en la tabla 2.10 fueron realizados únicamente utilizando el modo de transporte privado en automóvil. Este modo de transporte incluye también camionetas para transporte privado. El total de viajes realizados en este modo asciende a 4, 841,906, de los cuales la mayor interrelación de los viajes entre Distritos se presenta entre Vertiz Narvarte - Del Valle, con 0.7%; seguida por las interrelaciones Satélite - San Mateo, con 0.7%, y Satélite Echegaray, con 0.6%.

	DISTRITO DE ORIGEN	DISTRITO DE DESTINO	NUMERO DE VIAJES
1	VERTIZ NARVARTE	DEL VALLE	17,980
2	DEL VALLE	VERTIZ NARVARTE	17,424
3	SATELITE	SAN MATEO	17,136
4	SAN MATEO	SATELITE	16,950
5	ECHEGARAY	SATELITE	14,636
6	SATELITE	ECHEGARAY	13,868
7	CIUDAD DE LOS DEPORTES	DEL VALLE	11,374
8	DEL VALLE	SAN ANGEL INN	11,231
9	PORTALES	DEL VALLE	10,745
10	CHAPULTEPEC	LAS LOMAS	10,388
11	SAN ANGEL INN	CIUDAD DE LOS DEPORTES	10,343
12	LA PIEDAD	LECHERIA	9,476
13	LECHERIA	LA PIEDAD	8,902
14	LAS LOMAS	CHAPULTEPEC	8,855
15	DEL VALLE	PORTALES	8,746
16	DEL VALLE	CIUDAD DE LOS DEPORTES	8,348
17	POLITECNICO	LINDAVISTA	8,163
18	CONDESA	ZONA ROSA	7,960
19	CIUDAD DE LOS DEPORTES	SAN ANGEL INN	7,939
20	CIUDAD DE LOS DEPORTES	ZONA ROSA	7,701

Tabla 2.10. Viajes de los residentes del AMCM en un modo de transporte por distrito de origen y destino, según los 50 pares de distritos con mayor incidencia de viajes en automóvil.

Los distritos que aparecen en la tabla 2.6 y que pertenecen a la delegación Benito Juárez reaparecen continuamente en la tabla completa que contiene los 50 pares. Por esa razón se estableció toda la delegación como zona del estudio. Adicionalmente debemos destacar que la delegación Benito Juárez es la que cuenta con el mayor número de ejes viales, lo que en teoría la hace más transitable, pero dado que la situación actual nos muestra que son estas vialidades las que en las horas pico están más saturadas, nos coloca en una situación más desfavorable, pues son esas vialidades las que deben evitarse, por lo que la situación se ajusta aún más a nuestro propósito de estudio.

Como nuestro estudio se centra en los viajes realizados sólo dentro de la delegación y sus correspondientes zonas, tenemos que discriminar los viajes externos, y a la vez trabajar sólo con los viajes realizados en automóvil.

3. Sistemas de Información Geográfica (SIG).

El presente capítulo trata acerca de los Sistemas de Información Geográfica, desde sus inicios, su evolución, aplicaciones y perspectiva de su estado actual. Presenta además, un resumen de la estructura de una red y su implementación en dichos sistemas, así como algunas aplicaciones de uso común en el análisis de redes. Finaliza el capítulo una breve descripción de TransCAD, que es el software utilizado en esta tesis.

3.1 Origen y desarrollo de los SIG.

El primer Sistema de Información Geográfica tuvo su origen en Canadá en la década de los años 60 y fue utilizado para realizar inventarios forestales (Canada Geographical Information System, CGIS), si bien algunas bases como el análisis espacial y la geografía cuantitativa en que se sustentan tienen sus orígenes en los años cincuenta y aun en los cuarenta.

Desde sus comienzos los SIG no han dejado de evolucionar, logrando innovaciones en diversos aspectos: velocidad, interfase de usuario, resolución, plataforma, aplicaciones, siguiendo la complicada trayectoria de la informática y siendo cada vez más accesibles. En un principio, estos se desarrollaban en máquinas diseñadas y construidas especialmente para que corrieran dichos sistemas. Posteriormente fueron desarrollándose nuevos sistemas, los cuales fueron teniendo cada vez mayor compatibilidad con los sistemas operativos existentes. Hoy en día podemos encontrar Sistemas de Información Geográfica compatibles con prácticamente todos los sistemas operativos. La forma en que representaban los datos también ha evolucionado, pues antes la información se presentaba completamente separada: en una terminal se podía tener acceso exclusivamente a la base de datos, y se requería una terminal adicional para presentar la información gráfica. Los Sistemas de Información Geográfica de hoy en día pueden presentar sin ningún problema información de cualquier tipo en una sola pantalla.

La evolución de los SIG ha dependido tanto de los avances técnicos alcanzados en diversas áreas, como de los logrados en materia de su propia conceptualización, la formulación adecuada de objetivos y en el terreno de la demostración de su utilidad práctica en campos muy diversos.

Hay muchos acontecimientos en la historia de los SIG. A grandes rasgos, y de acuerdo a las importantes aportaciones que han hecho a su desarrollo, podemos estructurar la historia de los SIG de la siguiente manera:

- **El Sistema de Información Geográfica de Canadá:** Fue un sistema verdaderamente pionero, ya que inventó su propia tecnología en lugar de aprovechar la existente. Este sistema estableció las bases de los actuales SIG, pues muchas de las innovaciones que presentó, como la división de los mapas digitales en hojas, la estructuración de la información espacial en capas y la codificación de la topología de los arcos se utilizan en los SIG actuales.
- **El laboratorio de Harvard (1966 – 1980):** Desarrolló varios sistemas como son SYMAP, GRID, INGRID, MAP, POLYVRT y Odyssey, que aunque no todos fueron SIG completos, realizaron aportaciones individuales en diversas funciones de los SIG.
- **Dual Independent Map Encoding (DIME):** No es precisamente un SIG sino una estructura de datos diseñada en Estados Unidos para la recolección de los datos del censo de 1970, ofrece una codificación dual de las relaciones topológicas entre áreas (manzanas) y líneas (tramos de calles).
- **La cartografía automática en el Reino Unido.** En el Reino Unido se realizaron varias aportaciones en la automatización de la cartografía, si bien no consisten en SIG completos.
- **ESRI (Environmental System Research Institute):** Es la única compañía de software especializada en SIG que ha trascendido a través de los años, realizando mejoras continuas en sus productos, manteniéndose a la vanguardia en el ámbito de los SIG.

Asimismo, los SIG han pasado por varias etapas, que se pueden resumir de la siguiente manera:

Etapas pionera: Esta etapa se caracterizó por la búsqueda de soluciones computarizadas a problemas ya existentes.

Etapas de resolución de problemas técnicos: En esta etapa se realizaron avances importantes en cuanto a los conceptos y algoritmos utilizados en los SIG, implementando respuestas a problemas dados.

Etapas de comercialización: Con el abaratamiento de la tecnología informática surgieron varios productos comerciales ya maduros, que satisfacían las expectativas del usuario.

Desde los inicios de los SIG su utilización y desarrollo estuvo vinculado al sector gubernamental en instituciones y entidades de los Estados Unidos, Canadá, Gran Bretaña y Suecia, entre otros. Con el transcurso del tiempo se desarrollaron sistemas comerciales que pueden satisfacer tanto las necesidades de las instituciones gubernamentales como de empresas comerciales, si bien en la mayoría de los casos son aún subutilizados.

3.1.1 Concepto de Sistema de Información Geográfica.

Aun cuando el término de Sistema de Información Geográfica está ampliamente difundido hoy en día, no es fácil definir lo que es un SIG. Se puede decir que hay tantas definiciones como autores han escrito acerca de los SIG. Una definición aceptada comúnmente para un SIG es: "Un sistema computarizado, utilizado para capturar, almacenar, editar, analizar, desplegar e imprimir datos referenciados geográficamente".

Un SIG puede manipular dichos datos de diversas maneras: los puede almacenar, recuperar a voluntad, transformar y presentarlos en la forma más

conveniente para el usuario. También nos permite hacer consultas sobre la información y es una herramienta en la toma de decisiones. Desde su aparición, los SIG han significado una revolución conceptual en el manejo y análisis de la información geográfica. El punto clave de los SIG, es el elemento geográfico, pues es la clave para estructurar la información y realizar operaciones de análisis.

Revisando algunas definiciones hechas por diferentes autores acerca de lo que son y lo que hacen se puede lograr un mejor entendimiento de la utilidad de estas herramientas de análisis. A continuación se presenta una breve recopilación de definiciones⁶, que resaltan de diferentes maneras las diversas facetas que tienen los Sistemas de Información Geográfica, y la simplicidad o complejidad con se pueden definir:

“Base de datos computarizados que contienen información espacial.”

Cebrian y Mark, 1986, p. 277

“Un sistema de hardware, software y procedimientos elaborados para facilitar la obtención, gestión, manipulación, análisis, modelado, representación y salida de datos espacialmente referenciados para resolver problemas complejos de planificación y gestión.”

NCGIA, 1990, vol. 1, p. 1-3.

“Un modelo informatizado del mundo real, descrito en un sistema de referencia ligado a la tierra, establecido para satisfacer unas necesidades de información específicas respondiendo a un conjunto de preguntas específico.”

Rodríguez Pascual, 1993.

“Un potente conjunto de herramientas para recolectar, almacenar, recuperar a voluntad, transformar y presentar datos espaciales procedentes del mundo real.”

Burrough, 1986, p. 6.

⁶ Gutiérrez Puebla, Javier y Gould, Michael, 1994.

“Un sistema de ayuda a la decisión que integra datos referenciados espacialmente en un contexto de resolución de problemas.”

Cowen, 1988, p. 1554.

“Un caso especial de sistema de información en el que la base de datos consiste en observaciones sobre elementos, actividades o sucesos distribuidos espacialmente, que se pueden definir en el espacio como puntos, líneas o áreas. Un SIG manipula los datos sobre puntos, líneas o áreas, recuperando los datos para preguntas ad hoc y análisis.”

Duecker, 1979, p. 106.

“Un sistema computarizado compuesto por hardware, software, datos y aplicaciones que es usado para registrar digitalmente, editar, modelar y analizar datos espaciales y presentarlos en forma alfanumérica y gráfica.”

Hewlett Packard, 1993, p. 80.

“Un sistema de hardware, software y procedimientos diseñado para realizar la captura, almacenamiento, manipulación, análisis, modelado y presentación de datos referenciados espacialmente para la resolución de problemas complejos de planificación y gestión.”

NCGIA, 1990, 1-1.

Estas son sólo algunas definiciones para los SIG y como podemos ver, se hace énfasis en diferentes aspectos, de los que podemos resaltar: el tipo de información, las capacidades y funciones, la finalidad, y la espacialidad de los datos.

Como sistemas diseñados para el procesamiento y análisis de datos, los SIG proporcionan facilidades de acceso, organización, selección, integración y actualización de diversas series de datos con ahorros considerables de tiempo y bajo costo. No obstante, sus ventajas como herramienta tecnológica específica se asocian al hecho de manejar datos geográficos, cuya referencia espacial conduce a la caracterización y diferenciación del territorio haciendo posible la predicción de

procesos y patrones espaciales, atributos que ligados a la capacidad de representación de estos sistemas, amplían aún más el panorama de ventajas de utilización de los SIG.

Desde el punto de vista de los datos, un SIG se basa en una serie de capas de información espacial en formato digital que representan diversas variables o bien capas que representan entidades a los que corresponden varias entradas en una base de datos enlazada. Estas capas corresponden, al menos en parte, a una misma zona, de manera que pueden analizarse en conjunto. De este modo, se puede combinar información espacial y temática, con orígenes y formatos muy diversos, en un mismo sistema.

Desde el punto de vista de las herramientas, los Sistemas de Información Geográfica se han desarrollado a partir de la unión de diversos tipos de aplicaciones informáticas: la cartografía automática tradicional, los sistemas de gestión de bases de datos, las herramientas de análisis digital de imágenes, los sistemas de ayuda a la toma de decisiones y las técnicas de modelado físico. Por ello tienden a veces a ser considerados un producto de las facultades de informática para ser usados por informáticos. Sin embargo, la fuerte carga teórica de los SIG exige al usuario conocimientos adecuados acerca de la ciencia espacial con la que está trabajando para escoger, en cada caso, las herramientas adecuadas a cada análisis en particular. Por otro lado, para un experto en estas materias (ciencias de la tierra y ambientales) que desee introducirse en el manejo de los SIG, resulta imprescindible, lógicamente, una formación informática sólida.

Generalmente todos los SIG almacenan la información en capas separadas que contienen un solo tipo de información, la cual comparte características comunes. Esto es de gran utilidad cuando se presenta la información, ya que de esta forma se puede seleccionar mediante consultas sencillas o combinadas, ya sea de tipo geográfico o temático, sólo la información que se quiere representar. Esto puede hacerse en mapas, tablas, gráficas o en presentaciones que pueden contener cualquier combinación de los elementos anteriores. A cualquiera de esas

representaciones se les pueden agregar etiquetas y rótulos, además de que la información se puede mostrar como mapas temáticos de diversos tipos, y todo eso se puede guardar como un solo proyecto o entorno de trabajo. La capacidad de almacenar información de diferentes tipos en diferentes capas, es una ventaja única de los SIG, y la utilización de relaciones espaciales, propuesta explícitamente por los SIG, agrega un nivel de *inteligencia* a las bases de datos en transporte, hasta el momento subestimado.

Existen dos modelos básicos para representar las entidades dentro de un SIG, el modelo raster y el modelo vectorial. En el modelo raster la información se almacena mediante una matriz de celdas en la que cada elemento tiene un valor que representa un atributo del modelo. En el modelo vectorial la información los objetos están representados con puntos, líneas y polígonos que definen sus límites y cuyas coordenadas son almacenadas para su georeferenciación. Cada uno tiene sus ventajas y desventajas, y dado que el análisis de redes se implementa de forma natural en un SIG vectorial, es por demás decir que es el adecuado para los análisis propios del campo de transporte. El modelo vectorial posee una estructura de datos más compacta que el modelo raster, presenta una codificación eficiente de la topología, y por consecuencia, una implementación más eficiente de las operaciones que requieren información topológica dentro del análisis de redes.

Dado que los SIG vectoriales están enfocados a la representación vectorial de los elementos, en ocasiones se pueden utilizar imágenes escaneadas, de satélite o fotos aéreas, para representar una región. Dado que no se pueden realizar análisis geográficos sobre ellas, ya que una imagen digitalizada es simplemente una imagen gráfica que es usada para propósitos de despliegue solamente, se pueden utilizar como base o plantilla para trazar los elementos vectoriales requeridos. Esto puede hacerse directamente sobre la imagen integrada al SIG, si es que esta tiene la escala y proyección adecuadas, o bien digitalizando las entidades con ayuda de una tableta. La digitalización de un mapa crea una imagen vectorial que es como cualquier otra capa del paquete utilizado. Cada rasgo o atributo digitalizado se

convierte en un objeto del mapa al que se puede editar, mover, personalizar o ligarle información. Se pueden incluir en el mapa la cantidad de datos que se desee.

Básicamente sólo hay tres tipos de información que puede ser representada en las capas y cualquier tipo información puede ser clasificada como una de estas tres categorías las cuales son: puntos líneas y polígonos. Como ejemplos de puntos podemos mencionar los siguientes: intersecciones, poblaciones, aeropuertos, almacenes, paradas de autobús, vehículos, paradas de autobuses, almacenes y depósitos, postes de luz y de teléfono, etc., aunque por supuesto dicha representación depende de la escala a la que se visualicen las entidades. Dentro de los ejemplos de líneas están: autopistas, carreteras, calles de una traza urbana, líneas de energía, ríos, redes de agua potable y alcantarillado, líneas de ferrocarril, rutas de autobuses, etc. Como ejemplo de polígonos podemos mencionar: países, estados, regiones, zonas postales, bloques de censo, instalaciones militares, parcelas, zonas de ventas, etc.

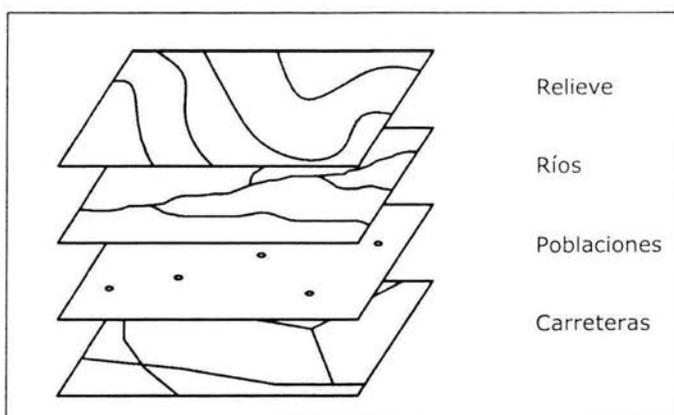


Figura 3.1 Representación de elementos en un SIG.

Así pues, los SIG son valiosos instrumentos de apoyo a todas aquellas labores que llevan implícitas en su ejecución la necesidad del análisis geográfico de los elementos o variables que el problema o la actividad en cuestión comprenda. En el

caso del transporte, no son pocos, ya que por naturaleza es un fenómeno geográfico dada su clara expresión territorial. La clave para emplear un SIG y obtener de él efectividad y resultados satisfactorios (Petzold y Freund, 1990), estriba en la identificación acertada de su aplicación, la cual deberá tener como característica primordial, la necesidad del análisis geográfico (Figura 3.2).

INTEGRACIÓN DE DATOS	Facilidad otorgada por el empleo de un sistema común de referencia, tanto para información directamente relacionada con las vías de comunicación, como de aquella otra que hace posible análisis más amplios (datos demográficos, económicos, de uso de suelo, geología, pendientes, etc.).
REPRESENTACIÓN ESPACIAL DE LOS DATOS	Muestra en forma gráfica (representación cartográfica) la distribución y/o el comportamiento de los datos en el territorio, lo cual permite una mayor comprensión del problema en cuestión.
ANÁLISIS INNOVADOR	Ofrece nuevas formas de observar viejos problemas al combinar modelos del tipo: "¿qué pasa si?" y proporcionando respuestas a preguntas complejas y multidimensionales en forma rápida.

Figura 3.2. Ventajas de la utilización de un SIG en la planeación, administración e investigación en el transporte.

Uno de los errores más comunes cuando alguien se inicia en el uso de los SIG es confundir el manejo de un programa con el dominio de una técnica. Igual que no es lo mismo saber estadística que saber pulsar los botones de funciones estadísticas de una calculadora, tampoco es lo mismo conocer las técnicas SIG que saber manejar un determinado programa y obtener salidas gráficas más o menos estéticas. De hecho, una de las primeras percepciones que se tienen de un SIG son las salidas gráficas a todo color, impresas o en la pantalla de una computadora. Conviene recordar, sin embargo, que hay una diferencia fundamental entre los programas de manejo de gráficos y los SIG. En los primeros, lo fundamental es la imagen que vemos, siendo irrelevante como se codifique, en un SIG la imagen es sólo una salida gráfica sin mayor importancia, lo relevante son los datos que se están representando.

Cabe mencionar, que con la misma denominación de SIG, se hace referencia tanto al software que realiza las funciones anteriormente mencionadas, como a la base de datos que contiene los datos geográficos. Ambos sentidos del concepto se consideran correctos, sin embargo, podríamos considerar en un sentido amplio que un SIG está constituido por:

- 1.** Bases de datos espaciales en las que la realidad se organiza mediante unos modelos de datos específicos.
- 2.** Bases de datos temáticas cuya vinculación con la base de datos cartográfica permite asignar a cada punto, línea o área del territorio ciertos valores temáticos.
- 3.** Conjunto de herramientas que permiten manejar estas bases de datos de forma útil para diversos propósitos de investigación, docencia o gestión.
- 4.** Conjunto de ordenadores y periféricos de entrada y salida que constituyen el soporte físico del SIG. Estas incluyen tanto el programa de gestión de SIG cómo otros programas de apoyo.
- 5.** Comunidad de usuarios que pueda demandar información espacial, realizando consultas específicas.
- 6.** Administradores del sistema encargados de resolver los requerimientos de los usuarios, ya sea utilizando las herramientas disponibles o bien produciendo nuevas herramientas.

Para el caso particular del sector transporte existen un número considerable de sistemas gráficos, útiles como herramientas de trabajo para necesidades específicas, pero que no deben confundirse en ningún momento con sistemas de Información geográfica. Estos paquetes son más bien simuladores de tráfico, que cumplen con diferentes finalidades, las cuales están especificadas para cada uno de ellos.

3.2 Importancia y Aplicaciones.

La posibilidad de los SIG de manipular datos geográficos, les permite estudiar procesos territoriales, realizar análisis de tendencias y elaborar proyecciones, todos los insumos necesarios para las labores de implantación y administración en una gran diversidad de sectores y actividades económicas y sociales. Mencionemos, por ejemplo, la dotación de servicios básicos (agua, electricidad, drenaje, teléfono), la organización espacial de los servicios de educación y salud, la distribución de áreas comerciales y la ubicación de mercados potenciales, la identificación de nuevas rutas de transporte o necesidades de inversión en nuevos caminos, entre otros.

Ligados en sus orígenes al manejo de grandes bases de datos y a la cartografía automatizada, el concepto actual de los Sistemas de Información Geográfica ha desbordado esos propósitos al ofrecer, además, sus capacidades de manejo y análisis de la información. Si bien, los SIG son resultado de la conjunción de desarrollos paralelos en varias disciplinas y técnicas relacionadas con el procesamiento de datos espaciales, como herramienta técnica desarrollada en el ámbito del quehacer geográfico, los SIG han destacado con el tiempo por el hecho de facilitar las tareas básicas de análisis, integración y síntesis de los procesos espaciales, características de la Geografía.

El acelerado desarrollo alcanzado por la tecnología computacional, no sólo en lo que respecta a sus componentes de equipo, sino también en la diversidad de campos de aplicación a los que se ha abierto, ofrece actualmente una herramienta diseñada específicamente para facilitar y apoyar las tareas relacionadas con el análisis espacial, conocida como Sistemas de Información geográfica, cuyas cualidades principales son:

- Capacidad de registro geográfico de variables.
- Manejo integrado de informaciones diversas.
- Representación gráfica de resultados en distintos formatos, incluido el cartográfico.

Los SIG tienen diferentes usos, dentro de los cuales podemos destacar el análisis espacial y los mapas temáticos. Un mapa temático es aquel que representa una o más variables específicas de acuerdo al criterio del usuario, destacando los rasgos o características que se desean.

La inclusión de información espacial y temática permite llevar a cabo consultas de diversos tipos, desde las más simples a las más complejas, así como analizar los datos y ejecutar modelos acerca del funcionamiento de los sistemas ambientales representados. Dentro de la interfase del SIG, existen varios niveles en los que se puede interactuar con el sistema realizando dichas consultas, las cuales varían en finalidad y complejidad. Algunas de esas consultas pueden ser:

- **Localización.** Apuntando con el cursor sobre la pantalla se puede obtener información sobre lo que hay en un lugar determinado.
- **Condición.** A partir de unas condiciones previamente establecidas, el sistema puede indicar donde se cumplen esas condiciones.
- **Rutas.** El sistema puede calcular el camino óptimo entre dos puntos a través de la red.
- **Modelos.** Se pueden generar modelos para simular el efecto que produciría un nuevo elemento en el mundo real.

Una clasificación de dichas consultas se establece de la siguiente manera:

1. La operación más sencilla es la producción de mapas de las variables contenidas en una base de datos o de nuevas variables calculadas a partir de las disponibles. Por ejemplo, si disponemos de un mapa de municipios y una base de datos con la población y el PIB de los distintos países, podemos generar mapas de ambas variables o del ingreso por habitante. Esto no supone la obtención de nueva información, es simplemente una operación automática de cartografía.

2. Un paso adelante sería la obtención de respuestas a una serie de consultas sobre los datos y su distribución en el espacio:

- ¿Qué hay en el punto X?
- ¿Qué características tiene el punto X respecto a...?
- ¿Qué puntos cumplen determinadas condiciones?
- ¿Qué relación hay entre A y B?
- Distancia entre dos puntos.
- Conexión entre dos puntos.
- Pertenencia a un mismo conjunto.

3. Un nivel más sofisticado es el uso de herramientas de análisis espacial y álgebra de mapas para el desarrollo y verificación de hipótesis acerca de la distribución espacial de las variables y objetos. Como ejemplos de hipótesis que son factibles de comprobar podemos mencionar los siguientes:

- ¿Disminuye la temperatura con la altitud?
- Los individuos de una determinada especie, ¿tienden a agruparse o permanecen aislados?
- ¿Cuál es el tamaño mínimo de un puerto para poder dar servicio a un cierto tipo de buques?

A partir de los resultados de este tipo de análisis podemos, en algunos casos, generar nuevas capas de información. Por ejemplo, una vez determinada la relación entre temperatura y altitud, puede generarse una capa de temperaturas a partir de una capa de elevaciones mediante técnicas de modelado cartográfico.

4. Un punto más allá de sofisticación sería la utilización de un SIG para resolver problemas de toma de decisión en planificación física, ordenación territorial, estudios de impacto ambiental, etc.; mediante el uso de instrucciones

complejas del análisis espacial y álgebra de mapas. En definitiva se trataría de resolver preguntas del tipo:

- ¿Qué actividad es la más adecuada para un área concreta?
- ¿Cuál es el mejor lugar para la instalación de determinada actividad?
- ¿Cuál va a ser el impacto sobre el medio?
- ¿Cuál es la forma y tamaño adecuados de los espacios naturales?

5. Finalmente, las aplicaciones más elaboradas de los SIG son aquellas relacionadas con la integración de modelos matemáticos de procesos naturales, dinámicos y espacialmente distribuidos. El objetivo puede ser tanto científico como de planificación y ordenación.

- ¿Qué áreas pueden inundarse en caso de producirse un episodio lluvioso dado?
- ¿Qué consecuencias ambientales puede tener una represa aguas abajo?
- ¿Cómo podría mejorarse la eficiencia en el uso del agua?

En estos casos los programas se utilizan tanto para introducir la información inicial, como para ver y analizar los resultados del modelo en su distribución espacial.

3.2.1 Aplicaciones de los SIG.

Es conveniente definir la diferencia entre los usos y aplicaciones de los SIG. Los usos están definidos como las operaciones que pueden realizarse dentro del paquete informático que se está utilizando para analizar la información. Las aplicaciones, en cambio, se refieren específicamente a los campos de acción en que los SIG son susceptibles de utilizarse. Ya que los SIG son instrumentos técnicos de capacidades múltiples, diseñados y habilitados en primera instancia para inventariar información geográfica, con ellos se puede analizar cualquier tipo de información

que sea susceptible de representarse geográficamente. Entre las aplicaciones más usuales destacan:

➤ **Científicas**

- Ciencias medioambientales y relacionadas con el espacio
- Desarrollo de modelos empíricos
- Modelado cartográfico
- Modelos dinámicos
- Teledetección

➤ **Gestión**

- Cartografía automática
- Información pública, catastro
- Planificación física
- Ordenación territorial
- Planificación urbana
- Estudios de impacto ambiental
- Evaluación de recursos
- Seguimiento de actuaciones

➤ **Empresarial**

- Marketing (Análisis de mercado)
- Estrategias de distribución
- Planificación de transportes
- Localización óptima

➤ **Transporte**

- Mantenimiento y conservación
- Trazado de infraestructuras lineales
- Impacto de las nuevas estructuras
- Sistemas de navegación para autos

3.3 Modelos de redes y algoritmos de transporte.

Una red se define como un conjunto de nodos, arcos y flujo a través de los arcos. Los nodos son los puntos donde el flujo comienza, termina o se bifurca. Los arcos son los conductos que llevan el flujo de un nodo a otro.

Dentro de una red, cada nodo y arco están identificados con un número único que los distingue de todos los demás elementos. Adicionalmente, estos elementos pueden tener cualquier cantidad de atributos.

El flujo dentro de los arcos de una red puede ser bidireccional o unidireccional. Esto es, se puede desplazar a través de un arco en ambas direcciones o en un solo sentido, e incluso se pueden manejar flujos bidireccionales con diferentes magnitudes, de acuerdo a la definición del modelo. Esta particularidad es muy importante cuando se modela una red de transporte, pues toma en cuenta características que están incluidas dentro del comportamiento del flujo en ese tipo de red.

3.3.1 Red de tránsito urbano.

Un sistema de transporte se puede modelar con una red que representa el modo disponible: automóvil, autobús, ferrocarril, etc. Los arcos de la red son equivalentes a las vialidades por las que uno se desplaza (calles, avenidas, calzadas, etc.) y de la misma manera los nodos representan las intersecciones. Como el modelo es una abstracción de la realidad, se debe definir el nivel de detalle que tendrá, pues dependiendo del nivel del análisis a realizar, se deberán incluir mayor o menor número de vialidades, dependiendo de la utilidad y factibilidad de uso que tengan como elementos de la red. De esta manera, una red de transporte urbano de pasajeros no incluirá la mayor parte de las calles de las localidades, sino sólo las vialidades principales por las que circulan. Los transportes pesados o que transportan materiales peligrosos tienen varias restricciones para su circulación y una red para automóviles puede considerar muchos más elementos viales, pero

deberá excluir, a su vez, cualquier vialidad que sólo pueda ser transitada por peatones, aunque en un mapa se presente sin distinción alguna.

El desplazamiento a través de una red de transporte, para estar acorde con el modelo de la red se realiza de un nodo a otro y través de los arcos. Como no en todos los casos el desplazamiento se origina en un nodo, sino en entidades con dimensiones mayores para ser consideradas como simples puntos, se localiza el centroide del área y este se conecta a algún nodo de la red, para poder simular el flujo. Normalmente se utiliza el nodo que está más cerca del centroide del área, pero esto puede y debe ajustarse según convenga al análisis. Todas las variables que sean necesarias para realizar la representación de nuestro modelo deben ser estudiadas y agregadas a la red. Elementos como la longitud, la velocidad de viaje, la capacidad de las vías y el número de carriles son elementos comunes en redes de transporte.

3.3.2 Análisis de redes.

Como ya se mencionó con anterioridad, los SIG vectoriales presentan ventajas ineludibles para representar una red de transporte y simular el movimiento de recursos sobre la misma. El análisis de redes nos permite resolver diferentes problemas. Dentro de estos, los más comunes son: encontrar la mejor ruta a través de una ciudad; encontrar el vehículo más cercano para que atienda una emergencia o el depósito de algún insumo más cercano; identificar un área de servicio o de influencia alrededor de un punto.

Es un hecho que todo el mundo intenta utilizar las redes de la forma más eficiente posible. Para ir de casa al trabajo queremos tomar por instinto la ruta más rápida porque nos damos cuenta de que eso nos ahorrará tiempo, o podemos intentar situarnos en un mapa para considerar que tan conveniente es manejar hasta un establecimiento en particular. Sin embargo, en ocasiones algunas decisiones acerca de cuál es la mejor forma de usar una red requieren un análisis complejo con herramientas más sofisticadas. Si bien es más difícil escoger, por

ejemplo, la manera más eficiente de visitar cientos de clientes simplemente mirando un mapa, esto no resulta del todo imposible. En algunos casos, mirar los mapas y usar el sentido común acerca de redes era todo lo que se podía hacer para planear nuestras operaciones. Eso puede significar en algunas ocasiones errores costosos, selección de rutas lentas, o errores en el cálculo del tiempo que nos ocupa ir a algún lugar.

Los algoritmos de análisis de redes una vez implementados dentro de una computadora nos pueden ayudar a realizar diversas actividades, dentro de las más comunes se encuentran:

- 1) **La ruta mas corta:** Se trata de encontrar la ruta más corta para ir a un lugar o la forma más corta para visitar diferentes lugares o para determinar la mejor secuencia para visitar a los clientes y hacer mapas que muestren las rutas de viaje más eficientes. No se trata necesariamente del camino más corto en distancia, sino del camino de menor impedancia. La impedancia no es sino una medida de la resistencia al desplazamiento sobre la red, y que puede ser expresada en diferentes maneras: distancia, tiempo, costo, etc. De acuerdo a esto, el camino mínimo entre dos puntos puede ser distinto según la variable que se tome como impedancia. La ruta más corta entre dos puntos opuestos de la ciudad atraviesa el centro, pero la ruta más rápida puede evitar las calles céntricas si es que están congestionadas.

La impedancia dentro de una red se utiliza para reflejar las condiciones en que se produce la circulación, y puede estar asociada a los arcos o a los nodos.

- a) *Impedancias de arco.* Es la resistencia a recorrer un arco desde uno de sus extremos hasta el otro. El usuario debe indicar al sistema que variable de las contenidas en la base de datos de atributos, tomará como impedancia de arco en los análisis que se realicen. Las impedancias de arco puede ser direccionales. De esta forma es posible

tener en cuenta las condiciones de tráfico según el sentido de circulación, ya que si las velocidades de circulación son diferentes en un sentido que en otro, el tiempo de viaje también será diferente. Aunado a esto, es muy común que algunas vialidades sean de un solo sentido de circulación, por lo que se debe especificar en la base de datos.

b) *Impedancias de nodo.* Las impedancias de nodo se utilizan generalmente para simular circunstancias que afectan a los giros en las intersecciones. Frente a un semáforo, las condiciones para girar a la izquierda pueden ser diferentes de las de la izquierda y de las de la vuelta en "U". La impedancia de nodo también puede representar el tiempo que debe detenerse un transporte en cada parada o el tiempo de trasbordo de los usuarios.

- 2) **Determinación del servicio o vehículo más cercano:** En este análisis se debe seleccionar el servicio más cercano para reducir el tiempo de viaje hasta él, o bien decidir cuál vehículo deberá responder a una situación particular y al mismo tiempo determinar la ruta más rápida para viajar hacia la misma. Este análisis está basado en la determinación de la ruta más corta, pero toma en cuenta algunas condiciones adicionales, como el conjunto de posibles candidatos para el análisis.
- 3) **Áreas de influencia:** El resultado de este análisis es un área de servicio alrededor de un punto específico, tomando como base una distancia, tiempo específico o cualquier variable que represente una impedancia, y calculando el área servida a través de la red. La finalidad es determinar desde qué arcos de la red se puede alcanzar en un determinado tiempo un punto dado en el que se encuentra situado un centro de servicios. Si la variable a utilizar como impedancia varía de acuerdo al tipo de vialidad, es posible que las zonas determinadas mediante este análisis resulten distorsionadas, reflejando la facilidad para desplazarse mejor en ciertos sentidos que en

otros. Las distorsiones también pueden deberse a la competencia, entre varios centros de servicio del mismo tipo, de manera que sus áreas de influencia se reducen en las direcciones en que se presenta esa competencia, y se amplían en el resto de las direcciones.

Adicionalmente a cualquier análisis realizado dentro de una red, es necesario que se puedan generar itinerarios que sean fáciles de usar para cualquier ruta que se haya encontrado. En dicho itinerario se debe poder decidir cómo reportar los tiempos de viaje y las distancias, cómo reportar las calles a lo largo del trayecto, y cómo incorporar puntos importantes. Una vez que está generado, debe poder ser mostrado, editado, impreso y guardado para futuras referencias.

3.4 TransCAD.

El uso de un sistema de información geográfica especializado no es una idea nueva y TransCAD es una prueba de ello. TransCAD es el primer y único sistema de información geográfica (SIG) diseñado específicamente para ser usado por los profesionales de transporte para almacenar, representar, manejar y analizar datos de transporte. TransCAD combina SIG y capacidades de modelos de transporte en una sola plataforma integrada, proporcionando capacidades que no tienen comparación. TransCAD posee un conjunto integrado de aplicaciones con algoritmos para todos los tipos de datos y para todos los modos de transporte, a cualquier escala o nivel del detalle. Además, permite visualizarlos y analizarlos de una forma amigable, por lo que es una plataforma adecuada para el desarrollo sistemas de información en transporte y sistemas de apoyo en la toma de decisiones. Este sistema tiene una interfaz similar a la de la mayoría de los programas usados en los SIG, permite combinar información de fotografías aéreas, mapas, videos, imágenes de satélite, censos y levantamientos topográficos, e incluye además funciones adicionales que nos permiten trabajar con información almacenada en diferentes maneras. Estas pueden ser: redes de transporte, rutas y sistemas de rutas y matrices.

Las redes de transporte en TransCAD son estructuras de datos especializadas que controlan el flujo sobre una red. Las redes se almacenan en una manera muy eficiente, permitiendo a TransCAD solucionar problemas muy rápidamente. Las redes pueden incluir características detalladas como son:

- Demoras o restricciones en vueltas.
- Pasos superiores, pasos inferiores y arcos unidireccionales.
- Atributos de intersecciones y enlaces.
- Terminales intermodales, centros de transferencia y funciones de demora.
- Conectores de centroides de zonas.
- Clasificaciones de arcos y funciones de rendimiento.
- Arcos de acceso de tránsito, salida y transferencia peatonal

Las matrices contienen datos tales como distancia, tiempos de recorrido, costos y flujos origen-destino que son esenciales para muchas aplicaciones de transporte. TransCAD proporciona funciones para crear y manipular matrices y herramientas para análisis espacial y visualización avanzada de los datos de una matriz. Esta combinación permite ver y entender flujos de transporte y características de la red de nuevas y diversas maneras.

TransCAD es el único paquete de software que integra completamente la filosofía de los SIG con modelos de demanda y la funcionalidad de la logística. Con TransCAD se pueden solucionar prácticamente problemas de cualquier tamaño. A diferencia de otros productos de SIG, los módulos utilizados en TransCAD se integran completamente con las funciones de SIG para el funcionamiento y la facilidad de empleo mejorados. Esto hace a TransCAD una herramienta ideal para muchos tipos de aplicaciones de transporte, incluyendo:

- Análisis de redes.
- Análisis De tránsito.
- Planeación de transporte y demanda de recorrido.
- Ruteo y logística de vehículos.
- Administración del territorio y localización de sitios.

Además de las soluciones analíticas para problemas clásicos de logística, modelos de demanda, y análisis de redes, entre otros, TransCAD incluye herramientas adicionales que ningún otro SIG ofrece y que nos permiten realizar:

- Exhibición automática de calles unidireccionales.
- Mapas de líneas de deseo que muestran flujos de región a región.
- Diagramas de intersecciones que ilustran flujos y movimientos en las vueltas.
- Herramientas interactivas para corregir características geográficas y para definir restricciones y demoras de las vueltas
- El modelo del agente viajero para realizar viajes eficientes visitando cualquier número de puntos en una red.

Todas las características anteriores hacen que TransCAD sea una herramienta ideal para el transporte y por lo tanto se decidió usar este sistema de información geográfica para la solución de nuestro problema.

4. Aplicación del SIG en la generación de alternativas.

En este capítulo se aborda lo concerniente al análisis propuesto en este trabajo. Comienza con una descripción del procedimiento utilizado para la elaboración de la red de transporte y los detalles para su posterior caracterización. Se nombran algunos de los archivos que se agregaron al sistema y se continúa describiendo los modelos existentes y atributos requeridos para el análisis principal. Se cita cada uno de los pasos del estudio, las peculiaridades de los mismos y se da una breve descripción de los resultados obtenidos en cada uno de ellos. Se plantean los dos modelos de estudio propuestos, con las características que los definen y se comentan brevemente los resultados. Se finaliza con una propuesta para aplicar el mismo método para estudiar toda la ciudad y su comportamiento, haciendo las debidas modificaciones al esquema propuesto.

4.1 Tipificación de la zona de estudio.

Como primer paso para el análisis del caso planteado, se requiere que la información necesaria esté en el formato requerido. Como se mencionó en el capítulo anterior, la información en un SIG está estructurada en capas. Dichas capas pueden contener elementos de tres tipos: puntos, líneas y polígonos. La importancia de la calidad de la cartografía en un Sistema de Información Geográfica, es fundamental, pues de ello depende que la ejecución de un análisis o la presentación de la información sean correctos.

Algunos elementos requeridos para el estudio no necesitaron proceso o modificación alguna para ser incorporados en el sistema. Sin embargo, algunos otros no tenían el formato adecuado, o incluso hubo que generarlos desde cero⁷, como es el caso de la red de calles. Esto fue necesario debido a que la cartografía manejada tradicionalmente, en formato CAD, o en algún otro formato de SIG, está estructurada de manera que la digitalización de las manzanas es cerrada y permite la visualización del grosor de las calles, dando una buena impresión visual.

⁷ La lista completa de archivos incluidos en el SIG se incluye en el anexo número 3.

Desafortunadamente, ese formato es totalmente inútil para cuando se desea realizar un análisis de redes, pues en este caso se requiere que las calles estén representadas por una sola línea y que ésta tenga intersecciones con las calles transversales, además de continuidad, y no que estén representadas con dos líneas discontinuas a ambos lados de la calle. Para lograr dicha estructura, la red se comenzó a construir en un entorno CAD (ver figura 4.1). Dicho entorno tiene la ventaja de que posee herramientas de edición que permiten generar arcos de manera rápida y eficiente. Posteriormente se procesó la red para generar las intersecciones en todos los arcos y asegurarse de la coincidencia de los nodos. Una vez generada esta red, se importó al SIG para su posterior caracterización.

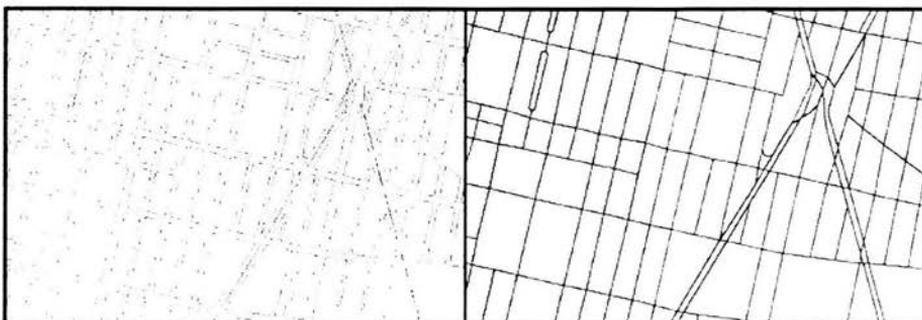


Fig. 4.1 Detalle del estado original de la cartografía y estado final de la red de transporte.

Dado que los archivos que contienen la información cartográfica utilizada fueron generados a partir de fotos aéreas, existe la posibilidad de que éstos contengan información incorrecta, pues la interpretación visual puede realizarse incorrectamente, y de esta forma generar errores en la cartografía digital. Por esa razón se realizaron diversos recorridos de campo en varias etapas, visitando varias zonas de la delegación. Una de las razones de los recorridos fue verificar que las manzanas digitalizadas en los mapas correspondieran a la situación real, pues en algunos casos no es posible hacer una buena distinción entre los elementos, ya que dada la escala de las fotos, o la poca visibilidad ocasionada por elementos ajenos

como pueden ser los árboles, se hace probable que se omitan algunos detalles urbanos. Dentro de las omisiones más comunes están las de los camellones, pues es muy común que se dibuje un camellón continuo en donde no lo hay, o que éste no se haya tomado en cuenta, generando la falsa idea de que hay flujo continuo en una calle que lo cruza cuando en realidad no lo hay. Otro elemento que se omite comúnmente son las calles cerradas, pues algunos de los elementos que se utilizan para cerrar el tránsito son pequeños o muy esbeltos para ser distinguidos en las fotos aéreas y pueden ser ignorados. Esto implica que en ocasiones algunas calles puedan ser transitadas por peatones, pero no por autos, y por lo mismo dichos elementos no deben ser tomados en cuenta en la red. Otro elemento considerado en los recorridos fueron los pasos a desnivel, pues su consideración es esencial en la estructura de la red, ya que el SIG puede hacer distinción entre pasos a desnivel y aquellos que se intersecan realmente, y estos pueden no estar claramente definidos en algunas ocasiones. Adicionalmente espacios abiertos pueden ser confundidos con calles, y generar la falsa idea de existencia de las mismas. Un motivo más de los recorridos fue actualizar los mapas, pues como es sabido, la red urbana de calles y avenidas es muy compleja, y sufre cambios constantemente, tanto en intersecciones, calles cerradas, nuevos pasos a desnivel, e incluso las nuevas “vueltas inglesas” que se están implementando en diversos puntos de la ciudad. El último aspecto verificado, pero no por ello menos importante, fue el de los sentidos de circulación, así como cambios en los mismos. Toda esta información fue recopilada y posteriormente adicionada al mapa de la red, para actualizarlo y corregirlo. Una vez generada una red de calles que refleje las condiciones reales de circulación vehicular ésta puede ser implementada en un Sistema de Información Geográfica, confiando en que generará rutas confiables.

El otro elemento que fue de vital importancia en el análisis realizado fue la capa que contiene las ZATS y toda la información vinculada a ellas. Estas zonas fueron un elemento principal para este análisis, pues es a este nivel que se planeó realizar la distribución y asignación de los viajes. El total de ZATS con las que se trabajó fue de 51, y con esa dimensión se generaron las matrices utilizadas.

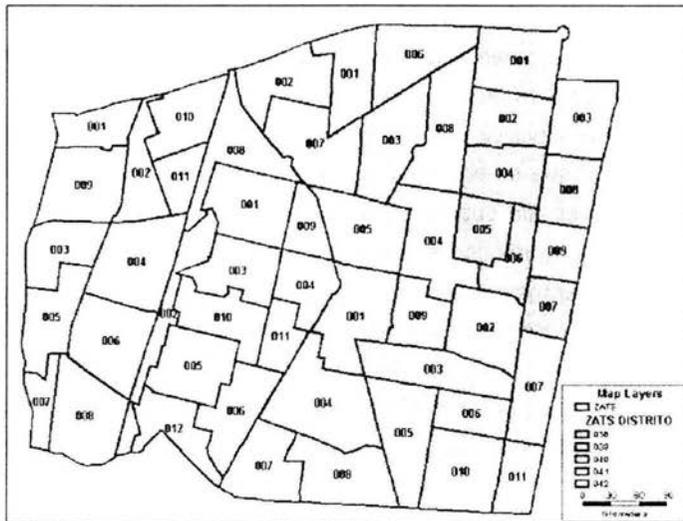


Figura 4.2 Zonas de Análisis de Transporte (ZATS).

Se consideraron también otros elementos que no fueron utilizados directamente en el análisis, como la capa con los usos de suelo y la que contiene lugares de interés, aunque son de utilidad para realizar comparaciones con los resultados obtenidos, o bien para verificar la validez o rechazo de las hipótesis propuestas.

Para la caracterización de la red se realizaron suposiciones adicionales que sirven como elementos de partida en el cálculo de las magnitudes de las variables que intervienen. El primero de esos supuestos es que la velocidad por la que uno puede desplazarse a través de los elementos de la red es constante, y sólo hay dos valores. El primer valor es el perteneciente a la vialidad primaria, a los que se les asignó una velocidad de recorrido de 60 km/h. El segundo valor es el asignado a las vialidades secundarias y las calles. En estas se estimó que la velocidad promedio era de 30 km/h. Basándose en el hecho de que por ser vialidades más locales no permiten desarrollar velocidades muy altas, y si se les asigna un nivel de servicio de acuerdo a esta peculiaridad, esa velocidad queda dentro del rango del nivel de servicio "C" para vialidades urbanas, de acuerdo al *Highway Capacity Manual*, lo

cual está acorde a las características deseables en la zona. De esa manera, al calcular el SIG automáticamente la longitud de los elementos de la red, basta con crear un nuevo campo para que contenga el tiempo de viaje de cada arco, y llenarlo con una fórmula. Una suposición adicional es que la capacidad de los arcos también es constante. Al igual que en el caso anterior, se definieron dos clasificaciones, con sus respectivos valores, de cuatro carriles y 2100 veh/h para cada carril en las vialidades principales, y de dos carriles y 1900 veh/h por carril para las otras vialidades. Estos supuestos pueden parecer un poco simplistas, pues es seguro que existe más de una excepción, pero una caracterización con datos obtenidos en campo, a pesar de no ser imposible, es de un costo muy elevado, tanto de dinero como de tiempo. De cualquier manera, las simplificaciones aquí propuestas no son arbitrarias, sino que reflejan lo que la experiencia establece como valores prácticos.

4.2 Implementación del modelo en el SIG.

Ahora bien, los archivos que contienen la información anterior fueron conjuntados en el SIG, asegurando que tuvieran la compatibilidad, tanto en escala como en coordenadas geográficas, puesto que la información provenía de diferentes fuentes. Una vez implantados en el sistema, se buscó la obtención de las rutas, utilizando un método de asignación de tráfico, el cual arrojó en los resultados las vialidades más susceptibles de ser utilizadas, para desplazarse de una manera eficiente, **minimizando el tiempo de recorrido**, pretendiendo lograr con esto la disminución de los costos de transporte.

Antes de continuar con la integración del sistema, y los análisis realizados, daremos un abreviado explicación de lo que es la asignación de tráfico, y los diferentes modelos que se utilizan en la misma.

Asignación.- Los modelos de asignación de tráfico son usados para estimar el flujo de tráfico en una red. Esos modelos toman como entrada una matriz de flujo que indica el volumen de tráfico entre pares de origen y destino. El flujo para cada par O-D se carga en la red, basándose en el tiempo de viaje o la impedancia de

rutas alternativas que podrían llevar ese tráfico. La asignación de tráfico es un elemento clave en el proceso de predicción de demanda de viajes urbanos. El modelo de asignación de tráfico predice el flujo en la red y está asociado a escenarios de planeación futuros, y genera estimaciones de los tiempos de viaje en los arcos y atributos relacionados, los cuales son la base para la estimación de beneficios e impacto en la calidad del aire.

Históricamente, una amplia variedad de modelos de asignaciones de tráfico han sido desarrollados y aplicados. La mayoría de los más antiguos tienen propiedades indeseables y deberán de ser reemplazados en trabajos futuros. Algunos métodos, como la asignación todo o nada, ignoran el hecho de que el tiempo de viaje en los arcos es dependiente del flujo, es decir, que son función del volumen de los arcos, cuando hay congestión, o múltiples rutas son usadas para llevar el tráfico de cada para O-D específico.

Los métodos de equilibrio toman en cuenta la dependencia del volumen de los tiempos de viaje, y dan como resultado el cálculo del flujo en los arcos y tiempos de viaje mutuamente consistentes. Los algoritmos de equilibrio de flujo requieren iteraciones hacia atrás y hacia adelante, entre la asignación de flujo y el cálculo de los tiempos de viaje cargados. A pesar de la carga adicional de cálculos, los métodos de equilibrio casi siempre serán preferibles a otros métodos de asignación.

En muchas áreas urbanas, hay muchas rutas alternas que podrían ser y son usadas para viajar de una única zona de origen a una única zona de destino. Algunas veces, los viajes que van de varios puntos con una zona de origen a varios puntos en una zona de destino utilizarán vías principales completamente diferentes para hacer el viaje. En algunas ocasiones las rutas alternas razonables pueden ser tan numerosas como para impedir su fácil enumeración. Para que un modelo de asignación de tráfico sea válido, debe asignar correctamente volúmenes de autos a esas rutas alternativas.

Desde una perspectiva situacional, la asignación de tráfico es el resultado de la agregación de las selecciones de rutas individuales de los viajeros. Los modelos de asignación, sin sorprender, también difieren en la suposición hecha acerca de cómo y cual ruta es seleccionada por los viajeros. A continuación podemos ver un breve resumen que contiene algunos detalles de los métodos considerados en la asignación.

- **Asignación todo o nada:** En este modelo todo el tráfico entre un par O-D se asigna a la ruta más corta que los conecta. Este modelo no es muy realista, pues no considera el uso de otra ruta que pueda ser similar ni tampoco considera la capacidad de la red. El tiempo de viaje es una entrada fija y no toma en cuenta el nivel de congestión.
- **Asignación estocástica:** Distribuye los viajes entre cada par O-D por las múltiples rutas alternativas que los conectan. La proporción de viajes que se asigna a una ruta particular es igual a la probabilidad de selección de esa ruta, la cual se calcula por medio del modelo de selección de ruta "logit". En general, una ruta que ofrezca menor tiempo tendrá más probabilidad de ser seleccionada. En la asignación estocástica, no se asignan viajes a todas las rutas alternativas, sino sólo a las que tienen enlaces que se consideran razonables. Un enlace razonable es aquel que toma un viajero, de tal forma que le permita viajar desde el punto de origen al de destino en un tiempo mínimo, o cercano al mínimo posible. En la asignación estocástica el tiempo de viaje sobre los arcos es una entrada fija y no depende del flujo. Como consecuencia, el método no está en equilibrio. Además no toma en cuenta la capacidad del arco.
- **Asignación incremental:** Consiste en un proceso iterativo de asignación de fracciones de volúmenes de tráfico por pasos. En cada uno de ellos, se recalcula el tiempo de viaje en el enlace. Cuando se han realizado muchos incrementos, los flujos pueden parecerse a una asignación de equilibrio; sin embargo, con este método no se llega a una solución de equilibrio. Por

consiguiente, puede haber inconsistencia entre los volúmenes de los arcos y los tiempos de viaje. La asignación incremental también es influenciada por el orden en que el volumen se asigna en cada paso, lo cual aumenta la posibilidad de sesgos adicionales en los resultados.

- Restricción de capacidad: Este método intenta aproximarse a una solución de equilibrio a partir de un proceso iterativo, cargando la red mediante el modelo "todo o nada" y recalculando el tiempo de viaje con base en una función de congestión que refleja la capacidad del enlace. Lamentablemente, el método no converge, y puede oscilar entre los enlaces después de la cuarta iteración. Como el método no produce una solución de equilibrio, los resultados dependen en gran parte del número de iteraciones realizadas, y pueden variar sensiblemente al realizar mayor o menor número de iteraciones.
- Equilibrio de usuario (UE): Este método utiliza un proceso iterativo para lograr una solución convergente en la cual ningún usuario puede mejorar su tiempo de viaje. Los flujos en los arcos de la red son recalculados en cada iteración, y se incorpora el efecto de restricción de capacidad, a la vez que el tiempo de viaje es dependiente del flujo. Esta solución se basa en métodos matemáticos que aplican el algoritmo de Frank-Wolf.
- Equilibrio estocástico de usuario (SUE): Es una generalización del método de equilibrio de usuario, y asume que los viajeros no tienen información perfecta sobre los atributos de la red, o bien que perciben los costos de diferente manera. Este método produce resultados más realistas que los del modelo de equilibrio de usuario, porque permiten utilizar rutas más y menos atractivas. Las rutas menos atractivas tendrán menor utilización pero no tendrán flujo cero, como en el método de EU. Por la naturaleza de este método, se deben realizar gran cantidad de iteraciones.

- Sistema óptimo (SO): Este método calcula una asignación en la que minimiza el tiempo de viaje total de la red. En este método ningún usuario puede cambiar de ruta sin incrementar el tiempo de viaje total del sistema, aunque es posible que el usuario reduzca su propio tiempo de viaje. La asignación SO puede ser pensada como un modelo en el cual la congestión se minimiza cuando los viajeros son informados de cual ruta utilizar. Obviamente, no es un modelo realista, pero es de utilidad en el análisis de diversos escenarios.

Los métodos anteriores, con excepción del todo o nada, requieren que la red posea ciertos atributos para su ejecución: tiempo de viaje sobre el arco y capacidad del mismo. Esos atributos se lograron con la caracterización de la red. Adicionalmente se requiere valores para ejecutar la rutina de asignación. Esos valores corresponden al número de iteraciones a realizar, y un valor de convergencia, el cual, si es alcanzado, determina el equilibrio y detiene las iteraciones, si es que estas no han finalizado.

Así pues, se agregaron cada uno de los archivos de la zona de estudio y cuando fue necesario, se agregaron o actualizaron las bases de datos con la información. Dicha información representa datos sociodemográficos, así como de los viajes atraídos y generados, en cada uno de los modos, para cada una de las ZATS. En este trabajo se plantearon dos escenarios diferentes: El primero, más tradicional, que permite trabajar con todos los elementos de la red para permitir la asignación de manera libre en todos los elementos de la red. El segundo, más interesante, propone desactivar las vialidades principales de la red para realizar la asignación del tráfico. **Con esta propuesta de escenario se propone establecer las mejores opciones para realizar los viajes locales para autos particulares dentro de la zona en estudio**, pretendiendo evitar las vialidades principales que, aunque tienen mayor capacidad, se encuentran saturadas a la hora de mayor demanda, y son más indeseables por sus altos tiempos de recorrido.

Cabe mencionar que no toda la información implementada en el sistema se utilizó en los análisis, si bien puede ser de utilidad para otro tipo de estudios, o bien para realizar comparaciones entre los resultados y la situación actual.

4.3 Análisis y simulación de casos.

Una vez implantada toda la información en el sistema, se comenzó a realizar una serie de procedimientos, con la finalidad de hacer una asignación de los viajes en las vialidades de la zona y, con esto, identificar cuáles son las posibles rutas para trasladarse dentro de la delegación, así como las vialidades más saturadas, y que en su caso, son susceptibles de análisis posteriores para verificar su utilidad como rutas alternas, y por consiguiente, susceptibles de mejoras. El punto de partida del análisis son los viajes atraídos y generados en cada ZAT. Estos valores están incluidos en un par de campos de la base de datos que contiene la información de las ZATS, y representan los viajes/persona/día de cada zona. Los procedimientos utilizados se enlistan y resumen a continuación:

Balaceo de los viajes.- Dado que los resultados de una Encuesta Origen Destino no producen cifras equivalentes, pues es imposible igualar el número de viajes que son generados con los que son atraídos por cada zona, estos deben pasar por un procedimiento de balanceo, para generar cifras conformes y que puedan procesarse de igual manera en procesos subsecuentes. Como podemos observar en la tabla 4.1, la suma de los viajes generados y atraídos en el modo de automóvil no cuadra exactamente, sino que difiere por una cifra que se aproxima a los 6600 viajes. Esto representa poco más del uno por ciento del total ponderado de ambas cifras, lo que vuelve esta diferencia una cifra poco significativa. Sin embargo, como se mencionó anteriormente, los viajes deben estar perfectamente balanceados. Para realizar esto se utilizó un procedimiento incluido con el software, en el cual se realizó el balanceo aplicando una regla de ponderación del 50 por ciento. Esto es, que no se le dio mayor prioridad a los viajes generados ni a los atraídos. Sin embargo, y con la finalidad de respetar los elementos más representativos de ambos grupos, se crearon dos selecciones, con la finalidad de preservar íntegros los valores de estos grupos en el proceso de balanceo. En ambas el criterio de selección fue que el valor del campo para la variable en cuestión fuera mayor a 5000 viajes. Ambas selecciones se ilustran gráficamente en las figuras 4.3 y 4.4; y nos permiten

ver en donde se concentran las zonas con más viajes. El resultado de esta transformación es un par de campos cuyos totales de viajes atraídos y generados son exactamente iguales.

FIELD	COUNT	SUM	MINIMUM	MAXIMUM	MEAN	STD_DEV
Area	51	10.35	0.09	0.35	0.20	0.06
POB_TOTAL	51	407811.00	2262.00	14048.00	7996.29	2936.35
VIVIENDAS	51	115319.00	550.00	3959.00	2261.16	840.50
X	51	24416068.00	475678.00	481507.00	478746.43	1713.09
Y	51	108724347.00	2129643.00	2134063.00	2131849.94	1297.17
VIAJATRAID	51	1201445.00	8315.00	51317.00	23557.75	9796.42
VIAJPRODUC	51	1199658.00	8328.00	51397.00	23522.71	9815.27
G_AUTO	51	510301.60	1863.70	22743.80	10005.91	5700.31
A_AUTO	51	503704.80	2321.00	23070.50	9876.56	5671.04

Tabla 4.1 Estadísticas de algunas variables correspondientes a las ZATS.

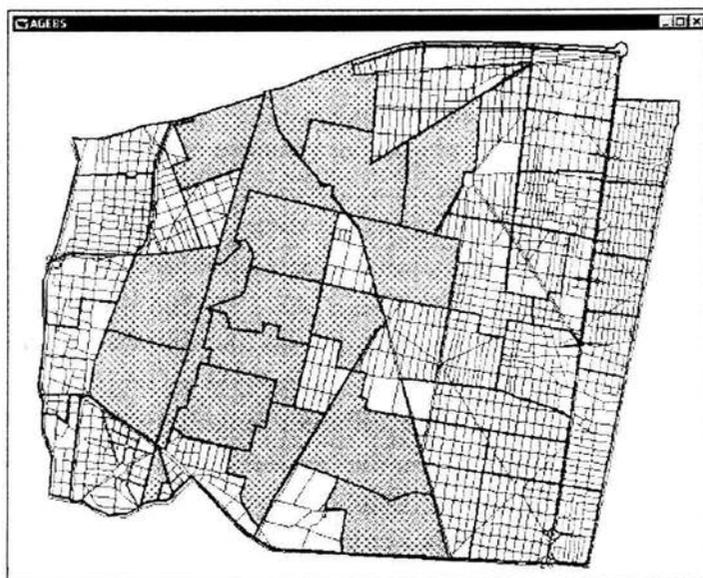


Figura 4.3 ZATS con un valor mayor o igual a 5000 viajes generados.

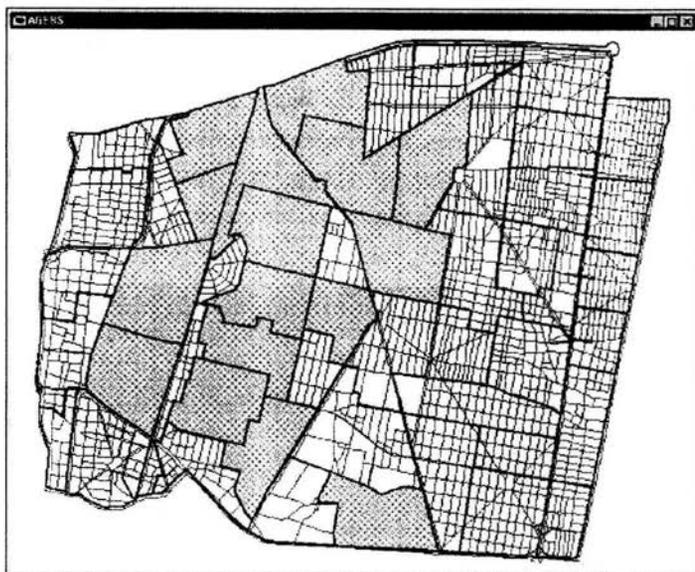


Figura 4.4 ZATS con un valor mayor o igual a 5000 viajes atraídos.

Distribución de los viajes.- Una vez realizado el balanceo de los viajes, se procedió a su distribución en las 51 ZATS presentes en la zona. Esto se realizó con un proceso conocido como factor de crecimiento doble restringido, también conocido como modelo de Fratar. Como en nuestro caso de estudio la finalidad no era proyectar la cantidad de viajes a futuro, el factor de crecimiento aplicado fue igual a 1. Una ventaja de utilizar el método doble restringido, es que se toman en cuenta los valores de los viajes, tanto atraídos como generados, ponderando los valores de estos en el proceso de distribución.

Antes de realizar la distribución, es necesario tener una matriz base, en la que se tengan estimaciones previas de la distribución de los viajes. Si no se tienen esas estimaciones, se puede crear una matriz con valores muy pequeños para que sirvan como base en los cálculos. Dicho proceso también se realizó de forma automatizada, con la ayuda de un comando que permite crear matrices que estén relacionadas con los elementos geográficos de una capa que esté incluida en nuestro entorno de trabajo, asignando un elemento a los renglones y columnas de

la matriz por cada elemento presente en el archivo geográfico. Esta operación conlleva mayor utilidad que la simple automatización del proceso, como explicaremos más adelante. El producto de dicha asignación es una matriz que contiene las cifras correspondientes a los viajes generados y atraídos por cada par de zonas. Los totales de cada columna representan por consiguiente, el total de viajes generados en cada zona, y las columnas, los viajes atraídos por las mismas.

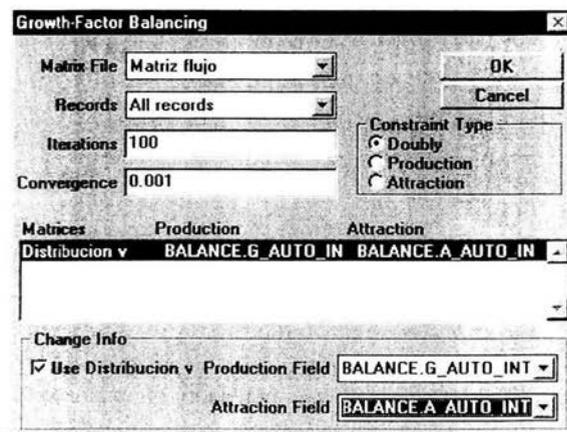


Figura 4.5 Método de distribución doble restringido.

Aunque este proceso de distribución pudo haberse realizado con un modelo de gravedad, lo que traería como consecuencia mayor precisión en el proceso, se optó por el modelo de Fratar, pues la complejidad del modelo de gravedad requería, además de una matriz de impedancias y una matriz con el factor de fricción entre cada par de zonas, una función para representar dicho modelo. La calibración y obtención de las variables correspondientes a dicha función puede ser tan compleja, como para dedicarle un trabajo completo, no siendo esa la finalidad de esta tesis.

Análisis del tiempo crítico.- Una vez establecida la distribución de los viajes se procede a hacer la conversión de los viajes. Dado que las unidades que se han manejado hasta ahora representan viajes/persona/día, es necesario realizar una conversión que nos permita establecer el patrón de viajes, representados en

unidades automotoras, que se desplazan en la red en la hora mayor demanda, es decir, la hora pico. Con base en los resultados de la EOD INEGI 1994, podemos notar que la hora de mayor demanda se presenta entre las 7 y 8 de la mañana.

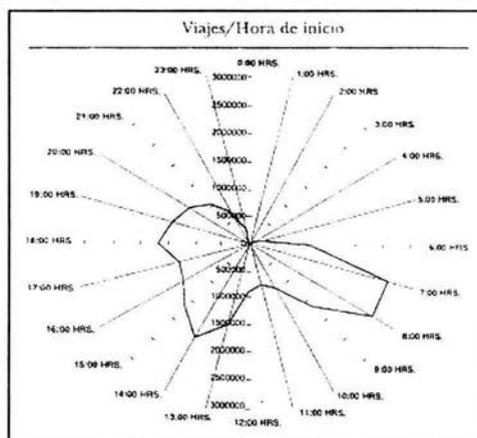


Figura 4.6 Distribución horaria de viajes.

Dicha distribución horaria de los viajes se puede representar en forma tabular, y es necesario que sea incluida con los elementos de análisis.

Hora	Porcentaje	Hora	Porcentaje
0	0.00	12	3.68
1	0.04	13	6.13
2	0.10	14	8.17
3	0.20	15	6.94
4	0.41	16	5.51
5	1.02	17	5.31
6	4.90	18	6.94
7	8.78	19	6.13
8	8.58	20	5.11
9	6.74	21	4.29
10	4.08	22	2.65
11	3.27	23	1.02

Tabla 4.2 Distribución horaria de viajes en forma tabular.

Con la distribución de los viajes en forma porcentual y la matriz de distribución de viajes, se realizó un análisis de tiempo del día, en el que se definió, de acuerdo a la gráfica 4.6, que el periodo de tiempo a utilizarse era el correspondiente a las 7-8 de la mañana, por ser la hora de mayor demanda. Para que la conversión esté completa, se le aplicó un factor de ocupación vehicular de 1.5 personas por vehículo, con lo que se concluye la conversión de viajes/persona/día a vehículos/hora, unidad que utilizaremos de ahora en adelante.

Nuevamente los resultados son almacenados en una matriz, que sigue representando los pares de viajes entre cada par de zonas, pero ahora con las nuevas unidades.

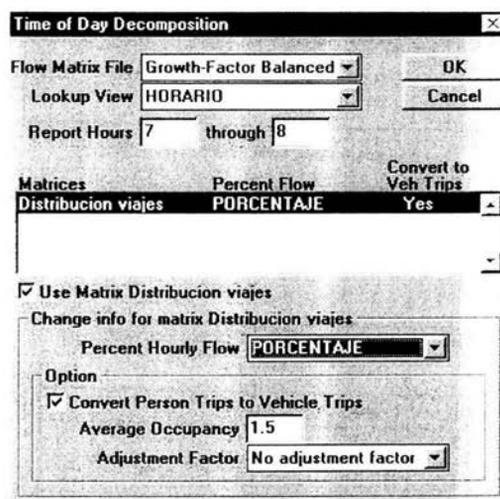


Figura 4.7 Conversión de la matriz de viajes a vehículos/hora, utilizando la hora pico.

Asignación de tráfico.- Este es el último y más importante punto correspondiente al análisis realizado y tiene la finalidad de asignar los viajes entre cada par de zonas en la red de transporte. A partir de este momento, ya no es la capa que contiene las ZATS la requerida para el análisis, sino la capa que contiene las vialidades y la red asociada a ella; así como la matriz con la distribución horaria de los autos, y un método de asignación.

De los métodos de asignación mencionados, sólo los tres últimos producen un equilibrio, el cual es deseable obtener, siendo los primeros menos deseables en su utilización, no sólo por la ausencia de equilibrio, sino por el menor reflejo de la realidad que representan, pues no toman en cuenta todas las variables presentes en el modelo. Dado que en nuestro análisis no pretendemos representar la realidad con fidelidad, pero sí lograr una buena aproximación, se descartaron el grupo de los primeros métodos expuestos, y de los métodos que proponen el equilibrio, se utilizó el de **Equilibrio de Usuario**. Si bien este método se basa en el hecho de que el usuario posee información perfecta de las características de la red, hecho que lo aleja un poco de la realidad, la propuesta de este trabajo es que dicha suposición no es tan incorrecta en una red con una escala pequeña, en la que los viajes son relativamente cortos, y por consiguiente, se espera que los viajeros conozcan la zona. Además el hecho de seleccionar este método, asegura que sean sólo algunos elementos de la red los que sobresalgan en el análisis y se pueda enfocar la atención en dichos elementos.

Para asignar el tráfico a la red se requiere que cada identificador (ID) de los elementos de la matriz este etiquetado con el ID del nodo más cercano al centroide de la zona, correspondiente a cada ZAT, que es donde se considera que se originan los viajes. Otra ventaja del SIG es poder realizar esa operación automáticamente, pues agregando un nuevo campo a la base de datos, se agregaron los ID de los nodos de la red a la capa que contenía las ZATS, y posteriormente se asoció de nuevo la matriz que contiene los pares O-D, pero esta vez haciendo referencia al campo que contiene los ID de los nodos. Una vez hecho esto, se generó un nuevo índice en la matriz con dicho ID, y se ejecuto el proceso de asignación. Los resultados se muestran a continuación. El algoritmo de distribución genera diferentes variables. Aquí sólo se presentan los resultados correspondientes al flujo, tiempo y relación volumen/capacidad, correspondientes a ambos escenarios propuestos, por considerarlos los más representativos. Los resultados completos se pueden consultar en los archivos del anexo 3. El primer caso del estudio se realizó con todos los arcos de la red habilitados. Las figuras 4.8 a 4.10 muestran los mapas temáticos con los resultados de las tres variables mencionadas.

- **Método de asignación: Equilibrio de usuario. Todos los arcos habilitados.**

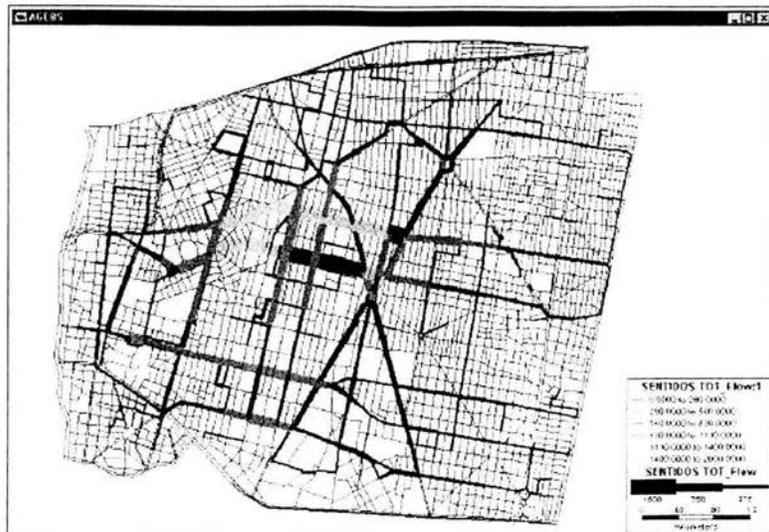


Figura 4.8 Flujo asignado.

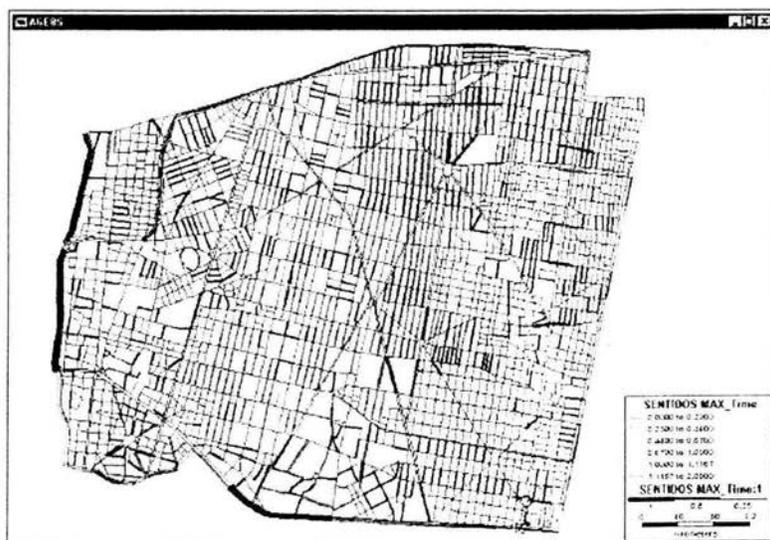


Figura 4.9 Tiempo crítico en la red.

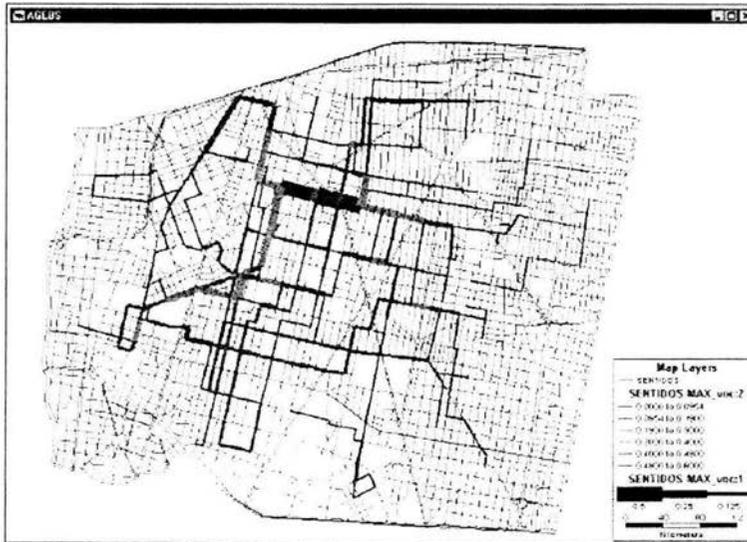


Figura 4.13 Relación volumen/capacidad.

En este escenario se advierte la diferencia que existe en los tres elementos que se están evaluando pues al tener menor capacidad los elementos viales, el flujo se distribuye de manera más uniforme, aunque conforma cierta similitud con el primer escenario. Es a partir de estas imágenes que podemos sacar varias conclusiones. La primera es que si se generan “corredores” en los que se concentra el flujo vehicular, y que en primera instancia son estos en los que podemos concentrarnos. El comportamiento del flujo en la red es satisfactorio, pues sólo hay una vialidad, la calle de *Concepción Beistegui*, en la que el flujo es notable, pues rebasa los 2000 veh/hr, y sólo en un corto tramo. Las demás calles que generan flujos que sobrepasan los 1000 veh/hr, en algunos de sus tramos, son los siguientes: *Av. Porfirio Díaz*, *Agustín González de Cossío*, *Adolfo Prieto*, *Patricio Sanz*, *Enrique Rébsamen* y de nuevo *Concepción Beistegui*. Esta es una primera clasificación para determinar, cuáles vialidades requieren mayor atención. De manera análoga, se puede establecer diferentes criterios para determinar la prioridad de atención, de acuerdo a cada una de las variables que da como resultado el análisis realizado, y

con normas más o menos estrictas, de acuerdo al juicio del decisor, para clasificar las calles de acuerdo a su importancia. Otra conclusión muy importante, es que los resultados son del todo satisfactorios, pues de acuerdo a escenario propuesto, en ningún caso se ve rebasada la capacidad de los elementos de la red, mostrándose como máximo valor de la relación volumen/capacidad un valor cercano al 0.5. Esto nos indica que de ser correctas las suposiciones de nuestro escenario, no existe problema alguno para que se establezcan los flujos en esas vialidades.

Cabe aclarar que posterior a la asignación es recomendable verificar los resultados realizando una comparación con datos de campo. Si estos datos se asemejan a los de nuestro análisis, significa que nuestras suposiciones fueron correctas. Si no son tan parecidos o se parecen sólo en parte, es momento de replantear nuestras hipótesis par ver si requieren de alguna corrección, ya sea modificando parámetros, o incluso todo el escenario. A partir de los fenómenos observados, una vez que se logren datos acordes con la situación real o deseada, comprobando que los resultados son satisfactorios, se pueden proponer varias acciones. Según sea el caso, podemos emprender acciones que modifiquen o que favorezcan determinadas situaciones, como ejemplo: mejorar el flujo vehicular. Estas acciones pueden incluir desde la revisión de la semaforización de las intersecciones, si es que ésta existe, agilización del flujo con agentes de tránsito, mantenimiento de las vialidades de la red: la señalización adecuada, pavimentación, hasta la eliminación de obstáculos que impidan una buena visión o el libre flujo, como pueden ser arbustos o árboles mal podados o topes, o inclusive la adecuación o implementación de espacios para estacionamiento en las zonas en las que los autos estacionados en la vía publica formen parte del conflicto.

4.4 Generalización del procedimiento para toda la ciudad.

Esta tesis estudia sólo un aspecto muy específico del tráfico urbano: Los viajes de autos particulares en un área determinada, que es la delegación Benito Juárez. Dicho estudio contempla, por las características de los viajes, la inclusión de todas las vialidades existentes en la zona, y que en determinado momento son

transitables por un vehículo particular. Sin embargo, los métodos utilizados en este estudio son de carácter general, por lo que pueden ser utilizados en diferentes escalas. Como se mencionó con anterioridad, el nivel de detalle del modelo que representa nuestra red de tráfico, depende del tipo de análisis y de las variables en consideración. Para que dicho procedimiento pueda ser aplicado a una escala más grande, para representar el tráfico de toda la ciudad, sería necesario contar con una red para distribuir el tráfico. De esta manera, no es viable una red que contenga todas las vialidades existentes para simular el flujo a través de las mismas, pues dadas las magnitudes de los desplazamientos, se intuye que estos se realizan por las vialidades apropiadas para ello. Estas vialidades son, básicamente, las arterias principales. El sistema vial de la Ciudad de México, está estructurado con una clasificación organizada; calles, calzadas, avenidas, viaductos, ejes viales, y circuitos, forman parte de él. A pesar de su complejidad no deja de ser posible la construcción de una red similar a la utilizada en este estudio, para analizar los problemas de transporte de esta gran metrópoli, y estudiar el flujo de personas y bienes, así como para proponer escenarios y experimentar con su comportamiento.

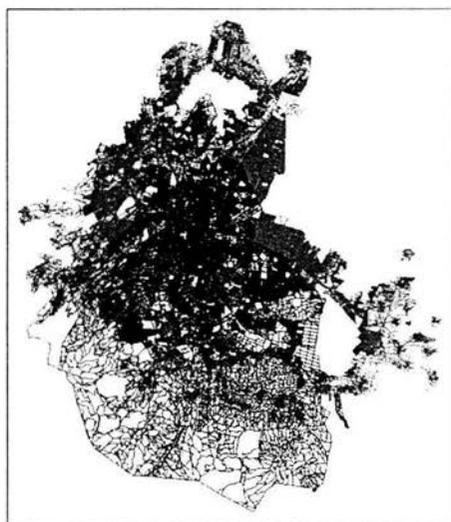


Figura 4.14 Traza urbana de la ciudad e México.

Aun cuando la complejidad de la red (figuras 4.15 y 4.16), del análisis y las variables involucradas aumentan, pues en esta escala son muchos los modos que interactúan en la consecución de los viajes, es factible realizar los análisis adecuados, con la previa adecuación del escenario.

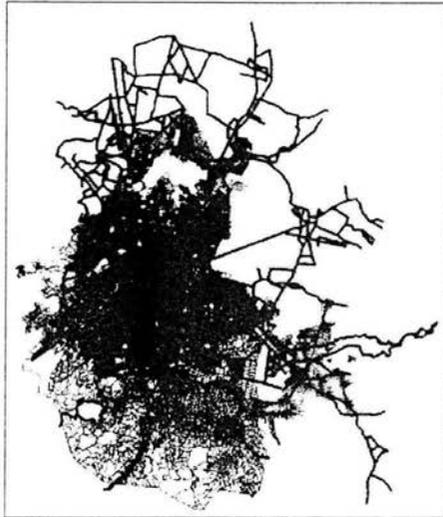


Figura 4.15 Red vial en la Ciudad de México.



Figura 4.16 Red vial en la Ciudad de México, detalle.

5. Conclusiones.

El campo del transporte tiene una amplia gama de aplicaciones. Dentro de los problemas que estudia, existe un gran número de algoritmos para representar el comportamiento de los fenómenos que se presentan y proponer una solución.

El presente trabajo toma en cuenta uno solo de los modos en que se presentan los viajes dentro de la urbe, y únicamente se contempla un escenario determinado, arroja resultados importantes. Dentro de ellos se encuentra la teoría de que sí se pueden establecer rutas alternas para el desplazamiento en la zona de estudio, las cuales representan el costo mínimo para desplazarse entre dos puntos de la red, y tienen la garantía de que los arcos no estarán saturados, como lo están las arterias principales. Podemos asegurar también, que el hecho de haber realizado el análisis en la hora crítica, y el haber obtenido resultados satisfactorios, permite establecer con cierta seguridad que dichas rutas son estables durante el transcurso del día. La excepción se presentaría en el caso de que factores externos o no considerados en el sistema, se presentasen.

Al realizar alguna de las mejoras propuestas en este estudio, se debe enfatizar que ninguna propuesta se desarrolla de manera aislada, sino que trae como consecuencia la alteración de otras variables importantes dentro de la evolución de la metrópoli. Algunas son intrínsecas al análisis del transporte, como el tráfico inducido por los cambios en las vialidades existentes. Sin embargo, éstas son susceptibles de estudiarse y modelarse. Algunas otras son más independientes, y su relación con la ingeniería de tránsito no es tan directa y, por consiguiente, de difícil evaluación. Tal es el caso de la migración poblacional o el de la variación en los niveles de ingreso económico, cuyos resultados son observables en periodos largos de tiempo, y en algunos casos casi imprevisibles. También debemos tener en mente el hecho de que al generar otra solución, con otros métodos de análisis, los efectos que tendrá la implantación de dicha solución pueden variar. Asimismo, el impacto en el desarrollo de las actividades cotidianas puede tener efectos negativos, como el

congestionamiento, contaminación del aire o accidentes, que deben ser estudiados cuidadosamente.

La solución a cualquier problema de transporte radica no sólo en el mejoramiento de las condiciones del trayecto, ya sea la infraestructura vial o los sistemas de transporte, sino que abarcan una amplia gama de aspectos que deben ser constantemente revisados y renovados, como la educación y cultura vial. Por lo anterior, esta propuesta no es una solución aislada, sino que puede formar parte de un proceso integral, en el que se apliquen soluciones a diferentes niveles, como debe ser siempre que se trata de problemas con la complejidad que conllevan los de esta gran metrópoli.

Los resultados obtenidos aquí no representan la única solución, sino que plantean una alternativa. Se puede aplicar otro tipo de análisis, utilizando otros paquetes, que pueden arrojar resultados similares, o aun distintos, de acuerdo a su forma de proceder. Los resultados arrojados por el Sistema de Información Geográfica no son definitivos, sino que pueden ser actualizados y modificados a petición del usuario, concordando con la funcionalidad de un SIG, en el que la interacción con el usuario debe ser continua. Por todo ello, es recomendable no tomar a la ligera un análisis de este tipo, pues la implantación de un Sistema de Información Geográfica, siempre es de utilidad, ya que la información del mismo puede servir de base para experiencias futuras.

Sabemos también, que es factible realizar análisis semejantes, variando el tamaño de la red y agregando variables para tomarlas en cuenta en el estudio, o quitando las que no sean de utilidad. Además, el procedimiento se puede generalizar al nivel de análisis que se desee, haciendo algunas modificaciones, como el nivel de detalle deseado en la presentación de la información, y la complejidad adecuada al análisis. Es obvio que cuando se desea realizar un análisis más complejo, son requeridos muchos más datos para la red. Consecuencia de ello es que los resultados obtenidos, también arrojarán información de mayor importancia.

El uso de un SIG para hacer este tipo de estudios no es fortuito. La competencia con otros paquetes para modelar, e incluso con otros SIG, hace que los fabricantes de software renueven y mejoren constantemente sus productos. El uso de lenguajes de programación y extensiones, son comunes hoy en día para satisfacer las necesidades del cliente. La competencia con el software libre, que está cada vez más en boga, hace un poco incierto el futuro de estos paquetes. Sin embargo la disponibilidad de un paquete como TransCAD, con todas las ventajas que representan sus módulos integrados para resolver problemas específicos de transporte, no se puede desperdiciar. La facilidad para representar solo la información necesaria en cada caso, como se puede comprobar en los mapas generados en esta tesis, y el potencial de poder seguir generando resultados haciendo combinaciones con los resultados obtenidos y cualquier otra información que este disponible, hace muy atractivo el hecho de utilizar el SIG. Por supuesto que la instauración del sistema es ardua, pero fácil de actualizar una vez implantado. Esta es una ventaja que pocos conocen de los SIG, desaprovechando y subestimando su potencial. Con el mismo sistema de este trabajo podemos realizar análisis de diferente naturaleza. Podemos dar algunos ejemplos:

- En el caso de que, por alguna manifestación, se bloquearan algunas vialidades del sistema, se puede hacer una reasignación de rutas entre cualesquiera dos puntos de la zona, desactivando los arcos afectados por la manifestación.
- Si se quiere establecer un sistema de distribución con uno o varios almacenes que distribuyan un producto a varios clientes, se puede establecer una ruta para realizar las entregas de la manera más eficiente.
- Se pueden establecer sistemas de atención de emergencias, en los que se requiera la forma más rápida para llegar a atender un incidente, dando respuestas inmediatas.

Estos son solo algunos ejemplos de las múltiples posibilidades de un SIG. Podemos afirmar que, quienes llegan a valorar la utilidad de los SIG, se dan cuenta que las posibilidades de análisis son casi infinitas, y las aprovechan al máximo.

Por último, debemos recordar que todos los cambios realizados en la configuración de esta ciudad, desde su fundación hasta nuestros días, deben ser tomados en cuenta. Es con base en las experiencias anteriores, y con la ayuda de las herramientas actuales, para análisis, modelado, y predicción, que podemos establecer una situación futura deseada y acorde con la calidad de vida que los habitantes merecen.

Se debe enfatizar que en la actualidad la recolección y procesamiento de algunos datos se puede realizar de manera automatizada, con ayuda de diferentes herramientas, como puede ser la tecnología GPS. Además de que cada día el acceso a la información se facilita cada vez más. Todo esto es de gran ayuda, pues reduce costos y ahorra gran cantidad de tiempo cuando se quiere implantar un SIG.

Referencias.

Bosque Sendra, Joaquín y otros.

Sistemas de Información Geográfica: Prácticas con PC Arc/Info e Idrisi.

Editorial Ra-Ma. Madrid, 1994.

Cal y Mayor. Rafael.

Ingeniería de tránsito.

Representaciones y Servicios de Ingeniería S.A. México, 1982.

Caliper Corporation.

Travel Demand Modeling with TransCAD 3.0. Newton, 1996.

Caliper Corporation.

TransCAD Transportation GIS Software, User's Guide version 3.0. Newton, 1996.

Chías Becerríl, Luis (compilador).

El Transporte Metropolitano Hoy.

Universidad Nacional Autónoma de México. México, 1995.

Enciclopedia de México. Tomo IX.

Enciclopedia de México. México, 2000.

Enciclopedia Hispánica. Tomo 10.

Ed. Barsa Planeta, Inc. Madrid; México, 2001.

Encuesta de Origen y Destino de los viajes de los residentes del Área Metropolitana de la Ciudad de México.

INEGI. México, 1994.

Gutiérrez Puebla, Javier y Gould, Michael.

SIG: Sistemas de Información Geográfica.

Editorial Síntesis. Madrid, 1994.

Herrera Moreno, Ethel.
Evolución Gráfica del Distrito Federal.
Gobierno del Distrito Federal. www.cultura.df.gob.mx, 2001.

Perlo Cohen, Manuel.
El paradigma porfiriano: Historia del desagüe del valle de México.
Programa universitario de Estudios Sobre la Ciudad.
Instituto de Investigaciones Sociales, UNAM. México, 1999.

Programa Integral de Transporte y Vialidad 2001-2006.
Secretaría de Transporte y Vialidad. www.setravi.df.gob.mx/programas/pitv.pdf, 2001.

Taha, Hamdy A.
Investigación de Operaciones.
Ed. Alfaomega. México, 1995.

Transportation Research Board.
Highway Capacity Manual 2000. Washington, D.C, 2000.

Valdez González, Roldán A.
Ingeniería de tráfico.
Librería Bellisco. Madrid, 1988.

Anexos.

Anexo 1. Glosario de términos.

AMCM.- Área Metropolitana de la Ciudad de México. Conjunto integrado por la zona urbana del Distrito Federal y los municipios conurbados del Estado de México.

ASIGNACIÓN.- Modelo de demanda de viaje utilizado en TransCAD para estimar el flujo del tráfico en una red y permitir que se establezcan patrones de circulación y analizar puntos de congestión.

ÁREA GEOESTADÍSTICA BÁSICA (AGEB).- Es una subdivisión de los municipios o delegaciones que conforman el país; su utilidad es organizar la información estadística; se creó con base en el XI Censo de Población conforme a los siguientes criterios:

- A) Reconocible en el terreno por estar delimitada según rasgos topográficos identificables y perdurables.

- B) Homogeneidad en cuanto a sus características sociales, económicas y geográficas.

- C) Su extensión es tal que puede ser recorrida por un solo encuestador o representante censal. Se subdivide en Urbana y Rural.

CAPACIDAD.- tasa de flujo máximo sustentable a la que se espera que los vehículos o personas atraviesen por un punto o por un segmento uniforme de un carril o carretera durante un periodo específico de tiempo, bajo ciertas condiciones dadas del pavimento asfalto, geometría, y clima. Usualmente se expresa en vehículos por hora, o en personas por hora.

CENTROIDE.- Punto virtual en una zona que representa el origen o el destino de todos los viajes hacia o desde esa zona.

DELEGACIÓN POLÍTICA.- Base de la división territorial y organización político-administrativa del Distrito Federal.

DESTINO.- Lugar donde termina el viaje.

DISTRIBUCIÓN.- Modelo de demanda de viajes utilizado en TransCAD para predecir el patrón espacial de viajes o de otros flujos entre pares de orígenes y destinos.

DISTRITO.- Es la unión de varias AGEB, o una sola. Fue delimitado tomando en cuenta homogeneidad en uso del suelo, características socioeconómicas y barreras físicas (naturales o artificiales).

ENTIDAD FEDERATIVA.- Unidad geográfica mayor de la división político-administrativa del país, que es parte integrante de la Federación. El territorio nacional se divide en 31 Estados y el Distrito Federal.

GPS.- Sistema de Posicionamiento Global. Consiste en una red de satélites que transmiten continuamente información codificada, que hace posible identificar con exactitud puntos sobre la tierra midiendo la distancia a los satélites.

ID.- Identificador único con el cual se reconoce a cada elemento perteneciente a alguna capa que contenga información geográfica. El ID asegura que cada elemento en el sistema es único a pesar de que existan algunos con información completamente idéntica.

LÍNEAS DE DESEO.- Líneas que conectan centroides de zona y que representan los viajes que se realizan entre ellas.

MANZANA.- Es un conjunto de construcciones que forman parte de una localidad o colonia, con límites identificables como son: calles, avenidas, andadores, ríos, barrancas, etc. Una manzana está formada por una o más viviendas agrupadas o separadas por lotes baldíos y/o inmuebles distintos (comercios, escuelas, fábricas, iglesias, etc.).

MAPA TEMÁTICO.- Representación gráfica de una o más variables específicas de acuerdo al criterio del usuario, destacando los rasgos o características que se desean.

MODALIDAD.- Es la agrupación de modos de transporte por tipo de servicio. Existen tres:

1. MODALIDAD DE TRANSPORTE PÚBLICO.- Se refiere a los viajes que se realizan utilizando uno o más de los siguientes modos: Ruta 100, Trolebús, Metro, Colectivo, Taxi y Suburbano.
2. MODALIDAD DE TRANSPORTE PRIVADO.- Se refiere a los viajes que se realizan utilizando uno o más de los siguientes modos: Automóvil, Moto, Bicicleta y otro.
3. MODALIDAD DE TRANSPORTE MIXTO.- Se refiere a los viajes que se realizan combinando modalidad pública y modalidad privada.

MODO.- Se entiende por modo de transporte a las entidades para la transportación que se caracterizan por una similitud tecnológica, operativa y administrativa; la cual se traduce en una forma específica de realizar el traslado de personas y/o de bienes.

MODO DE TRANSPORTE.- Tipo específico de vehículo mediante el cual se realiza la acción de desplazamiento de una persona de un lugar a otro.

Se conocen los siguientes tipos:

- **AUTOBÚS URBANO, RTP Y SUBURBANO.-** Vehículo automotor de combustión interna y capacidad de 30 asientos o más en el cual se viaja sentado o parado, siguiendo una ruta específica y abordando o descendiendo en lugares señalados como paradas de autobús; los hay de empresas públicas como la RTP en el Distrito Federal y de empresas privadas en los Municipios conurbados.
- **TROLEBÚS.-** Vehículo automotor eléctrico con ruta fija; tiene ruedas de hule; toma la electricidad de las líneas tendidas para tal fin; su capacidad de pasajeros sentados es de 45 y es operado por la empresa Servicio de Transportes Eléctricos del DDF.
- **METRO.-** Transporte Colectivo automotor eléctrico con ruedas de hule o metal; se desplaza sobre rieles en ruta fija y cuenta con estaciones terminales e intermedias con correspondencias en sus diferentes líneas. Cuenta con vagones en número de 6 a 9 y tiene gran capacidad de pasajeros. Opera en línea subterránea, elevada o en superficie, sin cruzarse con calles o ejes viales.
- **TREN LIGERO.-** Transporte público automotor eléctrico, que se desplaza sobre rieles en ruta fija con 2 vagones articulados; es operado por la Empresa Servicios de Transportes Eléctricos del DDF; sólo existe una línea: Taxqueña a Xochimilco.
- **COLECTIVO.-** Vehículo automotor con capacidad de 10 a 23 asientos, en el cual se viaja sentado o parado, sigue una ruta específica y tiene ascensos y descensos de usuarios a lo largo de la misma.
- **TAXI.-** Vehículo automotor de combustión interna tipo automóvil para alquiler. Existen 2 tipos: taxi de sitio, que es el que toma su pasaje en una base y no tiene una ruta definida y taxi libre que es el que circula por las calles para ofrecer su servicio y que tampoco tiene una ruta definida.

- AUTOMÓVIL.- Vehículo automotor con capacidad de hasta 10 asientos, con motor de combustión interna, el cual sirve fundamentalmente para transporte de personas; sus dimensiones son menores a los de otros vehículos automotores.
- MOTOCICLETA.- Vehículo automotor de 2 ruedas con motor de combustión interna; transporta hasta 2 personas incluyendo al conductor; en ocasiones se les instala una tercera rueda y un aditamento para llevar a otra persona, o bien carga.
- MOTONETA.- Vehículo automotor de 2 ruedas para transporte de personas, automotor de combustión interna; transporta a una persona y en algunos modelos hasta 2, incluyendo al conductor; su capacidad de transporte, y de motor, así como su velocidad, son menores que los de una motocicleta.

MUNICIPIO.- Base de la división territorial y de la organización político-administrativa de las Entidades Federativas.

ORIGEN.- Lugar en donde se inicia un viaje.

UNIDAD POLÍTICO ADMINISTRATIVA.- Para fines de la encuesta, se refiere a un Municipio conurbado o a una Delegación Política.

VEHÍCULO.- Todo modo de transporte de motor o cualquier otra forma de propulsión en el cual se desplaza a personas o bienes.

VIAJE.- Para el propósito de esta encuesta, "viaje" significa un movimiento con un propósito específico, y movimientos con diferentes propósitos son considerados como viajes separados. Cuando una persona utiliza una serie de diferentes modos de transporte para llegar a un destino con un propósito definido, la serie de modos de transporte es considerada como un viaje.

VIAJE ATRAÍDO.- Viaje que arriba a un área geográfica determinada.

VIAJE PRODUCIDO.- Viaje que es originado en un área geográfica determinada y que rebasa los límites de ésta.

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.

ZMCM.- Consultar AMCM.

Anexo 2. Cuadros completos con las tablas de resultados de la Encuesta Origen Destino, INEGI 1994.

CUADRO 2.- VIAJES DE LOS RESIDENTES DEL AMCM PRODUCIDOS, ATRAÍDOS E INTERNOS, SEGÚN UNIDAD POLÍTICO ADMINISTRATIVA.

UNIDAD POLÍTICO ADMINISTRATIVA	NUMERO DE VIAJES		
	PRODUCIDOS	ATRAÍDOS	INTERNOS
TOTAL	20,573,725	20,573,725	8,154,339
AZCAPOTZALCO	715,248	717,481	241,499
COYOACAN	1,115,823	1,119,887	397,678
CUAJIMALPA DE MORELOS	178,644	178,529	91,201
GUSTAVO A. MADERO	1,753,470	1,754,763	770,824
IZTACALCO	619,976	618,869	181,371
IZTAPALAPA	1,419,598	1,414,703	593,750
MAGDALENA CONTRERAS	271,946	271,398	130,178
MILPA ALTA	45,859	45,534	21,497
ÁLVARO OBREGÓN	979,789	978,960	410,273
TLAHUAC	227,323	226,565	120,639
TLALPAN	711,820	713,224	299,795
XOCHIMILCO	387,473	385,767	214,504
BENITO JUÁREZ	1,199,659	1,201,442	414,976
CUAUHTEMOC	2,176,275	2,185,428	600,794
MIGUEL HIDALGO	1,008,280	1,014,496	255,098
VENUSTIANO CARRANZA	861,933	868,095	233,352
ATIZAPAN DE ZARAGOZA	428,318	426,439	192,824
COACALCO	203,540	202,193	100,157
CHALCO	255,583	255,436	109,083
CHICOLOAPAN	41,340	41,308	10,980
CHIMALHUACAN	178,893	177,386	37,852
ECATEPEC DE MORELOS	1,227,919	1,219,588	608,553
HUIXQUILUCAN	136,519	136,670	56,774
IXTAPALUCA	105,807	104,383	46,770
NAUCALPAN	1,000,951	1,001,536	524,319
NEZAHUALCOYOTL	955,747	949,105	370,869
NICOLAS ROMERO	177,044	176,123	108,496
LA PAZ	110,764	111,495	35,594
TEXCOCO	144,584	145,182	116,447
TLALNEPANTLA	830,039	831,072	321,419
TULTITLAN	240,659	239,477	99,368
CUAUTITLAN IZCALLI	393,430	392,138	207,529
AREA MC I	145,695	144,665	62,026
AREA MC II	102,717	102,444	61,480
AREA MC III	153,554	152,276	84,916
AREA MC IV	32,961	32,316	21,072
FUERA DEL AREA METROPOLITANA	34,545	37,352	382

NOTA No incluye viajes realizados por menores de 6 años. El total por UPA puede ser diferente en algunos casos, ya que en la definición de Distritos se excluyeron AGEB, por tener características rurales.

FUENTE INEGI, Encuesta de Origen y Destino de los Viajes de los Residentes del Área Metropolitana de la Ciudad de México, 1994

CUADRO 3. VIAJES DE LOS RESIDENTES DEL AMCM PRODUCIDOS, ATRAÍDOS E INTERNOS, SEGÚN DISTRITO.

DISTRITO	NUMERO DE VIAJES		
	PRODUCIDOS	ATRAÍDOS	INTERNOS
TOTAL	20,573,725	20,573,725	3,996,396
ZOCALO	564,909	567,160	31,197
ZONA ROSA	472,045	473,098	38,405
BUENAVISTA	238,251	238,997	48,068
TLATELOLCO	153,085	154,124	10,073
MORELOS	237,532	241,392	16,169
COL. OBRERA	254,231	254,242	34,622
CONDESA	256,222	256,415	28,658
CHAPULTEPEC	376,165	379,870	50,371
LAS LOMAS	224,430	225,778	34,662
PANTEONES	146,601	146,227	21,074
ANAHUAC	261,084	262,621	30,340
LA RAZA	111,036	111,863	12,243
CLAVERIA	165,328	165,621	20,574
TEZOMOC	133,751	133,567	17,528
EL ROSARIO	150,385	148,928	15,333
VALLEJO	154,748	157,502	10,938
LINDAVISTA	321,554	328,315	41,787
POLITECNICO	262,428	261,927	46,528
RECLUSORIO NORTE	87,932	85,395	9,439
CUAUTEPEC	99,888	99,096	32,200
TEPEYAC	104,304	103,282	9,303
SAN FELIPE DE JESUS	125,849	127,155	19,319
DEPORTIVO LOS GALEANA	132,753	132,091	22,751
BOSQUE DE ARAGON	109,699	108,816	13,961
LA MALINCHE	107,490	106,518	12,192
LA VILLA	232,218	233,529	20,022
BONDOJITO	169,355	168,639	26,918
EDUARDO MOLINA	114,952	114,431	15,497
ROMERO RUBIO	88,843	87,890	9,210
MOCTEZUMA	157,767	161,136	17,199
AEROPUERTO	27,806	31,116	0
PANTITLAN	167,096	168,196	15,344
BALBUENA	305,469	305,326	59,994
ARENAL	165,857	165,755	31,497
UPIICSA	119,404	117,916	13,245
PALACIO DE LOS DEPORTES	163,072	164,732	22,668
REFORMA IZTACCIHUATL	171,643	170,466	36,010
VILLA DE CORTES	160,951	161,669	19,167
PORTALES	228,069	229,357	44,410
DEL VALLE	341,706	341,179	63,472
CIUDAD DE LOS DEPORTES	247,793	248,370	37,600
VERTIZ NARVARTE	221,140	220,867	34,399

(continúa)

PLATEROS	140,978	141,032	20,099
SAN ÁNGEL INN	383,648	382,344	64,863
OLIVAR DE LOS PADRES	84,278	84,377	19,561
SANTA LUCIA	86,900	86,635	12,103
OLIVAR DEL CONDE	132,549	132,596	39,527
SANTA FE	151,436	151,976	24,846
SAN ANDRES TETEPILCO	168,270	167,489	25,323
CENTRAL DE ABASTOS	188,946	189,128	20,249
UAM	120,323	120,426	16,997
EJTO. CONSTITUCIONALISTA	159,547	160,057	19,702
STA. MARTHA ACATITLA	74,959	75,227	6,595
SAN MIGUEL TEOTONGO	69,444	69,001	7,774
SANTA MARIA XALPA	69,316	67,462	1,587
SANTA CRUZ MEYEHUALCO	118,329	117,396	16,765
JACARANDAS	113,284	113,324	23,421
EL MOLINO TEZONCO	87,426	87,826	17,837
LOMAS ESTRELLA	127,901	125,767	19,744
PUEBLO DE CULHUACAN	121,853	121,600	26,506
CTM CULHUACAN	144,671	145,347	14,724
XOTEPINGO	139,736	140,260	22,642
PEDREGAL	98,290	98,051	18,056
CIUDAD UNIVERSITARIA	308,863	309,926	29,942
VIVEROS	266,862	268,258	56,516
CAMPESTRE CHURUBUSCO	157,401	158,045	24,286
CERRO DEL JUDIO	150,762	149,812	48,903
MAGDALENA CONTRERAS	121,184	121,586	38,581
CUAJIMALPA	178,644	178,529	91,201
MIXQUIC	134,986	134,653	58,491
LA TURBA	92,337	91,912	16,297
LA NORIA	228,792	227,740	72,222
NATIVITAS	158,681	158,027	47,971
COAPA	220,325	220,915	46,390
SAN PEDRO MARTIR	135,767	136,871	38,034
PADIERNA	131,386	130,698	48,036
VILLA OLIMPICA	224,342	224,740	58,981
MILPA ALTA	45,859	45,534	21,497
HUIXQUILUCAN	136,519	136,670	56,774
CAMPO MILITAR No. 1	92,166	92,567	17,561
ALTAMIRA	69,583	68,830	7,030
EL MOLINITO	95,162	93,837	17,460
INDUSTRIAL NAUCALPAN	152,744	153,094	23,377
SAN MATEO	119,994	119,637	21,036
SATELITE	257,440	258,492	52,179
ECHEGARAY	213,862	215,079	28,367
SANTA MONICA	149,429	149,568	25,154
PUENTE DE VIGAS	137,370	138,519	19,730
CENTRO INDUSTRIAL	226,097	227,527	34,623
STA. CECILIA	132,779	132,106	25,549
JARDINES DEL RECUERDO	83,892	83,971	4,723
SAN JUAN IXHUATEPEC	100,472	99,381	25,317

(continúa)

XALOSTOC	102,763	103,638	10,672
EL CHAMIZAL	141,198	140,686	25,093
SOLIDARIDAD 90	128,696	126,603	18,432
EL MIRADOR	40,317	39,819	6,828
CAMPAÑA DE ARAGON	122,064	120,772	20,474
PLAZA ARAGON	111,386	109,944	11,472
JAJALPA	130,594	130,516	20,403
CIUDAD AZTECA	154,843	153,774	19,652
SAN CRISTOBAL	143,846	143,624	42,167
JARDINES DE MORELOS	80,592	79,619	11,602
VENTA DE CARPIO	71,620	70,593	17,900
CAMP. GUADALUPANA	110,175	107,499	20,252
ENEP ARAGON	137,620	137,495	24,132
EL SOL	76,133	75,813	11,785
VIRGENCITAS	88,448	88,480	12,281
PALACIO MUNICIPAL	79,114	78,767	9,931
ESPERANZA	93,443	92,692	17,016
LA REFORMA	54,558	54,150	6,649
LA PERLA	90,410	90,147	10,557
EVOLUCION	78,552	76,920	7,849
METROPOLITANA	81,589	81,150	6,407
MARAVILLAS	65,705	65,992	10,080
CHIMALHUACAN	116,310	115,091	23,042
CHICOLAPAN	103,923	103,603	17,308
LA PAZ	110,764	111,495	35,594
IXTAPALUCA	105,807	104,383	46,770
VALLE DE CHALCO	143,719	143,457	62,748
XICO	111,864	111,979	17,353
CALACOAYA	143,528	142,384	37,417
A. LOPEZ MATEOS	148,522	148,077	43,621
MAZA DE JUAREZ	136,268	135,978	39,584
LECHERIA	144,476	142,894	39,839
LA PIEDAD	139,014	139,823	38,713
INFONAVIT IZCALLI	109,940	109,421	19,026
CD. LABOR	165,128	164,294	65,455
UNIDAD ALBORADA	75,531	75,183	20,080
COACALCO	203,540	202,193	100,157
TEXCOCO	144,584	145,182	116,447
AREA MC IV	32,961	32,316	21,072
NICOLAS ROMERO	177,044	176,123	108,496
AREA MC I	145,695	144,665	62,026
AREA MC II	102,717	102,444	61,480
AREA MC III	153,554	152,276	84,916
FUERA DEL AREA METROPOLITANA	34,545	37,352	382

NOTA : No incluye viajes realizados por menores de 6 años.

FUENTE: INEGI, Encuesta de Origen y Destino de los Viajes de los Residentes del Área Metropolitana de la Ciudad de México, 1994.

CUADRO 4.- VIAJES DE LOS RESIDENTES DEL AMCM POR DISTRITO DE ORIGEN Y DESTINO, SEGÚN LOS 50 PARES DE DISTRITOS CON MAYOR INCIDENCIA DE VIAJES.

ORDEN DE INCIDENCIA	DISTRITO DE ORIGEN	DISTRITO DE DESTINO	NUMERO DE VIAJES
	TOTAL		20,573,725
1	NATIVITAS	LA NORIA	47,457
2	LA NORIA	NATIVITAS	46,854
3	SATELITE	SAN MATEO	32,862
4	SAN MATEO	SATELITE	32,054
5	DEL VALLE	VERTIZ NARVARTE	28,282
6	VERTIZ NARVARTE	DEL VALLE	27,245
7	POLITECNICO	LINDAVISTA	26,397
8	COL. OBRERA	ZÓCALO	25,545
9	LINDAVISTA	POLITECNICO	25,454
10	ZOCALO	COL. OBRERA	23,873
11	LA TURBA	MIXQUIC	22,950
12	MIXQUIC	LA TURBA	22,901
13	LECHERIA	LA PIEDAD	22,843
14	ECHEGARAY	SATELITE	22,207
15	CUAJIMALPA	HUIXQUILUCAN	22,020
16	LA PIEDAD	LECHERIA	21,910
17	CERRO DEL JUDIO	MAGDALENA CONTRERAS	21,816
18	HUIXQUILUCAN	CUAJIMALPA	21,571
19	SATELITE	ECHEGARAY	21,176
20	SANTA LUCIA	SAN ANGEL INN	21,148
21	VIVEROS	CIUDAD UNIVERSITARIA	21,138
22	CONDESA	ZONA ROSA	20,940
23	MAGDALENA CONTRERAS	CERRO DEL JUDIO	20,878
24	SAN ANGEL INN	CERRO DEL JUDIO	20,827
25	CERRO DEL JUDIO	SAN ANGEL INN	20,786
26	PORTALES	DEL VALLE	20,728
27	SAN ANGEL INN	SANTA LUCIA	20,670
28	ZONA ROSA	ZOCALO	20,535
29	ZONA ROSA	CONDESA	20,148
30	CIUDAD UNIVERSITARIA	VIVEROS	19,888
31	DEL VALLE	PORTALES	19,693
32	VILLA OLIMPICA	SAN PEDRO MARTIR	19,594
33	TEZOMOC	CLAVERIA	19,467
34	JARDINES DEL RECUERDO	CENTRO INDUSTRIAL	19,238
35	SAN PEDRO MARTIR	VILLA OLIMPICA	19,059
36	CLAVERIA	TEZOMOC	18,858
37	CHAPULTEPEC	LAS LOMAS	18,824
38	INFONAVIT IZCALLI	LA PIEDAD	18,741
39	CENTRO INDUSTRIAL	JARDINES DEL RECUERDO	18,586
40	LA PIEDAD	INFONAVIT IZCALLI	18,418
41	SAN ANGEL INN	CIUDAD DE LOS DEPORTES	18,196
42	CHAPULTEPEC	SANTA FE	18,057
43	SANTA FE	CHAPULTEPEC	17,765
44	PLATEROS	OLIVAR DEL CONDE	17,755
45	PEDREGAL	CIUDAD UNIVERSITARIA	17,718
46	CIUDAD UNIVERSITARIA	PEDREGAL	17,523
47	OLIVAR DE LOS PADRES	SAN ANGEL INN	17,437
48	SAN ANGEL INN	OLIVAR DE LOS PADRES	17,412
49	OLIVAR DEL CONDE	PLATEROS	17,109
50	ZOCALO	ZONA ROSA	17,082
	OTROS DISTRITOS	OTROS DISTRITOS	19,464,090

NOTA : No incluye viajes realizados por menores de 6 años.

FUENTE: INEGI, Encuesta de Origen y Destino de los Viajes de los Residentes del Área Metropolitana de la Ciudad de México, 1994

CUADRO 6.- VIAJES DE LOS RESIDENTES DEL AMCM EN UN MODO DE TRANSPORTE POR DISTRITO DE ORIGEN Y DESTINO, SEGÚN LOS 50 PARES DE DISTRITOS CON MAYOR INCIDENCIA DE VIAJES EN AUTOMÓVIL.

ORDEN DE INCIDENCIA	DISTRITO DE ORIGEN	DISTRITO DE DESTINO	NUMERO DE VIAJES
	TOTAL		4,841,906
1	VERTIZ NARVARTE	DEL VALLE	17,980
2	DEL VALLE	VERTIZ NARVARTE	17,424
3	SATELITE	SAN MATEO	17,136
4	SAN MATEO	SATELITE	16,950
5	ECHEGARAY	SATELITE	14,636
6	SATELITE	ECHEGARAY	13,868
7	CIUDAD DE LOS DEPORTES	DEL VALLE	11,374
8	DEL VALLE	SAN ANGEL INN	11,231
9	PORTALES	DEL VALLE	10,745
10	CHAPULTEPEC	LAS LOMAS	10,388
11	SAN ANGEL INN	CIUDAD DE LOS DEPORTES	10,343
12	LA PIEDAD	LECHERIA	9,476
13	LECHERIA	LA PIEDAD	8,902
14	LAS LOMAS	CHAPULTEPEC	8,855
15	DEL VALLE	PORTALES	8,746
16	DEL VALLE	CIUDAD DE LOS DEPORTES	8,348
17	POLITECNICO	LINDAVISTA	8,163
18	CONDESA	ZONA ROSA	7,960
19	CIUDAD DE LOS DEPORTES	SAN ANGEL INN	7,939
20	CIUDAD DE LOS DEPORTES	ZONA ROSA	7,701
21	DEL VALLE	VIVEROS	7,523
22	VERTIZ NARVARTE	CONDESA	7,357
23	LINDAVISTA	POLITECNICO	7,332
24	LA NORIA	COAPA	7,191
25	ZONA ROSA	CHAPULTEPEC	7,149
26	SATELITE	CALACOAYA	7,138
27	ZONA ROSA	CONDESA	7,087
28	CALACOAYA	SATELITE	7,070
29	VIVEROS	DEL VALLE	7,058
30	SAN ANGEL INN	CAMPESTRE CHURUBUSCO	6,966
31	ZONA ROSA	CIUDAD DE LOS DEPORTES	6,953
32	COAPA	VILLA OLIMPICA	6,743
33	SAN MATEO	ECHEGARAY	6,741
34	CTM CULHUACAN	COAPA	6,695
35	VIVEROS	SAN ANGEL INN	6,655
36	SAN ANGEL INN	VIVEROS	6,523
37	CONDESA	VERTIZ NARVARTE	6,501
38	SAN ANGEL INN	DEL VALLE	6,500
39	COAPA	LA NORIA	6,328
40	POLITECNICO	LA VILLA	6,267
41	VILLA OLIMPICA	CIUDAD UNIVERSITARIA	6,238
42	CHAPULTEPEC	ZONA ROSA	6,199
43	COAPA	CTM CULHUACAN	6,144
44	CIUDAD UNIVERSITARIA	VILLA OLIMPICA	6,098
45	CHAPULTEPEC	CONDESA	6,077
46	CAMPESTRE CHURUBUSCO	SAN ANGEL INN	6,008
47	ECHEGARAY	CALACOAYA	5,997
48	SANTA MONICA	MAZA DE JUAREZ	5,985
49	MAZA DE JUAREZ	SANTA MONICA	5,964
50	SAN ANGEL INN	COAPA	5,949
	OTROS DISTRITOS	OTROS DISTRITOS	4,415,305

NOTA : No incluye viajes realizados por menores de 6 años. Incluye automóviles y camionetas para uso privado.

FUENTE: INEGI, Encuesta de Origen y Destino de los Viajes de los Residentes del Área Metropolitana de la Ciudad de México, 1994

Anexo 3. Archivos incluidos en este SIG.

Este anexo contiene la lista de archivos incluidos en el cd que acompaña esta tesis, y que contienen información en el formato nativo de TransCAD.

Archivos geográficos:

Nombre del archivo	Contenido
AGEBS.DBD	Agebs correspondientes a la Delegación Benito Juárez.
CENTROID.DBD	Centroides de las ZATS de la Delegación Benito Juárez.
DISTR.DBD	Distritos de la Delegación Benito Juárez.
LD_BAL.DBD	Líneas de deseo resultantes de la distribución de viajes.
LD_HOR.DBD	Líneas de deseo resultantes de la distribución horaria.
LUGARES.DBD	Lugares de interés específico de la Delegación Benito Juárez.
SENTIDOS.DBD	Vialidades de la Delegación Benito Juárez, incluyendo sentido de circulación.
TRAZA_N.DBD	Traza urbana base para la digitalización de la red.
USO_DEF.DBD	Zonas de uso de suelo de la Delegación Benito Juárez.
ZATS.DBD	Zonas de análisis de transporte de la Delegación Benito Juárez.

Archivos de análisis:

Nombre del archivo	Contenido
BALANCE.BIN	Resultados del balance de los viajes.
EU_S.BIN	Asignación de viajes con equilibrio de usuario, desactivando vialidades principales
EU_TOD.BIN	Asignación de viajes con equilibrio de usuario, incluyendo todas las vialidades

Archivos de matrices:

Nombre del archivo	Contenido
DISTRIB.MTX	Matriz con la distribución de viajes con el método De Fratar.
FLUJO.MTX	Matriz original utilizada como base para los análisis.
HORAS.MTX	Matriz con el flujo horario de 7 a 8 a.m. convertido a vehículos por hora.

Vistas de bases de datos:

Nombre del archivo	Contenido
AUTO.DVW	Vista con los viajes atraídos y producidos, solo en el modo de automóvil.
HORARIO.DVW	Tabulación con el porcentaje de distribución de viajes.
ZAT_CORT.DVW	ZATS con las variables de interés utilizadas en el análisis.

Bases de datos:

Nombre del archivo	Contenido
AUTO_ST.DBF	Estadísticas de los viajes atraídos y producidos, solo en el modo de automóvil
HORARIO.DBF	Tabulación con el porcentaje de distribución de viajes
ST_INT.DBF	Estadísticas de los viajes internos.

Entornos de trabajo

Nombre del archivo	Contenido
BAL.WRK	Entorno de trabajo con los archivos utilizados en el balance de los viajes.
DISTRIB.WRK	Entorno de trabajo con los archivos utilizados en la distribución de los viajes con el método de Fratar.
EU_S.WRK	Entorno de trabajo con los archivos utilizados en la distribución de los viajes, con equilibrio de usuario, desactivando vialidades principales.
EU_TOD.WRK	Entorno de trabajo con los archivos utilizados en la distribución de los viajes, con equilibrio de usuario, todas las vialidades.
HORA.WRK	Entorno de trabajo con los archivos utilizados en la conversión de los viajes analizando la hora pico.
IMA.WRK	Entorno de trabajo con los archivos propuestos inicialmente para el análisis.

Mapas:

Nombre del archivo	Contenido
CENTROID.MAP	Mapa que muestra los centroides de la Delegación Benito Juárez.
EUS_FL.MAP	Mapa temático que muestra los resultados de la asignación con equilibrio de usuario desactivando vialidades principales, y resaltando el flujo total en los arcos de la red.
EUS_TI.MAP	Mapa temático que muestra los resultados de la asignación con equilibrio de usuario, desactivando vialidades principales, y resaltando el tiempo de viaje en los arcos de la red.
EUS_VC.MAP	Mapa temático que muestra los resultados de la asignación con equilibrio de usuario, desactivando vialidades principales, y resaltando la relación volumen/capacidad en los arcos de la red.
EUT_FL.MAP	Mapa temático que muestra los resultados de la asignación con equilibrio de usuario con todas las vialidades, y resaltando el flujo total en los arcos de la red.
EUT_TI.MAP	Mapa temático que muestra los resultados de la asignación con equilibrio de usuario con todas las vialidades, y resaltando el tiempo de viaje en los arcos de la red.
EUT_VC.MAP	Mapa temático que muestra los resultados de la asignación con equilibrio de usuario con todas las vialidades, y resaltando la relación volumen/capacidad en los arcos de la red.
VIALIDAD.MAP	Mapa temático que muestra las vialidades de la Delegación Benito Juárez, clasificadas por tipo.

Adicionalmente los archivos geográficos de esta lista fueron exportados a formatos compatibles con los paquetes MapInfo y ArcView. Las bases de datos y Matrices, fueron exportadas al formato de Microsoft Excel, para facilitar su consulta. Se incluyen algunos archivos en formato DXF, que sin estar en ninguno de los formatos anteriores, también pueden ser de interés.