

EL COLEGIO DE MÉXICO

CENTRO DE ESTUDIOS DEMOGRÁFICOS Y DE DESARROLLO URBANO

MAESTRÍA EN DESARROLLO URBANO

Generación 1984 - 1986

***Aplicación de modelos gravitacionales
para estimar la distribución de la
población en zonas urbanas***

Tesis que para obtener el grado de
Maestro en Desarrollo Urbano presenta:

Joel Ahumada Vargas

Director: Dr. Boris Graizbord
Lector: Dr. Carlos Garrocho

México, D.F.
Febrero, 1998

CONTENIDO

INTRODUCCIÓN

1.	EL MODELO GRAVITACIONAL.....	1
1.1.	Antecedentes: los modelos de localización de actividades.....	1
1.2.	El proceso de planeación del transporte urbano.....	9
2.	ESTRUCTURA DEL MODELO.....	17
2.1.	El modelo gravitacional simple.....	19
2.2.	El modelo de accesibilidad al centro del área de estudio.....	19
2.3.	El modelo de accesibilidad con centros múltiples.....	20
2.4.	El modelo de W. G. Hansen.....	21
3.	PROCEDIMIENTO DE CALIBRACIÓN DEL MODELO.....	23
3.1.	Modelo de accesibilidad al centro del área de estudio.....	24
3.2.	Modelo de W. G. Hansen.....	25
4.	CASO DE ESTUDIO 1:	
	Área Metropolitana del valle de México.....	28
4.1.	Insumos para la calibración del modelo.....	28
4.1.1.	Empleos (E_j).....	28
4.1.2.	Potencial de crecimiento (H_j).....	33
4.1.3.	Población (P_j).....	36
4.1.4.	Función de la distancia (d_{ij}).....	39
4.1.5.	Tiempos de viaje al centro del área de estudio.....	42
4.2.	Modelo de accesibilidad al centro del área de estudio.....	44
4.3.	Modelo de accesibilidad al centro del área de estudio con tiempos de viaje.....	46
4.4.	Modelo de W. G. Hansen.....	49
5.	ESTUDIO DE CASO 2:	
	Ciudad de Mexicali, B.C.N.....	53
5.1.	Insumos para la calibración del modelo.....	56

5.1.1. Empleos (E_j).....	56
5.1.2. Potencial de crecimiento (H_j).....	59
5.1.3. Población (P_j).....	60
5.1.4. Función de la distancia (d_{ij}).....	62
5.2. Modelo de accesibilidad al centro del área de estudio.....	64
5.3. Modelo de W. G. Hansen.....	68
6. CONCLUSIONES.....	73
6.1. Sobre los resultados del modelo.....	73
6.2. Sobre la utilidad de los resultados del modelo en el proceso de planeación de transporte urbano.....	75
6.3. Sobre el nivel de agregación de los resultados.....	75
6.4. Hacia un uso más amplio de los modelos en la planeación urbana.....	76

REFERENCIAS Y BIBLIOGRAFÍA

ANEXOS:

- ANEXO 1 Estimación de empleos para los municipios del estado de México.
- ANEXO 2 Matrices de distancias ortogonales y radiales: AMVM y Mexicali.
- ANEXO 3. Programa para la calibración del modelo de W. G. Hansen.

INTRODUCCIÓN.

Todo esfuerzo de planeación requiere del diseño de un conjunto de escenarios que representen el estado del sistema bajo estudio o una parte de éste, en los horizontes de tiempo seleccionados para la obtención de resultados específicos.

En particular, el proceso de planeación de transporte urbano de pasajeros requiere del pronóstico de un conjunto de variables que permitan determinar las características de la demanda de viajes en cada uno de los escenarios. De entre éstas, es indispensable el pronóstico de la *estructura urbana* del área de estudio, pues es un insumo para la estimación de la cantidad de viajes generados, y la forma en que estos se distribuyen en el espacio y en el tiempo. Por otra parte, es también necesaria para la evaluación y selección de las alternativas de desarrollo del sistema de transporte.

El concepto de estructura urbana se refiere a la distribución espacial de los usos de suelo al interior de las ciudades, y sus características: densidad, intensidad y dinámica, así como a las relaciones que se establecen entre los diferentes usos que se presentan en la ciudad.

Una herramienta comúnmente usada para elaborar pronósticos de la estructura urbana, son los modelos matemáticos conocidos con el nombre genérico de modelos de localización de actividades o de desarrollo urbano. La característica básica de estos modelos es que a partir de una serie de datos que describen el estado del área de estudio, establecen un conjunto de relaciones formuladas en expresiones matemáticas, que permiten estimar la forma en que la localización de algunas actividades urbanas responde a la ubicación de otras que son consideradas como rectoras de ese proceso.

Con este enfoque cuantitativo pueden analizarse diversas actividades y variables urbanas: el empleo, la vivienda, la población, y en general, las actividades económicas.

En este trabajo se usan modelos de este tipo para estimar la distribución de la población, en dos ciudades: i) el Área Metropolitana de la valle de México (AMVM), que comprende las dieciséis delegaciones del Distrito Federal, y diecisiete municipios conurbados del Estado de México, y ii) la ciudad de Mexicali, Baja California.

El primer caso de análisis surge de un trabajo realizado para la Coordinación General de Transporte (actualmente Secretaría de Transportes y Vialidad) del Departamento del Distrito Federal en 1987, como parte de un proyecto más amplio denominado "*Sistema de Planeación Estratégica del Transporte para el Distrito Federal*", con el que se pretendía sentar las bases para un proceso de planeación del transporte que integrara de una manera más específica la interacción de este sistema con las características de desarrollo urbano de la ciudad.

El segundo caso de estudio retoma una parte de la información generada durante la realización del Estudio Integral de Vialidad y Transporte Urbano de la ciudad de Mexicali, elaborado para la Secretaría de Desarrollo Social (SEDESOL), por la Universidad Autónoma de Baja California en 1994.

El objetivo del trabajo no es comparar los resultados específicos obtenidos para ambos casos de estudio. De hecho la selección de las ciudades se hizo más con base en la disponibilidad de la información necesaria para la aplicación del modelo - la cual no es fácil de obtener -, que con el propósito de generar conclusiones derivadas de las diferencias en los resultados obtenidos.

Esto no quiere decir que una comparación de esta naturaleza no sea útil; sin embargo, se requiere de la aplicación del modelo en mucho más de dos casos de estudio para que las conclusiones sean válidas. En este sentido, el trabajo se limita a probar la factibilidad de aplicación del modelo gravitacional, y a definir de manera clara las técnicas de calibración requeridas.

El presente trabajo consta de cinco capítulos: en el primero se hace una descripción general de los modelos de tipo gravitacional, que han sido ampliamente usados para estimar la distribución de la población; se presenta una breve reseña de la evolución de estos modelos, y a partir de la caracterización del proceso de planeación del transporte urbano, se ubican los pronósticos de población y su distribución física en tal proceso. En el

segundo capítulo se hace una revisión de la estructura matemática de algunos modelos de tipo gravitacional, y se identifican los que se usan en el presente trabajo.

En el tercer capítulo se describen con detalle los procedimientos de calibración de los modelos seleccionados. Finalmente, en los capítulos 4 y 5 se presentan los resultados obtenidos para cada uno de los casos de estudio, y en el capítulo 6 se presentan las conclusiones del trabajo.

En general, se parte de dos consideraciones básicas:

- a) Que los modelos matemáticos deben tratarse solamente como una herramienta para el análisis de los fenómenos urbanos, es decir, no se les aborda como un fin en sí mismo, sino como parte de un proceso analítico para la comprensión de esos fenómenos. De hecho, se asume que la utilidad de los modelos reside no solamente en los resultados que se obtienen, sino también en la posibilidad de que, durante el proceso de su construcción y el análisis de la información, permiten establecer con claridad cuáles son las relaciones entre las variables bajo estudio.
- b) Si bien este trabajo tiene una orientación específica (dado que se desarrolla como insumo para la planeación del transporte urbano del AMVM), esto no implica que el uso potencial de los modelos gravitacionales aplicados al análisis de la distribución espacial de la población, se restrinja estos procesos. La planeación de los servicios urbanos -electricidad, agua potable, infraestructura vial, educación, etc.- requiere en todos los casos de estas estimaciones; la distribución física de la población es requisito para todo esfuerzo de planeación urbana.

Con base en los resultados obtenidos, se llega a la conclusión de que si bien este tipo de herramientas resultan a veces complejas tanto en su construcción como en el proceso de obtención y análisis de la información, son una posibilidad real como apoyo para las actividades de planeación urbana.

1. EL MODELO GRAVITACIONAL.

Los primeros antecedentes del uso de modelos matemáticos para explicar la localización de las actividades datan del siglo pasado; desde entonces, ha habido una preocupación creciente por incorporar el uso de modelos de esta naturaleza en los esfuerzos de planeación regional y urbana.

Con el auge de la planificación global y la programación sectorial en la década de los sesentas, se pone énfasis en la eficiencia económica de las decisiones del sector público, lo que origina una mayor necesidad del uso de herramientas que permitan dar al proceso de planeación un sustento formal. Es en este momento cuando se presenta el mayor auge en el desarrollo de herramientas analíticas para el estudio de algunos fenómenos urbanos; particularmente los conceptos en que se basa el modelo gravitacional -probada su capacidad para representar tales fenómenos-, se usan en forma intensiva por ejemplo, para la planeación del transporte urbano.

1.1. ANTECEDENTES: LOS MODELOS DE LOCALIZACIÓN DE ACTIVIDADES.

Para simular la localización de las actividades y el comportamiento de otras variables en el ámbito urbano, se han obtenido resultados satisfactorios con la aplicación de diferentes tipos de modelos, por ejemplo, modelos de regresión múltiple, modelos de oportunidad, modelos basados en el gradiente de densidad de saturación, y algunos otros más comunes que se basan en el concepto de accesibilidad, como el gravitacional, llamado así por su semejanza con el modelo de la gravitación universal de Newton.

El modelo gravitacional es un modelo de asignación de actividades, y por lo tanto tiene sus antecedentes en la teoría microeconómica. Según Pierre Moran (Derycke, 1971, pág. 51), en

las teorías o modelos de localización basadas en el análisis económico urbano, deben distinguirse tres modalidades en el tratamiento del espacio:

- "El espacio concebido como *una distancia* a vencer por el transporte, lo que explica [las características] y los límites de las primeras teorías de localización;
- el espacio concebido como *una superficie* sobre la cual se dibujan zonas de atracción y que recorren líneas de potenciales...;
- el espacio concebido como *un lugar* capaz de ordenación a los menores costos."

Estas modalidades son indicativas de la evolución conceptual de los modelos y teorías económicas que intentan explicar la localización urbana.

El modelo de Von Thünen (1826), es el primer intento consistente de representar la estructura del espacio rural en términos de su relación con el medio urbano; trata de explicar la ubicación de las áreas de cultivo alrededor de una zona central que constituye el mercado de los bienes, a través de los costos de producción, de los precios de los bienes en el mercado, y de los costos de transporte (asociados a la distancia que separa el sitio de producción con el mercado). La variable de decisión es el excedente obtenido por cada uno de los productores que compiten en el mercado de la tierra; de esta forma, cada productor estará dispuesto a pagar a los propietarios de la tierra, una renta tal que les permita obtener un excedente (E_j), calculado como: $E_j = q [p - (c - k d_{ij})]$, en donde q es la cantidad de bienes producidos por unidad de tierra, p el precio de venta, c el costo de producción, k el costo de transporte por unidad de distancia, y d_{ij} la distancia desde j hasta el lugar de mercado. Así, los lugares de menor renta serán los que estén más alejados del mercado.

En 1909, basado en la obra de Laundhardt, Weber propone una teoría de localización industrial que se basa en la minimización de los costos de transporte, combinando los costos de distribución de la producción hacia el mercado de consumo, y los costos de transporte desde la fuente de las materias primas (Chorley y Haggett, 1971, pág. 310). Weber incorpora a su teoría los factores de trabajo y aglomeración: al respecto indica que el trabajo o las economías de aglomeración determinarán la localización espacial de la industria, siempre y cuando los ahorros obtenidos por unidad de producción, excedan al costo marginal de transporte asociado a la nueva decisión de localización. Este modelo clasifica a la industria en 14 tipos, tomando en cuenta los pesos de productos desplazados, coeficientes de trabajo y economías de aglomeración; de esta forma, para cada tipo de industria determina una orientación de la localización hacia el mercado, al trabajo o a la aglomeración.

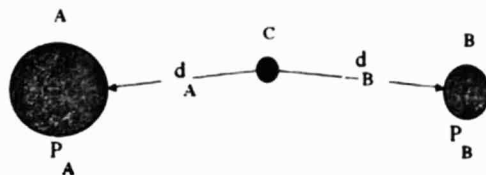
Para 1933, el geógrafo alemán Christaller propone una teoría conocida como "del lugar central" según la cual las ciudades con un mínimo nivel de especialización se hallan distribuidas uniformemente y están rodeadas de áreas de influencia regulares y de forma hexagonal. A cada grupo de seis ciudades de este tipo (ubicadas en los vértices del hexágono), corresponde una ciudad de mayor extensión y nivel de especialización (ubicada en el centro del hexágono), la que a su vez, equidista de otras ciudades con el mismo grado de especialización. Así, la distribución espacial de las ciudades se basa en el concepto de la jerarquía, asociada al grado de especialización de los núcleos urbanos, es decir, en el 'principio de mercado', en donde el factor de localización es la necesidad de que los lugares centrales estén relativamente cerca de los consumidores.

En 1940, Lösch, basado en la idea de que buscar la localización de mínimo costo es tan absurda como buscar el punto de máximas ventas (Chorley y Haggett, 1971, pág. 322), intenta encontrar la ubicación de máximo beneficio comparando los costos de producción en sitios alternativos, y el área de mercado que puede ser controlada desde esa ubicación, asumiendo -a diferencia de Weber- que los beneficios dependen más de los niveles de las ventas que de los costos de producción y transporte, es decir de la cercanía a los mercados de consumo. Así, llega a una configuración de abastecimiento basada en zonas hexagonales similar al planteamiento de Christaller, sólo que bajo este esquema la configuración espacial de las ciudades no genera un sistema estratificado (Johnson, 1974, pág. 143), sino más bien un continuo de centros urbanos con una formación de hexágonos superpuestos más compleja que la de Christaller.

Siguiendo esta misma línea, Wingo en 1961, y posteriormente Alonso en 1964, aplican estos mismos conceptos para explicar la localización de las actividades residenciales al interior de las áreas urbanas.

En lo que se refiere específicamente al uso del modelo gravitacional, Reilly aplicó en 1929 esta estructura matemática para definir la atracción de las ciudades sobre los compradores al menudeo (trabajo que dio lugar a la llamada Ley de Reilly); esta establece una relación según la cual puede identificarse la frontera de los mercados correspondientes a dos ciudades contiguas. De acuerdo con su hipótesis (Krueckeberg y Silvers, 1971, pág. 354), los consumidores que se ubican entre dos ciudades A y B, son atraídos hacia A o B en relación directa a sus poblaciones relativas (P_A/P_B), y en relación inversa con el cuadrado de la

distancia relativa del punto en que se ubican los compradores a ambas ciudades $(d_B/d_A)^2$, en un sistema como el que se muestra en la siguiente figura.



Así, se elige como lugar para hacer las compras al menudeo, aquel que tenga una mayor atracción relativa, y el punto en el que se equilibran las atracciones de ambas ciudades es donde se cumple que $(P_A/P_B) \cdot (d_B/d_A)^2 = 1$. De esta forma, la razón de las ventas entre las ciudades A y B, se determina con:

$$(V_A/V_B) = (P_A/P_B) \cdot (d_B/d_A)^2$$

en donde V_A y V_B son las ventas al menudeo de las ciudades A y B, y d_A y d_B las distancias del punto C (donde se ubican los compradores) a A y B respectivamente.

Si se supone que $d_B = d_A$, entonces la atracción potencial de A sería mayor que la de B, dado el mayor tamaño de la primera; este es el principio básico del modelo gravitacional, en el que interactúan siempre dos variables, independientemente de su estructura: por un lado una variable "atractora", definida en el caso del ejemplo como la población de cada ciudad, y por otro, la distancia o una variable que implica una resistencia al movimiento.

Son diversos los trabajos que se elaboran a partir de esta idea, aplicando estos conceptos para explicar algunos fenómenos sociales en el ámbito urbano e interurbano; después del trabajo de Reilly, Stewart en 1941, explica que la matrícula estudiantil en diversas universidades, es atraída en razón directa de la población blanca de cada Estado, y en razón inversa de la distancia; por otra parte, Zipf, a partir de 1946, publica varios trabajos en los que analiza diversas variables: el número de pasajeros por ferrocarril entre dos ciudades, el número de llamadas telefónicas, los volúmenes de mercancías, el área de difusión de la prensa, entre otros.

Si bien estos autores parten de los mismos principios aplicados por Reilly, abordan de manera más amplia el sustento teórico de la transferencia del concepto gravitacional - aplicado en principio a fenómenos físicos-, a los fenómenos sociales, lo que en sus inicios fue uno de las principales críticas al uso de este tipo de modelos.

Una de las debilidades teóricas de las primeras aplicaciones era la transferencia directa del exponente de la distancia; al respecto Zipf, utiliza expresiones en las que este exponente es distinto para aplicaciones a diferentes fenómenos: por ejemplo, en su forma más simple, utiliza la siguiente expresión para el caso de los servicios de transporte:

$${}^kN_{ij} = [(P_i P_j)/D_{ij}]^\alpha$$

en donde: N_{ij} Número de viajes realizados en el modo de transporte k , entre las ciudades i y j ,
 P_i, P_j Población de las ciudades i y j ,
 d_{ij} Distancia entre i y j , y
 α exponente que representa la elasticidad específica del modo de transporte k .

El exponente α se obtiene con base en el comportamiento de las variables que tratan de modelarse, y por lo tanto los valores resultantes de los procedimientos de calibración corresponden específicamente a esos fenómenos.

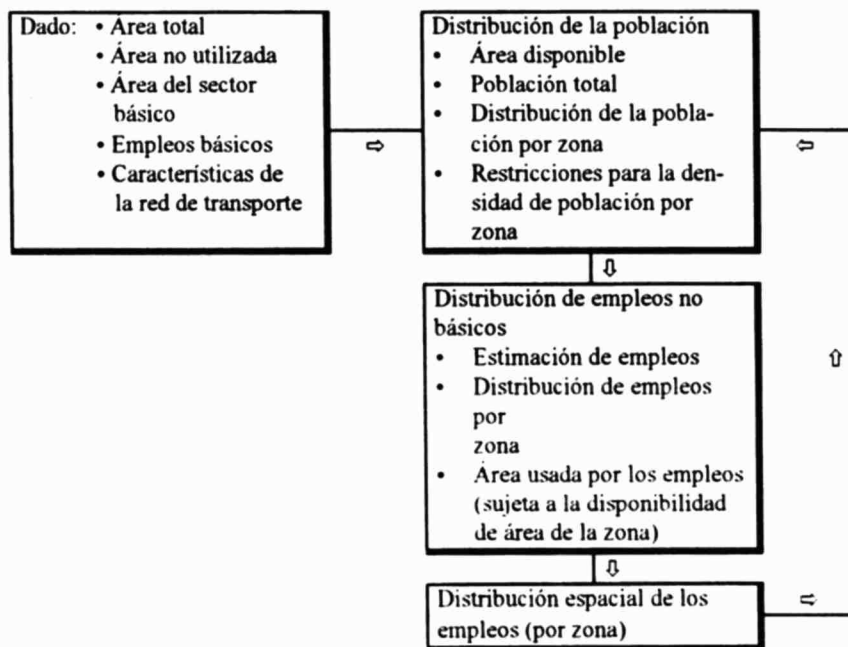
Así, entre otros trabajos, los de Stewart y Zipf superan las limitaciones de la aplicación de Reilly, al considerar más de dos polos urbanos y funciones de la distancia que incorporan las dificultades intrínsecas de los sistemas de transporte para comunicar más de dos ciudades que no están unidas linealmente. Es a partir de entonces que las aplicaciones del modelo gravitacional se usan para describir fenómenos urbanos y regionales cada vez más complejos, debido no solo a la posibilidad de incorporar nuevas variables, sino también al uso amplio de las computadoras en el procesamiento de la información y en la calibración de los modelos.

Para el análisis de la distribución espacial de la población en zonas urbanas, uno de los modelos que más se han aplicado es el desarrollado por Lowry para la región de Pittsburg en 1964, que parte de dos supuestos que ya habían sido probados por otros autores (Johnson, 1974, pág. 257): el primero se refería a la relación entre el lugar de trabajo y el lugar de residencia, asumiendo que la densidad de la población urbana disminuía de una manera lógica alrededor de los centros de trabajo; el segundo supuesto fue desarrollado a partir de la ley de Reilly, considerando que la localización y los niveles de empleo del sector terciario estaba determinada por la accesibilidad a los clientes finales, es decir por la distribución espacial de la población.

El modelo considera tres sectores en el área urbana: población, empleos básicos y empleos no básicos. La distribución espacial de los empleos básicos (previa zonificación del área de estudio) se consideró como variable exógena, es decir como un dato; con esta base, se estimó la distribución de la población por zona, considerando la capacidad de captación de cada una, la cual dependía de la superficie urbana disponible y de la densidad de población que a su vez dependía de la accesibilidad a los empleos básicos.

Una vez distribuida la población se estimó al distribución correspondiente de los empleos no básicos (del sector terciario), asociados a la distribución estimada de la población. Al sumarse estos empleos a los empleos básicos de cada zona, se aplicó nuevamente el modelo para asignar a cada zona las viviendas de estos trabajadores. De esta forma se hicieron aplicaciones sucesivas del modelo, hasta que los incrementos de la población no básica no eran significativos; su estructura se presenta en la figura 1.1 (Wilson, 1974, pág. 224).

Figura 1.1. Estructura del modelo de Lowry.



Para cada una de estas etapas se desarrollaron modelos matemáticos con los que se asignaba tanto la población como los empleos no básicos a cada zona, utilizando restricciones para asegurar que los resultados estuvieran dentro de la lógica de la ciudad. Por supuesto que la aplicación de este modelo requería de una gran cantidad de información con adecuados

niveles de agregación. Por ejemplo, el área total de cada zona se asignaba a cuatro usos diferentes con base en la siguiente expresión (Mohan, pág. 77):

$$A_j = A_j^U + A_j^B + A_j^R + A_j^H$$

en donde: A_j área total de la zona j,
 A_j^U área no utilizada,
 A_j^B área usada por el sector básico,
 A_j^R área disponible para los empleos del sector no básico,
 A_j^H área disponible para la población (viviendas).

De la misma forma, los empleos del sector no básico se dividieron en subsectores correspondientes a diferentes tipos de servicios requeridos por la población asignada en cada zona.

Otros autores desarrollaron modelos más simples basados también en el supuesto de que la población se distribuye en función de la distribución espacial de los empleos. Uno de estos es el de Hansen, el cual se describirá con detalle en la sección 2.4.

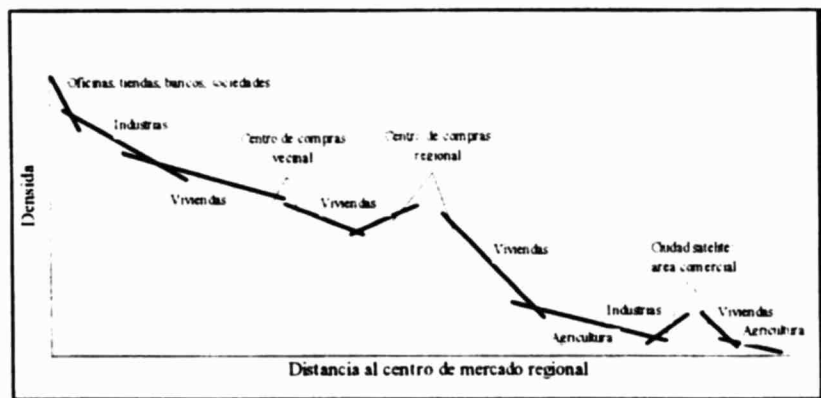
Los modelos descritos anteriormente, y en general todos los modelos de localización de actividades urbanas parten del supuesto de que existe cierto grado de orden en el comportamiento espacial de las ciudades; la base de este supuesto se manifiesta en seis premisas que aparecen implícitas en la mayoría de los modelos (Chorley y Haggett, 1971. pág. 214-217):

1. *"La distribución espacial de la actividad humana refleja una adaptación ordenada al factor distancia"*: el concepto de la distancia es flexible en el análisis urbano, y se adapta a las condiciones de la aplicación específica; de esta forma se hace uso de distancias lineales y no lineales, tiempos de viaje, costos de transporte, así como de relaciones que han sido particularmente útiles, como las de densidad/distancia, renta/distancia y valor del suelo/distancia.
2. *"Las decisiones de localización se toman, en general, de manera que se pretende hacer mínimo el efecto de la fricción debido a la distancia"* (lo que se conoce como el principio del mínimo esfuerzo).
3. *"Todas las localizaciones tienen un cierto grado de accesibilidad, pero algunas localizaciones son más accesibles que otras"*. "En sentido técnico, la accesibilidad es una cualidad relativa asociada a una parcela de terreno en virtud de su relación con el

- sistema de transporte. En un sentido operacional, es la cualidad variable de la centralidad o cercanía a otras funciones y localizaciones".
4. *"Las actividades humanas tienden a aglomerarse para aprovechar las ventajas de las economías de escala"*. "... las aglomeraciones son puntos nodales en el paisaje económico originadas por las fuerzas centrípetas de la organización espacial. La concentración de las actividades ... puede considerarse como un reflejo de las economías de escala...", pero para efectos de análisis, lo importante es el continuo de aglomeraciones dentro del ámbito urbana, y la forma en que estas interactúan entre sí.
 5. *"La organización de la actividad humana tiene carácter esencialmente jerárquico"*, tal jerarquía se define en términos de la accesibilidad, y la tendencia a la aglomeración que tienen algunas funciones y localizaciones: "...sobre las localizaciones más accesibles se producen las mayores aglomeraciones".
 6. *"El asentamiento humano tiene carácter focal"*. "Esta noción es la base del concepto de región nodal o funcional, y es básica ... para explicar el espaciamiento superficial de ciertas actividades"; los nodos alrededor de los cuales se concentran las actividades urbanas, se organizan en forma jerárquica tanto espacial como funcionalmente.

Estas características resaltan el hecho de que la ciudad es un espacio físico que presenta cierto orden, que puede ser representado por medio de funciones matemáticas. Son muchos los investigadores que han presentado evidencias al respecto, trabajando con diversas variables. Nourse (1969, pág. 153) presenta un ejemplo hipotético sobre el comportamiento de la renta urbana para diversas actividades; el cual puede usarse también para describir el comportamiento de la densidad de los usos de suelo (figura 1.2). Dada su estructura y sus supuestos básicos, el modelo gravitacional es particularmente útil para representar este tipo de comportamiento.

Figura 1.2.
Comportamiento de la densidad urbana.



1.2. EL PROCESO DE PLANEACIÓN DEL TRANSPORTE URBANO.

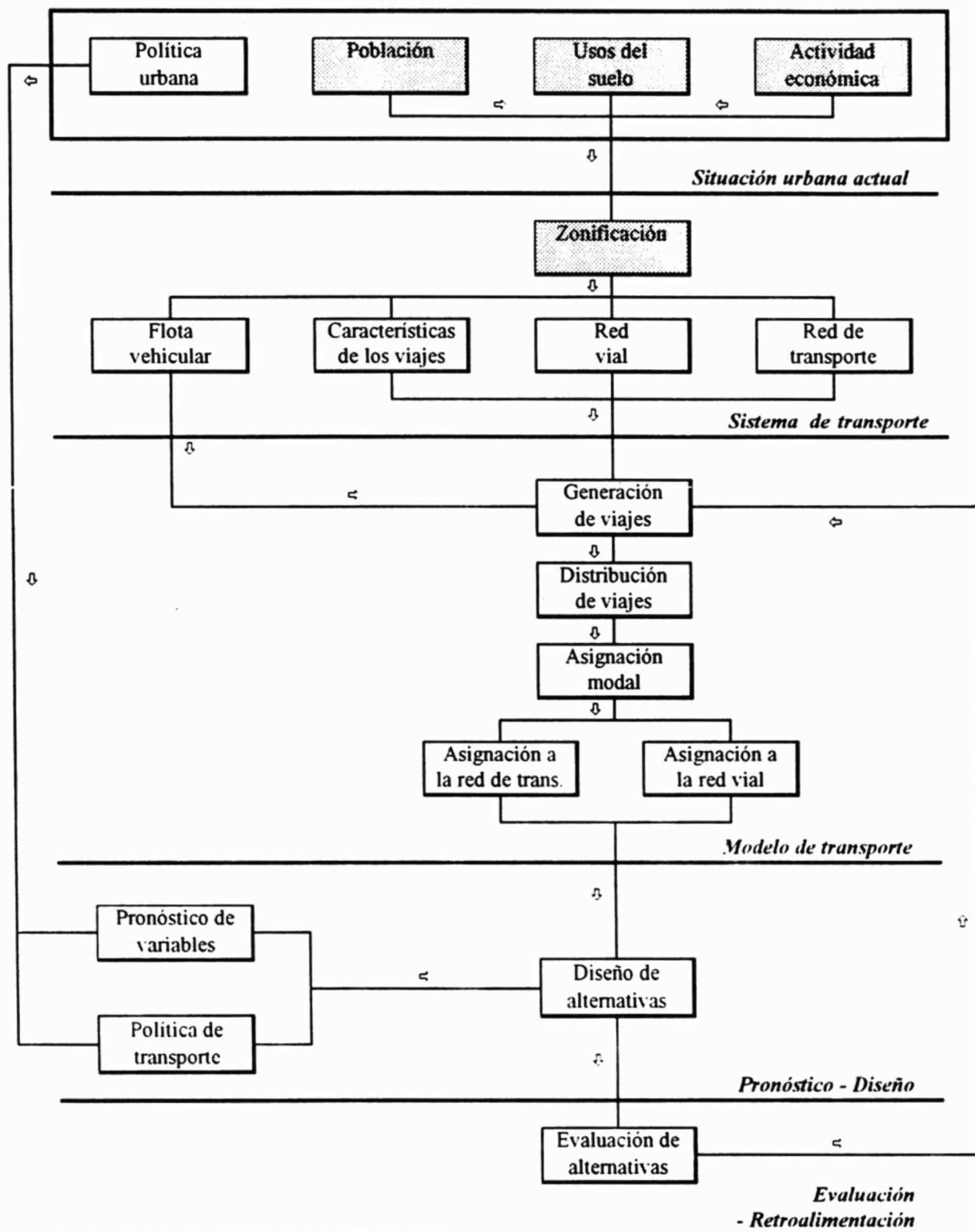
Existe una relación muy estrecha entre los modelos de desarrollo urbano y el proceso de planeación del transporte. Como ya se indicó, para este proceso es necesario estimar un conjunto de variables que tienen que ver con las características del área urbana en estudio, y con las características de la demanda de viajes de los usuarios de transporte público y privado; una de las variables que determinan esta demanda es la distribución espacial de la población.

El uso de modelos matemáticos es frecuente como apoyo para la definición de las acciones que son resultado de un proceso de esta naturaleza. En el caso particular del transporte de pasajeros, la complejidad de los modelos depende del enfoque o proceso que se utilice para la planeación del sistema, y en particular de las características de los modelos para el análisis de la demanda.

Estos modelos corresponden a alguna de las dos generaciones siguientes (Britton, 1975, pág. 139): La primera, en la que la configuración y características de los modos de transporte se diseñan de acuerdo a una estructura de usos de suelo que se determina exógenamente, y la segunda, en la que tanto los usos de suelo como los modos de transporte se distribuyen simultáneamente mediante la identificación y representación explícita de las interrelaciones entre ambos sistemas.

Ambas generaciones de modelos se orientan fundamentalmente a determinar las características del sistema de transporte, de tal forma que satisfaga la demanda generada por la distribución de los lugares de asentamiento de la población y de sus actividades en los escenarios de planeación. En los de la primera generación, dicha distribución es determinada exógenamente mediante la aplicación de modelos u otras herramientas, y posteriormente, mediante modelos para el análisis de la demanda, se diseña el sistema de transporte de manera relativamente independiente; es decir, no existe interrelación formal entre la fase de pronóstico del crecimiento urbano con la del transporte. El esquema de operación de este tipo de modelos se presenta de manera simplificada en la figura 1.3.

Figura 1.3. Proceso general de planeación del transporte urbano.
(Modelos de la primera generación).



De acuerdo con este esquema, la primera etapa es el análisis de la situación urbana actual: la distribución de la población, los usos de suelo y las actividades económicas presentes en la ciudad. Con esta base, en la segunda etapa se analizan la oferta y demanda de transporte, actividades que conllevan la realización de inventarios y encuestas dirigidas específicamente a identificar las variables relevantes del sistema de transporte. En la siguiente etapa se utilizan modelos matemáticos para simular el comportamiento del sistema, los que, una vez calibrados, permiten evaluar posibles mejoras en el transporte y la vialidad.

Una ampliación importante en los alcances de los modelos de la primera generación se ha logrado mediante un incremento en la complejidad de la "función de accesibilidad", y de los procedimientos de cálculo de las variables que la conforman, lo que ha permitido hacer evaluaciones de los efectos del crecimiento de las redes de transporte en el crecimiento de las ciudades, aunque a un nivel no muy avanzado.

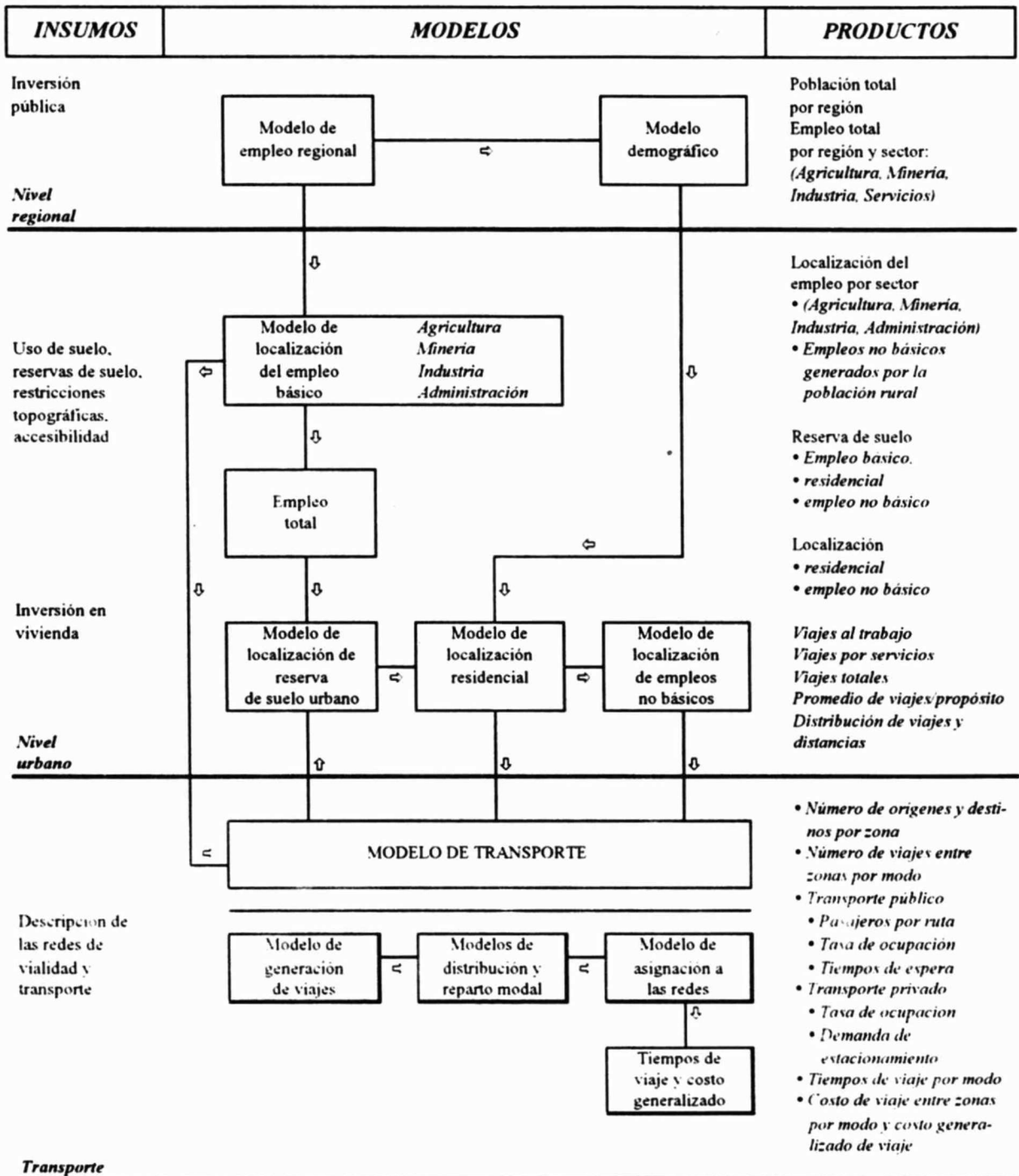
Los modelos de la segunda generación, por su parte, se desarrollan mediante el establecimiento de interrelaciones entre el sistema de transporte y los procesos de localización de las actividades de manera explícita, lo que les permite integrarlos en un proceso que proporciona resultados sobre ambos aspectos, es decir, asigna las actividades en las zonas del área de estudio, y especifica algunas características del sistema de transporte -a través de los resultados de la función de accesibilidad-, las que a su vez modifican nuevamente los resultados del modelo de asignación de actividades.

Este tipo de modelos se hace posible como resultado de los trabajos de Lowry a principio de la década de los sesentas. El trabajo se desarrolló para la región de Pittsburgh; posteriormente, un grupo de trabajo dirigido por Marcial Echenique, elaboró modelos con la misma base conceptual para las ciudades de Caracas, Venezuela y Santiago, Chile.

A manera de ejemplo, se presenta en la figura 1.4 el esquema de operación del modelo usado para la ciudad de Santiago.

Una base común entre los modelos de ambas generaciones, es el tratamiento usado para el análisis de la oferta-demanda de transporte en la ciudad, es decir, la forma en que se construye el modelo de transporte.

Figura 1.4. Estructura del modelo de Santiago.



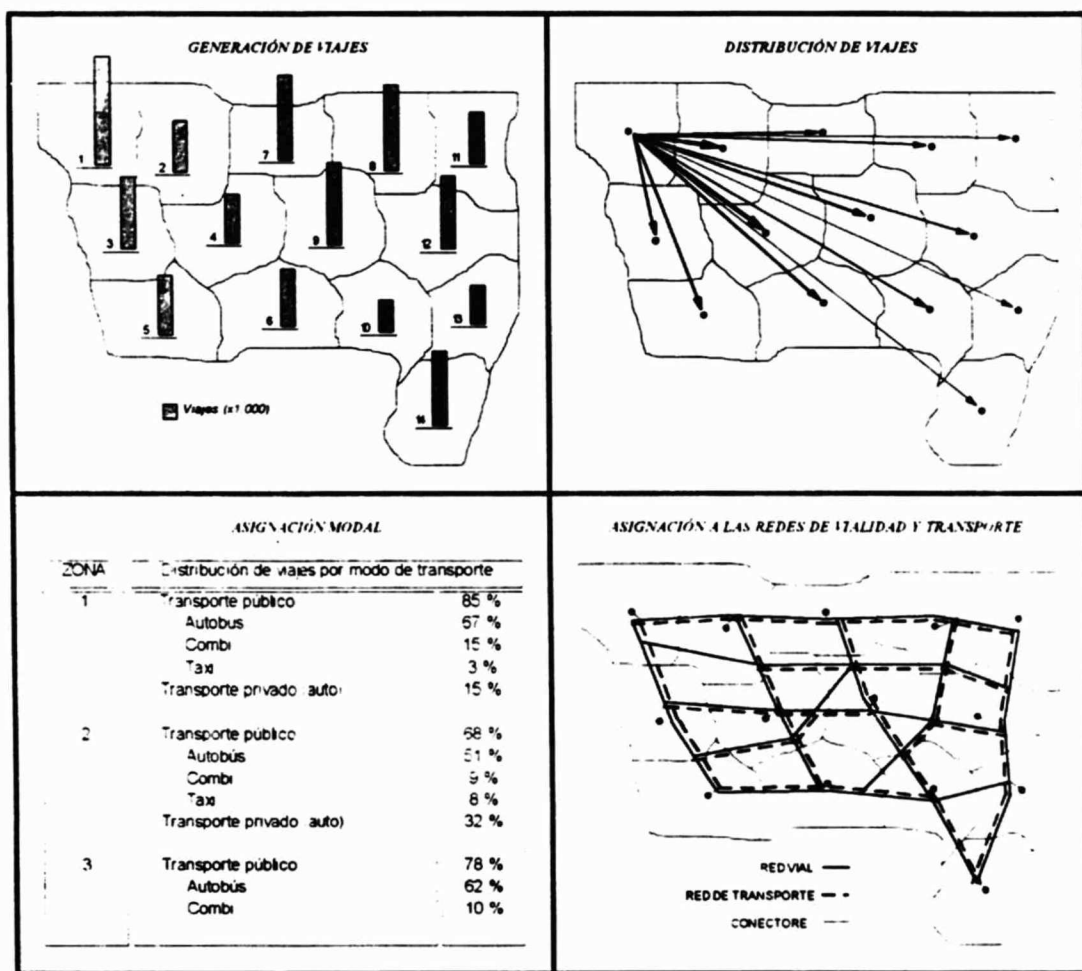
Nota: El empleo básico es el que corresponde a los sectores de: Agricultura, minería, industria y administración. El no básico corresponden al sector servicios.

Los modelos de transporte separan el proceso en cuatro fases:

- *Generación de viajes*, en la que se estima la cantidad de viajes producidos en cada unidad de análisis (zonas, en nombre genérico), en que se divide al área de estudio;
- *Distribución de viajes*, en la que se determina la forma en que estos viajes se distribuyen entre las diferentes zonas;
- *Selección o asignación modal*, en la que se asignan los viajes a los modos o modalidades de transporte disponibles, y
- *Asignación*, en la que los viajes se asignan a las redes de vialidad y transporte público existentes en el área de estudio.

En la figura 1.5 se presentan en forma esquemática estas fases.

Figura 1.5. Esquema general del modelo de transporte de cuatro fases.



Para la aplicación de estos modelos, resulta necesario definir escenarios alternativos para cada uno de los horizontes de planeación seleccionados para la obtención de resultados, mediante la elaboración de pronósticos, de tal suerte que sea posible estimar la distribución de la población, pues esta variable resulta necesaria para estimar la demanda de transporte, con la aplicación de los modelos de generación y distribución de viajes. A manera de conclusión, la diferencia entre los modelos de la primera y segunda generación, es que en el primer caso, los pronósticos de la distribución espacial de las actividades se hacen de manera exógena, mientras que en el segundo, se hacen internamente, mediante la formulación de submodelos que permiten definir los efectos del sistema de transporte en dicha estructura.

En los dos casos de estudio que se presentan más adelante, se parte de la consideración de que en la planeación del transporte urbano, se usan los modelos de la primera generación. Hay dos razones básicas para el uso de estos modelos: en primer lugar, son los que tradicionalmente se han usado en el país; los primeros intentos formales de planeación del transporte en la ciudad de México - para la definición de las rutas del Metro -, se basaron en este esquema. Por otra parte, prácticamente todas las herramientas computacionales disponibles para estos propósitos se basan en el mismo concepto. En segundo lugar, los modelos de la segunda generación son mucho más complejos y requieren de información más detallada -la mayor parte de ella no está disponible o no es fácil de obtener-.

De esta forma, el proceso de planeación del transporte que sirve de marco de referencia para el uso de los modelos que se describen en el presente trabajo, es el que se muestra en la figura 1.3, en la cual se indican con una pantalla las actividades que son necesarias para la calibración de los modelos gravitacionales

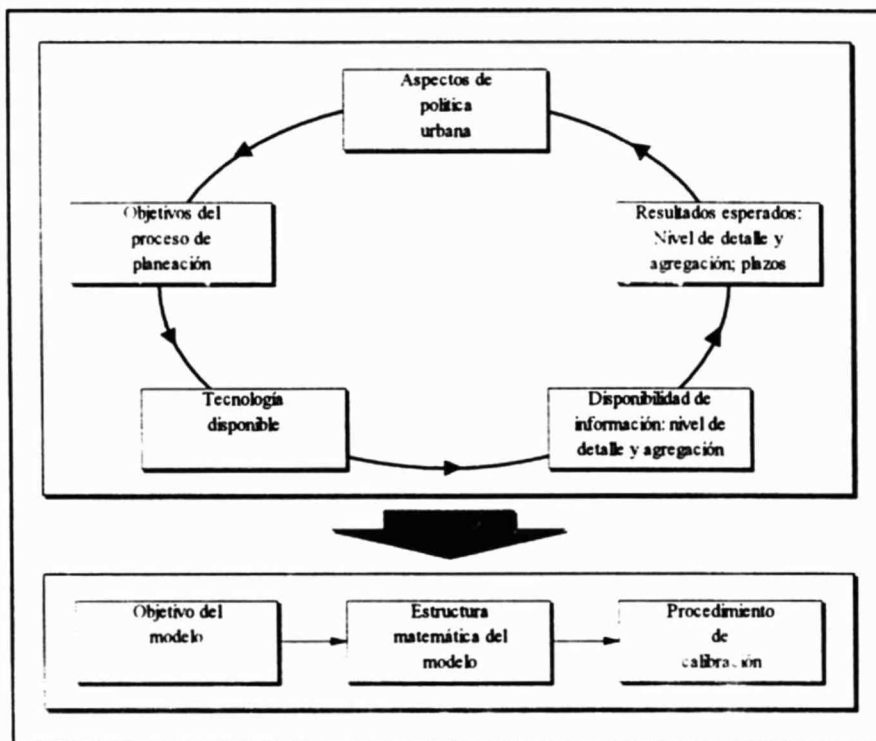
Como ya se ha indicado, los resultados del modelo que se presenta en este trabajo, sirven como insumo para estas dos fases del modelo de transporte, y por lo tanto, la orientación de éstos define sus alcances y objetivo. Los estudios específicos de transporte están orientados a la captación de información de los viajes que realiza la población y, por lo tanto, los modelos mencionados deberán tener ésta misma orientación.

La definición precisa del objetivo del modelo es muy importante puesto que de él depende la forma en que éste debe insertarse en el proceso de planeación, así como la utilidad de sus resultados. En particular, es necesario para seleccionar las variables a incluir en el modelo.

para seleccionar o diseñar la estructura matemática de su o sus funciones y para especificar con suficiente nivel de detalle los resultados esperados.

El objetivo concreto de un modelo relacionado con las variables urbanas, su estructura matemática y por lo tanto los procedimientos de calibración, dependen de la interrelación entre los objetivos del proceso de planeación, de la información disponible, de los resultados esperados y de otros aspectos, que se indican en la figura 1.6.

Figura 1.6. Relación entre el proceso de planeación y el objetivo del modelo.



Debido a que la gama de opciones disponibles para definir el objetivo del modelo no es muy amplia y a la complejidad del proceso, cualquier variación pequeña en sus alcances tiene implicaciones importantes en la cantidad de recursos necesarios para su obtención (NBER, 1974, pág. 18). Esta gama se inicia con el objetivo menos complejo que es el de obtener un pronóstico de la distribución de la población en el área de estudio, que sirva como base para el diseño de configuraciones opcionales del sistema de transporte, de tal forma que se satisfagan los requerimientos futuros generados por la ubicación y características de la población. El objetivo más complejo podría enunciarse como el desarrollar una serie de herramientas de planeación que permitan identificar las relaciones funcionales entre las

actividades urbanas, y entre éstas y los diferentes servicios urbanos, con el propósito de diseñar planes globales de desarrollo.

Entre estos extremos pueden considerarse otros objetivos puntuales orientados al análisis parcial o global de variables o problemas específicos. De hecho, existen ejemplos de modelos orientados a la estimación de la demanda de servicios urbanos adicionales al de transporte, como la ubicación de escuelas, la distribución de servicios públicos como drenaje y suministro de energía eléctrica, entre otros.

Con estos elementos, el objetivo del presente trabajo es aplicar el modelo gravitacional para estimar la distribución de la población, de tal suerte que sea posible obtener pronósticos de esta variable, como insumo para el proceso de planeación del transporte urbano, considerando como base los modelos de la primera generación descritos anteriormente.

Sin embargo, debe tenerse en cuenta que las aplicaciones de estos modelos no se limitan al ámbito del transporte; como ya se indicó, la distribución espacial de la población es un insumo necesario para diversos ejercicios de planeación urbana, por lo que las aplicaciones potenciales de herramientas de esta naturaleza son mucho más amplias.

2. ESTRUCTURA DEL MODELO.

La mayor parte de los modelos de asignación de la población se basan en el concepto de interacción-accesibilidad, entre las actividades que se desarrollan comúnmente en las áreas urbanas. Como ya se ha dicho, este concepto indica que algunas actividades tienden a agruparse o localizarse en función de su "cercanía" relativa a otras, que presentan ciertas características de atracción.

En el proceso de selección de sitios para la ubicación espacial de las actividades urbanas se aplican diversos criterios, de tal suerte que se selecciona la que responde de la mejor manera a ciertas expectativas; sin embargo hay diversas restricciones que determinan esa selección. En lo que se refiere a las viviendas, un trabajo elaborado en 1962 para la ciudad de Greensborro identificó 14 factores principales para la selección de los lugares de asentamiento, entre los que se incluía la disponibilidad de terreno y la accesibilidad al centro de la ciudad; posteriormente, mediante estudios de regresión se redujo la lista inicial a 4 aspectos que se identificaron como relevantes para este proceso de selección (Chapin, F. S., 1965):

- La accesibilidad a las zonas de empleo.
- La distancia a una carretera principal.
- La distancia a una escuela primaria.
- El servicio de alcantarillado.

Por supuesto que estos factores no son transferibles a todos los casos; sin embargo Heally (1975, pág. 63) menciona cuatro aspectos básicos para el mismo proceso:

- Las condiciones físicas del sitio (la infraestructura disponible y la dotación de servicios, entre los que se incluye el transporte), que están asociadas de alguna manera con las preferencias subjetivas de la población, determinadas a su vez por aspectos económicos y culturales.
- El número de lugares vacantes o disponibles en el sitio.

- El "costo de localización", es decir, el costo que implica trasladarse al sitio seleccionado. Este costo se mide comúnmente en términos del tiempo y costo del viaje a los lugares de empleo, aunque pueden incorporarse otras medidas como el confort y la confiabilidad de los modos de transporte disponibles.
- El costo o renta de los lugares vacantes en el sitio seleccionado.

En ambos trabajos hay elementos comunes: la accesibilidad a los empleos, la infraestructura de la zona y el número de lugares vacantes (disponibilidad de terreno o de vivienda). A manera de conclusión, para la aplicación de estos modelos, se requiere de dos insumos básicos. En primer lugar, la distribución espacial de las actividades que "atraen" o determinan la ubicación de la población; en la mayor parte de los casos se considera que ésta tiende a ubicarse en los lugares más accesibles a los centros de empleo, como una forma de reducir los costos de localización.

En segundo lugar, la distribución espacial de los lugares vacantes; conforme las ciudades crecen, los áreas cercanas al centro o centros de actividades, tienden a saturarse rápidamente por lo que es necesario facilitar la accesibilidad de áreas más lejanas con medios de transporte adecuados. Es en este proceso en el que se establece una relación estrecha entre las funciones de planeación del desarrollo urbano y del transporte; los planes de desarrollo urbano implican necesariamente la determinación de las áreas susceptibles de crecimiento en las zonas urbanas, junto con especificaciones detalladas respecto a las densidades de población y la dotación de servicios e infraestructura.

Estos dos insumos definieron de alguna manera las variables a partir de las cuales podría definirse la estructura del modelo. Para este propósito se partió de dos consideraciones; el objetivo del trabajo, ya enunciado, y la disponibilidad de información. Con estos elementos se hizo una selección de los modelos que podrían aplicarse. En particular, para el caso del área metropolitana del valle de México se disponía de información sobre la distribución espacial de los empleos, de los resultados del estudio de origen y destino de 1993, agregados a nivel de delegación y municipio, del área total, del área urbana y del área disponible para crecimiento urbano.

De esta forma se seleccionaron dos modelos de asignación de la población que podrían aplicarse: el modelo gravitacional al centro del área de estudio y el modelo elaborado por William G. Hansen, cuya estructura se describe enseguida.

2.1. EL MODELO GRAVITACIONAL SIMPLE.

A pesar de las críticas hechas a este tipo de modelos, respecto a su capacidad para describir de manera formal la interacción entre actividades (principalmente en lo que se refiere a su sustento teórico), son aplicables a diferentes procesos urbanos, entre ellos, la localización de la población.

La formulación del modelo parte del supuesto de que es factible dividir el área de estudio en N zonas con características relativamente homogéneas. Sea P_i y P_j el "tamaño" de las zonas i y j , respectivamente; si ambas zonas están separadas por una distancia d_{ij} , entonces el nivel de interacción potencial entre ellas está dado por la expresión:

$$I_{ij} = G \frac{P_i P_j}{(d_{ij})^b} \quad \dots 1$$

En donde G es una constante, y b el exponente de la distancia, parámetros determinados empíricamente. La expresión $1/(d_{ij})^b$ representa la accesibilidad (A_{ij}) entre las zonas i y j . Esta formulación constituye la estructura más simple del modelo gravitacional.

2.2. EL MODELO DE ACCESIBILIDAD AL CENTRO DEL ÁREA DE ESTUDIO.

De entre los modelos más sencillos del tipo gravitacional, se encuentran aquéllos que consideran al índice de accesibilidad de cada zona como una función de la distancia o tiempos de viaje a otra zona que es considerada el centro del área de estudio; para este tipo de modelos el índice de accesibilidad se calcula de la siguiente forma:

$$A_{ic} = \frac{1}{(d_{ic})^b} \quad \dots 2$$

En donde:

A_{ic}	Índice de accesibilidad de la zona i al centro del área de estudio.
d_{ic}	Función de la distancia al centro del área de estudio, calculada como una función de la distancia, los tiempos y/o costos de viaje o una combinación de ellas.
b	Exponente asociado a la función de la distancia.

La ventaja que presenta este modelo es su relativa facilidad en el proceso de calibración, aunque solamente es aplicable en ciudades relativamente pequeñas y con una estructura urbana monocéntrica, donde se garantiza que el principal centro de atracción es el centro de la ciudad, por lo que en la realidad, los resultados que se obtienen generalmente pueden ser mejorados.

2.3. EL MODELO DE ACCESIBILIDAD CON CENTROS MÚLTIPLES.

Para aplicaciones reales al análisis de actividades en el ámbito urbano, las formulaciones anteriores han sido modificadas para considerar no sólo la atracción relativa entre cada par de zonas, sino también la "competencia" de cada zona en términos de su ubicación o poder de atracción respecto de las otras; es decir, en alguna medida, todas las zonas tienen posibilidades de interacción entre sí. Con esta idea, la interacción potencial de las zonas i y j , puede expresarse de la siguiente forma:

$$I_{ij} = \frac{GP_i P_j (d_{ij})^{-b}}{GP_1 (d_{ij})^{-b} + GP_2 (d_{ij})^{-b} + \dots + GP_n (d_{ij})^{-b}} \quad \dots 3$$

La cual puede reescribirse así:

$$I_{ij} = \frac{P_i P_j (d_{ij})^{-b}}{\sum_j P_j (d_{ij})^{-b}} \quad \forall j, j = 1, 2, \dots, n \quad \dots 4$$

En donde el término

$$\frac{P_j (d_{ij})^{-b}}{\sum_j P_j (d_{ij})^{-b}} \quad \dots 5$$

puede interpretarse como la probabilidad de interacción entre las zonas i y j , basado en la atracción de j respecto de la atracción total de las zonas restantes. En otras palabras, el modelo considera la interacción de una zona específica con respecto a las zonas restantes del área de estudio; en este sentido, supera las limitaciones prácticas del modelo de accesibilidad al centro de la ciudad.

2.4. EL MODELO DE W. G. HANSEN.

Una aplicación importante de los modelos de tipo gravitacional en un entorno de planeación es la hecha por W. G. Hansen en 1960 (Lee, 1974, pág. 57). El modelo se basa en el concepto de interacción para estimar la distribución de la población, y se fundamenta en la suposición de que la accesibilidad al empleo es el factor que determina la localización de la población en cada una de las zonas en que se divide el área de estudio.

El modelo parte del supuesto de que el área de estudio se encuentra dividida en N zonas, cada una de las cuales tiene ciertas características de homogeneidad definidas en función de diversos criterios, entre los cuales pueden citarse el nivel de ingresos, la densidad de población, los límites o barreras geográficas o administrativas y otras.

De esta forma, dada una población total determinada exógenamente, el modelo asigna esa población entre todas las zonas consideradas, con base en su potencial de crecimiento y su accesibilidad a los empleos, es decir, su cercanía relativa a los lugares en los que estos se ubican.

Sea A_{ij} el índice de accesibilidad entre las zonas i y j , calculado con la siguiente expresión:

$$A_{ij} = \frac{E_j}{(d_{ij})^b} \quad \dots 6$$

Donde:

E_j	Total de empleos en la zona j .
d_{ij}	Distancia o función de accesibilidad entre i y j .
b	Exponente de la función de accesibilidad.

La expresión anterior representa la interacción potencial entre las zonas i y j , generada entre la población de la zona i , respecto de los empleos de la zona j ; si ahora consideramos la accesibilidad entre la zona i y las zonas restantes, entonces A_i se escribiría de la siguiente forma:

$$A_i = \sum_j \frac{E_j}{(d_{ij})^b} \quad \dots 7$$

Si H_i es el potencial de crecimiento de la zona i , que indica la capacidad de la zona para absorber una parte del crecimiento total de área de estudio (normalmente definida en función de su superficie), entonces el desarrollo potencial de i (D_i) está dado por:

$$D_i = A_i H_i \quad \dots 8$$

El valor de D_i es una medida de la capacidad de una zona para absorber una parte del crecimiento total del área de estudio, ponderada por su accesibilidad relativa a los empleos. Si se considera que generalmente la población busca asentarse en los lugares más cercanos o más accesibles, entonces cada zona del área de estudio compite con las otras, y esa competencia está expresada precisamente por el índice de accesibilidad A_i . Por otra parte, es lógico suponer que las zonas con un índice de accesibilidad más alto (las más cercanas a los empleos) tenderán a saturarse más rápidamente, por lo que a medida que A_i se incrementa H_i decrece. Precisamente esta combinación entre los valores de A_i y H_i es la que determinan la población que se asigna a cada zona, mediante la expresión:

$$\frac{A_i H_i}{\sum_j A_j H_j} \quad \dots 9$$

que representa la proporción del total de la población que se asigna a la zona i , como un indicador de la competencia de la zona i debida a su desarrollo potencial, respecto del desarrollo potencial total del área de estudio.

Finalmente, si G_T es la población total o el crecimiento total esperado para el área de estudio, entonces la cantidad de población o de crecimiento asignado a la zona i (G_i), es:

$$G_i = G_T \frac{A_i H_i}{\sum_j A_j H_j} \quad \dots 10$$

Así, el modelo puede ser considerado como un modelo de asignación de la población, tomando como base la probabilidad de ubicación de ésta en una zona determinada, la cual es calculada como una proporción de la interacción potencial de una zona, respecto de la sumatoria de la interacción de todas las zonas consideradas.

3. PROCEDIMIENTO DE CALIBRACIÓN DEL MODELO.

El proceso de calibración consiste en encontrar los valores de los parámetros del modelo, que permitan obtener un mejor ajuste entre los resultados de éste y la realidad que trata de representar. La posibilidad de obtener buenos resultados depende de las variables y parámetros incluidos y de la estructura matemática de que se trate.

Para la calibración del modelo se hicieron dos ensayos, usando los fundamentos descritos en el capítulo 2. La diferencia entre ambos es la forma en que se calcula el índice de accesibilidad, sin embargo las variables y parámetros son similares. En el siguiente cuadro se presenta una relación de los requerimientos para ambas formulaciones.

MODELO	VARIABLES	PARÁMETROS
Gravitacional al centro del área de estudio.	<ul style="list-style-type: none"> - Función de distancia (d_{ij}). - Potencial de crecimiento (H_i). - Población o crecimiento (G_i). 	<ul style="list-style-type: none"> - Población o crecimiento total (G_T). - Exponente de la función de la distancia.
W. G. Hansen	<ul style="list-style-type: none"> - Función de distancia (d_{ij}). - Potencial de crecimiento (H_i). - Empleos (E_j). - Población o crecimiento (G_i). 	<ul style="list-style-type: none"> - Población o crecimiento total (G_T). - Exponente de la función de la distancia.

Para el modelo de Hansen, los valores de E_j , y para ambos modelos los de d_{ij} , H_i y G_T son determinados exógenamente. El proceso de calibración da como resultado el valor de b (el exponente de d_{ij} en la función de accesibilidad), y una vez obtenido éste se calculan los valores de G_i . En este capítulo solamente se presentan los fundamentos necesarios para la calibración de los modelos. Los resultados obtenidos se presentan en los dos siguientes capítulos.

3.1. MODELO DE ACCESIBILIDAD AL CENTRO DEL ÁREA DE ESTUDIO.

El procedimiento de calibración para este modelo es relativamente sencillo, pues el índice de accesibilidad de cada zona se calcula solamente con respecto a un "centro" dentro del área de estudio.

Para encontrar el valor de b asociado a la función de la distancia, se usa la siguiente expresión, que indica que el índice de accesibilidad de una zona, es aproximadamente igual a la razón G_i/H_i que representa la densidad de población de la zona (para una descripción más amplia ver W. Helly, 1975, pág. 62-65). Así,

$$A_{ic} \cong \frac{G_i}{H_i} \quad \dots 11$$

En donde A_{ic} es el índice de accesibilidad, G_i es la población total en el año base, y H_i es el potencial de crecimiento representado por el área urbana total de la zona. Si sustituimos 2 en 11, tenemos la expresión:

$$\frac{1}{(d_{ic})^b} = \frac{G_i}{H_i} \quad \dots 12$$

la cual puede reescribirse de la siguiente forma:

$$\frac{G_i}{H_i} = (d_{ic})^{-b} \quad \dots 13$$

Si a ambos lados de la ecuación se le aplican logaritmos naturales, se tiene:

$$\ln \frac{G_i}{H_i} = -b \ln(d_{ic}) \quad \dots 14$$

expresión lineal que puede ajustarse por el método tradicional de mínimos cuadrados.

3.2. MODELO DE W. G. HANSEN.

El modelo de Hansen calcula el índice de accesibilidad de cada zona en función de su cercanía relativa a los lugares en los que se concentra el empleo. Si sustituimos la ecuación 7 en 11 tenemos:

$$\frac{G_i}{H_i} = \sum_j \frac{E_j}{(d_{ij})^b} \quad \dots 15$$

es decir,

$$\frac{G_i}{H_i} = \frac{E_1}{(d_{i1})^b} + \frac{E_2}{(d_{i2})^b} + \dots + \frac{E_n}{(d_{in})^b} \quad \dots 16$$

expresión en la que el valor de b no puede encontrarse por el método de mínimos cuadrados, ya que se tienen n diferentes valores de d_{ij} .

En estas condiciones, uno de los posibles procedimientos para encontrar el valor de b , consiste en un proceso de aproximaciones sucesivas. Por esta razón, se presentó la necesidad de diseñar un procedimiento que permitiera hacer la evaluación de los resultados del modelo para diferentes valores del parámetro b . Inicialmente se diseñó un programa de cómputo en lenguaje PASCAL para obtener el valor de b (este programa se presenta en el anexo 3); posteriormente, para facilitar y hacer más rápido el proceso de evaluación, se diseñó una hoja de cálculo con las mismas bases que el programa de cómputo.

Con los resultados del programa y de la hoja de cálculo, se analizaron los valores del coeficiente de correlación R y la desviación estándar S , entre los resultados de G_i obtenidos con el modelo, y la población real (P_i) de cada zona.

Estos indicadores estadísticos se calcularon con las siguientes expresiones, que son las usadas en regresión lineal por el método de mínimos cuadrados.

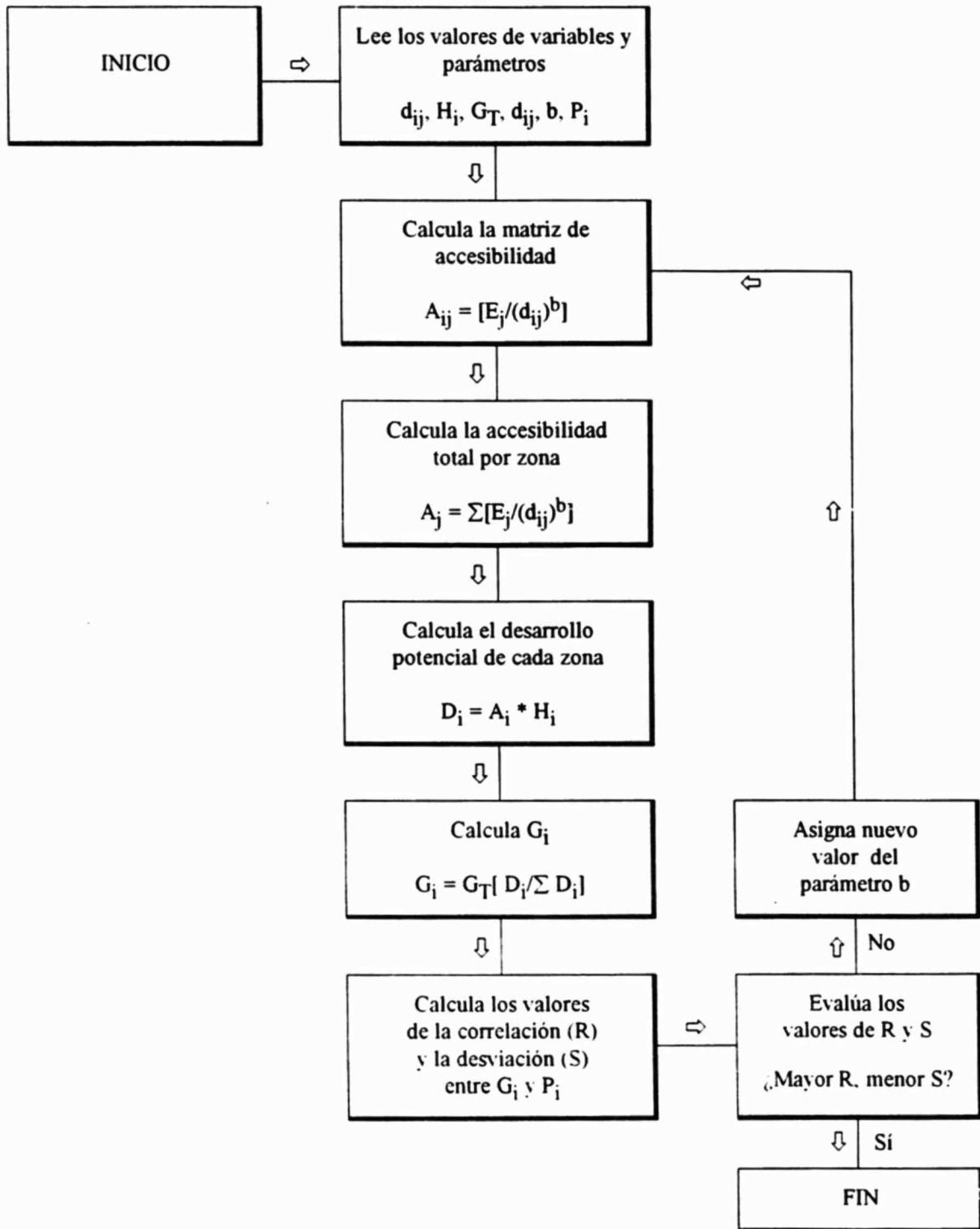
$$R = \frac{N \sum G_i P_i - (\sum G_i)(\sum P_i)}{\sqrt{\{N \sum G_i^2 - (\sum G_i)^2\} \{N \sum P_i^2 - (\sum P_i)^2\}}} \quad \dots 17$$

$$S = \sqrt{\frac{\sum (G_i - P_i)^2}{N-1}} \quad \dots 18$$

En donde G_i son los resultados del modelo, y P_i son los valores reales de la población en el año base.

El procedimiento usado por el programa y la hoja de cálculo, se presenta en la figura 3.1.

Figura 3.1. Procedimiento para la calibración del modelo de Hansen.



4. CASO DE ESTUDIO 1: ÁREA METROPOLITANA DEL VALLE DE MÉXICO

El área de estudio comprende las dieciséis delegaciones del Distrito Federal y diecisiete municipios conurbados del Estado de México. En la figura 4.1 se presenta un esquema del área de estudio.

4.1. INSUMOS PARA LA CALIBRACIÓN DEL MODELO.

La disponibilidad de información determinó en gran parte el nivel de agregación de los resultados que se obtuvieron con el modelo. En particular la información sobre empleos fue el eje sobre el que se definió y seleccionó el año base para la calibración, pues al respecto solamente se tenían disponibles los resultados preliminares de los Censos Económicos de 1986 para el Distrito Federal. De esta forma, se seleccionó como año base el de 1985, por lo que en algunos casos fue necesario diseñar algunos procesos para homogeneizar la información.

Las fuentes de información para obtener las variables requeridas por el modelo, así como los métodos de procesamiento se describen enseguida.

4.1.1. EMPLEOS (E_j).

Los datos para las dieciséis Delegaciones se obtuvieron de la publicación de los Resultados Oportunos para el Distrito Federal, de los Censos Económicos de 1986, realizados por el Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática (INEGI); dado que no se contaba con datos para los municipios del Estado de México, se hicieron diversos intentos para hacer algunas estimaciones.

Para las delegaciones del D.F. se encontró una relación directa entre los empleos y los viajes al trabajo atraídos por cada delegación; los viajes atraídos por delegación se obtuvieron de los resultados de la Encuesta de Origen y Destino de Viajes aplicada por la Coordinación General de Transporte del Departamento del D.F. en 1983. Con base en estos datos se ajustaron modelos de regresión lineales y no lineales para estimar los totales de empleos de los diecisiete municipios conurbados del Estado de México.

Se ensayaron cuatro tipos de funciones para ajustar los datos de empleos y viajes atraídos (V_j) por motivo de trabajo para las delegaciones del D. F.; el procedimiento para la obtención de estas funciones se describe con detalle en el Anexo 1. Las ecuaciones resultantes de los ensayos de regresión y los coeficientes de correlación para cada una se presentan en la tabla 4.1.

Tabla 4.1. Modelos de ajuste usados para la estimación de los empleos en los Municipios del Estado de México.

Modelo	Ecuación	Correlación
Lineal	$E_j = 20,859.43 + 0.565(V_j)$	0.9473
Logarítmica	$E_j = - 806,898.79 + 81.950.997 [\ln(V_j)]$	0.8527
Exponencial	$E_j = 25,610.56 e^{(4.98 \times 10^{-6} V_j)}$	0.8335
Potencial	$E_j = 0.846 (V_j)^{0.983}$	0.9578

Se seleccionó el modelo potencial para estimar los empleos de los municipios, pues es con este modelo con el que se obtiene una correlación más alta. De esta forma, se obtiene un total de empleos para el AMVM de 2'960,536, de los cuales 77.9 % se concentra en las dieciséis delegaciones del D. F., y el restante 22.1 % en los municipios del Estado de México.

Es importante hacer notar que 82 % del empleo total se concentra en 12 delegaciones y municipios; éstas se presentan en la tabla 4.2. Las más importantes en este sentido, son las delegaciones Cuauhtémoc, Miguel Hidalgo y Benito Juárez, en las que se concentra 34.4 % del total. Esta característica tiene una relación directa con los índices de accesibilidad descritos en el capítulo 2.

Tabla 4.2. Concentración del empleo en 12 delegaciones y municipios.

No.	Delegación/Municipio	Empleos (E _j)	%	% Acumulado
1	Cuauhtémoc	492,509	16.64	16.64
2	Miguel Hidalgo	288,925	9.76	26.40
3	Benito Juárez	237,614	8.03	34.42
4	Gustavo A. Madero	232,369	7.85	42.27
5	Azcapotzalco	194,443	6.57	48.84
6	Iztapalapa	179,163	6.05	54.89
7	Coyoacán	152,110	5.14	60.03
8	Naucalpan	143,594	4.85	64.88
9	Venustiano Carranza	135,526	4.58	69.46
10	Tlalnepantla	135,332	4.57	74.03
11	Alvaro Obregón	131,135	4.43	78.46
12	Iztacalco	103,252	3.49	81.94

Las estimaciones finales de empleo por delegación y municipio se presentan en la tabla 4.3, y en la gráfica 4.1.

Gráfica 4.1. Empleos (E_j) por delegación y municipio.

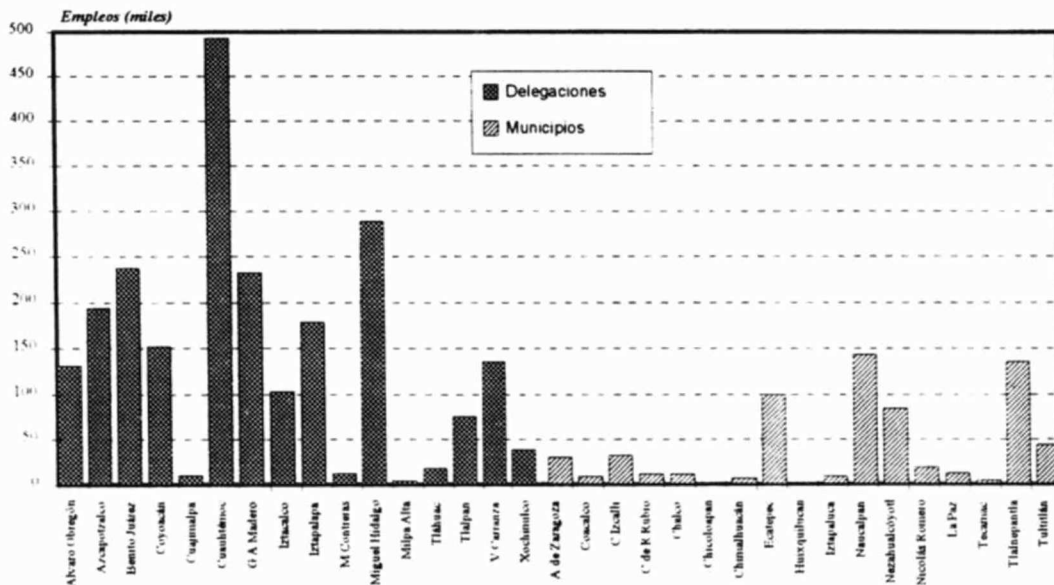


Tabla 4.3. Empleos por Delegación y Municipio.

No.	Delegación/Municipio	Empleos (*) totales (E _j)	Empleos (%)
1	Alvaro Obregón	131,135	4.43
2	Azcapotzalco	194,443	6.57
3	Benito Juárez	237,614	8.03
4	Coyoacán	152,110	5.14
5	Cuajimalpa	10,652	0.36
6	Cuauhtémoc	492,509	16.64
7	Gustavo A. Madero	232,369	7.85
8	Iztacalco	103,252	3.49
9	Iztapalapa	179,163	6.05
10	Magdalena Contreras	12,431	0.42
11	Miguel Hidalgo	288,925	9.76
12	Milpa Alta	4,376	0.15
13	Tláhuac	18,275	0.62
14	Tlalpan	75,004	2.53
15	Venustiano Carranza	135,526	4.58
16	Xochimilco	38,708	1.31
17	Atizapán de Zaragoza	29,829	1.01
18	Coacalco	9,217	0.31
19	Cuautitlán Izcalli	32,071	1.08
20	Cuautitlán de R. Rubio	11,523	0.39
21	Chalco	11,830	0.40
22	Chicoloapan	222	0.01
23	Chimalhuacán	6,526	0.22
24	Ecatepec	99,563	3.36
25	Huixquilucan	1,731	0.06
26	Iztapaluca	9,165	0.31
27	Naucalpan	143,594	4.85
28	Nezahualcóyotl	84,493	2.85
29	Nicolás Romero	18,761	0.63
30	La Paz	12,370	0.42
31	Tecamac	4,302	0.15
32	Tlalnepantla	135,332	4.57
33	Tultitlán	43,515	1.47
	Totales	2,960,536	100.00

(*) Los datos para las delegaciones del D. F. se tomaron de los Resultados Oportunos preliminares de los Censos Económicos de 1986, elaborados por el INEGI. Los datos para los municipios del Estado de México son estimaciones hechas con base en los resultados para las delegaciones del D. F., según el procedimiento descrito en el Anexo 1.

4.1.2. POTENCIAL DE CRECIMIENTO (H_i).

El potencial de crecimiento (H_i) para cada zona representa el área urbana total, es decir, considera solamente las zonas habitadas de cada delegación y municipio. Los datos de H_i , se obtuvieron de diversas fuentes: para las delegaciones del D. F., se usaron los Planes Parciales de Desarrollo Urbano de la Dirección General de Reordenamiento Urbano y Protección Ecológica (DGRUPE) y los resultados presentados en el Atlas de la Ciudad de México, publicado por el Departamento del Distrito Federal y El Colegio de México. Para los municipios se usaron los Planes de los Centros Estratégicos de Población publicados por el Gobierno del Estado de México.

El área urbana total del AMVM en 1985 era de 120,655 has, de las cuales 63,040.2 has (el 52.2 %) correspondían al Distrito Federal, y las 57,614.8 restantes (47.8 %) a los municipios conurbados del Estado de México. Las mayores superficies urbanas corresponden al municipio de Ecatepec y a las delegaciones de Iztapalapa y G. A. Madero, como se observa en la tabla 4.4.

A diferencia de los empleos, no existen concentraciones importantes de la superficie urbana; si tomamos como punto de comparación doce delegaciones y municipios, en esta variable solamente se llega a un 60 % de concentración de H_i .

Tabla 4.4. Concentración del área urbana en doce delegaciones y municipios.

No.	Delegación/Municipio	Área urbana (H_i)	%	% Acumulado
1	Ecatepec	8,454.0	7.0	7.0
2	Iztapalapa	8,155.6	6.8	13.8
3	Gustavo A. Madero	7,503.2	6.2	20.0
4	Naucalpan	7,014.9	5.8	25.8
5	Tlalnepantla	6,536.0	5.4	31.2
6	Cuautitlán Izcalli	5,900.0	4.9	36.1
7	Coyoacán	5,771.8	4.8	40.9
8	Nezahualcóyotl	5,081.0	4.2	45.1
9	Tlalpan	5,070.8	4.2	49.3
10	Alvaro Obregón	4,580.1	3.8	53.1
11	Xochimilco	4,472.8	3.7	56.8
12	Atizapán de Zaragoza	4,393.7	3.6	60.4

Los valores de H_i por delegación y municipio se representan en la gráfica 4.2, y en la tabla 4.5.

Gráfica 4.2. Potencial de crecimiento (H_i) por delegación y municipio.

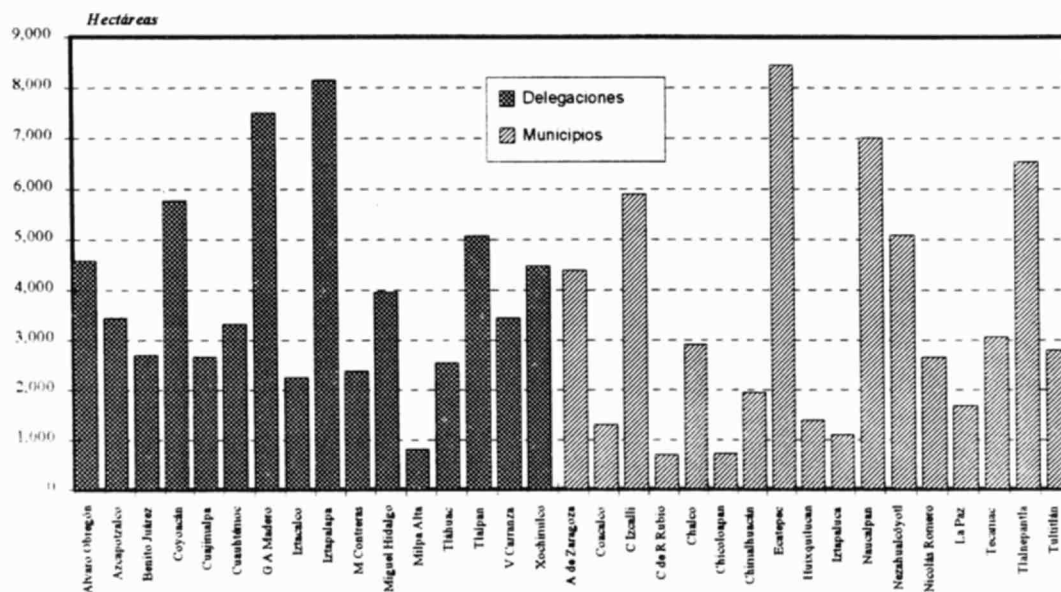


Tabla 4.5 Potencial de crecimiento (H_i) por delegación y municipio.

No.	Delegación/Municipio	Área (*) urbana (H_i)	Área urbana (%)
1	Alvaro Obregón	4,580.1	3.80
2	Azcapotzalco	3,434.0	2.85
3	Benito Juárez	2,711.9	2.25
4	Coyoacán	5,771.8	4.78
5	Cuajimalpa	2,662.0	2.21
6	Cuauhtémoc	3,309.3	2.74
7	Gustavo A. Madero	7,503.2	6.22
8	Iztacalco	2,248.4	1.86
9	Iztapalapa	8,155.6	6.76
10	Magdalena Contreras	2,380.4	1.97
11	Miguel Hidalgo	3,954.6	3.28
12	Milpa Alta	807.0	0.67
13	Tláhuac	2,536.3	2.10
14	Tlalpan	5,070.8	4.20
15	Venustiano Carranza	3,442.1	2.85
16	Xochimilco	4,472.8	3.71
17	Atizapán de Zaragoza	4,393.7	3.64
18	Coacalco	1,297.6	1.08
19	Cuautitlán Izcalli	5,900.0	4.89
20	Cuautitlán de R. Rubio	688.0	0.57
21	Chalco	2,910.0	2.41
22	Chicoloapan	715.1	0.59
23	Chimalhuacán	1,946.0	1.61
24	Ecatepec	8,454.0	7.01
25	Huixquilucan	1,390.0	1.15
26	Iztapaluca	1,097.0	0.91
27	Naucalpan	7,014.9	5.81
28	Nezahualcóyotl	5,081.0	4.21
29	Nicolás Romero	2,650.0	2.20
30	La Paz	1,685.0	1.40
31	Tecamac	3,056.5	2.53
32	Tlalnepantla	6,536.0	5.42
33	Tultitlán	2,800.0	2.32
	Totales	120,655.0	100.00

(*) Los valores de H_i se presentan en hectáreas, y representan el área urbana total de cada delegación y municipio en el año base.

4.1.3. POBLACIÓN (P_i).

Los datos de población son básicos para evaluar los resultados del modelo, pues es precisamente la variable que trata de estimarse. Los datos se tomaron de diversas fuentes: de los Planes Parciales de Desarrollo Urbano de la DGRUPE, del Atlas de la Ciudad de México y de los Planes de Centros Estratégicos de Población.

La población total del AMVM en 1985 era de 17'221,140 habitantes, de los cuales 57.7% (9'931,413) habitaba en el Distrito Federal, y el restante 42.3 % (7'289,727) en los municipios conurbados del Estado de México. De la misma forma que el empleo - sin que esto quiera decir que existe relación directa entre ambas variables-, también existe una concentración importante de la población en algunas delegaciones y municipios. En la tabla 4.6 se presenta el porcentaje acumulado de la población en 12 de ellas.

Tabla 4.6. Concentración de la población en doce delegaciones y municipios.

No.	Delegación/Municipio	Población (P_i)	%	% Acumulado
1	Nezahualcóyotl	1,955,046	11.35	11.35
2	Gustavo A. Madero	1,601,991	9.30	20.66
3	Iztapalapa	1,512,717	8.78	29.44
4	Ecatepec	1,273,000	7.39	36.83
5	Tlalnepantla	1,019,000	5.92	42.75
6	Naucalpan	947,872	5.50	48.25
7	Cuauhtémoc	838,632	4.87	53.12
8	Alvaro Obregón	738,801	4.29	57.41
9	Venustiano Carranza	709,927	4.12	61.53
10	Coyoacán	699,814	4.06	65.60
11	Azcapotzalco	626,071	3.64	69.23
12	Iztacalco	593,368	3.45	72.68

Los datos de población se presentan en la gráfica 4.3 y en la tabla 4.7.

Gráfica 4.3. Población (P_i) por delegación y municipio.

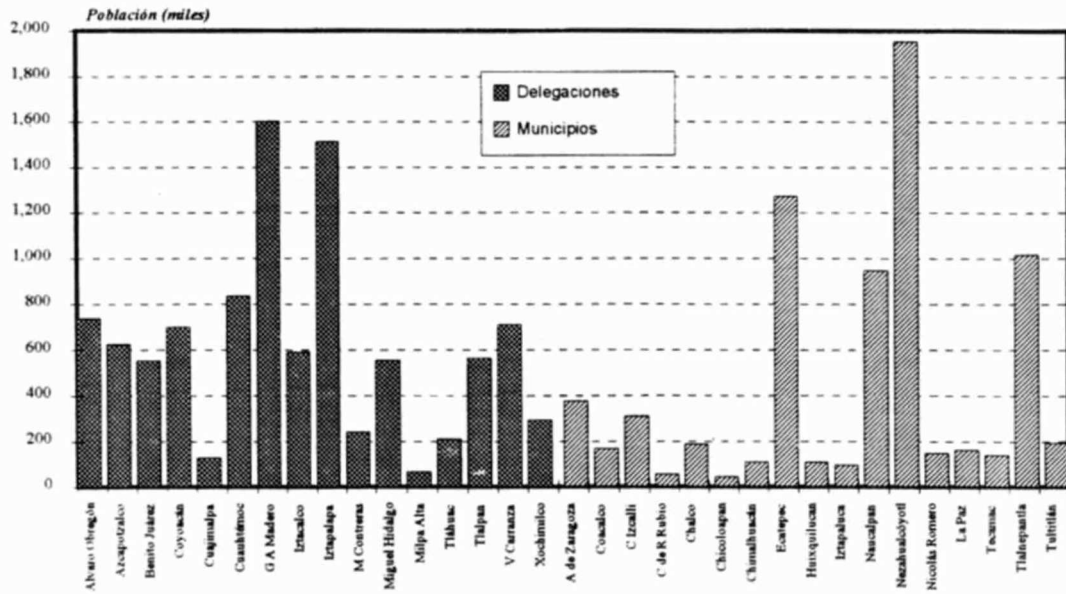


Tabla 4.7. Población por delegación y municipio.

No.	Delegación/Municipio	Población (P)	Población (%)
1	Alvaro Obregón	738,801	4.29
2	Azcapotzalco	626,071	3.64
3	Benito Juárez	554,595	3.22
4	Coyoacán	699,814	4.06
5	Cuajimalpa	128,178	0.74
6	Cuauhtémoc	838,632	4.87
7	Gustavo A. Madero	1,601,991	9.30
8	Iztacalco.	593,368	3.45
9	Iztapalapa	1,512,717	8.78
10	Magdalena Contreras	240,495	1.40
11	Miguel Hidalgo	554,975	3.22
12	Milpa Alta	67,429	0.39
13	Tláhuac	210,240	1.22
14	Tlalpan	563,516	3.27
15	Venustiano Carranza	709,927	4.12
16	Xochimilco	290,664	1.69
17	Atizapán de Zaragoza	375,000	2.18
18	Coacalco	167,000	0.97
19	Cuautitlán Izcalli	310,000	1.80
20	Cuautitlán de R. Rubio	55,568	0.32
21	Chalco	187,694	1.09
22	Chicoloapan	44,620	0.26
23	Chimalhuacán	107,725	0.63
24	Ecatepec	1,273,000	7.39
25	Huixquilucan	110,000	0.64
26	Iztapaluca	93,889	0.55
27	Naucalpan	947,872	5.50
28	Nezahualcóyotl	1,955,046	11.35
29	Nicolás Romero	147,776	0.86
30	La Paz	161,422	0.94
31	Tecamac	140,954	0.82
32	Tlalnepantla	1,019,000	5.92
33	Tultitlán	193,161	1.12
	Totales	17,221,140	100.00

(*) La población para las delegaciones del Distrito Federal se tomaron de los Planes Parciales de Desarrollo Urbano de la DGRUPE y del Atlas de la Ciudad de México publicado por El Colegio de México; para los municipios se usaron los Planes de Centros Estratégicos de Población.

4.1.4. FUNCIÓN DE LA DISTANCIA (D_{ij}).

Para construir la función de la distancia se seleccionaron a priori dos variables comúnmente usadas en los modelos de transporte: las distancias entre los centroides de cada delegación y municipio, y los tiempos de viaje que se obtuvieron del procesamiento del EOD83. Uno de los resultados de este estudio fue la zonificación del AMVM; cada delegación y municipio se dividió en zonas homogéneas más pequeñas, y para cada una de estas se obtuvieron las coordenadas correspondientes a su centroide (a partir de un punto seleccionado arbitrariamente). Se disponía también del número de viviendas comprendidas en cada zona, como resultado de un inventario que se realizó para la aplicación de un EOD en 1987.

De esta forma, se partió de los cálculos de los centroides a nivel de zona que resultaron del EOD83, y con éstos se calcularon las coordenadas de los centroides de cada delegación y municipio con la siguiente expresión:

$$X = (x_i) \frac{V_i}{\sum V_i} \quad \dots 19$$

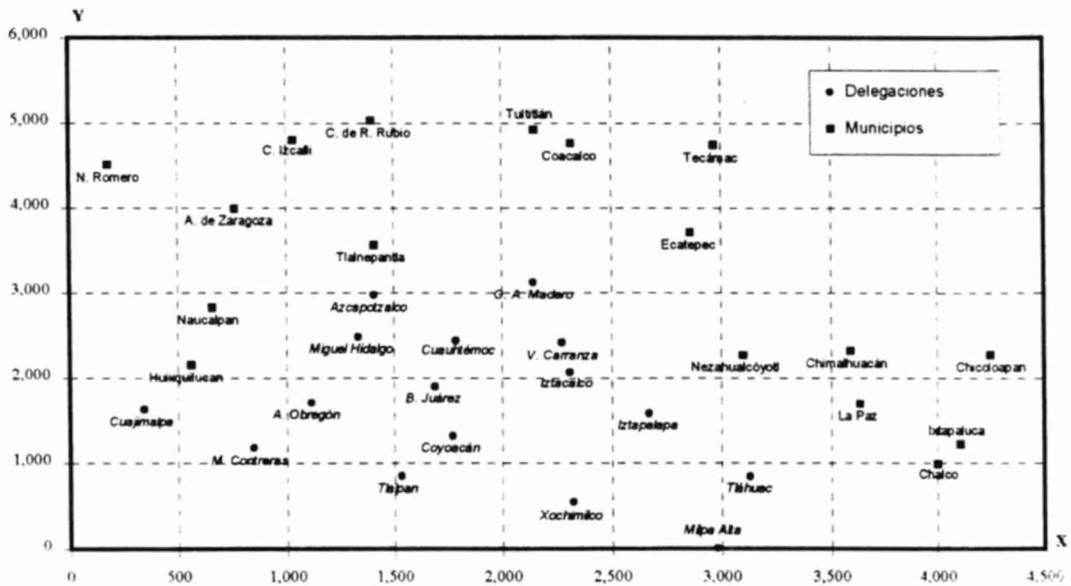
En donde:

X	Coordenada en el eje X de cada delegación y municipio
x_i	Coordenada en el eje X de la zona i.
V_i	Número de viviendas de la zona i, obtenidas en el inventario de viviendas construido para el EOD 87.

Las coordenadas en el eje Y se calcularon con la misma expresión, la cual permite obtener el centroide de la delegación o municipio correspondiente, ponderando el peso relativo de cada zona; es decir no es simplemente un centroide geométrico, sino que se considera explícitamente la distribución de las viviendas al interior de cada zona. Precisamente el ponderador es el número de viviendas V_i .

Las coordenadas de los centroides de cada delegación y municipio se presentan en la gráfica 4.4 y en la tabla 4.8.

Gráfica 4.4. Coordenadas de los centroides de las delegaciones y municipios.



Obtenidos los centroides de cada delegación y municipio, se calcularon las distancias al centro del área de estudio (la delegación Cuahtémoc), y las distancias ortogonales y radiales entre cada par de delegaciones y municipios. Las expresiones usadas para cada concepto se describen enseguida.

4.1.4.1. Distancias al centro del área de estudio (d_{ic}).

Se seleccionó a la delegación Cuauhtémoc como el centro del área de estudio; las distancias de cada delegación y municipio a esta delegación se obtuvieron con la siguiente expresión:

$$d_{ic} = \{ABS(X_i - X_c) + ABS(Y_i - Y_c)\} \quad \dots 20$$

En donde:

d_{ic}	Distancia de la delegación o municipio i, al centro del área de estudio.
X_i, Y_i	Coordenadas en X y Y de la delegación o municipio i
X_c, Y_c	Coordenadas en X y Y de la delegación Cuauhtémoc, el centro del área de estudio.

La distancia de la delegación Cuauhtémoc al centro del área de estudio, se tomó como la distancia interna de la delegación. Las distancias al centro del área de estudio por delegación y municipio se presentan en la tabla 4.8.

4.1.4.2. Matrices de distancias ortogonales y radiales y distancias internas.

Se construyeron dos matrices de distancias entre cada delegación y municipio, con las distancias ortogonales y radiales; éstas son necesarias para el cálculo de la función de accesibilidad. Se usaron las siguientes expresiones respectivamente:

$$\left. \begin{aligned} d_{ij} &= \{ABS(X_i - X_j) + ABS(Y_i - Y_j)\} && \text{(distancia ortogonal)} \\ d_{ij} &= \{(X_i - X_j)^2 + (Y_i - Y_j)^2\}^{1/2} && \text{(distancia radial)} \end{aligned} \right\} \dots 21$$

En donde:

d_{ij}	Distancia entre la delegación o municipio i y j
X_i, Y_i	Coordenadas en X y Y de la delegación o municipio i
X_j, Y_j	Coordenadas en X y Y de la delegación o municipio j.

También es necesario calcular las distancias internas de cada una de las delegaciones y municipios, es decir, la diagonal principal de la matriz de distancias. Para ello se usaron las siguientes expresiones para las distancias internas ortogonales y radiales respectivamente:

$$\left. \begin{aligned} d_{ij} &= \{ \text{ABS}(x_i - X_c) + \text{ABS}(y_i - Y_c) \} && \text{(distancia ortogonal)} \\ d_{ij} &= \{ (x_i - X_c)^2 + (y_i - Y_c)^2 \}^{1/2} && \text{(distancia radial)} \end{aligned} \right\} \dots 22$$

En donde:

d_{ii}	Distancia interna de la delegación o municipio.
X_c, Y_c	Coordenadas en X y Y del centroide de la delegación o municipio.
x_i, y_i	Coordenadas en X y Y de la zona i dentro de la delegación o municipio.

Las distancias internas de cada delegación y municipio se presentan en la tabla 4.8, y las matrices de distancias ortogonales y radiales en el anexo 2.

4.1.5. TIEMPOS DE VIAJE AL CENTRO DEL ÁREA DE ESTUDIO.

Con respecto a los tiempos de viaje entre cada par de delegaciones y/o municipios, se tomaron los resultados del reprocesamiento del EOD83 que realizó la Coordinación General de Transporte del Departamento del Distrito Federal, en los que se obtuvieron promedios por delegación y municipio, de todos los viajes captados en la encuesta; como es normal en este tipo de estudios, no se completaron todos los cuadros de la matriz, pues no en todas las delegaciones y municipios hay viajes para todas las delegaciones y municipios; adicionalmente, se encontraron algunas incongruencias en los resultados. Estas incongruencias se explicarán con mayor detalle en la sección 4.3. En la tabla 4.8 se presentan los tiempos de viaje al centro del área de estudio.

Tabla 4.8. Coordenadas de los centroides, distancias al centro del área de estudio, distancias internas, y tiempos de viaje al centro, por delegación y municipio.

No.	Delegación/Municipio	Coordenadas		Distancia ortogonal al centro (*)	Distancias internas	Tiempo de viaje al centro (*)
		X _i	Y _i			
1	Alvaro Obregón	1,115	1,708	1,406	386.2	32.24
2	Azcapotzalco	1,409	2,976	916	293.8	37.04
3	Benito Juárez	1,691	1,897	641	294.9	25.51
4	Coyoacán	1,774	1,318	1,137	411.0	38.04
5	Cuajimalpa	344	1,632	2,253	401.5	50.41
6	Cuauhtémoc	1,789	2,440	300	300.1	21.89
7	Gustavo A. Madero	2,146	3,125	1,042	377.6	42.89
8	Iztacalco	2,310	2,067	849	296.8	38.53
9	Iztapalapa	2,670	1,577	1,744	413.4	46.46
10	Magdalena Contreras	849	1,180	2,200	404.7	36.08
11	Miguel Hidalgo	1,335	2,481	495	293.8	27.98
12	Milpa Alta	2,979	10	3,620	404.7	39.40
13	Tláhuac	3,128	842	2,937	416.4	45.00
14	Tlalpan	1,534	846	1,849	408.8	38.97
15	Venustiano Carranza	2,275	2,417	509	285.0	33.15
16	Xochimilco	2,322	546	2,427	414.2	39.92
17	Atizapán de Zaragoza	764	3,987	2,572	395.8	26.61
18	Coacalco	2,318	4,758	2,847	402.6	44.39
19	Cuautitlán Izcalli	1,034	4,798	3,104	525.5	32.43
20	Cuautitlán de R Rubio	1,397	5,029	2,981	674.7	60.71
21	Chalco	4,001	990	3,662	406.1	37.96
22	Chicoloapan	4,253	2,273	2,631	975.8	47.86
23	Chimalhuacán	3,592	2,320	1,923	407.6	46.72
24	Ecatepec	2,860	3,711	2,342	407.7	48.14
25	Huixquilucan	560	2,152	1,517	403.3	29.34
26	Iztapaluca	4,108	1,222	3,537	403.5	47.13
27	Naucalpan	659	2,822	1,512	405.5	26.44
28	Nezahualcóyotl	3,099	2,267	1,483	409.1	44.44
29	Nicolás Romero	181	4,511	3,679	433.4	33.47
30	La Paz	3,634	1,696	2,589	404.5	44.26
31	Tecamac	2,968	4,741	3,480	876.2	44.58
32	Tlalnepantla	1,409	3,562	1,502	396.4	40.71
33	Tultitlán	2,150	4,921	2,482	408.2	38.93

(*) El centro del área de estudio es la delegación Cuauhtémoc.

4.2. MODELO DE ACCESIBILIDAD AL CENTRO DEL ÁREA DE ESTUDIO.

Para encontrar el valor del parámetro b en esta formulación se hicieron ensayos de regresión con las distancias ortogonales y radiales. En general, las primeras dieron mucho mejores resultados que las segundas, con las que se obtuvieron valores de R máximos de 0.23.

La recta de regresión encontrada entre los valores de d_{ic} y la razón G_i/H_i , es la siguiente:

$$\ln \frac{G_i}{H_i} = 9.3255 - 0.6198 \ln(d_{ic}) \quad \dots 23$$

Con este resultado se obtiene que el valor de b es de 0.6198, y la expresión que relaciona a d_{ic} y a la razón G_i/H_i se obtiene aplicando antilogaritmos a la expresión anterior, con lo que se tiene:

$$\frac{G_i}{H_i} = \frac{11,221.07}{(d_{ic})^{0.6198}} \quad \dots 24$$

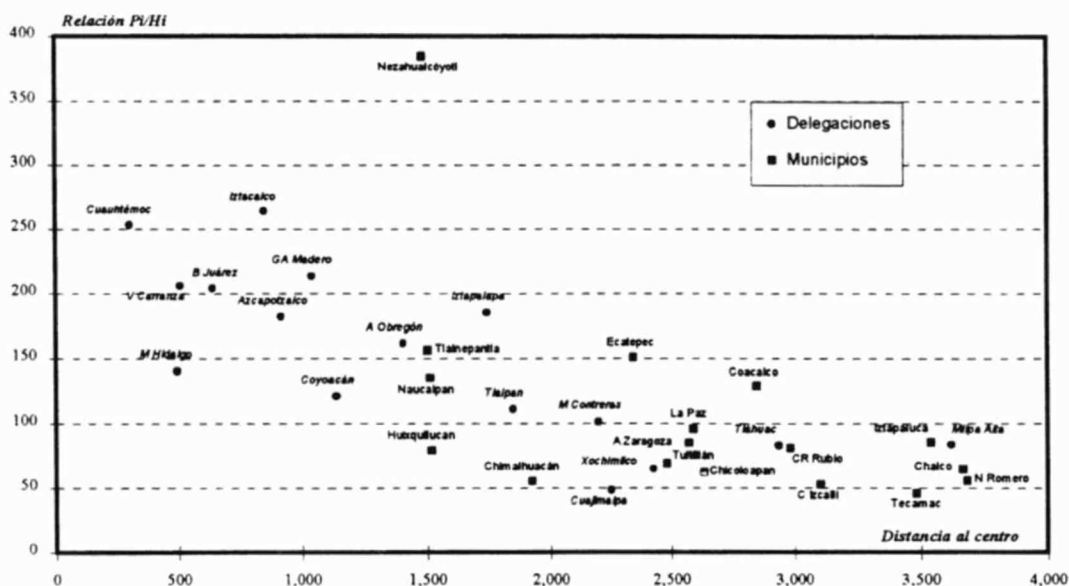
Finalmente, la formulación del modelo de asignación de la población es la siguiente:

$$G_i = G_T \frac{A_i H_i}{\sum_j A_j H_j}; \quad \text{para } A_i = \frac{1}{(d_{ic})^{0.6198}} \quad \dots 25$$

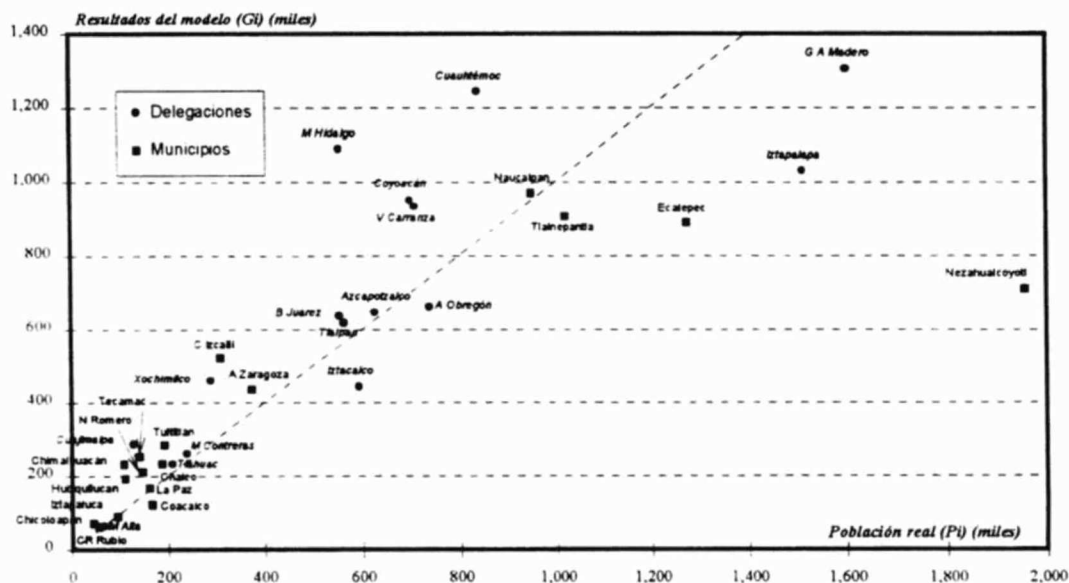
Con estos parámetros, se obtiene una correlación de 0.8033 y una desviación estándar de 295,232.28 entre los resultados del modelo G_i y los valores reales de P_i .

En la gráfica 4.5 se presenta la relación entre la razón P_i/H_i y las distancias ortogonales al centro del área de estudio, para todas las delegaciones y municipios, y en la gráfica 4.6, una comparación de los resultados obtenidos con los valores de P_i .

Gráfica 4.5. Relación entre P_i/H_i y las distancias ortogonales al centro del área de estudio.



Gráfica 4.6. Resultados del modelo de accesibilidad al centro del área de estudio. (Distancias ortogonales).



4.3. MODELO DE ACCESIBILIDAD AL CENTRO DEL ÁREA DE ESTUDIO CON TIEMPOS DE VIAJE.

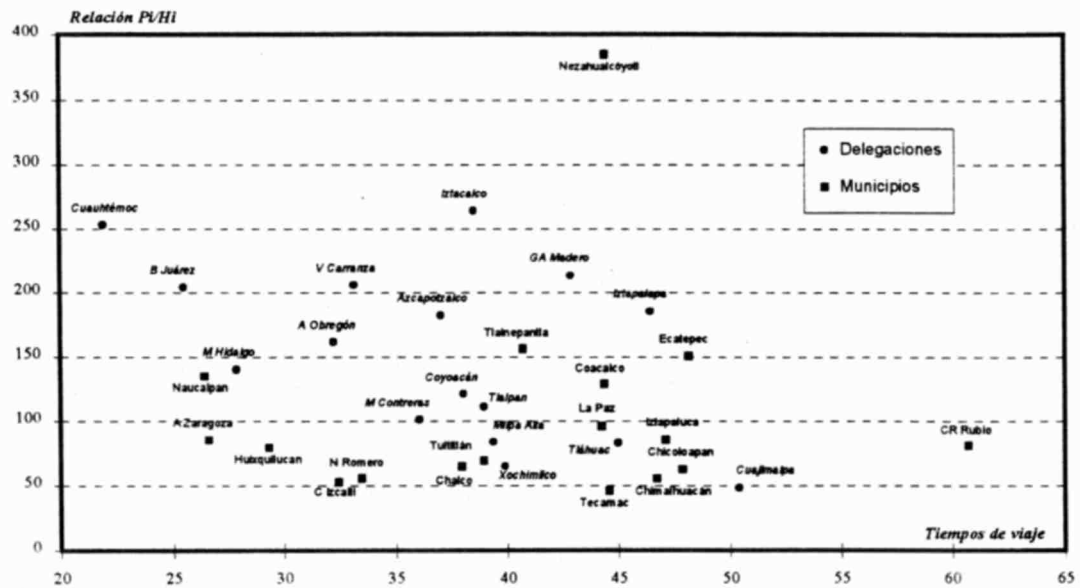
Para este modelo se utilizó la misma formulación que se presenta en la sección anterior, pero la función de las distancias d_{ij} se sustituyeron por tiempos de viaje. Como ya se indicó, la información fue proporcionada por la Coordinación General de Transporte.

En principio, se esperaba que los resultados obtenidos con la inclusión de esta variable fueran aún mejores que los que se obtuvieron con las distancias ortogonales; sin embargo después de analizar los datos se detectaron incongruencias importantes en los tiempos de viaje.

En la gráfica 4.7 se presenta la relación entre la razón P_i/H_i y los tiempos promedios de viaje al centro del área de estudio. Como puede observarse, los tiempos de viaje considerados son inconsistentes: por ejemplo, de acuerdo con los datos, el tiempo de viaje (en promedio) del municipio de Tecamac al centro, es menor que el de la delegación de Iztapalapa. En la gráfica 4.8 se muestra la relación entre los tiempos de viaje y las distancias al centro, y en la figura 4.2 un esquema del área de estudio, en el que se indican los tiempos de viaje para cada delegación y municipio.

Lo anterior no significa que esta variable no sea más representativa que las distancias ortogonales, sino solamente que los datos disponibles no son válidos.

Gráfica 4.7. Relación entre P_i/H_i y los tiempos de viaje al centro del área de estudio.



Gráfica 4.8. Relación entre tiempos de viaje y distancia al centro del área de estudio.

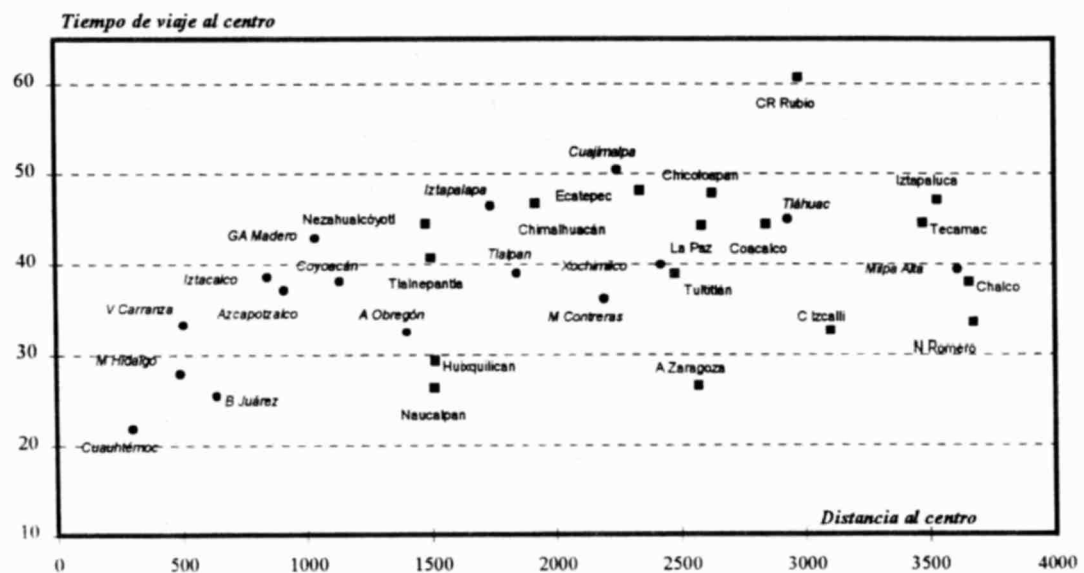


Figura 4.2. Tiempos de viaje al centro del área de estudio por delegación y municipio.



4.4. EL MODELO DE W. G. HANSEN.

Como se indicó en el capítulo anterior, para la calibración del modelo es necesario definir valores para el parámetro b (el exponente de la distancia); los ensayos se realizaron para valores de b desde 2.0 hasta 0.4; en general, se obtuvieron mejores resultados con las distancias ortogonales, por lo que los resultados que se describen en seguida consideran estas distancias.

Como ya se ha mencionado, el criterio de selección del valor de b , fue el obtener un valor máximo de R (la correlación), y un mínimo de S (la desviación estándar); estas condiciones se cumplen para $b = 0.68$, para el que $R = 0.852$ y $S = 266,697.6$. De esta forma, la expresión final del modelo queda como sigue:

$$G_i = G_T \frac{A_i H_i}{\sum_j A_j H_j}; \quad \text{para } A_i = \sum_j \frac{E_j}{(d_{ic})^{0.68}} \quad \dots 26$$

En la tabla 4.9 se presentan los resultados de la corrida del modelo para $b = 0.68$. Como puede observarse de la tabla, el valor máximo de la desviación entre G_i y P_i es el que corresponde al municipio de Nezahualcóyotl (-1'247,071), el cual resulta relativamente lógico pues este municipio es un caso completamente atípico dentro del comportamiento general dentro del área de estudio.

En la gráfica 4.9, pueden observarse los resultados obtenidos con el modelo, donde se identifica el municipio de Nezahualcóyotl completamente fuera del patrón correspondiente a las delegaciones y municipios restantes. En la gráfica 4.10, se presentan las diferencias absolutas entre los resultados del modelo y la población para cada delegación y municipio.

Finalmente, en la gráfica 4.11, se presenta el comportamiento de R y S , en función del valor del parámetro b (el exponente de la distancia).

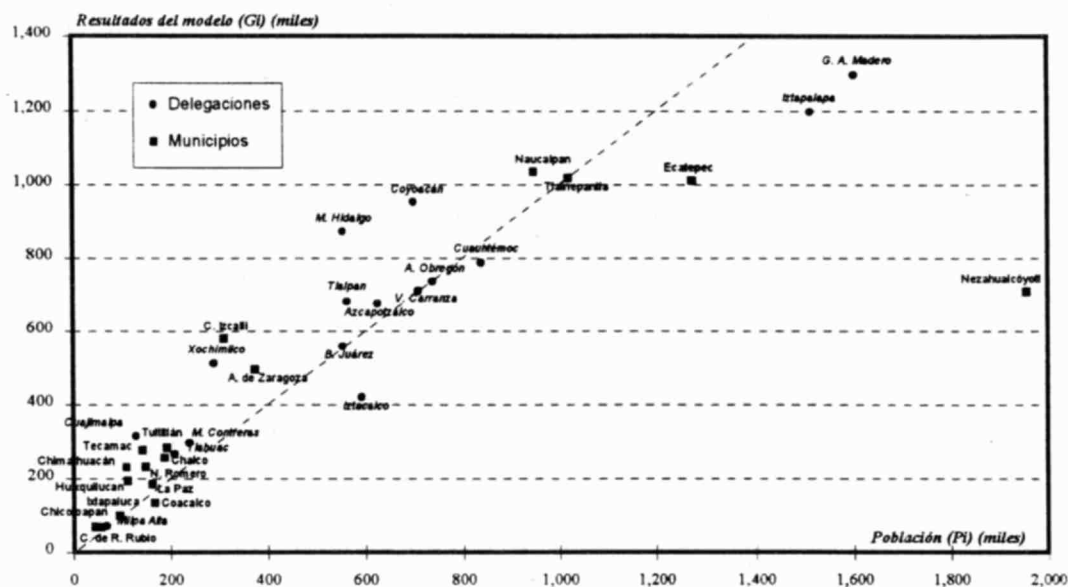
Tabla 4.9. Resultados del modelo de W. G. Hansen. Año base: 1985.

No	Delegación/ Municipio	Accesibilidad (A _i)	Desarrollo Potencial (D _i) (miles)	$A_i \cdot H_i /$ $\Sigma(A_i \cdot H_i)$	Resultados del modelo (G _i)	Población real (P _i)	Diferencia (G _i -P _i)
1	Alvaro Obregón	21,906.7	100,333.9	0.0428	737,166	738,801	-1,635
2	Azcapotzalco	26,771.7	91,933.9	0.0392	675,450	626,071	49,379
3	Benito Juárez	28,061.5	76,099.9	0.0325	559,116	554,595	4,521
4	Coyoacán	22,459.7	129,632.4	0.0553	952,426	699,814	252,612
5	Cuajimalpa	16,070.1	42,778.6	0.0183	314,300	128,178	186,122
6	Cuauhtémoc	32,349.2	107,053.2	0.0457	786,534	838,632	-52,098
7	G A Madero	23,551.5	176,710.7	0.0754	1,298,316	1,601,991	-303,675
8	Iztacalco	25,386.6	57,078.3	0.0244	419,361	593,368	-174,007
9	Iztapalapa	19,992.7	163,053.3	0.0696	1,197,974	1,512,717	-314,743
10	M Contreras	16,916.8	40,268.1	0.0172	295,855	240,495	55,360
11	Miguel Hidalgo	30,010.6	118,680.7	0.0506	871,962	554,975	316,987
12	Milpa Alta	11,961.6	9,653.2	0.0041	70,923	67,429	3,494
13	Tláhuac	14,271.5	36,197.1	0.0154	265,945	210,240	55,705
14	Tlalpan	18,312.4	92,858.6	0.0396	682,244	563,516	118,728
15	V Carranza	28,088.3	96,682.9	0.0412	710,341	709,927	414
16	Xochimilco	15,600.9	69,780.3	0.0298	512,685	290,664	222,021
17	A de Zaragoza	15,332.3	67,365.5	0.0287	494,943	375,000	119,943
18	Coacalco	14,057.0	18,240.4	0.0078	134,015	167,000	-32,985
19	C Izcalli	13,367.8	78,869.9	0.0336	579,467	310,000	269,467
20	C de R Rubio	13,453.2	9,255.8	0.0039	68,004	55,568	12,436
21	Chalco	12,026.4	34,996.8	0.0149	257,126	187,694	69,432
22	Chicoloapan	13,150.2	9,403.2	0.0040	69,086	44,620	24,466
23	Chimalhuacán	16,080.0	31,291.6	0.0134	229,904	107,725	122,179
24	Ecatepec	16,279.6	137,627.7	0.0587	1,011,169	1,273,000	-261,831
25	Huixquilucan	18,905.8	26,279.0	0.0112	193,075	110,000	83,075
26	Iztapalaca	12,251.8	13,440.3	0.0057	98,747	93,889	4,858
27	Naucalpan	20,070.5	140,792.8	0.0601	1,034,423	947,872	86,551
28	Nezahualcóyotl	18,964.9	96,360.7	0.0411	707,975	1,955,046	-1,247,071
29	Nicolás Romero	11,893.8	31,518.6	0.0134	231,571	147,776	83,795
30	La Paz	14,889.0	25,087.9	0.0107	184,324	161,422	22,902
31	Tecamac	12,324.7	37,670.3	0.0161	276,769	140,954	135,815
32	Tlalnepantla	21,174.0	138,393.0	0.0590	1,016,791	1,019,000	-2,209
33	Tultitlán	13,764.0	38,539.2	0.0164	283,153	193,161	89,992
Totales			2,343,927.9	1.0000	17,221,140	17,221,140	

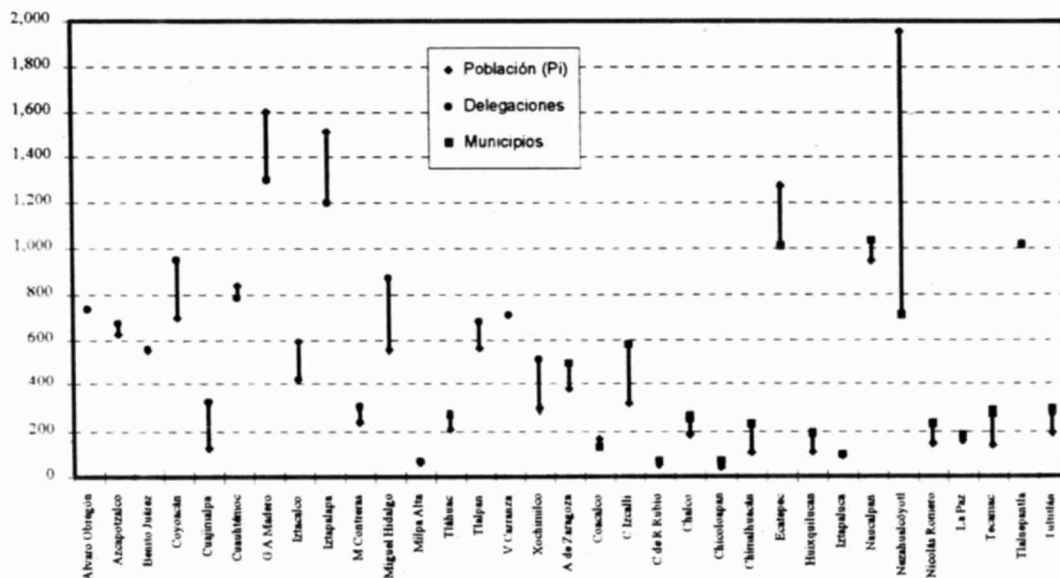
Correlación	0.8523
Desviación estándar	266,697.6

Exponente de la distancia	0.68
---------------------------	-------------

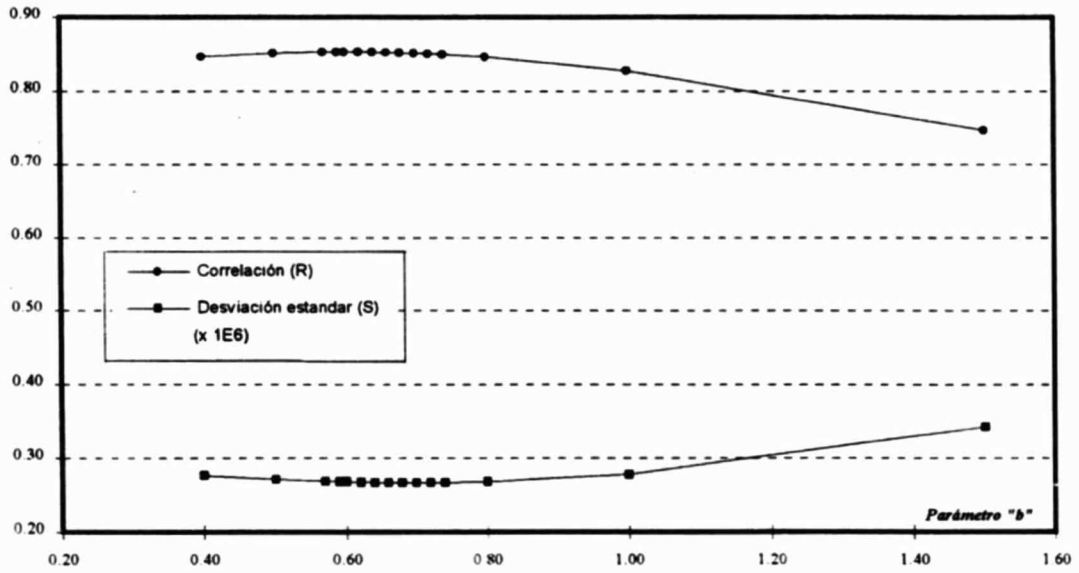
Gráfica 4.9. Resultados del modelo de W. G. Hansen.



Gráfica 4.10. Diferencias entre los resultados del modelo de W. G. Hansen y los valores de P_i .



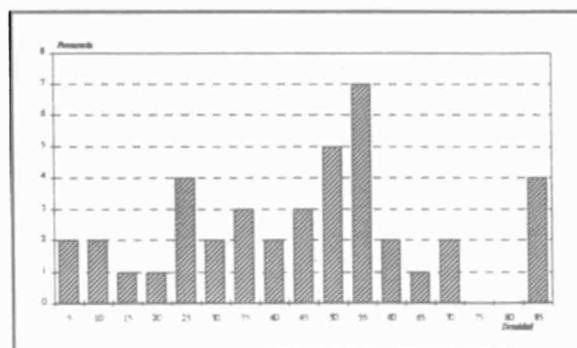
Gráfica 4.11. Comportamiento de R y S en función de b.



5. CASO DE ESTUDIO 2: CIUDAD DE MEXICALI, B.C.

La ciudad de Mexicali, se encuentra en el extremo septentrional del estado de Baja California, en la frontera con Estados Unidos. En 1990 tenía una población superior a los 438 mil habitantes, por lo que es considerada como una ciudad de tamaño medio. Junto con la ciudad de Tijuana, es a nivel regional, un punto muy importante de paso hacia los Estados Unidos y, de hecho, mantiene una gran interrelación con la ciudad de Calexico -al otro lado de la frontera- principalmente en lo que se refiere a las relaciones comerciales.

La ciudad presenta bajas densidades de población, con un promedio de 42.6 hab/ha, y un máximo de 84 (con base en el área total de la zona). Como se observa en la figura de la derecha, la mayor parte de las zonas (la zonificación consta de 41 unidades de análisis) presenta densidades menores a 60 hab/ha - solamente 7 zonas rebasan esta cantidad -.



Si se considera solamente el área con uso habitacional, las densidades van de 50 a 100 hab/ha, con un promedio de 70; en la figura 5.1 se presentan las densidades de población para cada una de las zonas en las que se dividió el área de estudio.

La ciudad depende básicamente de la industria maquiladora, concentrada en diversos parques y zonas ubicados cerca del centro, y en corredores sobre los accesos carreteros. Por su parte, las áreas comerciales y de servicios se concentran en el centro y en algunos corredores a lo largo de las principales vías primarias de la ciudad. En la figura 5.2 se presentan los principales usos de suelo actuales.

Figura 5.1. Ciudad de Mexicali: Usos generales de suelo.

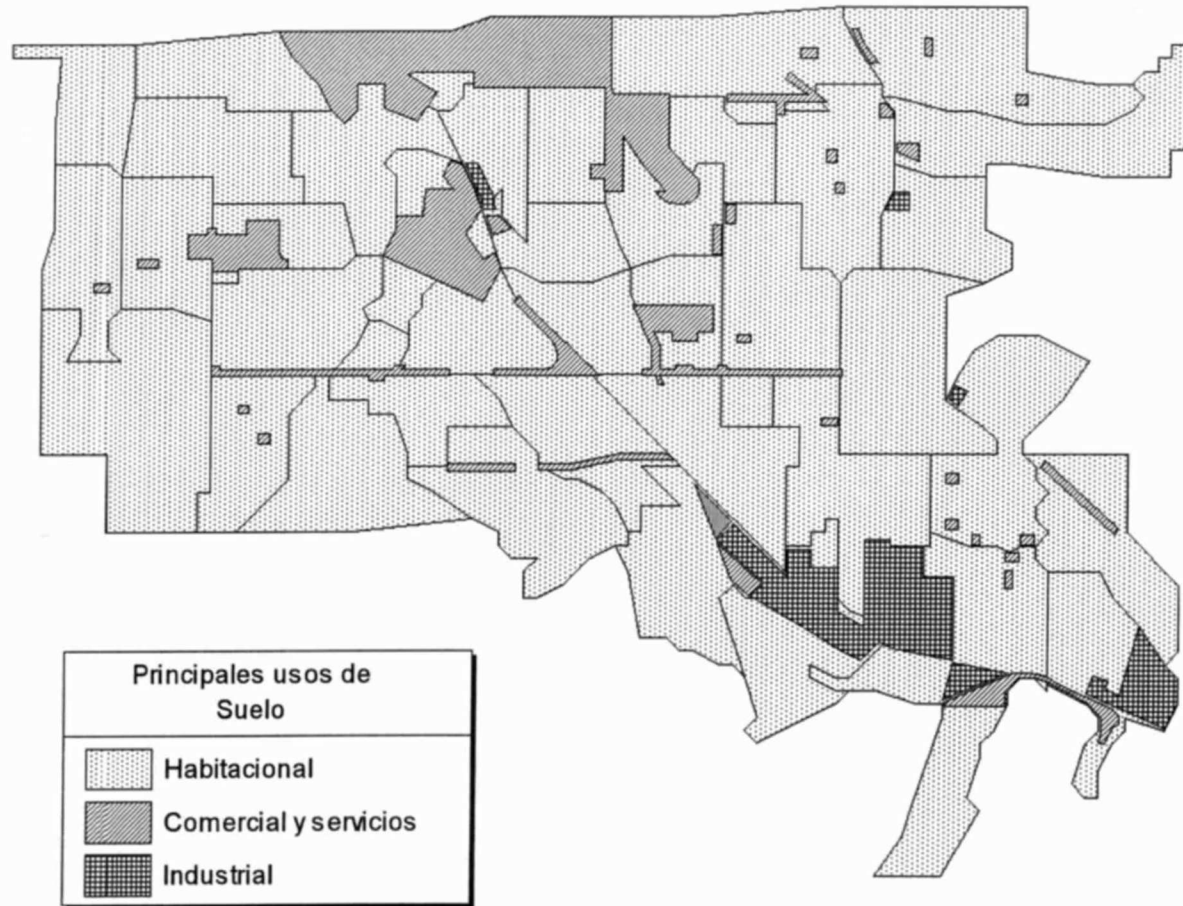
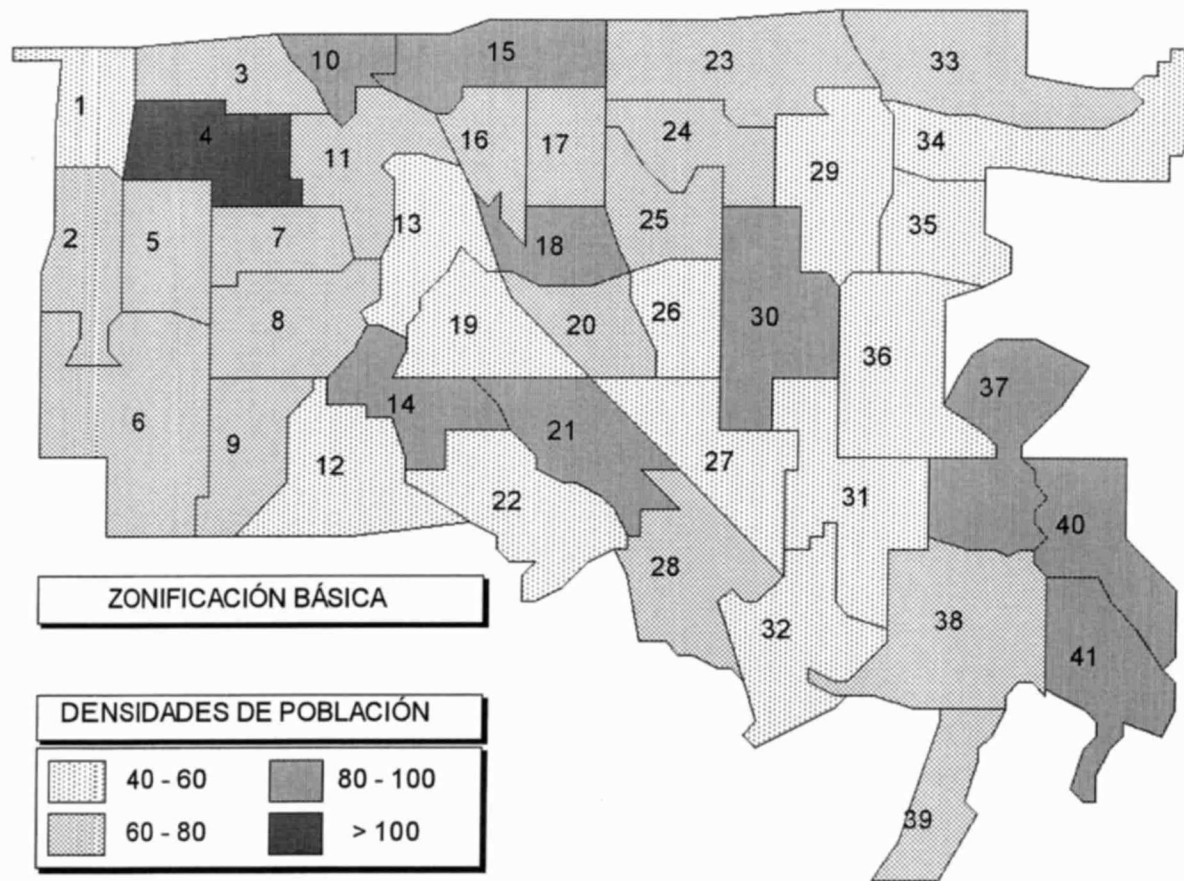


Figura 5.2. Ciudad de Mexicali: Densidades de población (con base en el área habitacional por zona).



5.1. INSUMOS PARA LA CALIBRACIÓN DEL MODELO.

La información básica para la aplicación del modelo se tomó de los resultados preliminares del Estudio Integral de Vialidad y Transporte Urbano (EIVT) de la ciudad de Mexicali, que la Universidad Autónoma de Baja California desarrolló para la Secretaría de Desarrollo Social (SEDESOL) como parte del Programa de Ciudades Medias.

En el EIVT de la ciudad de Mexicali, se consideró una zonificación básica con un total de 57 zonas para el área urbana actual, formadas a partir de las Áreas Geoestadísticas Básicas del INEGI. Para los propósitos del presente trabajo, se replanteó la zonificación inicial, con la intención de lograr una mayor uniformidad en el tamaño de las zonas; de esta forma, se obtuvieron 41 zonas agregadas. Los límites de las zonas pueden observarse en las dos figuras anteriores.

5.1.1. EMPLEOS (E_j).

Para el año base se tenían un total de 177,816 empleos, de los cuales 30,914 (17.4 %) eran empleos industriales, y 146,902 (82.6 %) eran empleos en el área comercial y de servicios. A diferencia de lo que ocurre en el caso del AMVM, la concentración de los empleos no es tan marcada; como puede apreciarse en la tabla 5.1, considerando doce zonas solamente se llega al 58.5 % de los empleos.

Esta característica es un elemento determinante en los resultados del modelo, pues la población se asigna en función de la accesibilidad a los empleos, y al estar dispersos, se generan gradientes de densidad a partir de diversos puntos de la ciudad que se traslapan entre sí.

En la tabla 5.2 se presentan la distribución de los empleos por zona, y se representan en la gráfica 5.1.

Tabla 5.1. Concentración de empleos en 12 zonas del área de estudio.

Zona	Empleos (E_j)	%	% Acumulado
15	19,376	10.90	10.90
13	12,315	6.93	17.82
10	11,562	6.50	24.32
6	7,769	4.37	28.69
26	7,499	4.22	32.91
33	7,401	4.16	37.07
38	7,057	3.97	41.04
19	6,817	3.83	44.88
7	6,816	3.83	48.71
23	5,960	3.35	52.06
24	5,806	3.27	55.33
27	5,600	3.15	58.48

Gráfica 5.1. Empleos (E_j) por zona.

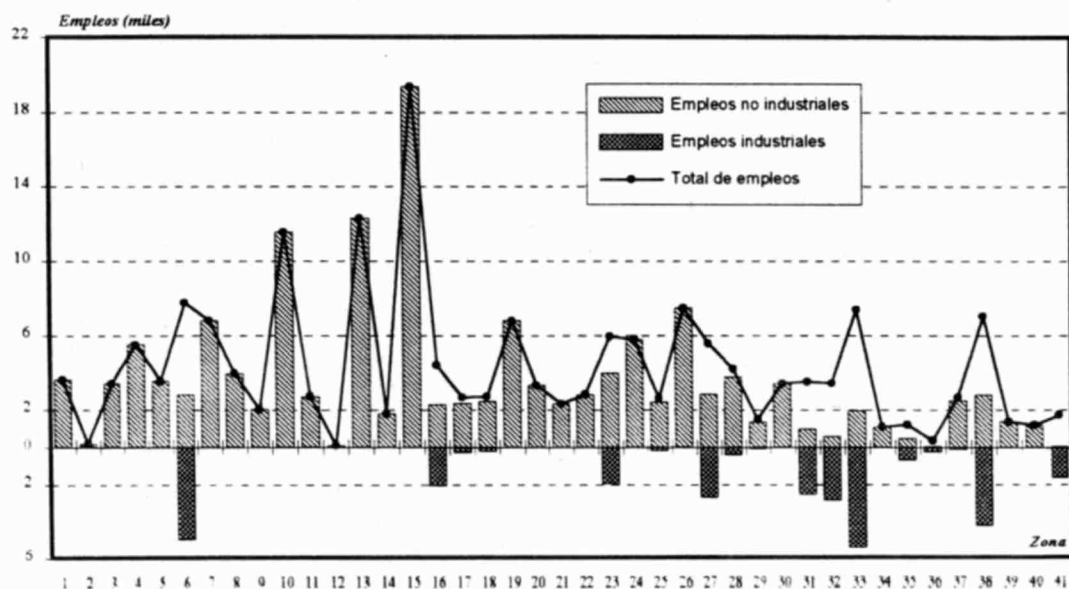


Tabla 5.2. Empleos por zona.

Zona	Empleos industriales	Empleos no industriales	Total de empleos	%
1	0	3,646	3,646	2.05
2	0	187	187	0.11
3	0	3,452	3,452	1.94
4	0	5,524	5,524	3.11
5	0	3,574	3,574	2.01
6	4,937	2,832	7,769	4.37
7	0	6,816	6,816	3.83
8	0	3,960	3,960	2.23
9	0	2,030	2,030	1.14
10	0	11,562	11,562	6.50
11	0	2,742	2,742	1.54
12	0	115	115	0.06
13	0	12,315	12,315	6.93
14	0	1,811	1,811	1.02
15	0	19,376	19,376	10.90
16	2,084	2,331	4,415	2.48
17	300	2,393	2,693	1.51
18	253	2,477	2,730	1.54
19	0	6,817	6,817	3.83
20	0	3,347	3,347	1.88
21	0	2,337	2,337	1.31
22	0	2,829	2,829	1.59
23	1,969	3,991	5,960	3.35
24	0	5,806	5,806	3.27
25	201	2,440	2,641	1.49
26	0	7,499	7,499	4.22
27	2,721	2,879	5,600	3.15
28	431	3,786	4,217	2.37
29	118	1,370	1,488	0.84
30	0	3,455	3,455	1.94
31	2,560	980	3,540	1.99
32	2,867	582	3,449	1.94
33	5,437	1,964	7,401	4.16
34	0	1,098	1,098	0.62
35	718	491	1,209	0.68
36	273	69	342	0.19
37	136	2,542	2,678	1.51
38	4,221	2,836	7,057	3.97
39	0	1,380	1,380	0.78
40	0	1,204	1,204	0.68
41	1,688	57	1,745	0.98
Suma	30,914	146,902	177,816	100.00

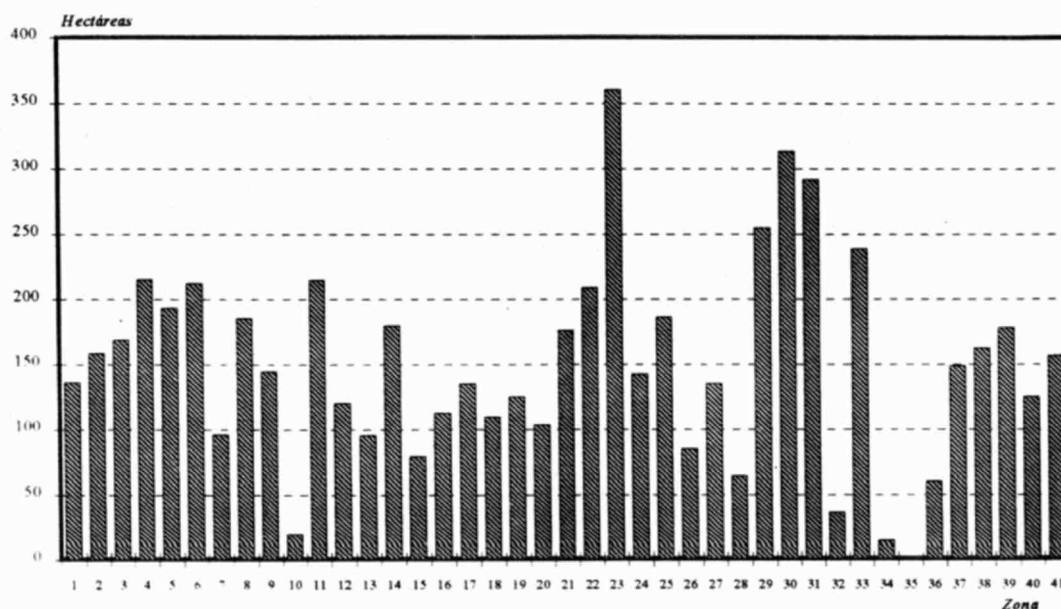
5.1.2. POTENCIAL DE CRECIMIENTO (H_i).

Como ya se indicó, el potencial de crecimiento representa la superficie disponible en cada zona; para el caso de la ciudad de Mexicali, se disponía del área urbana total y el área con uso habitacional; estos fueron los datos que se usaron para calibrar los modelos correspondientes. El área habitacional de la ciudad en 1990 era de 6,149.3 hectáreas, y la total de 10,741.04.

Como se verá más adelante, se obtuvieron mejores resultados usando el área de uso habitacional.

Los valores de H_i por zona se presentan en la tabla 5.3, y en la gráfica 5.2.

Gráfica 5.2. Área de uso habitacional (H_i) por zona.



5.1.3. POBLACIÓN (P_i).

Se tomaron los datos del Censo General de Población y Vivienda de 1990, a nivel de AGEB, para determinar la población total por zona; la población total de la ciudad en 1990 era de 438,377 habitantes.

Los datos por zona se presentan en la tabla 5.3 y en la gráfica 5.3.

Gráfica 5.3. Población (P_i) por zona.

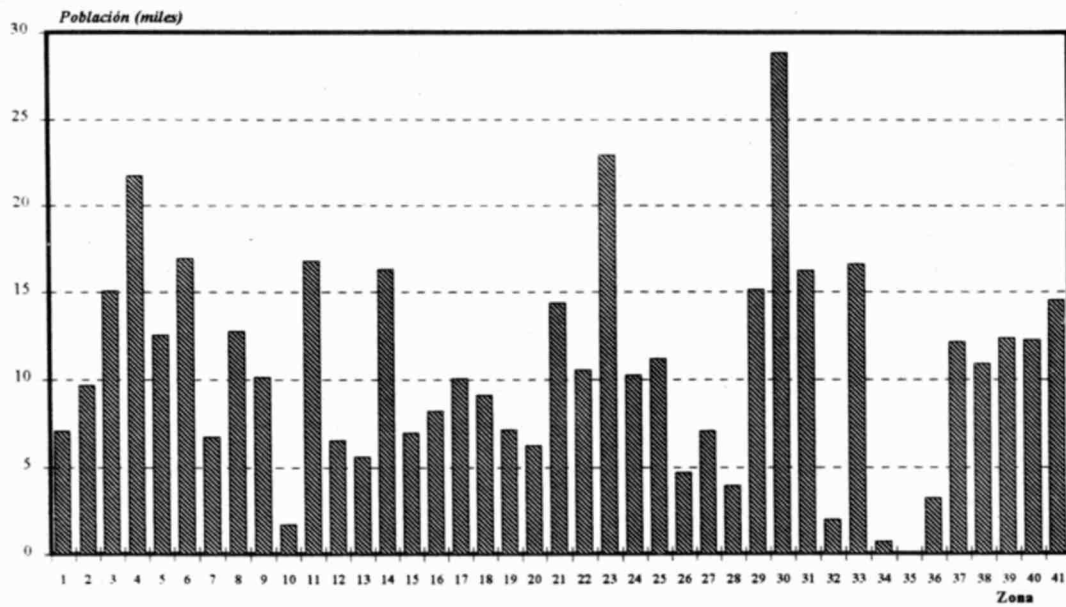


Tabla 5.3. Potencial de crecimiento (H_i) y población (P_i) por zona.

Zona	Superficie total	%	Superficie uso habitacional	%	Población (P_i)	%
1	136.47	2.22	168.24	1.57	7,081	1.62
2	158.77	2.58	177.48	1.65	9,695	2.21
3	169.31	2.75	187.72	1.75	15,100	3.44
4	215.63	3.51	263.77	2.46	21,764	4.96
5	193.44	3.15	230.65	2.15	12,552	2.86
6	212.55	3.46	510.03	4.75	16,963	3.87
7	96.12	1.56	164.65	1.53	6,765	1.54
8	185.80	3.02	287.22	2.67	12,801	2.92
9	144.90	2.36	213.22	1.99	10,172	2.32
10	18.40	0.30	107.13	1.00	1,755	0.40
11	214.74	3.49	247.53	2.30	16,826	3.84
12	120.30	1.96	296.46	2.76	6,559	1.50
13	95.41	1.55	232.73	2.17	5,610	1.28
14	179.95	2.93	201.70	1.88	16,334	3.73
15	79.52	1.29	255.59	2.38	6,975	1.59
16	112.36	1.83	154.97	1.44	8,213	1.87
17	135.31	2.20	158.46	1.48	10,070	2.30
18	109.69	1.78	160.45	1.49	9,150	2.09
19	125.40	2.04	237.50	2.21	7,145	1.63
20	103.69	1.69	161.15	1.50	6,288	1.43
21	176.30	2.87	263.17	2.45	14,410	3.29
22	208.86	3.40	325.42	3.03	10,558	2.41
23	360.86	5.87	399.18	3.72	22,969	5.24
24	142.89	2.32	193.50	1.80	10,280	2.35
25	186.58	3.03	210.77	1.96	11,205	2.56
26	85.40	1.39	173.83	1.62	4,697	1.07
27	135.60	2.21	292.87	2.73	7,095	1.62
28	64.25	1.04	315.73	2.94	3,991	0.91
29	254.70	4.14	312.24	2.91	15,182	3.46
30	313.73	5.10	343.84	3.20	28,896	6.59
31	291.73	4.74	352.25	3.28	16,267	3.71
32	35.80	0.58	324.63	3.02	2,011	0.46
33	238.65	3.88	345.82	3.22	16,625	3.79
34	12.80	0.21	337.60	3.14	713	0.16
35	0.78	0.01	217.90	2.03	42	0.01
36	60.20	0.98	402.27	3.75	3,256	0.74
37	149.06	2.42	329.90	3.07	12,186	2.78
38	162.77	2.65	459.37	4.28	10,930	2.49
39	178.18	2.90	190.21	1.77	12,404	2.83
40	125.40	2.04	252.98	2.36	12,284	2.80
41	157.00	2.55	280.91	2.62	14,558	3.32
Suma	6149.30	100.00	10,741.04	100.00	438,377	100.00

5.1.4. FUNCIÓN DE LA DISTANCIA (D_{ij}).

Con los mismos procedimientos descritos en la sección 4.1.4, se construyeron las matrices de distancias ortogonales y radiales:

En la gráfica 5.4 se presentan las coordenadas de los centroides de las zonas, y en la tabla 5.4, las distancias ortogonales al centro del área de estudio, y las distancias internas de cada zona.

Las matrices de distancias ortogonales y radiales entre los centroides de las zonas, se presentan en el Anexo 2.

Gráfica 5.4. Coordenadas de los centroides de las zonas.

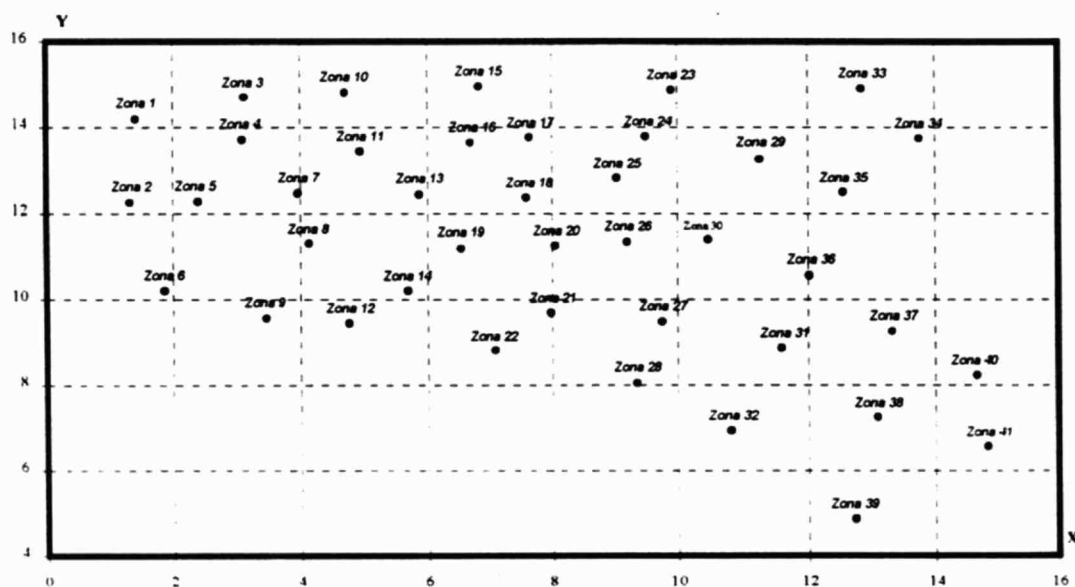
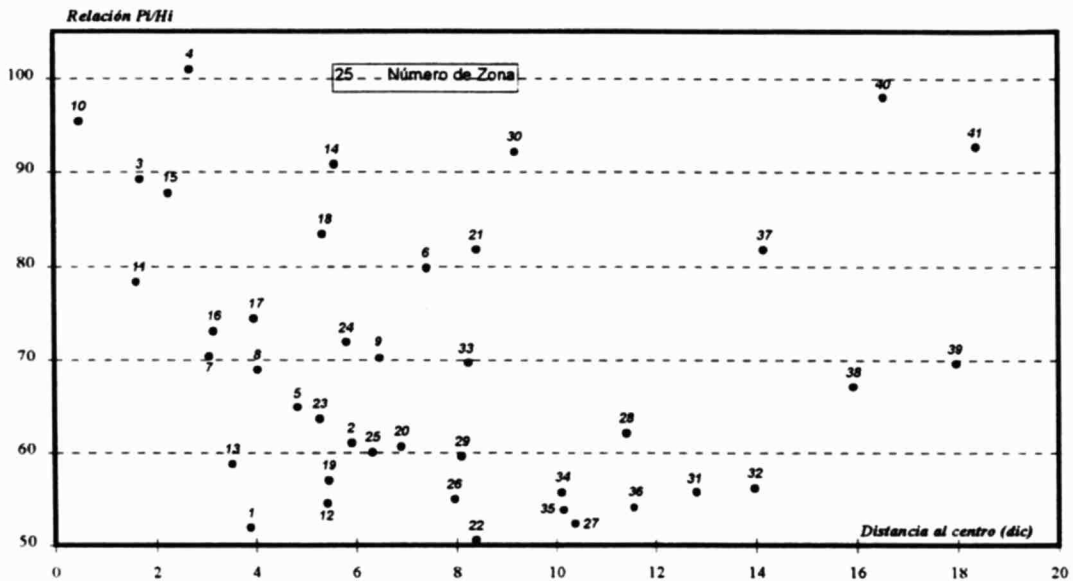


Tabla 5.4. Coordenadas de los centroides, distancia ortogonal al centro del área de estudio y distancias internas por zona.

Zona	Coordenadas		Distancia ortogonal al centro (*)	Distancias internas
	X _i	Y _i		
1	1.43	14.20	3.89	0.64
2	1.33	12.26	5.93	0.86
3	3.13	14.70	1.69	0.73
4	3.10	13.71	2.71	0.86
5	2.41	12.28	4.83	0.78
6	1.88	10.20	7.44	1.20
7	3.97	12.48	3.07	0.69
8	4.15	11.33	4.05	0.88
9	3.47	9.56	6.49	0.80
10	4.71	14.81	0.50	0.50
11	4.94	13.45	1.60	1.00
12	4.77	9.45	5.43	1.17
13	5.88	12.44	3.54	0.91
14	5.69	10.20	5.60	0.84
15	6.84	14.96	2.28	0.95
16	6.70	13.65	3.16	0.72
17	7.64	13.77	3.98	0.63
18	7.60	12.36	5.34	0.69
19	6.54	11.19	5.46	0.83
20	8.06	11.25	6.91	0.69
21	7.99	9.69	8.41	0.95
22	7.09	8.82	8.38	0.98
23	9.93	14.87	5.28	1.17
24	9.52	13.79	5.83	0.80
25	9.05	12.83	6.33	0.70
26	9.22	11.35	7.97	0.72
27	9.77	9.49	10.39	0.95
28	9.36	8.05	11.42	0.98
29	11.26	13.27	8.10	0.98
30	10.48	11.40	9.19	1.06
31	11.59	8.88	12.82	1.13
32	10.82	6.95	13.98	1.00
33	12.85	14.91	8.25	1.16
34	13.76	13.75	10.12	1.09
35	12.56	12.51	10.16	0.83
36	12.02	10.56	11.57	1.00
37	13.32	9.26	14.16	0.86
38	13.09	7.26	15.94	1.13
39	12.74	4.87	17.97	0.81
40	14.68	8.24	16.55	0.78
41	14.85	6.58	18.38	0.95

(*) El centro del área de estudio es la zona número 10.

Gráfica 5.5. Relación entre P_i/H_i (con superficie de uso habitacional) y distancias ortogonales al centro del área de estudio.



Los resultados del modelo indican una ponderación muy baja del efecto de la distancia al centro de la ciudad, en la concentración de la población por zona. Esta conclusión se confirma si se considera como potencial de crecimiento el área total de la zona, con la que se obtiene una correlación entre los resultados del modelo y P_i de aproximadamente 0.3, y una desviación estándar del estimador mayor de 5 mil..

5.2. MODELO DE ACCESIBILIDAD AL CENTRO DEL ÁREA DE ESTUDIO.

Se utilizó la estructura descrita en la sección 2.2; nuevamente se obtuvieron mejores resultados con las distancias ortogonales. La recta de regresión encontrada entre los valores de d_{ic} y la razón G_i/H_i , es la siguiente:

$$\ln \frac{G_i}{H_i} = 4.3842 - 0.08466 \ln(d_{ic}) \quad \dots 27$$

En la gráfica 5.5 se muestra la relación entre la razón G_i/H_i (la densidad de cada zona) y las distancias ortogonales al centro del área de estudio; es evidente que para este caso no hay una relación estrecha entre ambas variables.

Con este resultado se obtiene que el valor de b es de 0.08466, y la expresión que relaciona a d_{ic} y a la razón G_i/H_i se obtiene aplicando antilogaritmos a 13, con lo que se tiene:

$$\frac{G_i}{H_i} = \frac{80.174}{(d_{ic})^{0.08466}} \quad \dots 28$$

Finalmente, la formulación del modelo de asignación de la población es la siguiente:

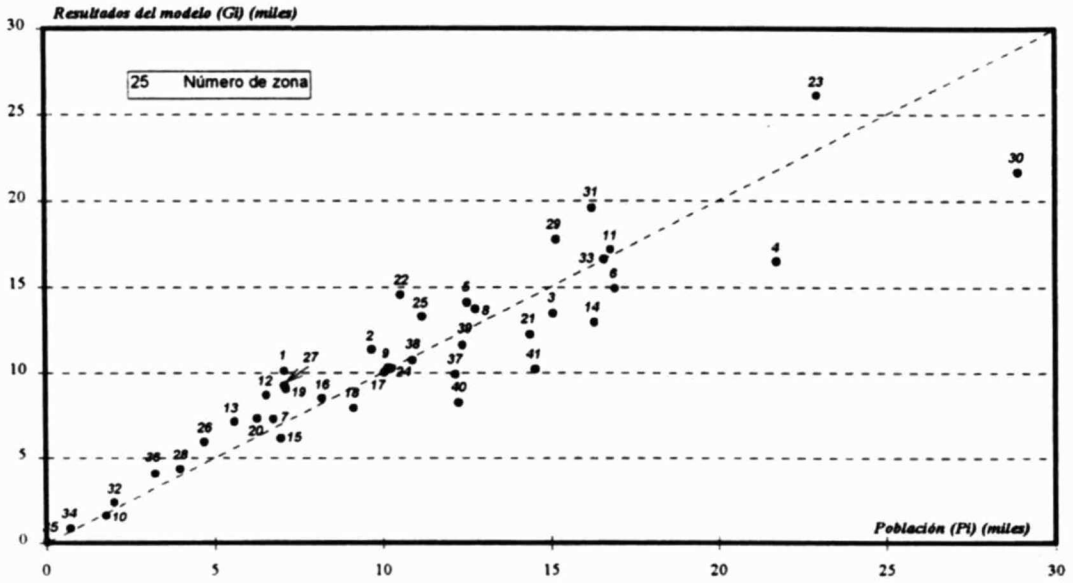
$$G_i = G_T \frac{A_i H_i}{\sum_j A_j H_j}; \quad \text{para } A_i \doteq \frac{1}{(d_{ic})^{0.08466}} \quad \dots 29$$

con el que se obtiene una correlación de 0.9214, y una desviación estándar de 2,389.14, entre los resultados de G_i y P_i . En la tabla 5.5 y la gráfica 5.6 se presentan una comparación entre los resultados del modelo y la población real de cada zona, y en la gráfica 5.7 las diferencias absolutas entre ambos valores.

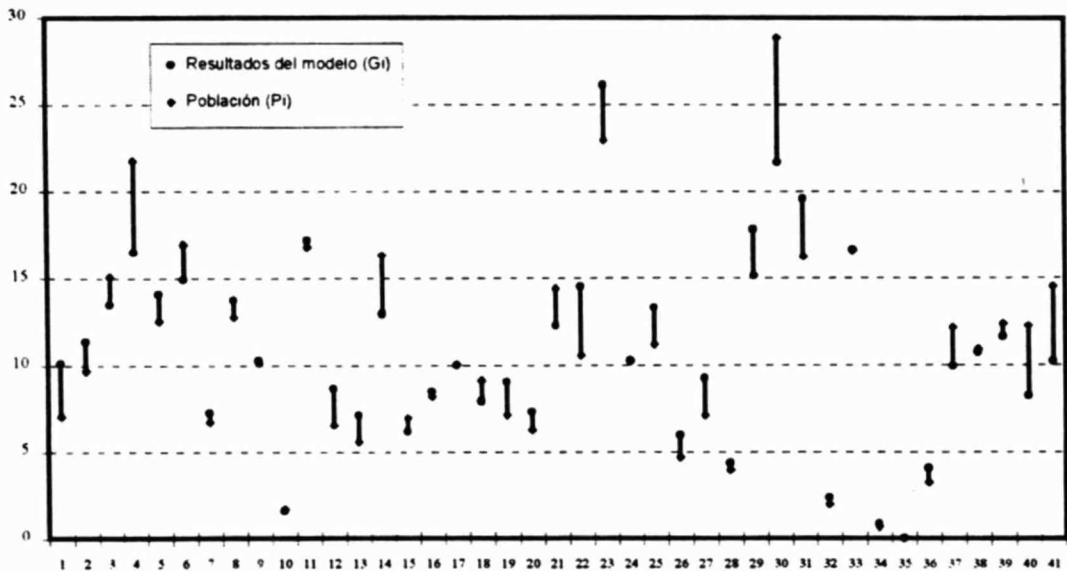
Tabla 5.5. Resultados del modelo de accesibilidad al centro del área de estudio.

Zona	Distancia al centro	Accesibilidad (A_i)	Superficie uso habitacional (H_i)	($A_i H_i$)	Resultados del modelo (G_i)	Población real (P_i)
1	3.89	0.89	136.47	121.64	10,134	7,081
2	5.93	0.86	158.77	136.56	11,378	9,695
3	1.69	0.96	169.31	161.96	13,494	15,100
4	2.71	0.92	215.63	198.18	16,512	21,764
5	4.83	0.88	193.44	169.29	14,105	12,552
6	7.44	0.84	212.55	179.34	14,942	16,963
7	3.07	0.91	96.12	87.41	7,283	6,765
8	4.05	0.89	185.80	165.06	13,752	12,801
9	6.49	0.85	144.90	123.68	10,305	10,172
10	0.50	1.06	18.40	19.51	1,626	1,755
11	1.60	0.96	214.74	206.36	17,193	16,826
12	5.43	0.87	120.30	104.25	8,686	6,559
13	3.54	0.90	95.41	85.73	7,143	5,610
14	5.60	0.86	179.95	155.53	12,958	16,334
15	2.28	0.93	79.52	74.17	6,180	6,975
16	3.16	0.91	112.36	101.94	8,493	8,213
17	3.98	0.89	135.31	120.39	10,030	10,070
18	5.34	0.87	109.69	95.18	7,930	9,150
19	5.46	0.87	125.40	108.62	9,050	7,145
20	6.91	0.85	103.69	88.04	7,335	6,288
21	8.41	0.84	176.30	147.22	12,266	14,410
22	8.38	0.84	208.86	174.46	14,535	10,558
23	5.28	0.87	360.86	313.47	26,117	22,969
24	5.83	0.86	142.89	123.08	10,255	10,280
25	6.33	0.86	186.58	159.59	13,297	11,205
26	7.97	0.84	85.40	71.64	5,968	4,697
27	10.39	0.82	135.60	111.23	9,267	7,095
28	11.42	0.81	64.25	52.28	4,356	3,991
29	8.10	0.84	254.70	213.36	17,776	15,182
30	9.19	0.83	313.73	260.02	21,664	28,896
31	12.82	0.81	291.73	235.06	19,585	16,267
32	13.98	0.80	35.80	28.64	2,386	2,011
33	8.25	0.84	238.65	199.61	16,631	16,625
34	10.12	0.82	12.80	10.52	877	713
35	10.16	0.82	0.78	0.64	53	42
36	11.57	0.81	60.20	48.93	4,077	3,256
37	14.16	0.80	149.06	119.10	9,923	12,186
38	15.94	0.79	162.77	128.76	10,728	10,930
39	17.97	0.78	178.18	139.52	11,625	12,404
40	16.55	0.79	125.40	98.88	8,239	12,284
41	18.38	0.78	157.00	122.70	10,223	14,558
Totales		35.20	6,149.30	5,261.60	438,377	438,377

Gráfica 5.6. Resultados del modelo de accesibilidad al centro del área de estudio. (Distancias ortogonales).



Gráfica 5.7. Diferencia entre los resultados del modelo de accesibilidad al centro del área de estudio y los valores de P_i . (Distancias ortogonales).



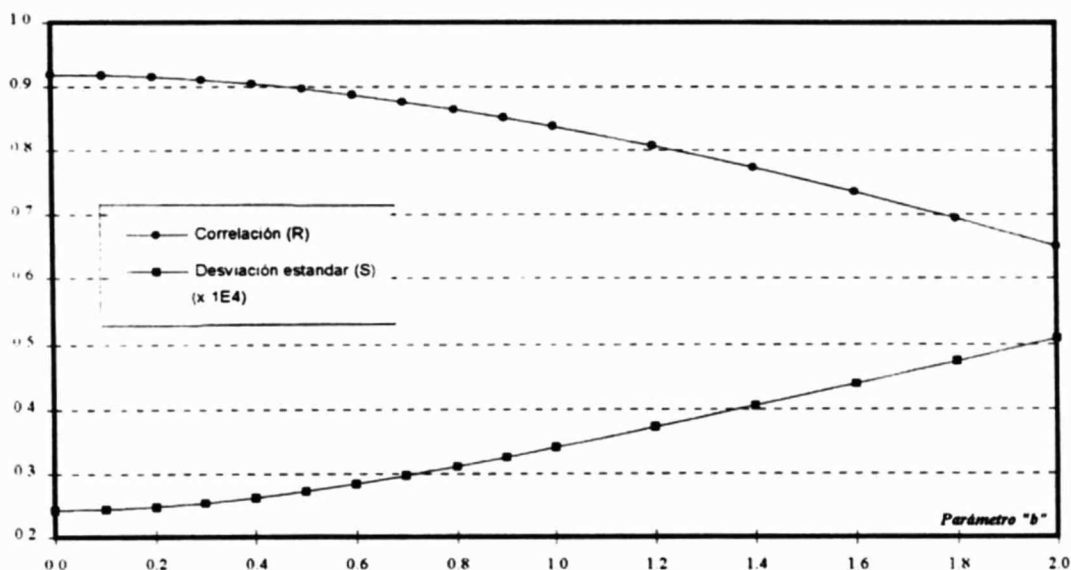
5.3. MODELO DE W. G. HANSEN.

Para la calibración de este modelo se usó también como H_i la superficie total y de uso habitacional para cada zona. Nuevamente, se obtuvieron mejores resultados con la superficie de uso habitacional.

En este caso, utilizando los mismos criterios que se definieron en la sección 4.4, se probaron valores de b de 2.0 a 0.0, con el propósito de analizar el comportamiento de la correlación (R) y la desviación estándar (S). En este caso, conforme se reducía el valor de b , se incrementaban el valor de R y se reducía S ; como se observa en la gráfica 5.8, el máximo valor de R y el mínimo de S se obtiene con $b = 0$, lo que indica que, para el caso específico de la ciudad de Mexicali, no se cumple el supuesto de que la población se distribuye en función de los empleos, esta situación se observa claramente en la figura 5.1, en la que se presenta la densidad de población por zona en el área de estudio.

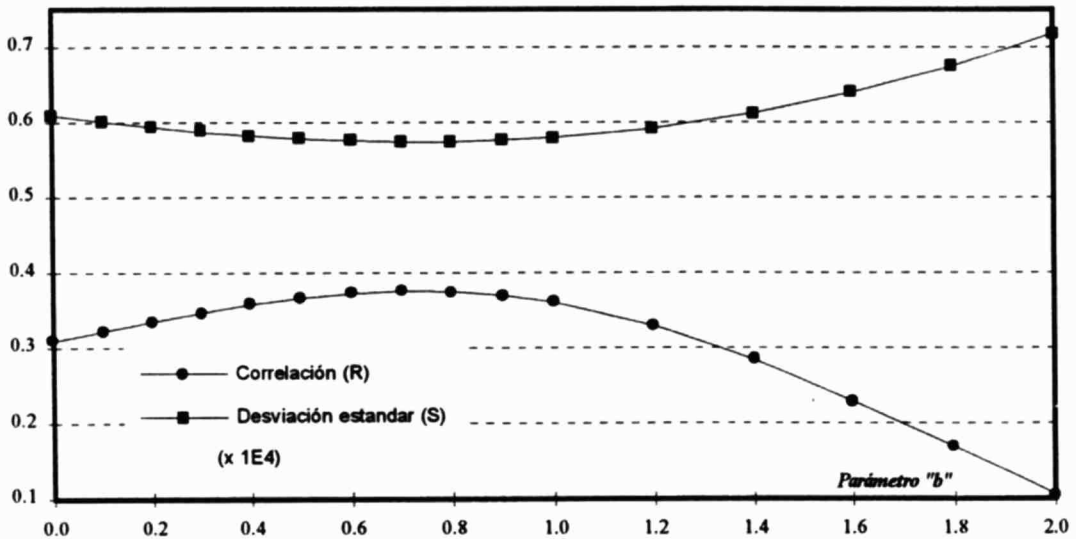
Para $b = 0$, los valores de R y S son 0.9188 y 2,425.1 respectivamente, que no son mejores que los que se obtienen con el modelo de accesibilidad al centro del área de estudio.

Gráfica 5.8. Comportamiento de R y S en función de b (H_i = superficie de uso habitacional por zona).



Si se considera como H_i la superficie total de cada zona, entonces el comportamiento de R y S en función del exponente de la distancia b, es el que se presenta en la gráfica 5.9. Para $b = 0.74$ se obtiene que $R = 0.375$ y $S = 5,739.2$.

Gráfica 5.9. Comportamiento de R y S en función de b (H_i = superficie total por zona).



Estos resultados tienen un efecto en la estructura matemática del modelo; usando el área de uso habitacional, si $b = 0$, entonces la función de accesibilidad quedaría como $A_i = \sum E_j$, y esto implica que la asignación de la población en cada zona, se hace solamente en función de su potencial de crecimiento (H_i), dicho de otra forma, la proporción de la población asignada a cada zona, es igual a la proporción de la superficie de uso habitacional de esa zona con respecto a la superficie total de uso habitacional del área de estudio. Así, con este valor de b, el modelo queda como sigue:

$$G_i = G_T \frac{H_i}{\sum_j H_j} \quad \dots 30$$

Con esta estructura se obtienen los resultados que se presentan en la tabla 5.6. En las gráficas 5.10 y 5.11 se presentan los resultados del modelo considerando la superficie de uso habitacional, y en las gráficas 5.12 y 5.13 con la superficie total por zona.

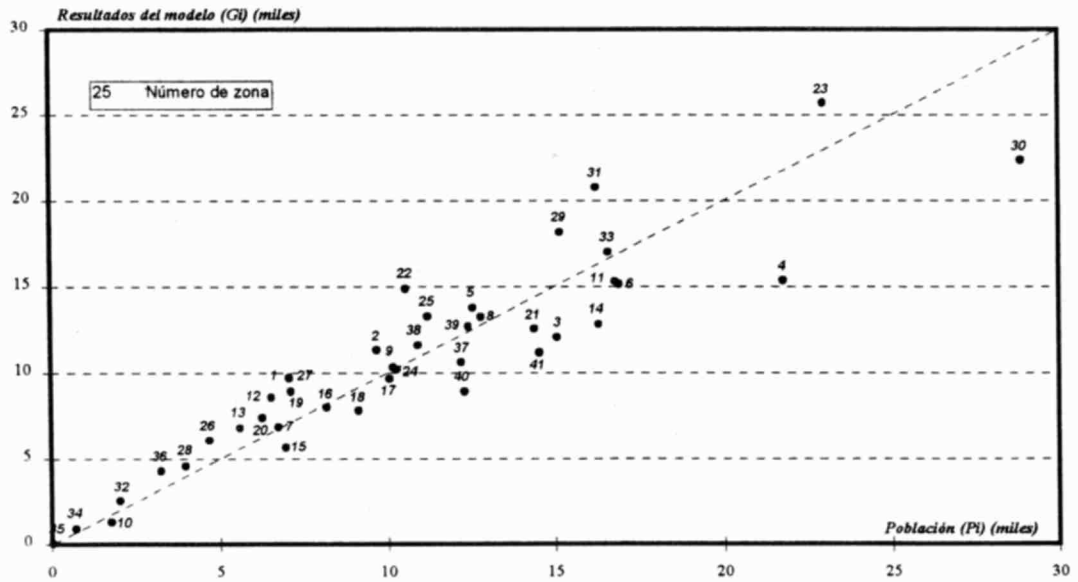
Tabla 5.6. Resultados del modelo de W.G. Hansen: Año base 1990.

Zona	Accesibilidad (A _i)	Desarrollo potencial D _i (miles)	A _i *H _i / Σ(A _i *H _i)	Resultados del modelo (G _i)	Población real (P _i)	Diferencia	
						(G _i -P _i)	%
1	177,816	24,266.5	0.0222	9,729	7,081	2,647.8	37.4
2	177,816	28,231.8	0.0258	11,319	9,695	1,623.5	16.7
3	177,816	30,106.0	0.0275	12,070	15,100	-3,030.1	-20.1
4	177,816	38,342.5	0.0351	15,372	21,764	-6,392.0	-29.4
5	177,816	34,396.7	0.0315	13,790	12,552	1,238.1	9.9
6	177,816	37,794.8	0.0346	15,152	16,963	-1,810.5	-10.7
7	177,816	17,091.7	0.0156	6,852	6,765	87.3	1.3
8	177,816	33,038.2	0.0302	13,245	12,801	444.5	3.5
9	177,816	25,765.5	0.0236	10,330	10,172	157.8	1.6
10	177,816	3,271.8	0.0030	1,312	1,755	-443.3	-25.3
11	177,816	38,184.2	0.0349	15,309	16,826	-1,517.4	-9.0
12	177,816	21,391.3	0.0196	8,576	6,559	2,017.1	30.8
13	177,816	16,965.4	0.0155	6,802	5,610	1,191.7	21.2
14	177,816	31,998.0	0.0293	12,828	16,334	-3,505.6	-21.5
15	177,816	14,139.9	0.0129	5,669	6,975	-1,306.1	-18.7
16	177,816	19,979.4	0.0183	8,010	8,213	-203.0	-2.5
17	177,816	24,060.3	0.0220	9,646	10,070	-423.9	-4.2
18	177,816	19,504.6	0.0178	7,820	9,150	-1,330.3	-14.5
19	177,816	22,298.1	0.0204	8,940	7,145	1,794.6	25.1
20	177,816	18,437.7	0.0169	7,392	6,288	1,103.9	17.6
21	177,816	31,349.0	0.0287	12,568	14,410	-1,841.8	-12.8
22	177,816	37,138.6	0.0340	14,889	10,558	4,331.4	41.0
23	177,816	64,166.7	0.0587	25,725	22,969	2,756.3	12.0
24	177,816	25,408.1	0.0232	10,186	10,280	-93.5	-0.9
25	177,816	33,176.9	0.0303	13,301	11,205	2,096.1	18.7
26	177,816	15,185.5	0.0139	6,088	4,697	1,391.1	29.6
27	177,816	24,111.8	0.0221	9,667	7,095	2,571.8	36.2
28	177,816	11,424.7	0.0104	4,580	3,991	589.3	14.8
29	177,816	45,289.7	0.0414	18,157	15,182	2,975.3	19.6
30	177,816	55,786.2	0.0510	22,365	28,896	-6,530.5	-22.6
31	177,816	51,874.3	0.0474	20,797	16,267	4,530.1	27.8
32	177,816	6,365.8	0.0058	2,552	2,011	541.1	26.9
33	177,816	42,435.8	0.0388	17,013	16,625	388.1	2.3
34	177,816	2,276.0	0.0021	912	713	199.5	28.0
35	177,816	138.7	0.0001	56	42	13.6	32.4
36	177,816	10,704.5	0.0098	4,292	3,256	1,035.6	31.8
37	177,816	26,505.3	0.0242	10,626	12,186	-1,559.7	-12.8
38	177,816	28,943.1	0.0265	11,604	10,930	673.7	6.2
39	177,816	31,683.3	0.0290	12,702	12,404	298.3	2.4
40	177,816	22,298.1	0.0204	8,940	12,284	-3,344.4	-27.2
41	177,816	27,917.1	0.0255	11,192	14,558	-3,365.6	-23.1

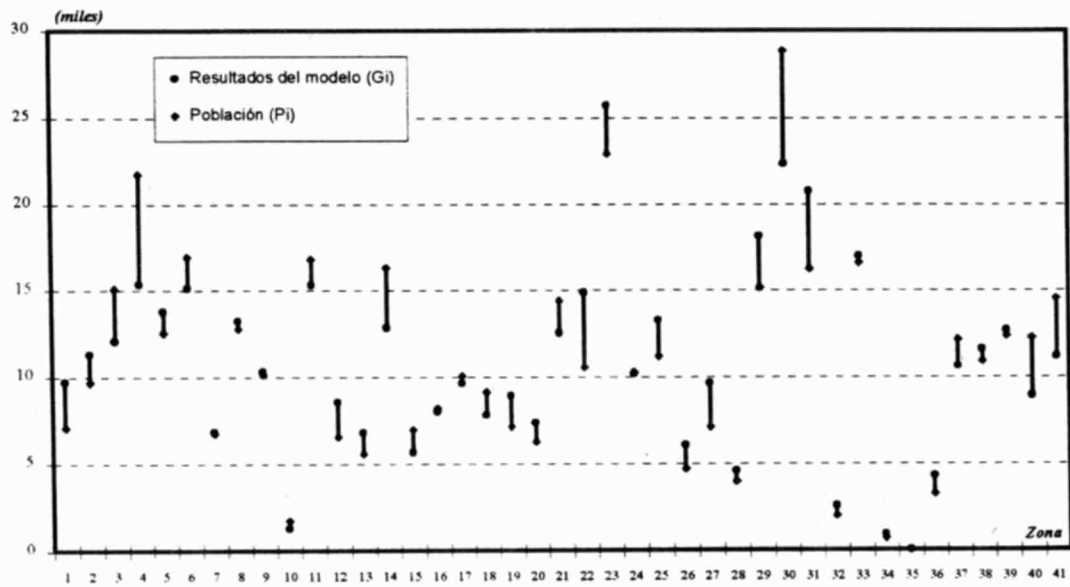
Correlación	0.9188
Desviación estándar	2,425.1

Exponente de la distancia	0.0
---------------------------	-----

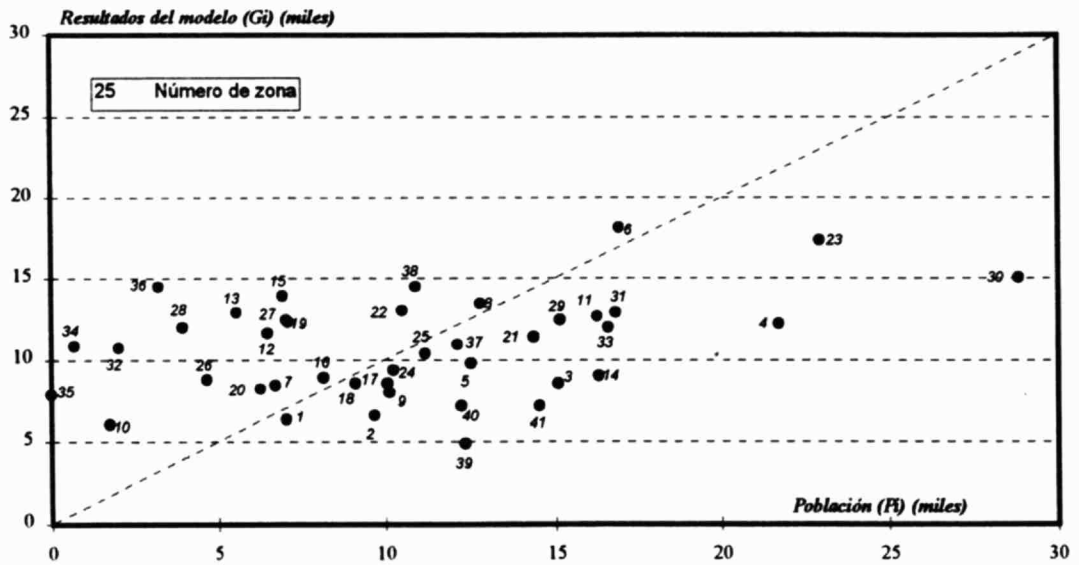
Gráfica 5.10. Resultados del modelo de W. G. Hansen (superficie de uso habitacional).



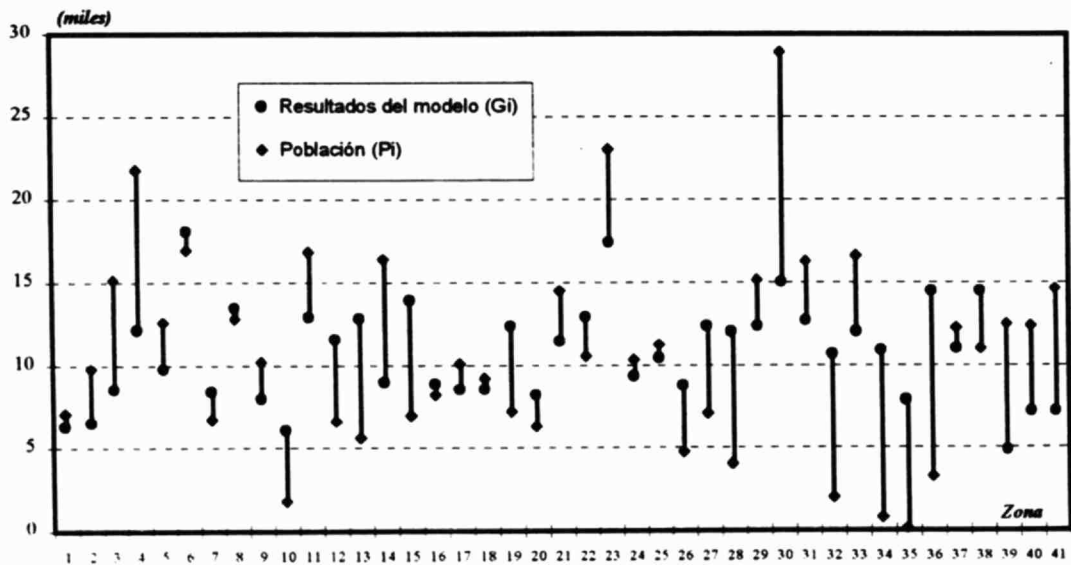
Gráfica 5.11. Diferencias entre los resultados del modelo y los valores de P_i (superficie de uso habitacional).



Gráfica 5.12. Resultados del modelo de W. G. Hansen (superficie total por zona).



Gráfica 5.13. Diferencias entre los resultados del modelo y los valores de P_i . (superficie total por zona).



6. CONCLUSIONES.

6.1. SOBRE LOS RESULTADOS DEL MODELO.

En el caso específico de la ciudad de México, en general puede afirmarse que los resultados del modelo son suficientemente buenos para obtener estimaciones reales de la distribución de la población dentro del Área Metropolitana. Los mejores resultados se obtienen con la formulación del modelo de W. G. Hansen, lo cual se esperaba pues se sabe que a una mayor complejidad de la función de accesibilidad corresponden mejores resultados.

Con respecto al modelo de accesibilidad al centro del área de estudio, es posible obtener mejores resultados si se dispone del vector de tiempos de viaje con información congruente, pues como se mostró en el capítulo 4, los datos disponibles presentan inconsistencias; sin embargo, en el momento en el que se concluyó este trabajo la única fuente disponible eran los resultados del EOD83. Con este propósito podrían usarse los resultados del Estudio de Origen Destino que aplicó en 1994 la Secretaría de Transportes y Vialidad del Departamento del Distrito Federal, a través del Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática.

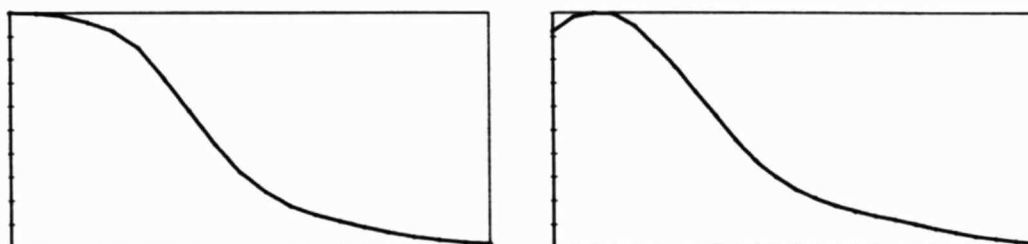
Este estudio contiene información detallada de los viajes que se realizan en el AMVM, en una muestra representativa de hogares, lo que permitiría obtener estimaciones de los tiempos de viaje entre cada una de las unidades de análisis.

De la misma forma, es posible ensayar la calibración de modelo de Hansen con tiempos de viaje, pero en este caso es necesario construir una matriz de tiempos entre todas las delegaciones y municipios, lo que resultaría en una matriz de 33 x 33 celdas; otra opción es calcular esas matrices con base en la información que describe las características de las redes de vialidad y transporte público que se usarán para las aplicaciones del paquete EMME/2 - un paquete para la planeación del transporte -, en la misma Secretaría.

Si se obtienen estos resultados en el corto plazo, hay una probabilidad muy grande de obtener mejores resultados con la aplicación de modelos como el que se ha descrito en el presente documento.

Para el caso de Mexicali, se demostró que la distribución espacial de la población dentro de la ciudad, no depende de la distribución espacial de los empleos, sino más bien de su cercanía relativa al centro de la ciudad; sin embargo, como se muestra en la gráfica 5.5 no hay una tendencia generalizada en lo que se refiere a las densidades de población, conforme se alejan del centro. La teoría sobre el tema indica que hay una tendencia similar a la que se muestra en la figura 6.1a, y que conforme las ciudades crecen, debido al desplazamiento del uso habitacional por usos comerciales u otros más rentables, la densidad de población en el centro tiende a reducirse, como se muestra en la parte b de la misma figura.

Figura 6.1. Comportamiento teórico de la densidad de población en zonas urbanas.
(a) (b)



Obviamente estos patrones se distorsionan conforme aparecen en la ciudad otras áreas que tienen características de atracción, y por lo tanto, polarizan el asentamiento de la población y, nuevamente "en teoría" estas características pueden ser representadas por modelos del tipo que se ha descrito en el presente trabajo.

En este sentido, la utilidad de los modelos está limitada por la forma en que se incorporan a los esfuerzos de planeación de los sistemas urbanos. Ya se ha dicho que los modelos deben ser considerados como una herramienta más para estos procesos de planeación y, como consecuencia, para la determinación de las políticas urbanas. En el caso específico de la planeación del transporte, la estimación de la distribución futura de la población es requisito indispensable y el uso de los modelos presentados puede ser un auxiliar de análisis muy importante.

6.2. SOBRE LA UTILIDAD DE LOS RESULTADOS DEL MODELO EN EL PROCESO DE PLANEACIÓN DE TRANSPORTE URBANO.

Dada la información con la que se calibró el modelo, las posibilidades de aplicación de sus resultados se limitan a pronosticar la distribución de la población para usarla como insumo (de manera exógena) para las dos primeras fases de los modelos de análisis de la demanda de viajes. Con esta estructura, no existe la posibilidad de evaluar los impactos que puedan tener las modificaciones en el sistema de transporte en el crecimiento de la ciudad, ya que los modelos usados son del tipo estático.

Sin embargo, debe reconocerse que en nuestro país, el enfoque que impera en la planeación del transporte tiene esta característica; no se han desarrollado esfuerzos consistentes y continuos para la construcción o aplicación de modelos dinámicos que integren el análisis de ambos sistemas, es decir el transporte y el desarrollo urbano. Por otra parte, cabe plantearse la pregunta de si esto sería conveniente, en términos de las dificultades técnicas y los requerimientos tan amplios de información que implican.

Para que sean realmente útiles, los modelos deben cumplir con el requisito de la simplicidad, pues se sabe que si bien a una mayor complejidad de los modelos corresponde mayor precisión en los resultados, pero también el esfuerzo que implica su construcción es mucho mayor.

En este sentido, el uso de modelos relativamente sencillos, como el que se ha presentado, puede aportar elementos muy importantes para la planeación urbana, principalmente en lo que se refiere a la etapa de evaluación de sistemas alternativos de transporte.

6.3. SOBRE EL NIVEL DE AGREGACIÓN DE LOS RESULTADOS.

Para el caso de la ciudad de México, los resultados del modelo son a nivel de delegación y municipio. Es un hecho que este nivel de agregación resulta insuficiente para el nivel de detalle con el que se desarrolla el proceso de planeación de transporte; sin embargo, por el momento no es posible ensayar un nivel mayor debido principalmente a la carencia de información de los valores de los empleos a nivel de distrito y zona (según la nomenclatura del EOD83).

Con información a mayor detalle, será posible ensayar la construcción del modelo a nivel de distrito, incluyendo aproximadamente 80 unidades de análisis en lugar de las 33 que se consideran en este trabajo; seguramente en estas condiciones se reducirían algunas inconsistencias en los resultados, como las que se presentaron en el caso del municipio de Nezahualcóyotl.

6.4. HACIA UN USO MÁS AMPLIO DE LOS MODELOS EN LA PLANEACIÓN URBANA.

El uso de los modelos en la planeación del desarrollo y el transporte urbano en nuestro país es ciertamente limitado. Las autoridades encargadas de estas funciones - a nivel estatal, municipal y local -, se enfrentan a una serie de restricciones que históricamente han generado una situación en la que hay poco interés y capacidad para el uso amplio de estas herramientas.

La solución a este problema implica abordar tres aspectos interdependientes: la capacidad técnica de los encargados de la planeación, el acceso a información detallada y suficiente, y finalmente, el aspecto institucional, que tiene que ver con el enfoque con el que se desarrolla la planeación.

El primer aspecto no es grave; de hecho existe capacidad técnica para dirigir y coordinar los esfuerzos de planeación, y con el uso de modelos relativamente sencillos que no impliquen grandes esfuerzos de recolección de información pueden sentarse las bases para iniciar un proceso continuo, principalmente en las ciudades medias en las que las presiones originadas por el crecimiento de la población hacen urgente una atención mayor a estas actividades.

Sin embargo, debe reconocerse que la principal limitante es precisamente la información. Todavía debe hacerse un esfuerzo considerable por obtener y sistematizar información relevante sobre el sistema de transporte y la ciudad. Para este propósito, deben considerarse al menos los siguientes aspectos específicos (Mohan, 1979, pág. 155-159):

☑ ***Sobre el sistema de Transporte:***

- ✓ *Análisis de origen-destino de viajes.* Deben aplicarse estudios sistemáticos de esta naturaleza, de tal forma que sea posible definir los patrones de viajes, la variabilidad del tránsito en

diferentes horas del día, y la interrelación entre el sistema de transporte y los usos de suelo.

- ✓ Estructura de preferencia: Es necesario determinar los efectos del ingreso en la selección de los modos de transporte, principalmente en aquellas ciudades en las que están en operación varios modos.
- ✓ Costos de viaje: Se requiere información detallada sobre costos fijos y de operación de los diferentes modos de transporte; por otra parte, deben determinarse los niveles de ingreso de los usuarios que utilizan estos modos con el propósito de calcular los costos del tiempo, y las implicaciones del congestionamiento en la vialidad en tales costos.

☒ ***Sobre la oferta-demanda de vivienda:***

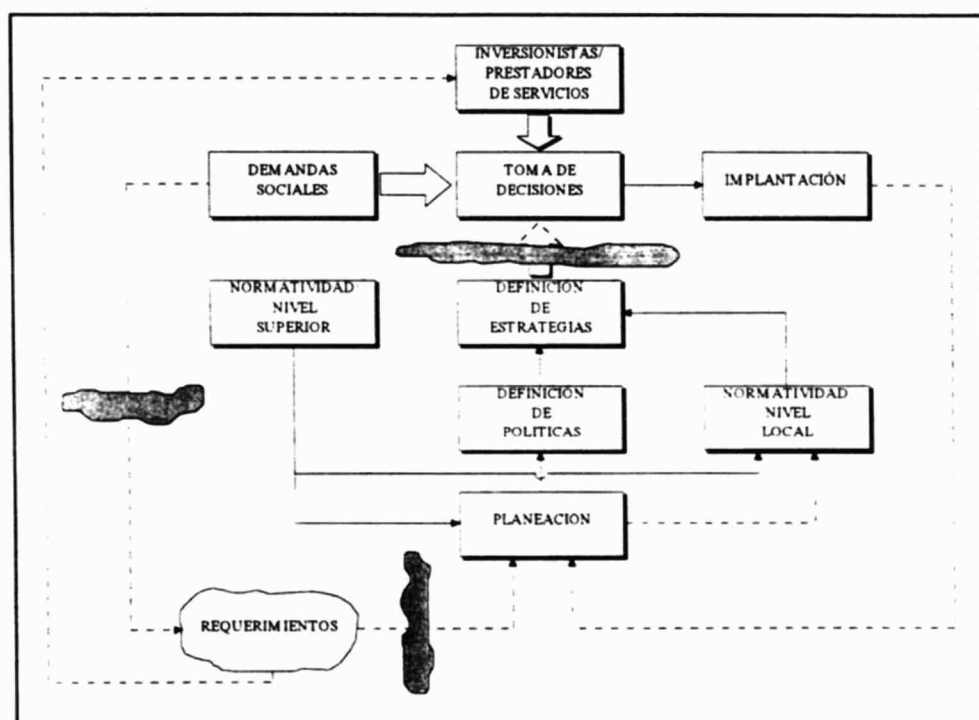
- ✓ Oferta: Es necesario obtener información sobre la producción de vivienda y sus diferentes segmentos de mercado, de tal forma que pueda construirse una adecuada representación de la oferta de este sector, considerando tanto la inversión privada como la de los organismos públicos.
- ✓ Estructura de preferencia: Es necesario distinguir los efectos del ingreso y de algunos aspectos subjetivos en el proceso de selección de vivienda.
- ✓ Interrelación vivienda-sistema de transporte: Deben investigarse los efectos del transporte, es decir de la accesibilidad, en la selección de las viviendas. Es claro que los patrones de localización dependen de la elasticidad de la demanda del espacio y los costos del tiempo, pero aún debe desarrollarse una investigación muy amplia que permita identificar la forma en que se presentan estas relaciones.

☒ ***Sobre la industria y el empleo:***

- ✓ Sector informal: Debe identificarse la importancia del sector informal en la generación de empleo, definir sus características espaciales, y la clase de movimientos de bienes y personas que genera.
- ✓ Industria en pequeña escala: Es necesario desarrollar estudios específicos que permitan encontrar la relación entre diferentes tipos de industria básica, y las actividades industriales pequeñas y medianas productoras de insumos y servicios para esas industrias, considerando sus efectos en los patrones de localización.
- ✓ Efectos en la localización de actividades: Debe ponerse especial atención en los efectos de la industria en la localización de la población y en general en los patrones de uso de suelo en las ciudades, como requisito indispensable para la planeación urbana y del transporte.

Finalmente, el aspecto institucional es determinante, pues el nivel de compromiso de las autoridades encargadas de la toma de decisiones, depende de la forma en que se plantea el desarrollo y se asumen los resultados del proceso de planeación. En términos generales, se espera que los resultados de un proceso de planeación aporten elementos para definir políticas y estrategias que permitan el acceso a una situación específica deseada, y para el establecimiento de normas para la regulación del sistema bajo análisis, las cuales deben estar sujetas a normas de nivel superior - de aplicación estatal y federal -. A su vez, las políticas y estrategias de acción (que orientan la toma de decisiones) deben responder a las demandas sociales, es decir, a las necesidades de los diferentes estratos sociales, definidos por los niveles de ingreso de las familias que habitan una ciudad.

Debe reconocerse que en muchos casos, las decisiones se toman más con base en las presiones que ejercen tanto la población como los inversionistas y los prestadores de servicio sobre los tomadores de decisiones, que en los resultados de la planeación, de tal suerte que este proceso de {identificación de necesidades ⇔ planeación ⇔ toma de decisiones ⇔ implantación de soluciones} podría representarse con el esquema de la siguiente figura.



En este esquema se identifican las siguientes limitaciones básicas en lo que respecta al proceso de planeación:

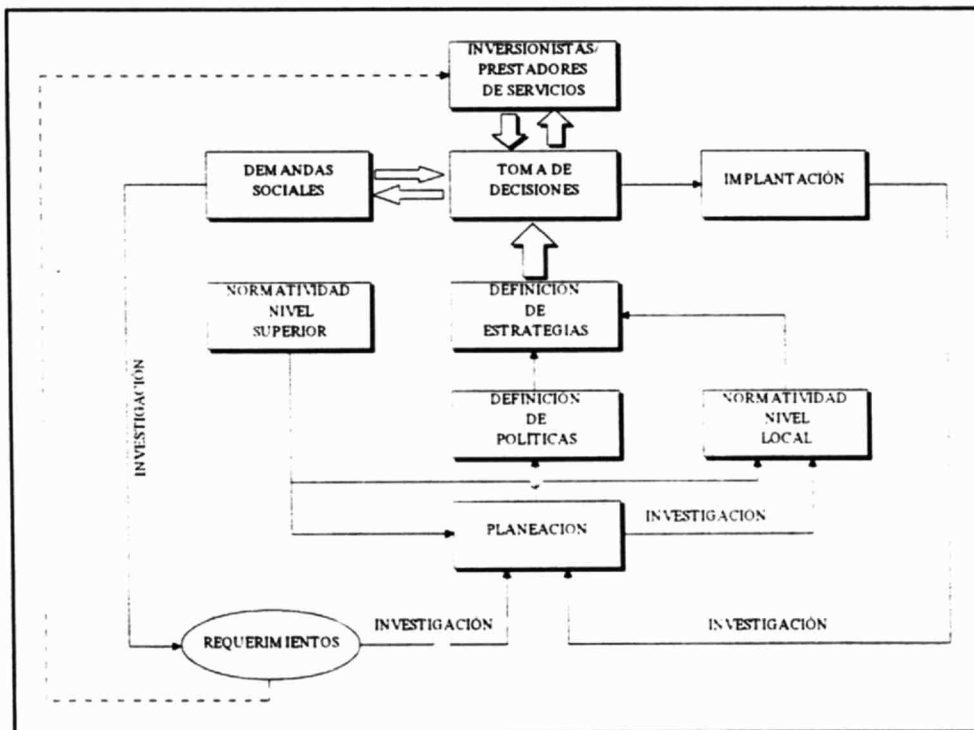
- i) Normalmente hay una disociación entre la toma de decisiones y el proceso de planeación, el cual en la mayoría de los casos es muy incipiente. Los gobiernos locales (a nivel municipal) no tienen mucho interés en la planeación pues les interesan más los resultados de muy corto plazo. Por otra parte, la falta de continuidad en los equipos técnicos encargados de esta actividad limitan la posibilidad de generar resultados útiles en tales plazos.
- ii) Debido a la escasez de investigación dirigida, no hay claridad sobre la forma en que las demandas sociales se traducen en requerimientos específicos, ni la forma en que estos deben ser incorporados como premisas y objetivos del proceso de planeación; por lo tanto algunas decisiones se toman de manera aislada, muchas veces sin considerar su efecto en el entorno urbano.
- iii) Algo similar ocurre con la incorporación de la dinámica de las ciudades en la planeación. Dado que la investigación en este sentido es prácticamente nula, la actualización de información que represente el estado de la ciudad no es concomitante con los esfuerzos de planeación, de tal suerte que los planificadores se enfrentan siempre al grave problema de escasez de información actualizada, con la que pueda integrarse una base común.
- iv) La elaboración de normas (de desarrollo urbano, de construcción, de vialidad y transporte, etc) son elaboradas por las autoridades locales con base en las condiciones actuales de la ciudad, y en la normatividad de nivel superior (planes y programas estatales y federales); sin embargo, es poco común que tales normas sean retroalimentadas con los resultados de la planeación urbana; de esta forma, se dificulta su operatividad.

En estas condiciones, se requiere un cambio institucional que permita sentar las bases para un proceso de toma de decisiones más eficiente, que se base en resultados concretos de la planeación urbana.

Planear es aplicar el método científico para prever el futuro, con el propósito de incrementar la validez de las políticas y estrategias que se aplican en un sistema (Faludi, 1974; pág. 1). La planeación involucra el análisis de variables relevantes tanto del sistema como de su medio ambiente, por lo que su desarrollo implica un gran esfuerzo que requiere de:

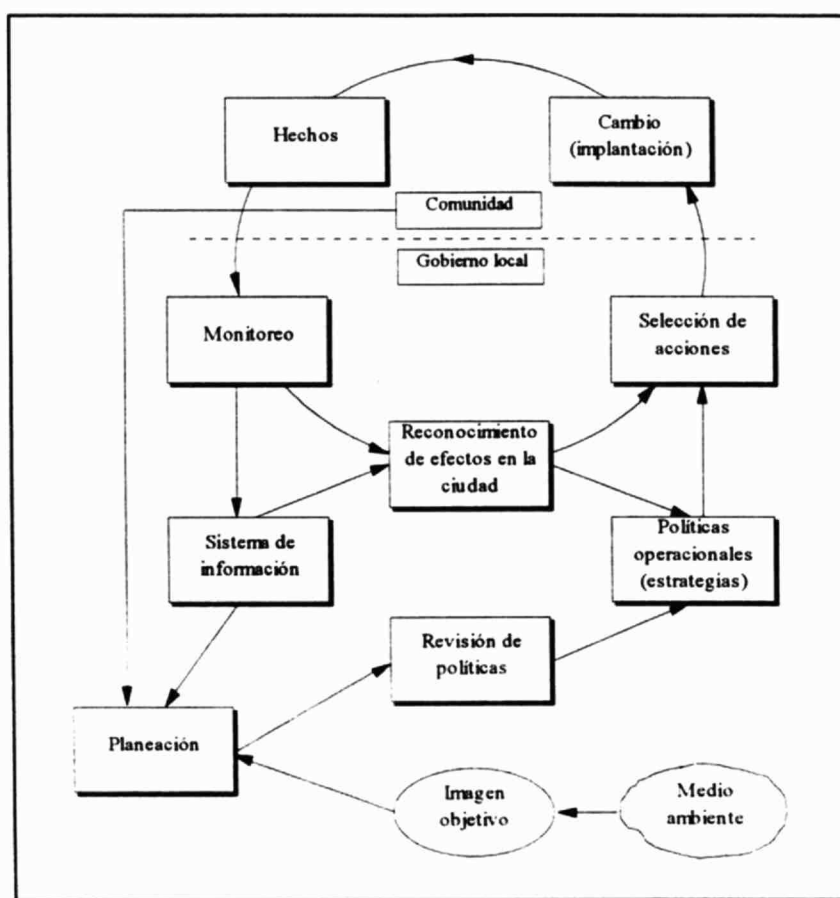
- i) La integración de un equipo técnico encargado del desarrollo del proceso, que opere en forma continua y en contacto directo con los responsables de las diferentes áreas organizacionales que tienen que ver con el desarrollo urbano y el transporte;
- ii) bases de datos consistentes y continuas, producto de un trabajo serio de investigación;
- iii) un compromiso real de los tomadores de decisiones, de aplicar en la realidad las directrices definidas como resultados del proceso de planeación;

Estas condiciones solamente pueden lograrse mediante un compromiso expreso a nivel institucional, que permita generar en los tomadores de decisiones una "conciencia de planeación", que a su vez permita modificar la forma en que se toman las decisiones que afectan el ámbito espacial de la ciudad, y se tenga acceso a un esquema similar al que se presenta en la siguiente figura.



Este compromiso institucional, debe implicar el apoyo a las actividades de investigación y desarrollo, función normalmente menospreciada, pero básica para el desarrollo de un adecuado proceso de planeación. Debe recordarse que una de las función de los gobiernos locales es definir políticas urbanas que logren el máximo aprovechamiento de los recursos disponibles, y a la vez satisfagan los requerimientos de la población.

Este proceso debe darse de forma continua a través de la planeación, tal y como se muestra en el esquema siguiente (adaptado de Salesbury, 1974; pág. 153).



Precisamente la función de investigación y desarrollo es la que permite dar este carácter de continuidad al proceso, y para ello se requiere del uso de modelos matemáticos como los que se han presentado en el presente trabajo.

REFERENCIAS Y BIBLIOGRAFÍA.

REFERENCIAS.

- ☑ BRITTON, H. "Modelos de Desarrollo Urbano". Colección de urbanismo No. 3. OIKOS-TAU. España, 1975.
 - ☑ BROWN, J. y otros. "Empirical models of urban land use: Suggestions on research objectives and organization". National Bureau of Economic Research (NBER), Exploratory report No. 6. Columbia University Press. E.U.A., 1972.
 - ☑ DERYCKE, P. "La economía urbana". Colección nuevo urbanismo No. 3. Instituto de Estudios de Administración Local. España, 1971.
 - ☑ CHORLEY, R. J. Y HAGGETT, P. "La geografía y los modelos socio-económicos." Colección nuevo urbanismo No. 2. Instituto de Estudios de Administración Local. España, 1971.
 - ☑ JOHNSON, J.H. "Geografía urbana". Elementos de geografía. Oikos-Tau. España, 1974.
 - ☑ KRUECKEBERG, D.Y SILVERS, A. "Análisis de planificación urbana. Métodos y modelos". Limusa. México, 1978.
 - ☑ WILSON, A. G. "Urban and regional models in geography and planning". John Wiley and sons. Inglaterra, 1974.
 - ☑ MOHAN, R. "Toward modelling poor cities: A review of urban economic and planning models". World Bank Staff Working Paper No. 232. The World Bank. 1976.
 - ☑ NOURSE, H. "Economía regional". Colección libros de economía Oikos, No. 17. España, 1969.
 - ☑ CHAPIN, F. S. "A model for simulating residential development". En "Urban development models: new tools for planning". Journal of the american institute of planners. Special issue. Volumen 31, No. 2. Mayo de 1965.
 - ☑ HELLY, W. "Urban Systems Models". Academic Press. E.U.A., 1975.
-

- ☑ LEE, C. "Models in planning". Urban and regional planning series, Vol. 4., Pergamon Press. Inglaterra, 1974.
- ☑ MOHAN, R. "Urban economic and planning models". World Bank Staff Occasional Papers, No. 25. The Johns Hopkins University Press. E.U.A., 1979.
- ☑ FALUDI, A. "A reader in planning theory". Pergamon Press. E.U.A., 1974.
- ☑ SALESBURY, W. "Policy in urban planning: Structure plans, programmes and local plan". Urban and regional planning series. Vol. 8. Pergamon Press. Inglaterra. 1974.

BIBLIOGRAFÍA

- ✓ BLACK, J. "Urban transport planning: theory and practice". The John Hopkins University Press. U.S.A., 1981.
- ✓ BLUNDEN, W. R. "The land-use/transport system. Analysis and Synthesis". Pergamon Press. Inglaterra 1973.
- ✓ DANIELS, P. W. Y WARNE, A. M. "Movimiento en ciudades: Transporte y tráfico urbanos". Colección nuevo urbanismo No. 37. Instituto de Estudios de Administración Local. España, 1982.
- ✓ DEPARTAMENTO DE TRANSPORTE, E.U.A. "Manual de Operación del sistema de Planeación de Transporte Urbano". Traducción de la Comisión de Conurbación del Centro del País para un curso sobre el paquete UTPS (Urban Transportation Planning System). México. 1977.
- ✓ DERYCKE, P. "Economía y planificación urbanas". Colección nuevo urbanismo No. 38. Instituto de Estudios de Administración Local. España, 1983.
- ✓ ECHENIQUE, M. (compilador). "Modelos matemáticos de la estructura espacial urbana: Aplicaciones en América Latina". Sociedad Interamericana de Planificación (SIAP). Argentina, 1975.
- ✓ GUJARATI, D.. "Econometría básica". McGraw Hill. México, 1984.
- ✓ HAGGETT, P. "Análisis locacional en la geografía humana". Colección Ciencia Urbanística No. 17. Editorial Gustavo Gili. España, 1976.
- ✓ HALL, P. D. "Modelos de análisis territorial". Colección de Urbanismo Oikos-Tau No. 4. España, 1975.
- ✓ HAY, W. W. "An introduction to transportation engineering". John Wiley and Sons. E.U.A., 1977.

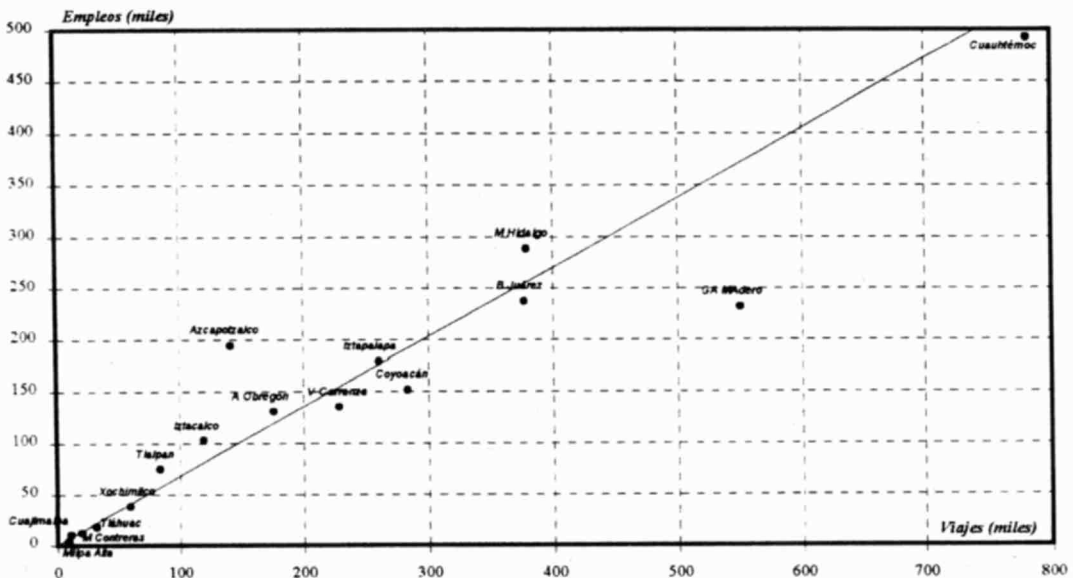
- ✓ HIRSCH, W. Z. "Análisis de economía urbana". Instituto de Estudios de Administración Local. España, 1977.
 - ✓ JUÁREZ, E. "Interacción de mercados laborales en el Estado de Tabasco: una aproximación a través de modelos gravitatorios". El Colegio de México. Estudios Demográficos y Urbanos Vol. 8 No. 1. Enero-abril, 1993.
 - ✓ LANE, R. y otros. "Planificación analítica del transporte". Colección Nuevo Urbanismo, No. 11. Instituto de Estudios de Administración Local. España, 1975.
 - ✓ MARTIN, B. V., FREDERICK, M. W. Y BONE, A. J. "Principles and techniques of predicting future demand for urban area transportation". The Massachusetts Institute of Technology Press, Report No. 3. E.U.A., 1965.
 - ✓ MARTIN, L., MARCH, L.Y ECHENIQUE, M. "La estructura del espacio urbano". Colección Ciencia Urbanística No. 16. Editorial Gustavo Gili. España, 1975.
 - ✓ MASSER, I. (editor). "Evaluating urban planning efforts: approaches to policy analysis". Gower. Inglaterra, 1983.
 - ✓ MENDENHALL, W. "Introduction to probability and statistics". Duxbury Press. E.U.A., 1979.
 - ✓ MORLOK, E. K. "Introduction to transportation engineering and planning". McGraw-Hill Book Company. E.U.A., 1978.
 - ✓ NEEDHAM, B. "How cities work: an introduction". Pergamon Press. Inglaterra, 1977.
 - ✓ PERLOFF, H. S. Y WINGO, L (editores). "Issues in urban economics". Resources for the future. The John Hopkins Press. E.U.A., 1968.
 - ✓ RICHARDSON, H. W. "Elementos de economía regional". Curso de economía moderna. Penguin-Alianza. Alianza Editorial. España, 1975.
 - ✓ ROAD RESEARCH. "Urban traffic models: possibilities for simplification". Organization for economic co-operation and development. Francia, 1974.
 - ✓ SOEN, D. "New trends in urban planning". Pergamon Press. Inglaterra, 1979.
 - ✓ STEGMAN, M. A. "Accessibility models and residential location". Journal of the american institute of planners. Vol. 35, No.1. Enero 1969.
-

***Anexo 1: Estimación de
empleos para los municipios
del Estado de México***

ANEXO 1 ESTIMACIÓN DE EMPLEOS PARA LOS MUNICIPIOS DEL ESTADO DE MÉXICO.

Los empleos se requieren para la calibración del modelo de W. G. Hansen. Para las dieciséis delegaciones del Distrito Federal se tomaron los datos de los Resultados Oportunos preliminares de los Censos Económicos de 1986, elaborados por el INEGI; dado que para los municipios del Estado de México no se disponía de la información, fue necesario estimarlos. A partir de los datos de viajes atraídos por motivo trabajo disponibles en el Estudio de Origen y Destino de Viajes de 1983, se encontró una relación muy estrecha entre esta variable y los empleos en las dieciséis delegaciones ($R=0.95$); dicha relación se muestra en la gráfica A.1.1.

Gráfica A1.1. Relación entre los viajes atraídos con motivo trabajo y los empleos por delegación.



Los viajes atraídos por motivo trabajo en el AMVM, se presentan en la gráfica A1.2. Con estos datos y los de empleo de las delegaciones, se ajustaron cuatro modelos para estimar los empleos en los municipios. Las ecuaciones, los valores de la correlación y de la desviación estandar obtenidos para cada modelo se presentan en la tabla A1.1.

Gráfica A1.2. Viajes atraídos con motivo trabajo por delegación y municipio del AMVM.

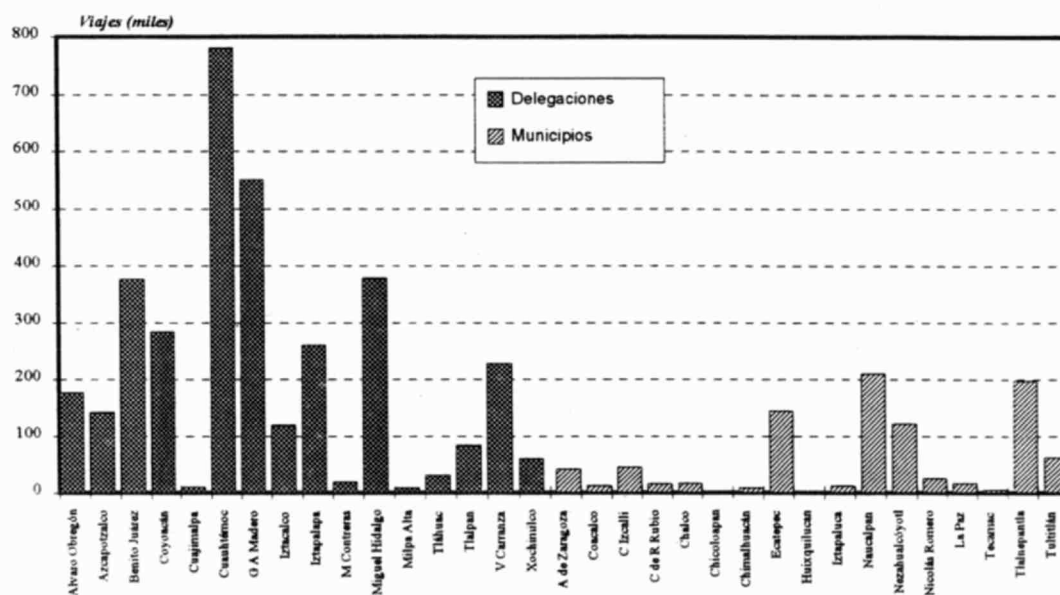


Tabla A1.1. Modelos de ajuste usados para la estimación de los empleos en los Municipios del Estado de México.

Modelo	Ecuación	Desviación Estandar	Correlación
Lineal	$E_j = 20,859.43 + 0.565(V_j)$	44,451.40	0.9473
Logarítmica	$E_j = - 806,898.79 + 81,950.997 [\ln(V_j)]$	67,769.40	0.8527
Exponencial	$E_j = 25,610.56 e^{(4.98 \times 10^{-6})(V_j)}$	211,138.94	0.8335
Potencial	$E_j = 0.846 (V_j)^{0.983}$	47,217.81	0.9578

Con estos elementos, se seleccionó el modelo potencial por las siguientes razones: i) aunque tiene una desviación estandar ligeramente más alta, presenta la mayor correlación; ii)

para valores relativamente bajos de los viajes atraídos las estimaciones resultantes con esta curva, son más precisos, y dado que en la mayor parte de los municipios los viajes atraídos por motivo trabajo son relativamente pequeños, el usar la expresión lineal implicará una sobreestimación de los empleos. Esto puede observarse claramente en la tabla A1.2, en la que se presentan los valores obtenidos con los modelos para el Distrito Federal; estos resultados se presentan también en la gráfica A1.3.

Finalmente, con la expresión indicada en la tabla A1.1 se estimaron los empleos para los municipios del Estado de México. Los resultados finales, que se usaron para la calibración de los modelos presentados en el capítulo 4, se presentan en la tabla A1.3 y en la gráfica A1.4.

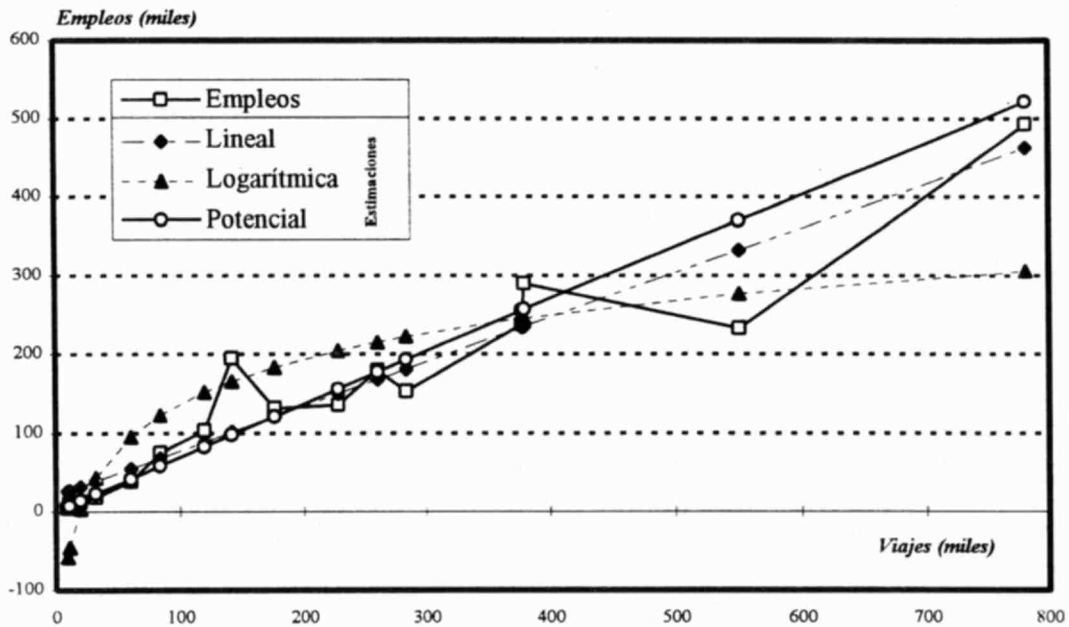
Tabla A1.2. Resultados obtenidos con los modelos para los empleos en el Distrito Federal.

Delegación/Municipio	Viajes	Empleos	Tipo de curva			
			Lineal	Logarítmica	Exponencial	Potencial
Alvaro Obregón	176,761	131,135	120,722	183,279	61,757	121,152
Azcapotzalco	142,359	194,443	101,287	165,541	52,034	97,941
Benito Juárez	377,524	237,614	234,145	245,466	167,829	255,362
Coyoacán	283,783	152,110	181,185	222,075	105,230	192,910
Cuajimalpa	10,827	10,652	26,976	-45,591	27,029	7,790
Cuauhtémoc	781,286	492,509	462,255	305,069	1,253,310	521,830
Gustavo A. Madero	550,875	232,369	332,082	276,433	397,890	370,178
Iztacalco	120,014	103,252	88,663	151,548	46,555	82,813
Iztapalapa	260,763	179,163	168,180	215,142	93,833	177,522
Magdalena Contreras	19,647	12,431	31,959	3,243	28,243	13,990
Miguel Hidalgo	379,578	288,925	235,306	245,911	169,554	256,727
Milpa Alta	9,359	4,376	26,147	-57,531	26,832	6,751
Tláhuac	32,010	18,275	38,944	43,245	30,036	22,601
Tlalpan	83,932	75,004	68,278	122,242	38,899	58,277
Venustiano Carranza	228,548	135,526	149,980	204,335	79,925	155,948
Xochimilco	60,118	38,708	54,824	94,895	34,549	41,985
Totales	3,517,384	2,306,492	2,320,932	2,375,301	2,613,506	2,383,776

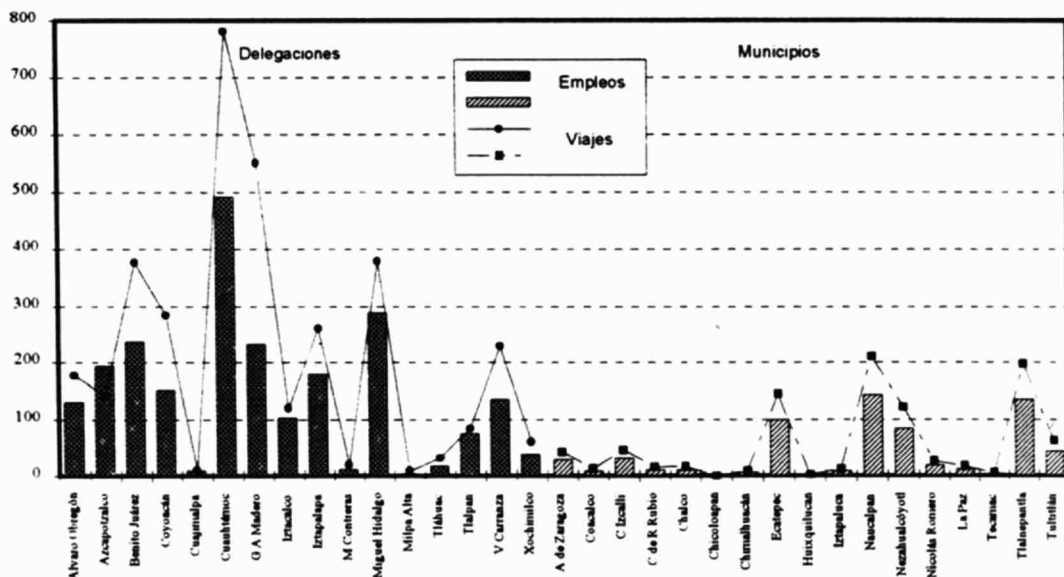
Tabla A1.3. Empleos estimados en los municipios del Estado de México.

No.	Delegación/Municipio	Viajes	Empleos
1	Alvaro Obregón	176,761	131,135
2	Azcapotzalco	142,359	194,443
3	Benito Juárez	377,524	237,614
4	Coyoacán	283,783	152,110
5	Cuajimalpa	10,827	10,652
6	Cuauhtémoc	781,286	492,509
7	Gustavo A. Madero	550,875	232,369
8	Iztacalco	120,014	103,252
9	Iztapalapa	260,763	179,163
10	Magdalena Contreras	19,647	12,431
11	Miguel Hidalgo	379,578	288,925
12	Milpa Alta	9,359	4,376
13	Tláhuac	32,010	18,275
14	Tlalpan	83,932	75,004
15	Venustiano Carranza	228,548	135,526
16	Xochimilco	60,118	38,708
17	Atizapán de Zaragoza	42,455	29,829
18	Coacalco	12,848	9,217
19	Cuautitlán Izcalli	45,704	32,071
20	Cuautitlán de R. Rubio	16,126	11,523
21	Chalco	16,564	11,830
22	Chicoloapan	290	222
23	Chimalhuacán	9,042	6,526
24	Ecatepec	144,760	99,563
25	Huixquilucan	2,343	1,731
26	Iztapaluca	12,775	9,165
27	Naucalpan	210,135	143,594
28	Nezahualcóyotl	122,492	84,493
29	Nicolás Romero	26,484	18,761
30	La Paz	17,334	12,370
31	Tecamac	5,916	4,302
32	Tlalnepantla	197,837	135,332
33	Tultitlán	62,348	43,515
	Totales	4,462,837	2,960,536

Gráfica A1.2. Curvas obtenidas con los modelos de ajuste entre los empleos y los viajes atraídos por motivo trabajo para el Distrito Federal.



Gráfica A1.3. Empleos y viajes atraídos por motivo trabajo por delegación y municipio en el AMVM.



***Anexo 2: Matrices de
distancias: AMVM/Mexicali***

Tabla A.2.1 Matriz de distancias ortogonales entre los centroides de las zonas.

No.	Delegación/ Municipio	Coordenadas		Zonas										
		Xi	Yi	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
1	Alvaro Obregón	1,115.0	1,708.0	386.2										
2	Azcapotzalco	1,409.0	2,976.0	1,562.0	293.8									
3	Benito Juárez	1,691.0	1,897.0	765.0	1,361.0	294.9								
4	Coyoacán	1,774.0	1,318.0	1,049.0	2,023.0	662.0	411.0							
5	Cuajimalpa	344.0	1,632.0	847.0	2,409.0	1,612.0	1,744.0	401.5						
6	Cuauhtémoc	1,789.0	2,440.0	1,406.0	916.0	641.0	1,137.0	2,253.0	300.1					
7	G A Madero	2,146.0	3,125.0	2,448.0	886.0	1,683.0	2,179.0	3,295.0	1,042.0	377.6				
8	Iztacalco	2,310.0	2,067.0	1,554.0	1,810.0	789.0	1,285.0	2,401.0	894.0	1,222.0	296.8			
9	Iztapalapa	2,670.0	1,577.0	1,686.0	2,660.0	1,299.0	1,155.0	2,381.0	1,744.0	2,072.0	850.0	413.4		
10	M Contreras	849.0	1,180.0	794.0	2,356.0	1,559.0	1,063.0	957.0	2,200.0	3,242.0	2,348.0	2,218.0	404.7	
11	Miguel Hidalgo	1,335.0	2,481.0	993.0	569.0	940.0	1,602.0	1,840.0	495.0	1,455.0	1,389.0	2,239.0	1,787.0	
12	Milpa Alta	2,979.0	10.0	3,562.0	4,536.0	3,175.0	2,513.0	4,257.0	3,620.0	3,948.0	2,726.0	1,876.0	3,300.0	
13	Tláhuac	3,128.0	842.0	2,879.0	3,853.0	2,492.0	1,830.0	3,574.0	2,937.0	3,265.0	2,043.0	1,193.0	2,617.0	
14	Tlalpan	1,534.0	846.0	1,281.0	2,255.0	1,208.0	712.0	1,976.0	1,849.0	2,891.0	1,997.0	1,867.0	1,019.0	
15	V Carranza	2,275.0	2,417.0	1,869.0	1,425.0	1,104.0	1,600.0	2,716.0	509.0	837.0	385.0	1,235.0	2,663.0	
16	Xochimilco	2,322.0	546.0	2,369.0	3,343.0	1,982.0	1,320.0	3,064.0	2,427.0	2,755.0	1,533.0	1,379.0	2,107.0	
17	A de Zaragoza	764.0	3,987.0	2,630.0	1,656.0	3,017.0	3,679.0	2,775.0	2,572.0	2,244.0	3,466.0	4,316.0	2,892.0	
18	Coacalco	2,318.0	4,758.0	4,253.0	2,691.0	3,488.0	3,984.0	5,100.0	2,847.0	1,805.0	2,699.0	3,533.0	5,047.0	
19	C Izcalli	1,034.0	4,798.0	3,171.0	2,197.0	3,558.0	4,220.0	3,856.0	3,113.0	2,785.0	4,007.0	4,857.0	3,803.0	
20	C de R Rubio	1,397.0	5,029.0	3,603.0	2,065.0	3,426.0	4,088.0	4,450.0	2,981.0	2,653.0	3,875.0	4,725.0	4,397.0	
21	Chalco	4,001.0	990.0	3,604.0	4,578.0	3,217.0	2,555.0	4,299.0	3,662.0	3,990.0	2,768.0	1,918.0	3,342.0	
22	Chicoloapan	4,253.0	2,273.0	3,703.0	3,547.0	2,938.0	3,434.0	4,550.0	2,631.0	2,959.0	2,149.0	2,279.0	4,497.0	
23	Chimalhuacán	3,592.0	2,320.0	3,089.0	2,839.0	2,324.0	2,820.0	3,936.0	1,923.0	2,251.0	1,535.0	1,665.0	3,883.0	
24	Ecatepec	2,860.0	3,711.0	3,748.0	2,186.0	2,983.0	3,479.0	4,595.0	2,342.0	1,300.0	2,194.0	2,324.0	4,542.0	
25	Huixquilucan	560.0	2,152.0	999.0	1,673.0	1,386.0	2,048.0	736.0	1,517.0	2,559.0	1,835.0	2,685.0	1,261.0	
26	Iztapalapa	4,108.0	1,222.0	3,479.0	4,453.0	3,092.0	2,430.0	4,174.0	3,537.0	3,865.0	2,643.0	1,793.0	3,301.0	
27	Naucalpan	659.0	2,822.0	1,570.0	904.0	1,957.0	2,619.0	1,505.0	1,512.0	1,790.0	2,406.0	3,256.0	1,832.0	
28	Nezahualcóyotl	3,099.0	2,267.0	2,543.0	2,399.0	1,778.0	2,274.0	3,390.0	1,483.0	1,811.0	989.0	1,119.0	3,337.0	
29	Nicolás Romero	181.0	4,511.0	3,737.0	2,763.0	4,124.0	4,786.0	3,042.0	3,679.0	3,351.0	4,573.0	5,423.0	3,999.0	
30	La Paz	3,634.0	1,696.0	2,531.0	3,505.0	2,144.0	2,238.0	3,354.0	2,589.0	2,917.0	1,695.0	1,083.0	3,301.0	
31	Tecamac	2,968.0	4,741.0	4,886.0	3,324.0	4,121.0	4,617.0	5,733.0	3,480.0	2,438.0	3,332.0	3,462.0	5,680.0	
32	Tlalnepantla	1,409.0	3,562.0	2,148.0	586.0	1,947.0	2,609.0	2,995.0	1,502.0	1,174.0	2,396.0	3,246.0	2,942.0	
33	Tultitlán	2,150.0	4,921.0	4,248.0	2,686.0	3,483.0	3,979.0	5,095.0	2,842.0	1,800.0	3,014.0	3,864.0	5,042.0	

Tabla A2.1 Matriz de distancias ortogonales entre los centroides de las zonas.
(Continuación)

No.	Delegación/ Municipio	Zonas											
		11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22
1	Alvaro Obregón												
2	Azcapotzalco												
3	Benito Juárez												
4	Coyoacán												
5	Cuajimalpa												
6	Cuauhtémoc												
7	G A Madero												
8	Iztacalco												
9	Iztapalapa												
10	M Contreras												
11	Miguel Hidalgo	293.8											
12	Milpa Alta	4,115.0	404.7										
13	TLáhuac	3,432.0	981.0	416.4									
14	Tlalpan	1,834.0	2,281.0	1,598.0	408.8								
15	V Carranza	1,004.0	3,111.0	2,428.0	2,312.0	285.0							
16	Xochimilco	2,922.0	1,193.0	1,102.0	1,088.0	1,918.0	414.2						
17	A de Zaragoza	2,077.0	6,192.0	5,509.0	3,911.0	3,081.0	4,999.0	395.8					
18	Coacalco	3,260.0	5,409.0	4,726.0	4,696.0	2,384.0	4,216.0	2,325.0	402.6				
19	C Izcalli	2,618.0	6,733.0	6,050.0	4,452.0	3,622.0	5,540.0	1,081.0	1,324.0	525.5			
20	C de R Rubio	2,610.0	6,601.0	5,918.0	4,320.0	3,490.0	5,408.0	1,675.0	1,192.0	594.0	674.7		
21	Chalco	4,157.0	2,002.0	1,021.0	2,611.0	3,153.0	2,123.0	6,234.0	5,451.0	6,775.0	6,643.0	406.1	
22	Chicoloapan	3,126.0	3,537.0	2,556.0	4,146.0	2,122.0	3,658.0	5,203.0	4,420.0	5,744.0	5,612.0	1,535.0	975.8
23	Chimalhuacán	2,418.0	2,923.0	1,942.0	3,532.0	1,414.0	3,044.0	4,495.0	3,712.0	5,036.0	4,904.0	1,739.0	708.0
24	Ecatepec	2,755.0	3,820.0	3,137.0	4,191.0	1,879.0	3,703.0	2,372.0	1,589.0	2,913.0	2,781.0	3,862.0	2,831.0
25	Huixquilucan	1,104.0	4,561.0	3,878.0	2,280.0	1,980.0	3,368.0	2,039.0	4,364.0	3,120.0	3,714.0	4,603.0	3,814.0
26	Iztapaluca	4,032.0	2,341.0	1,360.0	2,950.0	3,028.0	2,462.0	6,109.0	5,326.0	6,650.0	6,518.0	339.0	1,196.0
27	Naucalpan	1,017.0	5,132.0	4,449.0	2,851.0	2,021.0	3,939.0	1,270.0	3,595.0	2,351.0	2,945.0	5,174.0	4,143.0
28	Nezahualcóyotl	1,978.0	2,377.0	1,454.0	2,986.0	974.0	2,498.0	4,055.0	3,272.0	4,596.0	4,464.0	2,179.0	1,160.0
29	Nicolás Romero	3,184.0	7,299.0	6,616.0	5,018.0	4,188.0	6,106.0	1,107.0	2,384.0	1,140.0	1,734.0	7,341.0	6,310.0
30	La Paz	3,084.0	2,341.0	1,360.0	2,950.0	2,080.0	2,462.0	5,161.0	4,378.0	5,702.0	5,570.0	1,073.0	1,196.0
31	Tecamac	3,893.0	4,742.0	4,059.0	5,329.0	3,017.0	4,841.0	2,958.0	667.0	1,991.0	1,859.0	4,784.0	3,753.0
32	Tlalnepantla	1,155.0	5,122.0	4,439.0	2,841.0	2,011.0	3,929.0	1,070.0	2,105.0	1,611.0	1,479.0	5,164.0	4,133.0
33	Tultitlán	3,255.0	5,740.0	5,057.0	4,691.0	2,629.0	4,547.0	2,320.0	331.0	1,239.0	861.0	5,782.0	4,751.0

Tabla A2.1 Matriz de distancias ortogonales entre los centroides de las zonas.
(Continuación)

No.	Delegación/ Municipio	Zonas										
		23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33
1	Alvaro Obregón											
2	Azcapotzalco											
3	Benito Juárez											
4	Coyoacán											
5	Cuajimalpa											
6	Cuauhtémoc											
7	G A Madero											
8	Iztacalco											
9	Iztapalapa											
10	M Contreras											
11	Miguel Hidalgo											
12	Milpa Alta											
13	Tláhuac											
14	Tlalpan											
15	V Carranza											
16	Xochimilco											
17	A de Zaragoza											
18	Coacalco											
19	C Izcalli											
20	C de R Rubio											
21	Chalco											
22	Chicoloapan											
23	Chimalhuacán	407.6										
24	Ecatepec	2,123.0	407.7									
25	Huixquilucan	3,200.0	3,859.0	403.3								
26	Iztapalapa	1,614.0	3,737.0	4,478.0	403.5							
27	Naucalpan	3,435.0	3,090.0	769.0	5,049.0	405.5						
28	Nezahualcóyotl	546.0	1,683.0	2,654.0	2,054.0	2,995.0	409.1					
29	Nicolás Romero	5,602.0	3,479.0	2,738.0	7,216.0	2,167.0	5,162.0	433.4				
30	La Paz	666.0	2,789.0	3,530.0	948.0	4,101.0	1,106.0	6,268.0	404.5			
31	Tecamac	3,045.0	1,138.0	4,997.0	4,659.0	4,228.0	2,605.0	3,017.0	3,711.0	876.2		
32	Tlalnepantla	3,425.0	1,600.0	2,259.0	5,039.0	1,490.0	2,985.0	2,177.0	4,091.0	2,738.0	396.4	
33	Tultitlán	4,043.0	1,920.0	4,359.0	5,657.0	3,590.0	3,603.0	2,379.0	4,709.0	998.0	2,100.0	408.2

Tabla A2.2. Matriz de distancias radiales entre los centroides de las zonas.

No.	Delegación/ Municipio	Coordenadas		Zonas										
		X _i	Y _i	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
1	Alvaro Obregón	1,115.0	1,708.0	386.2										
2	Azcapotzalco	1,409.0	2,976.0	1,301.6	293.8									
3	Benito Juárez	1,691.0	1,897.0	606.2	1,115.2	294.9								
4	Coyoacán	1,774.0	1,318.0	765.8	1,697.7	584.9	411.0							
5	Cuajimalpa	344.0	1,632.0	774.7	1,714.8	1,372.8	1,464.1	401.5						
6	Cuauhtémoc	1,789.0	2,440.0	995.0	657.0	551.8	1,122.1	1,655.6	300.1					
7	G A Madero	2,146.0	3,125.0	1,752.4	751.9	1,309.6	1,844.9	2,340.1	772.4	377.6				
8	Iztacalco	2,310.0	2,067.0	1,247.8	1,279.9	641.9	921.0	2,013.5	640.8	1,070.6	296.8			
9	Iztapalapa	2,670.0	1,577.0	1,560.5	1,883.4	1,030.0	932.7	2,326.7	1,233.3	1,634.3	608.0	413.4		
10	M Contreras	849.0	1,180.0	591.2	1,881.3	1,105.9	935.2	677.7	1,572.0	2,337.8	1,709.2	1,863.8	404.7	
11	Miguel Hidalgo	1,335.0	2,481.0	803.7	500.5	684.0	1,243.1	1,304.9	455.8	1,035.6	1,059.3	1,612.3	1,388.8	
12	Milpa Alta	2,979.0	10.0	2,521.4	3,355.9	2,284.7	1,778.5	3,094.2	2,705.7	3,224.5	2,163.1	1,597.2	2,430.2	
13	Tláhuac	3,128.0	842.0	2,191.4	2,740.2	1,782.7	1,435.2	2,893.9	2,084.8	2,485.2	1,473.0	866.0	2,303.9	
14	Tlalpan	1,534.0	846.0	958.4	2,133.7	1,062.7	529.5	1,426.1	1,614.3	2,359.7	1,446.7	1,350.9	762.1	
15	V Carranza	2,275.0	2,417.0	1,359.5	1,030.7	782.0	1,207.8	2,084.5	486.5	719.7	351.7	928.2	1,887.8	
16	Xochimilco	2,322.0	546.0	1,675.4	2,595.9	1,491.1	946.7	2,256.5	1,967.6	2,585.0	1,521.0	1,088.1	1,603.6	
17	A de Zaragoza	764.0	3,987.0	2,305.9	1,199.2	2,286.4	2,853.7	2,392.2	1,855.8	1,628.8	2,465.1	3,072.6	2,808.3	
18	Coacalco	2,318.0	4,758.0	3,278.7	2,000.5	2,928.9	3,482.7	3,697.1	2,377.6	1,642.0	2,691.0	3,200.4	3,867.8	
19	C Izcalli	1,034.0	4,798.0	3,091.1	1,860.2	2,974.5	3,557.8	3,240.3	2,475.9	2,008.8	3,014.4	3,612.7	3,622.7	
20	C de R Rubio	1,397.0	5,029.0	3,333.0	2,053.0	3,145.8	3,730.1	3,556.5	2,618.5	2,046.0	3,099.5	3,679.2	3,887.8	
21	Chalco	4,001.0	990.0	2,974.0	3,265.4	2,481.7	2,251.0	3,712.9	2,644.9	2,828.3	2,004.8	1,454.7	3,157.7	
22	Chicoloapan	4,253.0	2,273.0	3,188.5	2,929.6	2,589.4	2,656.6	3,961.2	2,469.7	2,272.7	1,953.9	1,729.2	3,575.2	
23	Chinahuacán	3,592.0	2,320.0	2,551.5	2,279.4	1,947.5	2,075.8	3,320.1	1,807.0	1,655.0	1,306.7	1,184.1	2,970.5	
24	Ecatepec	2,860.0	3,711.0	2,656.5	1,626.5	2,158.0	2,627.9	3,263.8	1,662.1	923.7	1,733.6	2,142.4	3,232.7	
25	Huixquilucan	560.0	2,152.0	710.7	1,183.1	1,159.4	1,472.9	563.1	1,262.3	1,860.7	1,752.1	2,186.9	1,014.1	
26	Iztapalapa	4,108.0	1,222.0	3,032.2	3,218.9	2,509.5	2,336.0	3,786.3	2,619.4	2,733.3	1,986.7	1,481.2	3,259.3	
27	Naucalpan	659.0	2,822.0	1,203.7	765.6	1,385.9	1,872.2	1,231.0	1,192.8	1,517.6	1,815.4	2,365.2	1,653.0	
28	Nezahualcóyotl	3,099.0	2,267.0	2,061.2	1,832.7	1,455.8	1,629.8	2,827.2	1,321.4	1,282.3	814.0	812.5	2,498.8	
29	Nicolás Romero	181.0	4,511.0	2,954.5	1,965.8	3,018.8	3,568.3	2,883.6	2,622.0	2,404.6	3,241.3	3,847.5	3,397.3	
30	La Paz	3,634.0	1,696.0	2,519.0	2,566.9	1,953.4	1,898.0	3,290.6	1,989.4	2,063.1	1,375.0	971.3	2,832.4	
31	Tecamac	2,968.0	4,741.0	3,554.3	2,354.9	3,117.5	3,625.3	4,068.3	2,585.5	1,813.0	2,753.8	3,178.0	4,143.8	
32	Tlalnepantla	1,409.0	3,562.0	1,877.2	586.0	1,688.7	2,273.5	2,204.3	1,184.6	856.8	1,745.5	2,351.7	2,446.9	
33	Tultitlán	2,150.0	4,921.0	3,375.6	2,081.4	3,058.6	3,622.6	3,752.2	2,507.1	1,796.0	2,858.5	3,384.2	3,960.8	

Tabla A2.2. Matriz de distancias radiales entre los centroides de las zonas.
(Continuación)

No.	Delegación/ Municipio	Zonas											
		11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22
1	Alvaro Obregón												
2	Azcapotzalco												
3	Benito Juárez												
4	Coyoacán												
5	Cuajimalpa												
6	Cuauhtémoc												
7	G A Madero												
8	Iztacalco												
9	Iztapalapa												
10	M Contreras												
11	Miguel Hidalgo	293.8											
12	Milpa Alta	2,967.9	404.7										
13	Tláhuac	2,429.2	845.2	416.4									
14	Tlalpan	1,647.1	1,669.4	1,594.0	408.8								
15	V Carranza	942.2	2,507.8	1,791.2	1,737.0	285.0							
16	Xochimilco	2,172.2	847.9	858.6	843.2	1,871.6	414.2						
17	A de Zaragoza	1,610.6	4,552.2	3,934.4	3,234.0	2,179.0	3,777.3	395.8					
18	Coacalco	2,480.1	4,793.8	3,998.9	3,989.8	2,341.4	4,212.0	1,734.7	402.6				
19	C Izcalli	2,336.5	5,168.0	4,476.0	3,983.5	2,685.0	4,442.8	854.8	1,284.6	525.5			
20	C de R Rubio	2,548.8	5,262.4	4,530.7	4,185.2	2,755.6	4,577.4	1,219.2	960.0	430.3	674.7		
21	Chalco	3,054.6	1,415.9	885.5	2,471.2	2,239.5	1,736.7	4,411.4	4,126.8	4,827.4	4,805.7	406.1	
22	Chicoloapan	2,925.4	2,597.0	1,820.3	3,070.7	1,983.2	2,590.6	3,887.3	3,149.5	4,091.2	3,968.9	1,307.5	975.8
23	Chimalhuacán	2,262.7	2,390.0	1,549.1	2,531.4	1,320.6	2,181.7	3,282.8	2,750.8	3,561.4	3,486.6	1,391.5	662.7
24	Ecatepec	1,959.2	3,702.9	2,881.5	3,157.0	1,420.1	3,210.4	2,114.1	1,179.0	2,125.1	1,969.1	2,950.5	2,002.1
25	Huixquilucan	841.9	3,231.1	2,882.8	1,629.2	1,735.4	2,384.1	1,846.3	3,143.5	2,688.1	2,996.3	3,631.9	3,695.0
26	Iztapalaca	3,045.4	1,656.4	1,051.1	2,601.3	2,188.1	1,909.7	4,339.1	3,963.3	4,715.6	4,673.6	255.5	1,061.0
27	Naucalpan	757.1	3,645.5	3,164.9	2,161.1	1,666.0	2,818.8	1,169.7	2,549.6	2,011.3	2,327.1	3,811.2	3,635.7
28	Nezahualcóyotl	1,776.9	2,260.2	1,425.3	2,113.9	837.5	1,888.3	2,900.1	2,610.6	3,266.5	3,244.3	1,563.4	1,154.0
29	Nicolás Romero	2,335.1	5,299.8	4,706.0	3,906.8	2,961.4	4,506.1	783.9	2,151.2	900.0	1,321.7	5,195.2	4,646.5
30	La Paz	2,429.3	1,808.8	992.6	2,265.5	1,538.4	1,744.7	3,672.3	3,332.8	4,047.5	4,014.1	795.7	846.2
31	Tecamac	2,788.2	4,731.0	3,902.3	4,150.6	2,425.1	4,244.4	2,329.4	650.2	1,934.8	1,597.2	3,890.6	2,782.5
32	Tlalnepantla	1,083.5	3,883.5	3,217.7	2,718.9	1,435.6	3,151.2	772.4	1,502.2	1,291.6	1,467.0	3,651.5	3,122.5
33	Tultitlán	2,572.5	4,980.5	4,194.6	4,121.3	2,507.1	4,378.4	1,671.3	234.1	1,122.8	760.7	4,345.0	3,381.5

Tabla A2.2. Matriz de distancias radiales entre los centroides de las zonas.
(Continuación)

No.	Delegación/ Municipio	Zonas										
		23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33
1	Alvaro Obregón											
2	Azcapotzalco											
3	Benito Juárez											
4	Coyoacán											
5	Cuajimalpa											
6	Cuauhtémoc											
7	G A Madero											
8	Iztacalco											
9	Iztapalapa											
10	M Contreras											
11	Miguel Hidalgo											
12	Milpa Alta											
13	Tláhuac											
14	Tlalpan											
15	V Carranza											
16	Xochimilco											
17	A de Zaragoza											
18	Coacalco											
19	C Izcalli											
20	C de R Rubio											
21	Chalco											
22	Chicoloapan											
23	Chimalhuacán	407.6										
24	Ecatepec	1,571.8	407.7									
25	Huixquilucan	3,036.7	2,778.6	403.3								
26	Iztapaluca	1,213.2	2,784.4	3,667.9	403.5							
27	Naucalpan	2,975.7	2,373.8	677.3	3,802.1	405.5						
28	Nezahualcóyotl	495.8	1,463.6	2,541.6	1,452.6	2,502.3	409.1					
29	Nicolás Romero	4,054.1	2,795.9	2,389.3	5,122.4	1,755.3	3,681.1	433.4				
30	La Paz	625.4	2,158.5	3,107.6	670.3	3,181.0	782.5	4,455.0	404.5			
31	Tecamac	2,500.1	1,035.6	3,535.7	3,699.0	3,002.3	2,477.5	2,796.5	3,117.0	876.2		
32	Tlalnepantla	2,511.6	1,458.6	1,645.9	3,572.1	1,053.6	2,129.1	1,552.0	2,903.9	1,954.6	396.4	
33	Tultitlán	2,974.0	1,402.9	3,193.0	4,185.3	2,574.7	2,818.6	2,011.2	3,550.1	837.6	1,547.9	408.2

Tabla A2.3. Matriz de distancias ortogonales entre los centroides de las zonas.

Zona	Coordenadas		Zonas													
	Xi	Yi	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
1	1.43	14.20	0.64													
2	1.33	12.26	2.03	0.86												
3	3.13	14.70	2.20	4.24	0.73											
4	3.10	13.71	2.16	3.22	1.02	0.86										
5	2.41	12.28	2.90	1.10	3.14	2.12	0.78									
6	1.88	10.20	4.46	2.62	5.75	4.73	2.61	1.20								
7	3.97	12.48	4.27	2.86	3.07	2.11	1.76	4.37	0.69							
8	4.15	11.33	5.60	3.76	4.39	3.44	2.70	3.39	1.33	0.88						
9	3.47	9.56	6.68	4.84	5.48	4.52	3.78	2.22	3.42	2.44	0.80					
10	4.71	14.81	3.89	5.93	1.69	2.71	4.83	7.44	3.07	4.05	6.49	0.50				
11	4.94	13.45	4.27	4.80	3.06	2.11	3.71	6.31	1.95	2.92	5.36	1.60	1.00			
12	4.77	9.45	8.09	6.25	6.89	5.93	5.19	3.64	3.82	2.50	1.41	5.43	4.18	1.17		
13	5.88	12.44	6.21	4.73	5.00	4.05	3.63	6.24	1.93	2.85	5.29	3.54	1.94	4.10	0.91	
14	5.69	10.20	8.27	6.43	7.06	6.11	5.37	3.81	4.00	2.67	2.86	5.60	4.00	1.67	2.43	0.84
15	6.84	14.96	6.17	8.20	3.96	4.98	7.11	9.71	5.35	6.32	8.76	2.28	3.40	7.58	3.48	5.90
16	6.70	13.65	5.83	6.76	4.62	3.67	5.66	8.27	3.90	4.88	7.32	3.16	1.96	6.13	2.03	4.46
17	7.64	13.77	6.64	7.82	5.44	4.60	6.73	9.33	4.97	5.94	8.38	3.98	3.02	7.19	3.09	5.52
18	7.60	12.36	8.01	6.37	6.81	5.85	5.28	7.88	3.74	4.49	6.93	5.34	3.74	5.74	1.81	4.07
19	6.54	11.19	8.13	6.28	6.92	5.97	5.23	5.66	3.85	2.53	4.71	5.46	3.86	3.52	1.92	1.84
20	8.06	11.25	9.58	7.74	8.38	7.42	6.68	7.23	5.31	3.98	6.28	6.91	5.31	5.09	3.38	3.41
21	7.99	9.69	11.08	9.23	9.87	8.92	8.18	6.62	6.80	5.48	4.65	8.41	6.81	3.46	4.87	2.81
22	7.09	8.82	11.05	9.21	9.85	8.89	8.15	6.59	6.78	5.45	4.37	8.38	6.78	2.96	4.84	2.78
23	9.93	14.87	9.17	11.20	6.96	7.98	10.11	12.71	8.35	9.32	11.76	5.28	6.40	10.58	6.48	8.90
24	9.52	13.79	8.50	9.72	7.29	6.50	8.62	11.23	6.86	7.84	10.28	5.83	4.92	9.09	4.99	7.42
25	9.05	12.83	9.00	8.28	7.80	6.84	7.19	9.79	5.43	6.40	8.85	6.33	4.73	7.66	3.56	5.98
26	9.22	11.35	10.64	8.80	9.44	8.48	7.74	8.49	6.37	5.09	7.54	7.97	6.37	6.35	4.43	4.67
27	9.77	9.49	13.06	11.22	11.85	10.90	10.16	8.60	8.78	7.46	6.38	10.39	8.79	5.04	6.85	4.79
28	9.36	8.05	14.09	12.25	12.88	11.93	11.19	9.63	9.82	8.49	7.41	11.42	9.82	5.99	7.88	5.82
29	11.26	13.27	10.77	10.94	9.57	8.61	9.84	12.45	8.08	9.06	11.50	8.10	6.50	10.31	6.21	8.64
30	10.48	11.40	11.86	10.02	10.65	9.70	8.96	9.80	7.58	6.41	8.85	9.19	7.59	7.66	5.65	5.99
31	11.59	8.88	15.49	13.65	14.29	13.33	12.59	11.04	11.22	9.89	8.81	12.82	11.22	7.40	9.28	7.22
32	10.82	6.95	16.64	14.80	15.44	14.48	13.74	12.19	12.37	11.05	9.96	13.98	12.38	8.55	10.44	8.38
33	12.85	14.91	12.14	14.18	9.94	10.96	13.08	15.69	11.32	12.29	14.74	8.25	9.37	13.55	9.45	11.87
34	13.76	13.75	12.79	13.92	11.58	10.70	12.83	15.43	11.07	12.04	14.48	10.12	9.12	13.29	9.19	11.62
35	12.56	12.51	12.83	11.47	11.62	10.67	10.38	12.98	8.62	9.59	12.03	10.16	8.56	10.84	6.74	9.17
36	12.02	10.56	14.23	12.39	13.03	12.08	11.33	10.49	9.96	8.64	9.54	11.57	9.97	8.35	8.03	6.68
37	13.32	9.26	16.83	14.99	15.63	14.67	13.93	12.38	12.56	11.23	10.15	14.16	12.56	8.74	10.63	8.56
38	13.09	7.26	18.61	16.77	17.40	16.45	15.71	14.15	14.33	13.01	11.93	15.94	14.34	10.51	12.40	10.34
39	12.74	4.87	20.64	18.80	19.44	18.48	17.74	16.19	16.37	15.04	13.96	17.97	16.37	12.55	14.43	12.37
40	14.68	8.24	19.22	17.38	18.01	17.06	16.32	14.76	14.94	13.62	12.54	16.55	14.95	11.12	13.01	10.95
41	14.85	6.58	21.05	19.21	19.85	18.89	18.15	16.59	16.78	15.45	14.37	18.38	16.78	12.96	14.84	12.78

Tabla A2.3. Matriz de distancias ortogonales entre los centroides de las zonas.
(Continuación)

Zona	Zonas															
	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
1																
2																
3																
4																
5																
6																
7																
8																
9																
10																
11																
12																
13																
14																
15	0.95															
16	1.44	0.72														
17	1.99	1.06	0.63													
18	3.36	2.19	1.45	0.69												
19	4.06	2.61	3.68	2.23	0.83											
20	4.93	3.76	2.94	1.57	1.57	0.69										
21	6.42	5.25	4.43	3.06	2.95	1.63	0.95									
22	6.39	5.23	5.50	4.05	2.93	3.39	1.76	0.98								
23	3.18	4.44	3.38	4.83	7.06	5.49	7.12	8.88	1.17							
24	3.84	2.96	1.90	3.35	5.57	4.00	5.63	7.40	1.48	0.80						
25	4.34	3.18	2.36	1.91	4.14	2.57	4.20	5.96	2.92	1.43	0.70					
26	5.98	4.82	4.00	2.63	2.83	1.26	2.89	4.65	4.23	2.74	1.64	0.72				
27	8.40	7.23	6.41	5.04	4.93	3.48	1.98	3.34	5.54	4.56	4.06	2.42	0.95			
28	9.43	8.26	7.44	6.08	5.96	4.51	3.01	3.04	7.38	5.90	5.09	3.45	1.84	0.98		
29	6.12	4.95	4.13	4.57	6.79	5.22	6.85	8.62	2.94	2.28	2.65	3.96	5.27	7.12	0.98	
30	7.20	6.03	5.21	3.84	4.14	2.58	4.21	5.97	4.03	3.36	2.86	1.32	2.63	4.47	2.65	1.06
31	10.83	9.67	8.85	7.48	7.37	5.91	4.42	4.55	7.66	6.99	6.49	4.85	2.43	3.05	4.72	3.63
32	11.99	10.82	10.00	8.63	8.52	7.06	5.57	5.59	8.81	8.15	7.64	6.00	3.59	2.56	6.76	4.79
33	6.06	7.42	6.35	7.80	10.03	8.46	10.09	11.85	2.97	4.46	5.89	7.20	8.51	10.35	3.24	5.88
34	8.13	7.16	6.14	7.55	9.78	8.21	9.84	11.60	4.96	4.29	5.64	6.95	8.26	10.10	2.98	5.63
35	8.17	7.00	6.18	5.10	7.33	5.76	7.39	9.15	4.99	4.33	3.83	4.50	5.81	7.65	2.05	3.18
36	9.58	8.41	7.59	6.22	6.11	4.65	4.90	6.66	6.40	5.74	5.23	3.59	3.32	5.16	3.46	2.38
37	12.18	11.01	10.19	8.82	8.71	7.25	5.76	6.67	9.00	8.33	7.83	6.19	3.78	5.17	6.06	4.98
38	13.95	12.78	11.96	10.59	10.48	9.03	7.53	7.56	10.78	10.11	9.61	7.97	5.55	4.52	7.83	6.75
39	15.98	14.82	14.00	12.63	12.52	11.06	9.57	9.59	12.81	12.14	11.64	10.00	7.58	6.55	9.87	8.78
40	14.56	13.39	12.57	11.20	11.09	9.63	8.14	8.17	11.38	10.72	10.22	8.58	6.16	5.50	8.44	7.36
41	16.39	15.23	14.41	13.04	12.93	11.47	9.98	10.00	13.22	12.55	12.05	10.41	7.99	6.96	10.28	9.19

Tabla A2.3. Matriz de distancias ortogonales entre los centroides de las zonas.
(Continuación)

Zona	Zonas										
	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41
1											
2											
3											
4											
5											
6											
7											
8											
9											
10											
11											
12											
13											
14											
15											
16											
17											
18											
19											
20											
21											
22											
23											
24											
25											
26											
27											
28											
29											
30											
31	1.13										
32	2.70	1.00									
33	7.30	10.00	1.16								
34	7.05	9.74	2.07	1.09							
35	4.60	7.29	2.70	2.45	0.83						
36	2.11	4.80	5.19	4.94	2.49	1.00					
37	2.12	4.81	6.12	4.93	4.01	2.60	0.86				
38	3.12	2.58	7.89	7.17	5.78	4.37	2.24	1.13			
39	5.15	4.00	10.16	9.90	7.82	6.41	4.97	2.73	0.81		
40	3.73	5.15	8.50	6.43	6.39	4.98	2.38	2.57	5.31	0.78	
41	5.56	4.41	10.33	8.26	8.23	6.82	4.22	2.44	3.82	1.83	0.95

Tabla A2.4. Matriz de distancias radiales entre los centroides de las zonas.

Zona	Coordenadas		Zonas													
	Xi	Yi	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
1	1.43	14.20	0.64													
2	1.33	12.26	1.94	0.86												
3	3.13	14.70	1.78	3.03	0.73											
4	3.10	13.71	1.74	2.29	0.99	0.86										
5	2.41	12.28	2.16	1.08	2.52	1.59	0.78									
6	1.88	10.20	4.03	2.14	4.67	3.72	2.15	1.20								
7	3.97	12.48	3.08	2.65	2.38	1.52	1.58	3.09	0.69							
8	4.15	11.33	3.96	2.97	3.53	2.61	1.99	2.53	1.16	0.88						
9	3.47	9.56	5.07	3.44	5.15	4.17	2.92	1.71	2.96	1.89	0.80					
10	4.71	14.81	3.34	4.23	1.58	1.95	3.42	5.41	2.45	3.53	5.39	0.50				
11	4.94	13.45	3.60	3.81	2.20	1.87	2.79	4.47	1.38	2.27	4.16	1.38	1.00			
12	4.77	9.45	5.81	4.44	5.50	4.58	3.69	2.98	3.13	1.98	1.31	5.36	4.00	1.17		
13	5.88	12.44	4.78	4.55	3.55	3.05	3.47	4.58	1.90	2.06	3.76	2.64	1.37	3.19	0.91	
14	5.69	10.20	5.85	4.83	5.18	4.37	3.89	3.81	2.85	1.91	2.32	4.72	3.34	1.19	2.25	0.84
15	6.84	14.96	5.47	6.13	3.72	3.94	5.18	6.87	3.79	4.52	6.36	2.14	2.42	5.88	2.69	4.89
16	6.70	13.65	5.30	5.55	3.72	3.60	4.51	5.93	2.97	3.45	5.21	2.31	1.77	4.62	1.46	3.59
17	7.64	13.77	6.23	6.49	4.61	4.54	5.44	6.78	3.89	4.27	5.93	3.11	2.72	5.19	2.21	4.07
18	7.60	12.36	6.44	6.27	5.04	4.70	5.19	6.11	3.63	3.61	4.99	3.79	2.87	4.06	1.73	2.88
19	6.54	11.19	5.94	5.32	4.89	4.27	4.28	4.77	2.87	2.40	3.48	4.06	2.77	2.49	1.42	1.31
20	8.06	11.25	7.26	6.80	6.01	5.54	5.74	6.26	4.26	3.91	4.89	4.89	3.81	3.75	2.49	2.59
21	7.99	9.69	7.96	7.14	6.98	6.33	6.15	6.13	4.89	4.18	4.52	6.09	4.84	3.23	3.47	2.35
22	7.09	8.82	7.82	6.72	7.09	6.32	5.83	5.39	4.81	3.87	3.70	6.45	5.11	2.41	3.82	1.97
23	9.93	14.87	8.53	8.98	6.80	6.93	7.95	9.30	6.42	6.78	8.36	5.22	5.18	7.48	4.72	6.30
24	9.52	13.79	8.10	8.33	6.45	6.42	7.27	8.44	5.70	5.91	7.38	4.92	4.58	6.43	3.88	5.25
25	9.05	12.83	7.75	7.74	6.21	6.02	6.67	7.63	5.09	5.13	6.47	4.78	4.15	5.45	3.20	4.26
26	9.22	11.35	8.30	7.94	6.95	6.56	6.87	7.42	5.36	5.07	6.02	5.69	4.76	4.84	3.52	3.71
27	9.77	9.49	9.58	8.89	8.44	7.90	7.87	7.92	6.52	5.91	6.30	7.35	6.24	5.00	4.89	4.14
28	9.36	8.05	10.04	9.07	9.11	8.45	8.14	7.78	6.97	6.16	6.09	8.21	6.98	4.80	5.61	4.25
29	11.26	13.27	9.88	9.98	8.26	8.18	8.91	9.87	7.33	7.38	8.63	6.74	6.32	7.53	5.45	6.36
30	10.48	11.40	9.48	9.19	8.06	7.74	8.12	8.68	6.60	6.33	7.25	6.71	5.90	6.04	4.72	4.94
31	11.59	8.88	11.48	10.81	10.27	9.77	9.80	9.80	8.43	7.84	8.15	9.09	8.07	6.85	6.74	6.04
32	10.82	6.95	11.87	10.88	10.92	10.26	9.96	9.51	8.80	7.98	7.80	9.96	8.76	6.55	7.39	6.07
33	12.85	14.91	11.45	11.83	9.73	9.83	10.77	11.94	9.21	9.42	10.80	8.15	8.04	9.76	7.40	8.57
34	13.76	13.75	12.35	12.52	10.68	10.67	11.45	12.40	9.87	9.92	11.11	9.12	8.82	9.97	7.99	8.82
35	12.56	12.51	11.26	11.23	9.68	9.54	10.15	10.92	8.58	8.49	9.55	8.18	7.67	8.37	6.68	7.24
36	12.02	10.56	11.20	10.82	9.80	9.46	9.76	10.14	8.27	7.91	8.61	8.46	7.64	7.33	6.42	6.33
37	13.32	9.26	12.88	12.36	11.55	11.15	11.32	11.48	9.88	9.40	9.86	10.25	9.36	8.55	8.10	7.68
38	13.09	7.26	13.57	12.78	12.43	11.90	11.80	11.59	10.50	9.82	9.89	11.28	10.23	8.60	8.88	7.96
39	12.74	4.87	14.66	13.59	13.74	13.08	12.71	12.09	11.60	10.74	10.39	12.78	11.59	9.19	10.22	8.83
40	14.68	8.24	14.53	13.94	13.23	12.81	12.92	12.95	11.51	10.97	11.29	11.94	11.04	9.98	9.76	9.20
41	14.85	6.58	15.44	14.67	14.26	13.75	13.69	13.47	12.38	11.71	11.77	13.07	12.06	10.48	10.72	9.85

Tabla A2.4. Matriz de distancias radiales entre los centroides de las zonas.
(Continuación)

Zona	Zonas															
	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
1																
2																
3																
4																
5																
6																
7																
8																
9																
10																
11																
12																
13																
14																
15	0.95															
16	1.31	0.72														
17	1.43	0.95	0.63													
18	2.70	1.57	1.41	0.69												
19	3.77	2.46	2.80	1.58	0.83											
20	3.90	2.76	2.56	1.20	1.51	0.69										
21	5.39	4.17	4.10	2.70	2.09	1.56	0.95									
22	6.14	4.85	4.98	3.58	2.44	2.61	1.25	0.98								
23	3.09	3.45	2.53	3.42	4.99	4.07	5.53	6.68	1.17							
24	2.92	2.82	1.88	2.39	3.95	2.93	4.38	5.53	1.15	0.80						
25	3.07	2.49	1.70	1.52	2.99	1.86	3.31	4.46	2.22	1.07	0.70					
26	4.32	3.41	2.89	1.91	2.68	1.16	2.07	3.30	3.59	2.46	1.48	0.72				
27	6.20	5.17	4.78	3.60	3.65	2.46	1.79	2.76	5.38	4.31	3.41	1.94	0.95			
28	7.35	6.20	5.98	4.66	4.22	3.46	2.14	2.40	6.84	5.75	4.79	3.30	1.49	0.98		
29	4.74	4.58	3.66	3.77	5.15	3.79	4.85	6.10	2.09	1.82	2.26	2.80	4.06	5.55	0.98	
30	5.09	4.40	3.70	3.04	3.94	2.43	3.03	4.26	3.51	2.58	2.02	1.27	2.04	3.53	2.02	1.06
31	7.72	6.84	6.29	5.30	5.55	4.26	3.69	4.50	6.22	5.34	4.70	3.43	1.92	2.38	4.40	2.76
32	8.94	7.86	7.53	6.30	6.02	5.11	3.94	4.17	7.97	6.97	6.14	4.68	2.75	1.83	6.33	4.46
33	6.02	6.28	5.34	5.84	7.32	6.04	7.14	8.38	2.93	3.52	4.34	5.09	6.24	7.70	2.29	4.24
34	7.03	7.06	6.12	6.32	7.66	6.23	7.06	8.29	4.00	4.25	4.80	5.14	5.84	7.20	2.55	4.04
35	6.22	5.97	5.08	4.96	6.15	4.67	5.37	6.59	3.54	3.30	3.52	3.54	4.11	5.48	1.50	2.35
36	6.80	6.15	5.43	4.77	5.51	4.02	4.12	5.22	4.79	4.09	3.73	2.91	2.49	3.65	2.81	1.75
37	8.63	7.94	7.25	6.50	7.04	5.63	5.35	6.24	6.55	5.92	5.56	4.60	3.56	4.14	4.50	3.55
38	9.92	9.04	8.49	7.50	7.64	6.42	5.65	6.19	8.24	7.45	6.88	5.63	4.00	3.81	6.28	4.90
39	11.68	10.65	10.26	9.08	8.85	7.91	6.76	6.89	10.38	9.49	8.77	7.37	5.49	4.64	8.52	6.91
40	10.33	9.64	8.95	8.19	8.65	7.27	6.85	7.61	8.16	7.58	7.26	6.29	5.07	5.32	6.08	5.26
41	11.60	10.79	10.19	9.28	9.50	8.25	7.54	8.07	9.65	8.98	8.53	7.39	5.86	5.68	7.59	6.51

Tabla A2.4. Matriz de distancias radiales entre los centroides de las zonas.
(Continuación)

Zona	Zonas										
	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41
1											
2											
3											
4											
5											
6											
7											
8											
9											
10											
11											
12											
13											
14											
15											
16											
17											
18											
19											
20											
21											
22											
23											
24											
25											
26											
27											
28											
29											
30											
31	1.13										
32	2.07	1.00									
33	6.17	8.22	1.16								
34	5.34	7.41	1.48	1.09							
35	3.76	5.82	2.42	1.73	0.83						
36	1.73	3.80	4.44	3.64	2.02	1.00					
37	1.77	3.41	5.67	4.51	3.33	1.84	0.86				
38	2.20	2.29	7.66	6.53	5.28	3.47	2.02	1.13			
39	4.16	2.83	10.04	8.94	7.64	5.73	4.43	2.41	0.81		
40	3.15	4.07	6.92	5.59	4.77	3.53	1.70	1.87	3.89	0.78	
41	3.99	4.05	8.57	7.26	6.36	4.89	3.09	1.89	2.71	1.67	0.95

***Anexo 3: Programa para
la calibración del modelo***

ANEXO 3. PROGRAMA PARA LA CALIBRACION DEL MODELO DE W.G. HANSEN

```

{OBTENCION DE:
  ACCESIBILIDAD DE LA ZONA
  POTENCIAL DE CRECIMIENTO
  POTENCIAL DE DESAROLLO
  PRONOSTICO
  SE UTILIZA UN VECTOR DE TIEMPOS
}
{DISEÑO DEL ALGORITMO           : JOEL AHUMADA VARGAS
{ELABORACION DEL PROGRAMA      : MARIO H. ESCOBEDO GARCIA
}
{Para modificar el tamaño de la matriz de accesibilidad, variar el valor de la
  constante num_deleg al valor deseado
}

```

```

CONST
pobla           = 1;
empleos        = 2;
coord_x        = 3;
coord_y        = 4;
crecimiento    = 5;
dint           = 6;
accesibilidad  = 7;
potencial      = 8;
pronostico     = 9;
desviacion     = 10;
num_deleg     = 33;
num_col       = 10;

```

```

TYPE
MATRIZ_DISTANCIA = ARRAY [1..num_deleg,1..num_deleg] OF REAL;
MATRIZ_ACCESIBILIDAD = ARRAY [1..num_deleg,1..num_deleg] OF REAL;
MATRIZ_POB = ARRAY [1..num_deleg,1..num_col] OF REAL;
TIPO_DIST = (radial,ortogonal);
CADENA_30 = STRING[30];
TABLA_DELEGACION = ARRAY [1..num_deleg] OF STRING[25];

```

```

VAR
n          : INTEGER;
alfa,pob_total : REAL;
tabla_deleg : TABLA_DELEGACION;
pob2       : MATRIZ_POB;
distancia  : MATRIZ_DISTANCIA;
accesib    : MATRIZ_ACCESIBILIDAD;
t_dist     : TIPO_DIST;
poblacion  : CADENA_30;
sale       : BOOLEAN;
imprime    : CHAR;
sumapotencial : REAL;
coef_corr  : REAL;
desv_est   : REAL;

PROCEDURE SELECCIONA_PARAMETROS
(VAR tipo          : TIPO_DIST;
VAR n              : INTEGER;
VAR alfa,pob_total : REAL;
VAR poblacion     : CADENA_30;
VAR ttdd          : CHAR;
dom               : 1..num_deleg;

BEGIN
ClrScr;
GOTOXY(1,5);
WRITE('+ Deseas calcular la matriz de distancias ortogonales o radiales ? (O/R) ');
READLN(ttdd);
IF ttdd IN ['O','o'] THEN
  tipo := ortogonal

ELSE
  tipo := radial;
GOTOXY(1,7);
WRITE('+ Cuántos municipios o delegaciones vas a procesar ? (1,...!num_deleg.) ');
READLN(dom);
n := dom;
GOTOXY(1,9);
WRITE('+Cuál es el valor del parámetro È ? ');
READLN(alfa);
GOTOXY(1,11);
WRITE('+Cuál es la población total (Gt) ? ');
READLN(pob_total);
GOTOXY(1,13);
WRITE('+Cuál es el nombre del archivo de población/delegación ? ');
READLN(poblacion)
END;

```

PROCEDURE LEE_POBLACION

```

(VAR P           : MATRIZ_POB;
 VAR D           : TABLA_DELEGACION;
 poblacion       : CADENA_30;
 VAR sale        : BOOLEAN;
 n               : INTEGER);
VAR
POB2             : TEXT;
ij               : INTEGER;
C1               : STRING[2];

```

BEGIN

```
ASSIGN(POB2,poblacion);
```

```
{!-}
```

```
RESET(POB2);
```

```
{!+}
```

```
IF IOresult <> 0 THEN
```

```
  BEGIN
```

```
    GOTOXY(1,22);
```

```
    WRITE('NO ENCONTRE EL ARCHIVO DE POBLACION/DELEGACION. ');
```

```
    sale := True
```

```
  END
```

ELSE

```
  BEGIN
```

```
    FOR i := 1 TO n DO
```

```
      FOR j := 1 TO n DO
```

```
        P[i,j] := 0;
```

```
      sale := FALSE;
```

```
      i := 1;
```

```
      WHILE (NOT EOF(POB2)) AND (i <= n) DO
```

```
        BEGIN
```

```
          READLN(POB2,C1,D[i],P[i,1],P[i,2],P[i,3],P[i,4],P[i,5],P[i,6]);
```

```
          i := i + 1
```

```
        END;
```

```
      CLOSE(POB2);
```

```
    END
```

```
END;
```

PROCEDURE LEE_TIEMPOS

```
(n : INTEGER; VAR D : MATRIZ_DISTANCIA);
```

```
VAR
```

```
TIEMPOS           : STRING[30];
```

```
ENTRADA           : TEXT;
```

```
j               : INTEGER;
```

```

BEGIN
GOTOXY(22,5);
CLREOL;
WRITE('+ CUAL ES EL NOMBRE DEL ARCHIVO DE TIEMPOS ? ');
READ(KBD, TIEMPOS);
ASSIGN(ENTRADA, TIEMPOS);
RESET(ENTRADA);
j := 1;
WHILE NOT EOF(ENTRADA) AND (j <= n) DO

  BEGIN
    READLN(ENTRADA, D[1,j], D[2,j], D[3,j], D[4,j], D[5,j], D[6,j], D[7,j], D[8,j], D[9,j], D[10,j],
           D[11,j], D[12,j], D[13,j], D[14,j], D[15,j], D[16,j], D[17,j], D[18,j], D[19,j], D[20,j],
           D[21,j], D[22,j], D[23,j], D[24,j], D[25,j], D[26,j], D[27,j], D[28,j], D[29,j], D[30,j],
           D[31,j], D[32,j], D[33,j]);
    j := j + 1
  END;
CLOSE(ENTRADA)
END;

PROCEDURE CALCULA_MATRIZ_ACCESIBILIDAD
  (D                                     : MATRIZ_DISTANCIA;
  VAR pob2                               : MATRIZ_POB;
  VAR A                                  : MATRIZ_ACCESIBILIDAD);

  VAR
    ij                                   : INTEGER;
    SumaA                                : REAL;

BEGIN

  { Cálculo de  $A_{ij} = E_j/D_{ij} ** \text{alfa}$  }
  FOR i := 1 TO n DO
    FOR j := 1 TO n DO
      A[i,j] := pob2[j.empleos]/EXP(alfa * (LN(d[i,j])) );

    SumaPotencial := 0;
    FOR i := 1 TO n DO
      BEGIN

        { Cálculo de  $A_i = \text{accesibilidad de la zona}$  }
        sumaA := 0;
        FOR j := 1 TO n DO
          sumaA := sumaA + A[i,j];
        pob2[i,accesibilidad] := sumaA;

        { Cálculo de  $D_i = \text{potencial de desarrollo}$  }
        pob2[i,potencial] := pob2[i.accesibilidad] * pob2[i,crecimiento];
        SumaPotencial := SumaPotencial + pob2[i,potencial]
      END;
    END;

```



```

{ Cálculo del pronóstico }
FOR i := 1 TO n DO
  BEGIN
    IF SumaPotencial < 0 THEN
      pob2[i,pronostico] := pob_total / SumaPotencial * pob2[i,potencial]
    ELSE
      pob2[i,pronostico] := 0;
      pob2[i,desviacion] := pob2[i,pronostico] - pob2[i,pobla]
    END
  END;
END;

PROCEDURE CALCULA_ESTADISTICAS
  (VAR pob2           : MATRIZ_POB);
  VAR
    i                 : INTEGER;
    sumax,sumay,sumax2,sumay2,sumaxy,sumax_y_2 : REAL;

BEGIN
  sumax           := 0;
  sumay           := 0;
  sumax2          := 0;
  sumay2          := 0;
  sumaxy          := 0;
  sumax_y_2      := 0;
  FOR i           := 1 TO n DO

  BEGIN
    sumax := sumax + pob2[i,pronostico];
    sumay := sumay + pob2[i,pobla];
    sumax2 := sumax2 + EXP(2 * LN(pob2[i,pronostico]));
    sumay2 := sumay2 + EXP(2 * LN(pob2[i,pobla]));
    sumaxy := sumaxy + pob2[i,pobla] * pob2[i,pronostico];
    sumax_y_2 := sumax_y_2 + EXP(2 * LN(ABS(pob2[i,pronostico]-pob2[i,pobla])))
  END;
  desv_est := EXP(0.5*LN((sumax_y_2)/(n-1)));
  coef_corr := (n*sumaxy-sumax*sumay)/EXP(0.5*LN((n*sumax2-EXP(2*LN(sumax)))*(n*sumay2-EXP(2*LN(sumay)))))
END;

PROCEDURE IMPRIME_MATRIZ_ACCESIBILIDAD:

  VAR
    i,j,posicion   : INTEGER;

BEGIN
  WRITELN(LST,^L);
  IF t_dist = ortogonal THEN
    WRITELN(LST,'MATRIZ DE ACCESIBILIDAD (DISTANCIAS ORTOGONALES) :')
  ELSE
    WRITELN(LST,'MATRIZ DE ACCESIBILIDAD (DISTANCIAS RADIALES) :');

```

```

WRITELN(LST);
FOR j := 1 TO n DO
  WRITE(LST,j:14);
WRITELN(LST);
FOR i := 1 TO n DO
  BEGIN
    WRITE(LST,i:2);
    FOR j := 1 TO n DO
      WRITE(LST,' ',accesib[i,j]:10:5,' ');
    WRITELN(LST)
  END
END;

```

```

PROCEDURE IMPRIME_ACCESIBILIDAD;

```

```

      VAR
        i                : INTEGER;
        RESULTADO        : TEXT;
        ARCHSAL           : STRING[30];

```

```

BEGIN
  GOTOXY(22,5);
  CLREOL;
  WRITE('DESEAS LOS RESULTADOS a) IMPRESION EN PAPEL  b) ARCHIVO EN DISCO ? ');
  READ(KBD.IMPRIME);
  IF IMPRIME IN ['A','a'] THEN

```

```

  BEGIN
    WRITELN(LST,^J,^J,^J,^J,^J,^J,^J,^J,^J);
    WRITELN(LST,'DEL. EMPLEOS ACCESIBILIDAD POTENCIAL DESARROLLO
PRONOSTICO POBLACION'
      ' DESVIACION');
    WRITELN(LST,' DE LA ZONA DE CRECIMIENTO POTENCIAL');
    WRITELN(LST);
    FOR i := 1 TO n DO
      BEGIN
        WRITE(LST,i:2,' ',Pob2[i.empleos]:10:2,' ',Pob2[i.accesibilidad]:10:2,' ',pob2[i.crecimiento]:17:2,' ');
        WRITE(LST,pob2[i.potencial]:17:2,' ',pob2[i.pronostico]:17:2,' ',pob2[i.pobla]:10:2);
        WRITE(LST,pob2[i.desviacion]:10:2);
        WRITELN(LST)
      END;
    WRITELN(LST,^J,^J,^J,^J);
    WRITELN(LST,' ALFA = ',alfa:10:2);
    WRITELN(LST,' POBLACION TOTAL(Gt) = ',pob_total:10:2);
    WRITELN(LST,' DESARROLLO POTENCIAL = ',sumapotencial);
    WRITELN(LST,' DESVIACION ESTANDARD = ',desv_est);
    WRITELN(LST,' COEFICIENTE DE CORRELACION = ',coef_corr)
  END
ELSE

```

```

BEGIN
  GOTOXY(22,5);
  CLREOL;
  WRITE('+ CUAL ES EL NOMBRE DEL ARCHIVO DE RESULTADOS ? ');
  READ(KBD.ARCHSAL);
  ASSIGN(RESULTADO,ARCHSAL);
  REWRITE(RESULTADO);
  WRITELN(RESULTADO,'DEL EMPLEOS ACCESIBILIDAD POTENCIAL DESARROLLO
PRONOSTICO POBLACION',
          ' DESVIACION');
  WRITELN(RESULTADO,'          DE LA ZONA DE CRECIMIENTO POTENCIAL');
  WRITELN(RESULTADO,'DEL ENTIDAD EMPLEOS A0 P2000 P2010 EMPLEOS COORX
COORY POB87 ACCESIBILIDAD',
          'CRECIMIENTO POTENCIAL PRONOSTICO');
  FOR i := 1 TO n DO

    WRITELN(RESULTADO,i:2,' ' ,Pob2[i,empleos]:10:2,' ' ,Pob2[i,accesibilidad]:10:2,'
' ,pob2[i,crecimiento]:17:2,' ' ,
            pob2[i,potencial]:17:2,' ' ,pob2[i,pronostico]:17:2,' ' ,pob2[i,pobla]:10:2,' ' ,
            pob2[i,desviacion]);
    CLOSE(RESULTADO)
  END
END;

BEGIN
  SELECCIONA_PARAMETROS(t_dist,n,alfa,pob_total,poblacion);
  LEE_POBLACION(pob2,tabla_deleg,poblacion,sale,n);
  IF NOT sale THEN
    BEGIN
      LEE_TIEMPOS(n,distancia);
      CALCULA_MATRIZ_ACCESIBILIDAD(distancia,pob2,accesib);
      CALCULA_ESTADISTICAS(pob2);
      GOTOXY(22,5);
      WRITE('DESEAS IMPRIMIR LA MATRIZ DE ACCESIBILIDAD ? ');
      READ(KBD.IMPRIME);
      GOTOXY(22,5);
      CLREOL;
      IF IMPRIME IN ['S','s'] THEN
        IMPRIME_MATRIZ_ACCESIBILIDAD;
      GOTOXY(22,5);
      CLREOL;
      IMPRIME_ACCESIBILIDAD
    END
  END.

```