

E.- ASIGNACION DE RUTAS.

Finalmente, por lo que se refiere a la asignación de rutas, esta etapa se encuentra íntimamente relacionada con la selección de medios de transporte.

La asignación de rutas consiste fundamentalmente en especificar los intercambios por zonas para cada uno de los medios de transporte disponibles, así como para aquéllos que se considera estarán disponibles dentro del período de proyección que comprenden de el estudio. Esto es especialmente válido para el caso del transporte interurbano; la tarea consiste en establecer un mapa de flujos para cada uno de los medios de transporte.

Las técnicas más utilizadas para este tipo de trabajo son las de programación, especialmente los algoritmos de ruta crítica. El problema a resolver es el de seleccionar, para cada medio de transporte, la ruta que minimice el costo en tiempo así como el costo monetario de los viajes.

CAPITULO II

LA DEMANDA POR TRANSPORTE URBANO

El interés principal, de acuerdo a la línea de exposición que se ha seguido, es contar con proyecciones de la demanda por transporte urbano, en especial el de pasajeros. En consideración a este enfoque, se trata de cubrir tres grandes temas, a saber: Modelos de Usos de Suelos, Generación de Viajes y Características de Noras Punta en la Generación de Viajes.

Para el estudio de la demanda por transporte urbano de pasajeros es indispensable suponer la existencia previa de una organización espacial^{1/} en la que existen uno o más centros, fundamentalmente de trabajo. Se parte, asimismo, de un postulado fundamental, es decir; que la localización residencial está basada en la relación que guardan las unidades familiares con los lugares de trabajo. Evidentemente es posible pensar en que la localización residencial puede obedecer a otros factores, tales como la ubicación de las instalaciones escolares, la existencia de un área (vecindario) preferente por contar con áreas verdes, la localización residencial de parientes o amigos, etc. Sin embargo, por el momento consideramos que, en la unidad familiar, el factor más importante de la decisión de localización residencial es la proximidad al lugar de trabajo del jefe de familia, por lo menos en la gran mayoría de los casos.

La proyección del transporte urbano de pasajeros consta en general de dos etapas:

^{1/} Es decir, que existe una serie de actividades económicas que se llevan a cabo dentro de un espacio geográfico delimitado y donde cada actividad tiene una ubicación espacial definida.

- 1.- La realización de una proyección de uso de suelos.
- 2.- La base de la proyección de uso de suelos, proyectar el número de viajes, los orígenes y destinos y la selección de medios de transporte y rutas.

Fundamentalmente se trata de proyectar, en primer lugar, la distribución de las diversas actividades humanas^{2/} en los diferentes sectores en que operativamente pueda dividirse el área urbana en estudio. Una vez que haya sido posible establecer el más probable uso futuro del espacio urbano, se hace posible predecir el número y la dirección de los viajes que habrán de generarse dado el patrón de uso de suelo urbano, siendo el ejemplo más evidente el de los viajes de los lugares de residencia a los lugares de trabajo y viceversa. Por otro lado, la selección de medios de transporte se puede proyectar en base a esta información, complementada con estadísticas relativas a niveles de ingresos y gastos y preferencias por determinado medio de transporte, así como empleo efectivo actual de los diversos medios.

A.- MODELOS DE USOS DE SUELOS.

En esta primera etapa de la proyección de la demanda por transporte urbano de pasajeros generalmente la orientación es hacia el empleo de un enfoque de costo mínimo. La forma como se puede es representar el efecto de la "accesibilidad", o costo de transporte desde cualquier punto de la superficie estudiada hasta el centro de la misma, mediante la utilización de rutas de costo mínimo.^{3/} De esta manera se logra definir la "superfi-

^{2/} Que pueden categorizarse como: de producción de bienes y servicios (mercancías), de residencia y sociales.

^{3/} Expresado ya sea en tiempo o en dinero, o en una combinación de ambos componentes.

cie de oportunidad", es decir, el plano compuesto por las relaciones de costo mínimo entre las ubicaciones residenciales potenciales y las ubicaciones de los lugares de trabajo.

Los lugares de trabajo se encuentran concentrados, para propósitos del estudio, en un solo núcleo o bien un número pequeño de núcleos, dado que el objetivo es proyectar el grueso de la demanda por servicios de transporte (es decir, no toda la demanda, lo cual sería en realidad impracticable, mucho menos se trata de proyectar la demanda generada por cada uno de los trabajadores o de las unidades familiares). A este respecto existe una serie de modelos que se fundamentan en la hipótesis de gravedad y que son los que históricamente se utilizaron primero en este tipo de estudios. El modelo más sencillo es el de Hansen,^{4/} cuya característica principal consiste en el crecimiento residencial (c) se hace depender de la accesibilidad (A) a los centros de empleo de mano de obra, dependiendo también de la oferta de tierra disponible (s) para construcciones residenciales, es decir:

$$c = f(A, s)$$

Para especificar y ajustar una función de esta naturaleza es necesario contar con información relativa a una serie de tiempo (análisis diacrónico) compuesta por observaciones obtenidas de cada una de las subdivisiones del área urbana bajo estudio.

Pongamos por caso un área urbana en la que exista, por un lado, una determinada sectorización de las actividades (es decir,

^{4/} Hansen, W. G.: "Land Use Forecasting for Transportation Planning" en *Traffic Origin and Destination Studies: Appraisal of Methods*. Highway Research Bulletin 253. Highway Research Board, Washington 1960.

que actividades del mismo tipo tiendan a concentrarse en áreas más o menos bien delineadas) y, por otro lado, para la que exista información estadística. Supongamos que el área en cuestión puede subdividirse en doce sectores y que el período para el que es posible encontrar información sea 1975-1981. Para cada uno de los sectores se cuantifica el crecimiento residencial.^{5/}

En este caso particular tendremos:

c: Aumento 1975-1981 en el número de casas-habitación.

A: Costo mínimo en tiempo y monetario de desplazarse del centro gravitacional del sector hasta el centro gravitacional del sector en que se concentran las fuentes de empleo (que bien puede ser el centro comercial de la ciudad).

Donde por "centro gravitacional" se entiende el lugar en el espacio urbano en el que se concentra la mayor parte de los usuarios de la tierra, ya sean residencias o centros de trabajo.

s: Oferta de tierra disponible, es decir, el número de lotes disponibles en el sector para construcción de casas-habitación.

En caso de haberse detectado dos centros gravitacionales de fuentes de empleo es posible recurrir a la utilización de una media ponderada de los costos de acceso a ambos centros, siendo los factores de ponderación las proporciones de trabajadores que se dirigen desde los lugares de residencia hacia cada uno de los centros de trabajo, es decir:

$$A = \frac{w_1 A_1 + w_2 A_2}{A_1 + A_2}$$

^{5/} Representado por el aumento en el número de casas-habitación.

Donde:

w_1, w_2 = Proporción del total de trabajadores que se dirigen a cada uno de los centros 1 y 2.

A_1, A_2 = Costo de acceso a los centros 1 y 2 a partir de un determinado sector.

Es claro que pueden existir tres o más centros y que es posible también construir una media ponderada en este caso.

Una especificación de este modelo puede ser la siguiente:

$$c = \alpha + \beta A + \gamma s + u, \quad 6/$$

que puede ajustarse mediante el empleo del método de mínimos cuadrados. De esta manera es posible contar con un modelo de uso de suelos para el período 1975-1981, que puede utilizarse (dependiendo de la bondad del ajuste) para proyectar el uso de suelos (la variable dependiente "c") para períodos posteriores a 1981.

Otro modelo de uso de suelos que se puede utilizar es el que se desarrolló para el estudio del Area de Boston.^{7/} Este es un modelo de gravedad que se utiliza para representar la accesibilidad desde un determinado sector hacia otro.

La especificación del modelo del Area de Boston es como sigue:

$$A_{jk} = \sum_{i=1}^n z_{ik} e^{-\beta T_{ij}}$$

^{6/} Donde "u" representa el término de error y donde, en condiciones que satisfagan los requerimientos para el empleo del método de mínimos cuadrados, $E(u)=0$

^{7/} Ver: D. Brand et al: "Technique for Relating Transportation Improvements and Urban Development Patterns". en *Urban Land Use. Concepts and Methods*. Highway Research Record 207. Highway Research Board. Washington, D.C. 1967.

Donde:

A_{jk}= Accesibilidad de la Actividad "k" a la zona o sector "j".

Z_{ik}= Nivel de la actividad "k" en la zona o sector "i".^{8/}

T_{ij}= Tiempo de viaje de la zona o sector "i" a la zona o sector "j".

β = Parámetro que mide la propensión de la zona "i" y la zona "j" a interactuar en la actividad "k".

i, j= Zonas o sectores del área urbana.

k= Actividades.

En este modelo, es conveniente hacerlo notar, no se especifica la existencia de un centro único en el área urbana. Además, no existe una restricción a priori para que la actividad "k" se encuentre localizada en un sector determinado; en otras palabras las actividades no están necesariamente restringidas a una localización única.

Entonces, en este modelo la variable de accesibilidad (A_{jk}) se hace depender tanto del tiempo de viaje entre las zonas "i" y la zona "j", como de los niveles de las actividades económicas y de las interacciones entre zonas.

El parámetro β habrá de obtenerse a través de un estudio empírico capaz de, primeramente, generar una matriz de interacciones entre, por un lado, zonas o sectores del área urbana y, por el otro, actividades.

De esta matriz de interacciones entre actividades y zonas^{9/}

^{8/} Puede representarse por medio de indicadores cuantitativos como número de personas empleadas, niveles de ventas, etc.

^{9/} Donde las sumatorias verticales o de columnas resultan ser los niveles de accesibilidad: $\sum Z_{ik} = A_k$

MATRIZ DE INTERACCIONES

Actividad \ Zona	1	2	3	...	k	...	m
1	Z ₁₁	Z ₂₂	Z ₁₂	...	Z _{1k}		Z _{1m}
2	Z ₂₁	Z ₂₂	Z ₂₃	...	Z _{2k}		Z _{2m}
3	Z ₃₁	Z ₃₂	Z ₃₃	...	Z _{3k}		Z _{3m}
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮		⋮
i	Z _{i1}	Z _{i2}	Z _{i3}	...	Z _{ik}		Z _{im}
j	Z _{j1}	Z _{j2}	Z _{j3}	...	Z _{jk}		Z _{jm}
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮		⋮
n	Z _{n1}	Z _{n2}	Z _{n3}		Z _{nk}		Z _{nm}
$\sum_{i=1}^n Z_{ik} = A_k$	$\sum_{i=1}^n Z_{i1} = A_1$	$\sum_{i=1}^n Z_{i2} = A_2$	$\sum_{i=1}^n Z_{i3} = A_3$		$\sum_{i=1}^n Z_{ik} = A_k$		$\sum_{i=1}^n Z_{im} = A_m$

es posible encontrar el valor del parámetro β, por medio de un ajuste de regresión lineal, ya que, extrayendo logaritmos naturales a la ecuación anterior tendremos:

$$\ln(A_{kj}) = -\beta T_{ij} \sum_{i=1}^n Z_{ik}$$

Una vez que se haya obtenido el parámetro β será posible proyectar los niveles futuros de accesibilidad (A_{kj}) en base a estimaciones de los tiempos de recorrido entre las diferentes zonas (T_{ij}), así como en base a proyecciones de los diferentes niveles de actividad en las áreas respectivas (es decir, los (Z_{ij})).

Una comparación entre el modelo de Hansen y el del Area de Boston nos indica que, mientras que el primero es de configuración radial (es decir, que los viajes se originan de toda el área urbana hacia un solo centro o un número pequeño de ellos), el segundo no está limitado por ese supuesto, dado que se toman en cuenta los viajes que se realizan en todas las direcciones. A priori, entonces, podemos concluir que el modelo del Area de Boston es analíticamente superior, puesto que rebasa la restricción fundamental del modelo de Hansen.

Sin embargo, ambos modelos comparten la limitación de no poder tomar en cuenta la retroalimentación que existe de hecho entre el transporte y los usos de suelos. En otras palabras, para conceder cierto grado aceptable de precisión a este tipo de modelos es necesario recurrir al supuesto de que existe estabilidad en las tendencias de crecimiento urbano.^{10/}

Un modelo que trata de incorporar en forma explícita el fenómeno de la retroalimentación de los servicios de transporte sobre el uso de los suelos es el de Herbert y Stevens.^{11/} Esta construcción se fundamenta en la premisa de que existe un intercambio ("trade-off") entre el costo de los servicios de transporte y el valor de la tierra, es decir, que mientras mayor porción de su presupuesto desee asignar la unidad familiar a los servicios de transporte, menor será el valor de la tierra que le será posible obtener, puesto que el valor de la tierra decrece conforme la ubicación de los terrenos esté más alejada del centro.

^{10/} Por ejemplo, si existe una tendencia general hacia la polarización, se supone que no será compensada por una tendencia contraria hacia la descentralización.

^{11/} Véase: J.D. Herbert & B.H. Stevens: "A Model for the Distribution of Residential Activity in Urban Areas." *Journal of Regional Science*. Vol. 2 (Fall 1960).

En el modelo de Herbert y Stevens asigna una distribución de la tierra residencial disponible en una configuración óptima; se trata en lo fundamental de un modelo de optimización, utilizando estos autores la técnica de programación lineal. La operación del modelo procede en la forma que a continuación se describe.

El período total de estudio se divide en un cierto número de subperíodos interactivos (un período de cinco años se divide en subperíodos anuales, por ejemplo), permitiendo de esta manera introducir el efecto de la retroalimentación del transporte hacia el uso del suelo. Dentro de cada uno de los períodos interactivos se manejan en forma separada diferentes tipos de actividades usuarias de los servicios de transporte, donde una actividad determinada se distribuye en una configuración óptima una vez que se ha localizado cada una de las demás actividades. Resulta evidente que en esta primera etapa en la elaboración del modelo se ignoran las interacciones que se espera ocurran entre diferentes actividades que se localizan en forma simultánea. Este problema no representa una dificultad seria en virtud de que los períodos iterativos son cortos (de un año, por ejemplo) de manera que no exista interacción entre las diferentes actividades.

En otros términos, lo que postula este modelo es un problema de localización óptima condicionada. El modelo posee dos elementos importantes, que se determinan en forma exógena, es decir: el número de unidades familiares que se van a ubicar, así como la cantidad de tierra urbana disponible. Por otra parte, se emplea un modelo de programación lineal para producir, al final del período, una configuración óptima de la localización de las unidades familiares y de la asignación del suelo habitacional.

Por lo que se refiere al planteo conceptual, se postula los factores que afectan a la decisión de localización de la familia son los siguientes (no necesariamente en orden de importancia):

- a) El presupuesto total.
- b) La canasta de consumo.^{12/}
- c) El costo de la canasta de consumo.

El problema de optimización, conceptualmente, consiste en seleccionar la canasta de consumo que maximice el ahorro de la familia, donde el ahorro se genera a partir de las ventajas que ofrezca el área en la cual se localiza la familia. En esta canasta deberán quedar incluidos tanto el gasto en transporte como el gasto en terreno residencial (compuesto por los elementos de tamaño y de costo unitario -por metro cuadrado, por ejemplo).

La especificación del problema de optimización es como se describe a continuación.

Notación:

- u= Áreas o zonas que forman la subdivisión exhaustiva del área urbana, donde:
k = 1,2,3,...,u
- n= Grupos de unidades familiares, donde se postula que existen "n" grupos de unidades familiares, o bien, grupos de actividad del jefe de familia, y donde:
i = 1,2,3,...,n
- m= Paquetes residenciales; existen "m" de estos paquetes, donde:
h = 1,2,3,...,m

^{12/} Es decir, el conjunto de ítems que componen la estructura regular de gasto de la familia.

y donde un paquete residencial se define como una combinación única de una vivienda, un determinado nivel de amenidad proveniente de la localización, un conjunto de viajes y un terreno de determinado tamaño.

bih: Es el presupuesto residencial asignado por una unidad familiar del grupo "i" a la compra del paquete residencial "h".

C_{ih}^k : Simboliza el costo anual para una unidad familiar - del grupo "i" de adquirir el paquete residencial "h" en la zona "k", excluyendo el costo del terreno.

Sih= El terreno (superficie) en metros cuadrados que se emplea por una unidad familiar del grupo "i" en el caso de emplear el paquete residencial "h".

- Es conveniente anotar que los grupos familiares deben presentar cierto grado de regularidad con respecto a sus preferencias entre servicios de transporte y tierra residencial; en otras palabras, los miembros de cada grupo deben tener preferencias análogas para que los grupos formados puedan funcionar como tales.

L^k : Simboliza el total de metros cuadrados de tierra disponible para uso residencial en el área o sector "k", en una interacción particular del modelo.

N_i : Representa el número de unidades familiares del grupo "i" que van a localizarse en el área urbana, en una interacción particular del modelo.

x_{ih}^k : Es el número de unidades familiares pertenecientes al grupo "i" que emplean el paquete residencial "h"