

## 2. Viaje al trabajo

Por Alfonso RODRIGUEZ BAYRAGET

### 0. LA MOVILIDAD COTIDIANA

La movilidad creciente de los individuos es a menudo interpretado como un índice que traduce la transformación y el cambio social. Sin embargo, para precisar adecuadamente el contenido y alcance de este fenómeno, es necesario diferenciar varios tipos de movilidad: por un lado, la movilidad cotidiana, objeto específico sobre el cual versará este artículo; por otro, la movilidad geográfica que viene expresada por los cambios de residencia más frecuentes, ligados ellos mismos a una movilidad profesional cada día más importante. Obviamente, es esencial no confundir dentro de la misma apreciación estas formas distintas de movilidad, ya que no tienen la misma significación para los sujetos que las viven ni representan tampoco un mismo fenómeno a escala social.

Por movilidad cotidiana se entiende el conjunto de desplazamientos diarios cuyo propósito es el trabajo, las compras, la vida social, etc. Si bien tradicionalmente la mayoría de estos viajes se han producido dentro de los límites del municipio o de la aglomeración, hoy en día este hecho está desbordando los antiguos límites, y de una forma paulatina están aumentando las distancias y/o los tiempos que separan las residencias de los destino-objeto de los viajes. Dicho de otra forma, los trayectos cada día son más largos. Además, resulta, asimismo, evidente que la desutilidad asociada a esta progresiva separación repercute primordialmente sobre los viajes obligados, tales como el trabajo, la escuela, etc.

Las causas que subyacen a estos hechos están a la vista. El cre-

cimiento urbano en su forma actual se expresa en una mayor dispersión, la cual conlleva una acentuación del equilibrio espacial entre las distintas funciones urbanas. La localización del equipo colectivo, la vivienda y los establecimientos responde más a problemas de disponibilidad inmediata de suelo y de precio que a la satisfacción de las necesidades globales del «habitat» de una determinada área geográfica.

Diversas hipótesis han sido formuladas en relación con este fenómeno de la separación creciente entre los centros de trabajo y las áreas residenciales. No obstante, todas ellas vienen a coincidir en que el proceso del viaje al trabajo no es un problema aislado, sino más bien está estrechamente vinculado con los mecanismos subyacentes a la elección residencial y, asimismo, con la organización espacial de las actividades económicas. De hecho, cada estructura urbana en un momento dado del tiempo adopta una configuración peculiar de asentamientos y tráfico que se corresponden biunívocamente (Rapkin, 1956).

La primera de estas hipótesis proviene de la idea muy generalizada de que existe una ligazón funcional que relaciona estrechamente el aumento del número de viajes con la mejora de las condiciones de transporte y la mayor asequibilidad del mismo a un volumen creciente de población. Este enfoque utiliza a menudo como variable explicativa el aumento del número de propietarios de automóvil. Sin embargo, tal variable no explica el incremento de la longitud de los viajes al trabajo, únicamente cabe decir que entre ambas variables existe un elevado grado de correlación debido a la existen-

cia de una dependencia funcional indirecta.

Una segunda hipótesis intenta explicar los cambios a largo plazo en la duración de los viajes al trabajo a partir de las principales características socio-económicas del área que se estudia. Por un lado, el aumento de la renta y la disminución de las horas de trabajo hace que un porcentaje cada vez mayor del presupuesto familiar se asigne a la vivienda y al transporte, lo que conduce a una disminución de la densidad urbana y a la creación de áreas residenciales. Por otro lado, el desarrollo económico alienta la concentración industrial en determinadas áreas, así como la localización de los servicios en los centros urbanos. En suma, los asentamientos tenderán a separarse en la medida en que las condiciones del mercado del suelo para usos industriales y de servicios sean divergentes. Parece evidente, por otra parte, que al considerar al mercado de la vivienda tiene que tenerse en cuenta la demanda diferenciada de los diferentes grupos sociales. De hecho, puede hablarse perfectamente de distintos mercados de vivienda.

Si se atiende a la experiencia, tanto en nuestro país como en el extranjero, puede decirse que en los cascos de las aglomeraciones antiguas es donde reviste mayor importancia este proceso de disociación espacial de las distintas funciones urbanas. La lógica del mercado del suelo constituye, en última instancia, la causa determinante de este fenómeno.

Los centros se especializan en oficinas y en aquellas actividades productivas y de consumo que están orientadas por las económicas externas generadas en dichos ám-



bitos. Las diversas coronas periféricas, en cambio, tienden a convertirse en áreas residenciales en la medida que se rentabilizan a través de la ejecución de grandes operaciones de viviendas. La rigidez de esta oferta de viviendas tiene como consecuencia elecciones de vivienda sin opciones posibles de localización. Para buena parte de las capas de población, la satisfacción de la necesidad de vivienda constituye el objetivo básico y compulsivo que no hace posible la toma en consideración de otros factores tales como el equilibrio residencia-trabajo.

Por todo lo anterior, cabe concluir que no parece lícito considerar la movilidad cotidiana como un indicador que traduzca el progreso o la mejora de las condiciones de vida de la sociedad. Más bien parece que el planeamiento debe sugerir fórmulas que permitan una movilidad cotidiana relativamente reducida. Lo deseable es que se multipliquen las posibilidades de la movilidad profesional, la cual debe de producirse asimismo a partir de un crecimiento significativo de la movilidad residencial.

El planeamiento en nuestro país, anclado en los supuestos del urbanismo racionalista, es decir, en la concepción del «zoning» segregativo de funciones, no ha tenido en cuenta hasta el momento los problemas que plantea la separación de los lugares de residencia y de trabajo.

Por el contrario, este aspecto está siendo incorporado al planeamiento territorial en otros países, de lo que son ejemplos el planeamiento subregional en Gran Bretaña o el Plan Global de Transportes de la Región Parisina en Francia.

## 1. ESTADÍSTICAS SOBRE EL VIAJE AL TRABAJO

Quizá sea Inglaterra el país que cuenta con una serie histórica más completa de datos referentes al viaje al trabajo. Como señala Warnes (1972), las primeras recogidas se remontan al censo de 1921.

Después de esta primera fecha, hubo que esperar hasta 1951 para que se volviera a repetir la misma experiencia de recogida exhaustiva. Desde entonces los métodos seguidos en Inglaterra han sido muestrales, tanto para 1961 como 1966 y el último de 1971 (muestra del 10 por 100).

Los restantes países del área capitalista (en la medida en que se tenga noticia) no empiezan propiamente a recolectar este tipo de información hasta el inicio de la década de los 60. Concretamente, en Francia, el primer censo que incluye este dato es el de 1962. Sin embargo, su explotación se redujo al ámbito de la región de París. El de 1968 ya se explotó para todas las demarcaciones que estaban comprendidas dentro de las llamadas Metrópolis de Equilibrio. Los mismos EE. UU., con su notable tradición censal, no incluyen la pregunta del lugar de trabajo hasta el censo de 1960.

En nuestro país, el ítem relativo al viaje al trabajo ha aparecido por primera vez en el último censo. Al margen de que el I.N.E. no tiene previsto tenerlo en cuenta en el Plan de Explotación, destacan negativamente ciertas omisiones en el documento base, tales como la posesión de vehículo por parte de la familia y el modo utilizado predominantemente por los activos en su desplazamiento.

La información del viaje al trabajo en su versión censal se caracteriza por una serie de ventajas y también, cómo no, de inconvenientes (Daly, 1971). Entre los primeros destacan su bajo coste en relación al que implican las clásicas encuestas domiciliarias, su naturaleza extensiva y su formato consistente a escala nacional. Entre los segundos se cuenta la rigidez de la referenciación espacial (generalmente, demarcaciones administrativas), aspecto éste que sólo aparece subsanado en los censos más recientes (codificación de la dirección para determinados S.M.S.A. de EE. UU., empleo del sistema de referenciación

Universal Area Code-UAC (\*) o, como en el caso de Inglaterra, la malla geométrica de módulos 100 y 1.000 m.), pero, sobre todo, la lentitud y coste de obtención de tabulaciones especiales.

La otra vía importante de adquisición de esta información ha sido la de las encuestas domiciliarias y las de origen-destino. El esfuerzo más ingente realizado en esta dirección ha tenido lugar en los EE. UU. La Federal Aid Highway Act, de 1962, que sentaba las bases para el desarrollo de un proceso de planeamiento global del transporte en las áreas urbanas superiores a 5.000 habitantes, constituyó un potente estímulo para la realización de un amplio repertorio de operaciones de recogida de información sobre movilidad cotidiana. La envergadura de estas operaciones se refleja en el gasto total de estos trabajos de planificación que, a lo largo de cinco años, ha significado un dólar por residente. La recogida de datos se ha llevado el 50 por 100 de esta cantidad (Robertson, 1971).

En Europa, y en relación con los países cuya documentación es más asequible, destacan los famosos London Traffic Survey (1963-68), el SELNEC (área de Manchester, 1968), ambos en Gran Bretaña, y todo el esfuerzo de información implícito en el Plan Global de Transportes de la Región de París (1967-72), que ha sido elaborado por el IAURP.

En nuestro país, salvo raras excepciones, este tipo de información no se encuentra en los trabajos de planeamiento urbanístico. Se tienen presentes las encuestas realizadas en el área de la comarca de Barcelona (900 encuestas realizadas por el Departamento de Circulación del Ayuntamiento de Barcelona en 1969 y 3.000 entrevistas domiciliarias de la Comisión

(\*) En relación a estos problemas, tiene interés el artículo: «The role of Data Availability in Intrametropolitan Workplace Location Studies». *Annals of Economic and Social Measurement*, v. 1, n.º 2.

de Urbanismo en 1970). En la comarca del gran Bilbao, el equipo de revisión del Plan Comarcal efectuó una encuesta de 900 entrevistas domiciliarias en 1971. Finalmente, en Madrid, COPLACO tiene, en el momento que se redacta este artículo, una amplia encuesta de movilidad (6.000 entrevistas) en curso de ejecución.

Sin embargo, en nuestro país el volumen más importante de encuestas de transportes recae en las diversas operaciones «ad hoc» realizadas por consultoras privadas por cuenta de sociedades interesadas en el reconocimiento de la viabilidad económica-financiera de concesiones de construcción y explotación de autopistas, aparcamientos, servicios ferroviarios, etc., puestos a concurso de adjudicación por el MOP u organismos de Administración local.

El balance de todas estas operaciones realizadas en nuestro país, tanto las relacionadas con el planeamiento urbanístico como las que conciernen al análisis de la rentabilidad de inversiones en infraestructuras de transporte, es más bien negativo. En general, la información recogida adolece de una serie de defectos, el más importante de los cuales reside en la falta de rigor en el procedimiento y ejecución del muestreo, lo que, unido a la heterogeneidad en el diseño del documento anula las posibilidades de comparaciones «cross section» y «cross time». Es de lamentar, finalmente, la casi absoluta carencia de visión en cuanto a las posibilidades de referir esta información a otra de naturaleza más amplia como la de los censos y padrones.

### 1.1. La muestra del 2 por 100 del Censo de Población

El equipo de planeamiento de la Comisión Gestora del AMB, conocedor de que en el plan de tratamiento del censo del INE no figuraba el control ni la explotación de la información sobre el viaje al tra-

bajo, decidió confiar al Consorcio de Información y Documentación de Cataluña, CIDC (antigua CMCE), la constitución de un archivo a partir de la muestra del 2 por 100 del censo que por aquel entonces (septiembre 1972) estaba en proceso de informatización (\*).

A fin de evaluar la acuracidad de esta fuente estadística, la CIDC llevó a cabo como primera medida una verificación mediante un muestreo estratificado proporcional, bietápico, con una tercera etapa por conglomerados. Esta muestra pequeña de 1.000 activos, es decir el 0,69 por 100 de la población activa, fue insuficiente para establecer la calidad de la información contenida en los cuestionarios del Censo de Población.

La operación en firme se desarrolló a continuación en cuatro fases, la primera fue realizada en los locales del INE en Madrid y consistió en transcribir la información relativa al lugar de residencia y todo lo relacionado con el lugar de trabajo; la segunda tuvo como objeto completar el máximo número posible de direcciones de lugares de trabajo utilizando distintos medios, incluido el trabajo de campo; la tercera fue la codificación, y la cuarta, perforación-verificación.

Como resultado se dispone en la actualidad de un archivo informático en cinta magnética conteniendo unos 25.500 registros, en cada uno de los cuales se especifica la identificación del activo y el municipio o área de Barcelona de la residencia y lugar de trabajo. Este archivo no contiene por ahora la información socio-económica de los activos, es decir, sexo, categoría socio-profesional, etc. Se paliará esta deficiencia cuando se pue-

(\*) Este trabajo, si bien fue promovido por la C.G. AMB como se apunta en el texto, ha sido posible merced a un contrato de la Dirección General de Urbanismo. «Explotación de la movilidad residencia-trabajo en el AMB». CIDC (documento interno).

da cruzar con la cinta del 2 por 100 del Censo de Población (\*\*).

La primera explotación efectuada con este archivo ha consistido en la construcción de una matriz de flujos interzonales. Para ello se utilizó un seccionado del territorio tal como el que se muestra en el mapa número 1. Es decir, cuatro zonas interiores a Barcelona y cuatro exteriores. Posteriormente se ha considerado una zona nueve receptora de los casos de imposible asimilación a los restantes. Se han tabulado los estimadores resultado de la elevación de la muestra y los errores de estos estimadores (% del coeficiente de variación). Con esta desagregación geográfica (ocho zonas) los errores no desbordan, salvo escasas excepciones, el 10 por 100. Evidentemente, el error del estimador varía inversamente con el tamaño de la muestra (tabla 1).

A título de comprobación, se ha efectuado un «test» de correlación entre esta matriz de viajes inferida de la muestra del 2 por 100 y otra matriz elaborada con los datos de la encuesta de la Comisión de Urbanismo, antes aludida. Esta segunda matriz se ha formado mediante un procedimiento de naturaleza inversa al de la inferencia estadística implícito en la construcción de la primera. Sobre la base de los parámetros empíricos de centralidad y dispersión espacial de la encuesta domiciliaria y en virtud de las propiedades entrópicas de la información (\*\*\*), se ha ajustado un modelo gravitatorio a partir del cual se ha obtenido esta segunda matriz. Como se observa en la tabla 2, el coeficiente de correlación es significativo, de lo cual puede deducirse que ambas distribuciones son representativas del mismo fenómeno.

(\*\*) En el momento que se acaba de escribir este artículo (enero del 74) la CIDC ya dispone de esta cinta.

(\*\*\*) Ver a este respecto el artículo «Información e inferencia estadística», de Angel Vegas. *Revista de Estadística Española*, número 30, 1966.



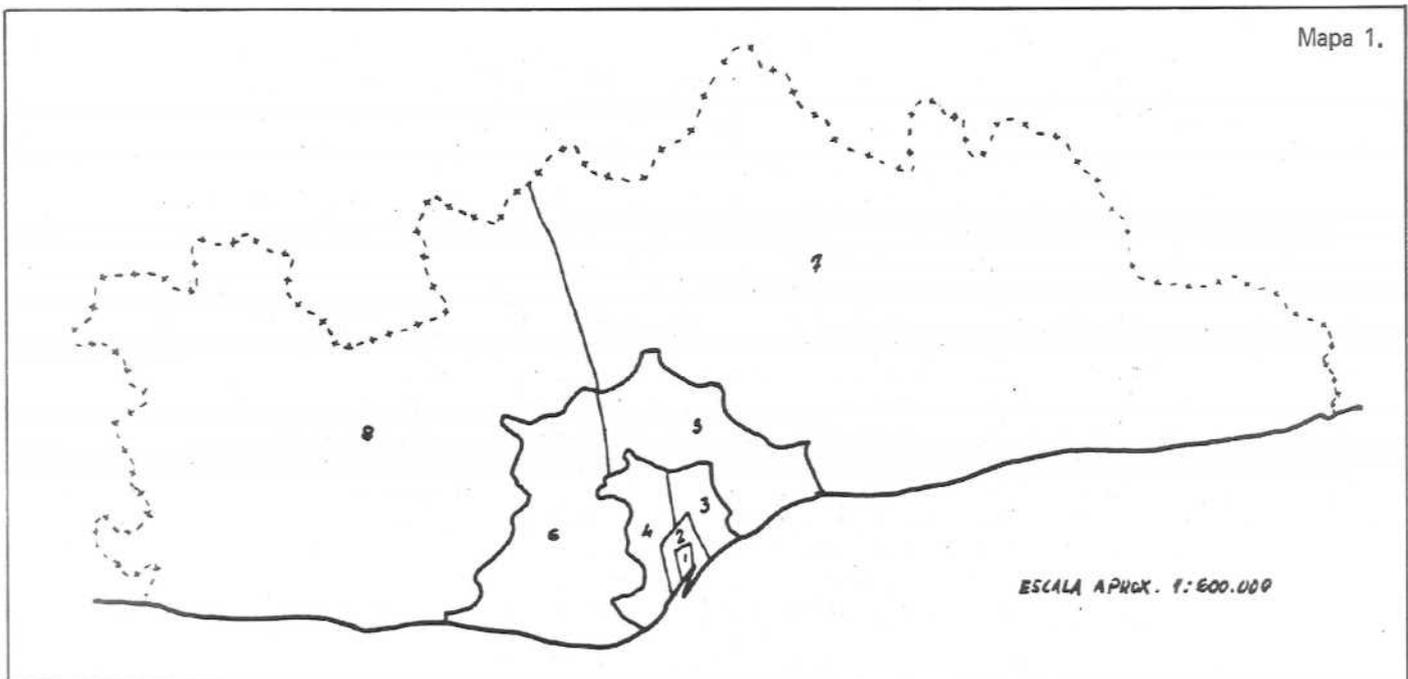
TABLA 1

Matriz de viajes interzonales elevada a partir de la muestra del 2 %

	ZONA 1	ZONA 2	ZONA 3	ZONA 4	ZONA 5	ZONA 6	ZONA 7	ZONA 8	ZONA 9	TOTALES
ZONA 1	6.950 ( 5,06 %)	4.550 ( 7,36 %)	1.700 (10,6 %)	1.400 (10,27 %)	850 (17,11 %)	250 (30,73 %)	0 (—)	50 (—)	1.150 (9,45 %)	16.600
ZONA 2	24.850 ( 2,59 %)	103.250 ( 1,41 %)	24.450 ( 2,75 %)	17.800 ( 3,03 %)	7.650 ( 4 %)	2.100 ( 7,95 %)	450 (19,37 %)	2.400 ( 7,56 %)	16.500 (2,69 %)	119.450
ZONA 3	15.400 ( 3,64 %)	43.700 ( 2,01 %)	68.500 ( 1,74 %)	12.250 ( 3,26 %)	9.300 ( 3,63 %)	2.600 ( 7,51 %)	300 (16,80 %)	2.200 ( 5,61 %)	10.200 (3,49 %)	164.450
ZONA 4	23.150 ( 2,90 %)	64.800 ( 1,70 %)	36.400 ( 2,35 %)	31.050 ( 1,62 %)	7.850 ( 4,87 %)	5.850 ( 4,29 %)	450 (15,79 %)	3.500 ( 5,56 %)	21.900 (2,83 %)	254.950
ZONA 5	9.250 ( 4,64 %)	25.700 ( 3,15 %)	29.250 ( 2,37 %)	8.950 ( 3,97 %)	131.850 ( 1,44 %)	750 (17,74 %)	1.800 ( 9,68 %)	2.400 ( 8,11 %)	12.900 (4,48 %)	222.850
ZONA 6	5.250 ( 6,00 %)	14.100 ( 3,85 %)	8.450 ( 4,59 %)	24.850 ( 3,10 %)	2.450 ( 6,83 %)	72.850 ( 1,99 %)	300 (29,13 %)	4.150 (10,32 %)	8.450 (3,82 %)	140.350
ZONA 7	900 (17,01 %)	850 (21,64 %)	600 (25,51 %)	250 (20,41 %)	1.300 (14,68 %)	100 (—)	49.150 ( 2,50 %)	2.750 ( 9,99 %)	7.500 (4,56 %)	63.400
ZONA 8	1.950 (14,57 %)	5.300 ( 4,83 %)	2.500 ( 8,76 %)	2.850 ( 7,05 %)	800 ( 6,30 %)	4.450 ( 6,39 %)	1.000 ( 7,10 %)	234.650 ( 1,14 %)	15.300 (3,69 %)	268.800
TOTALES	87.700	262.250	171.850	159.400	161.750	88.950	53.450	252.100	93.900	1.331.350

1.º Cifra: ESTIMACION DEL FLUJO (N.º DE VIAJES).

2.º Cifra: COEFICIENTE DE VARIACION, EN %, DEL ERROR DE DICHO ESTIMADOR.



## 2. DESCRIPCION DEL VIAJE AL TRABAJO EN EL AMB

El número diario de viajes efectuado en promedio por cada uno de los individuos determina en lo esencial, junto con la duración o longitud media de estos desplaza-

mientos, la intensidad y la estructura geográfica de la movilidad cotidiana en su ámbito urbano.

Para el AMB, con base de la información producto de las encuestas domiciliarias antes citadas (los Ayuntamientos y la Comisión de Urbanismo), se ha estimado

que este número promedio de viajes día ligados al domicilio (85 por 100 del total) y referido a cada individuo es de 1,75. Este índice varía fundamentalmente según las características socio-económicas de la familia, según la localización espacial, aunque en un grado me-

Comparación entre la muestra elevada del 2 por 100 y los datos de la Encuesta de la Revisión del Plan Comarcal.

TABLA 2. MUESTRA 2 %

MODELO AJUSTADO SEGUN ENCUESTA RPC 53

	1	2	3	4	5	6	7	8
1	6.950	6.550	1.700	1.400	550	250	0	50
	3.877	8.219	2.705	876	391	54	0	5
2	26.850	113.250	28.450	17.800	7.650	2.100	450	2.400
	35.411	119.098	43.672	17.927	6.186	752	5	65
3	17.400	47.700	72.500	12.500	9.600	2.600		
	19.692	69.998	79.068	7.432	9.978	326	10	51
4	28.150	69.800	37.400	97.050	7.850	5.850		
	21.870	98.650	39.333	114.673	4.961	4.619	4	374
5	9.250	27.700	31.250	8.950	131.850	750		
	9.856	32.530	39.961	3.177	118.610	134	68	18
6	5.750	17.100	8.450	26.850	2.450	72.850		
	6.977	26.891	8.380	29.307	1.266	65.451	1	1.497
7	900	950	600	250	2.300	100		
	415	1.097	1.470	110	4.421	5		
8	2.950	7.800	3.500	3.850	800	5.050		
	3.257	11.939	7.430	11.711	1.048	9.273		

$R^2 = 0.7812$

nor. Asimismo, la posesión de vehículo tiene influencia decisiva en la generación de viajes y en la demanda especializada de transporte. Se constata que las familias poseedoras generan sensiblemente más viajes, fundamentalmente no obligados, tales como los de esparcimiento, compras de bienes de reposición periódica y sociales. En parte esto tiene una explicación que no afecta directamente al fenómeno de la motorización privada, pero sí está en estrecha correlación con éste. Las familias motorizadas son generalmente superiores en tamaño, 4,1 miembros en promedio, mientras que las no motorizadas sólo alcanzan 3,7. Con todo, examinando las tasas de viajes a escala individual, persiste, aunque de forma más atenuada, la diferencia. En resumen,

la intensidad de viajes generados por un individuo perteneciente a una familia motorizada es 1,85 viajes día. Los individuos de familias no motorizadas, por su parte, llevan a cabo un promedio de 1,70 viajes día.

Examinando el reparto de estos viajes según motivos, destaca la importancia del viaje al trabajo, que representa algo más del 50 por 100 del total de viajes. Los viajes no obligados que, por otra parte, son los que se realizan predominantemente a pie, sólo alcanzan el 26 por 100 del promedio. El 24 por 100 restante lo constituye los viajes relacionados con la enseñanza.

Reteniendo en lo sucesivo únicamente el viaje al trabajo y enfocando el examen de la distribución geográfica de este proceso

urbano, deben introducirse dos conceptos básicos: el seccionado territorial de referencia y la descripción de la fricción del espacio a través del nivel de servicio de la infraestructura y los sistemas de transporte.

## 2.1. Definición zonal

El problema de «aislar» las entidades de un sistema espacial (zonas), identificando además la frontera entre el ámbito que constituye propiamente el sistema de interés y las zonas que integran su entorno, es muy parecido al que se produce cuando se deben agrupar en estratos discretos las observaciones empíricas de variables continuas.

Se plantea en ambos casos el compromiso entre la pérdida de



información, por efecto de la agregación o agrupación, y el coste operativo de tener que manipular una información excesivamente pormenorizada.

En el estudio del AMB las opciones están limitadas por dos razones. La primera, la disponibilidad de información a nivel de áreas pequeñas. A este respecto, los datos son asequibles de la forma siguiente.

- para Barcelona-ciudad existe un sistema de información que almacena dicha información a nivel del barrio administrativo (\*);
- para el resto de la Comarca del 53 y Area Metropolitana sólo se dispone de información a nivel de municipio (\*\*).

La segunda limitación viene determinada por los condicionantes operativo-económicos que lleva aparejado el uso de ordenador.

En suma, el nivel más detallado de agregación espacial que es operativo en la actualidad en el ámbito de planeamiento del AMB es el compuesto por 197 zonas (158 municipios, 29 subáreas de Barcelona-ciudad, las tres zonas delimitadas por las ACTURS y siete subsistemas espaciales exteriores al AMB que completan el marco regional). Además, ensamblado automáticamente con este seccionado, se dispone de otros cinco niveles compatibles de agregación espacial con unas dimensiones de 131, 56, 18 (las comarcas), cuatro (los grandes ámbitos) y dos (AMB y resto regional), res-

pectivamente. Estos niveles se han determinado mediante la conjunción de criterios de homogeneidad (tipo de urbanización), funcionales (estructura de la red viaria) y administrativos (demarcaciones políticas de planeamiento y gestión).

## 2.2. Descripción de la fricción espacial en el AMB

El supuesto básico de muchos estudios de interacción espacial ha sido el concebir el espacio físico como isomorfo de los espacios matemáticos de métrica euclidiana, cuyas propiedades fundamentales son las de homogeneidad (isotropía) y continuidad (convexidad). Las implicaciones de tales supuestos han sido las de admitir, por un lado, las condiciones de simetría y de desigualdad triangular por la cual se privilegia la línea recta, y, por otro, que todos los dominios del espacio pueden ser lugares de tránsito de los flujos. En síntesis, las hipótesis de homogeneidad y continuidad no permiten aprehender la complejidad del espacio reduciéndolo a un concepto abstracto (Rouget, 1972).

Por otra parte, el estudio y diagnóstico de las redes de transporte ha quedado reducido en muchos casos a enfoques simplemente descriptivos de poco o casi nulo valor analítico (\*\*).

Ahora bien, en los últimos tiempos, a impulsos fundamentalmente de geógrafos y también de planeadores del transporte, se está imponiendo en el análisis de las redes la utilización de la teoría de grafos, rama matemática que trata de la noción de estructura (Roy, Berge, Flament). Un grafo es una estructura matemática compuesta de un conjunto de elementos (vértices) sobre los cuales se define una relación multívoca. En

el análisis geográfico los vértices de los grafos constituyen los puntos del espacio geográfico-económico y las relaciones entre nudos o vértices simbolizan la existencia de un nexo de comunicación (carretera, vía férrea). Se asimila, pues, el espacio a una constelación de masas puntuales agrupadas en el seno de una malla de interrelaciones, lo que no constituye evidentemente ninguna hipótesis restrictiva.

Al contrario, en base a esta concepción teórica, ya no se postula la continuidad extendida a todos los puntos del espacio, sino únicamente a lo largo de un soporte (arco del grafo). La distancia es la longitud del camino más corto entre dos vértices; pero este camino no está definido en relación a la línea recta, sino que es una secuencia no vacía de arcos orientados en un mismo sentido; lo que significa que se abandone la hipótesis de homogeneidad. El análisis de las redes, a partir de la teoría de los grafos, permite, pues, reproducir el medio físico de forma más intuitiva dentro de un marco formalizado y operativo (Rouget, 1972).

El multígrafo representativo de las redes físicas (viaria y ferroviaria) y los sistemas de transporte del AMB consta de 2.581 arcos y 1.188 nudos. Este número de elementos incorpora la dimensión relevante del sistema de transporte metropolitano. Se han seleccionado en su constitución la totalidad de calles del ensanche barcelonés, el resto de vías de la malla viaria de Barcelona y comarca de ancho superior a los 15 metros, todo el conjunto de carreteras nacionales, comarcales, provinciales, locales y vecinales cuyo trazado está comprendido dentro de los límites del AMB y, finalmente, todo el trazado ferroviario.

Para cada arco se especifica la longitud, anchura, tipo, estructura, velocidad en hora punta y hora neutra, sentido de circulación, tipo de gestión, etc. Es decir, los diversos parámetros físicos funcionales

(\*) Archivo INPLA creado por el PRE-POU (Ponencia de Revisión del Plan de Ordenación Urbana de Barcelona) y de cuyo mantenimiento actualmente cuida la unidad de Estadística Municipal.

(\*\*) El sistema de malla cuadrada implementado por la Revisión del Plan Comarcal (*Ciudad y Territorio*, número 2, 1970) no ha llegado a ser totalmente operativo y, por otra parte, la CIDC tiene en curso de establecimiento el sistema DYME de geocodificación para las áreas de Barcelona-ciudad y Hospitalet.

(\*\*\*) Sobre este punto tiene mucho interés el artículo de J. A. Solans: «Planeamiento del metropolitano versus planeamiento metropolitano», publicado en *Cuadernos de Arquitectura*, 1970.



y administrativos de los tramos representados. Los vértices que expresan cruces entre tramos y también puntos de acceso de ciertos sistemas de transporte (autopistas, parada autobús, estaciones, etc.) se identifican espacialmente por sus coordenadas UTM y el código de la zona en la cual se encuentran.

La articulación entre el multigráfico y el sistema zonal se hace a través de la definición de los centroides (centro de gravedad de las zonas) y los radios (227 en este caso), cuya función es la de conectar los centroides con el nuevo seccionado de vértices contiguos. El significado de los radios es el de resumir la red de menor jerarquía despreciada en la selección (distribuidores locales y accesos en general).

Todos estos elementos, una vez digitalizados (\*), permiten de forma operativa el análisis estructural de la red. Para ello se recurre a una serie de algoritmos y cálculos cuyo objeto es el de establecer el grado de conectividad, redundancia de una red, el nivel de servicio de éste en relación a las diferentes zonas del territorio (accesibilidad) etc. (\*\*).

Para los propósitos concretos del análisis del viaje al trabajo se ha recogido el cálculo de la matriz de distancias interzonales. Los elementos de esta matriz se hallan mediante un algoritmo de camino mínimo, en este caso el de Ford (\*\*).

(\*) Sistema de información del AMB cuya creación y mantenimiento ha sido confiada a la CIDC.

(\*\*) Ver a este respecto la documentación de los packages de programas de análisis del Departamento de Modelado de la Comisión Gestora del AMB.

(\*\*\*) El algoritmo de Ford es muy adecuado para grafos voluminosos. Para grafos más pobres es más recomendable el de Dijkstra. No obstante el cálculo de una matriz de  $197 \times 197$  significa 22 min. del sistema DOS 360-50 con 128 K del C.O.M. (Centro de Ordenador Municipal del Ayuntamiento de Barcelona).

Las matrices calculadas han sido dos: la de tiempos multimodales (combinación lineal de las escalas cinéticas asociadas a los distintos sistemas de transporte) y la distancia física.

Los costes intrazonales se han estimado a partir de la fórmula

$$\frac{A}{\eta}$$

utilizada por el MAU (Mathe-

matical Advisory Unit del Ministerio inglés del Environment) donde A es la superficie del casco urbano de la zona.

### 2.3. Distribución geográfica del viaje al trabajo

A partir de los datos de la muestra del 2 por 100 del Censo de Población se ha procedido a un análisis cuyos ingredientes básicos son los indicadores que se relacionan a continuación:

#### 1. Flujos singulares

—  $N_{ij}$ , siendo j Barcelona Ciudad. (Mapa 2).

—  $N_{ij}$ , siendo j las distintas cabeceras comarcales. (Mapa 3).

2) Distribuciones porcentuales de los viajes atendiendo a tres medidas distintas de la fricción espacial (tiempo multimodal, distancia física y distancia geométrica).

3) Parámetros empíricos de estas distribuciones:

$$\text{— centralidad } M = \frac{\sum_i \sum_j cij \cdot nij}{\sum_i \sum_j nij}$$

$$\text{— dispersión, } C = \frac{\sqrt{\frac{\sum_j \sum_i cij \cdot nij}{\sum_i \sum_j nij} - m^2}}{M}$$

$$4) P = \frac{\sum_{cij > \gamma} nij}{\sum_i \sum_j nij} \cdot 100$$

$$5) G = \frac{\sum_i nii}{\sum_i \sum_j nij} \cdot 100$$

$$6) A = \frac{\sum_i nij}{\sum_i \sum_j nij} \cdot 100$$

donde:

$N_{ij}$  = Número de viajes observados entre las zonas i y j.

$C_{ij}$  = Medida de la fricción espacial. Distancia mínima entre las zonas i y j. Esta distancia puede adoptar las tres métricas que se han evocado más arriba.

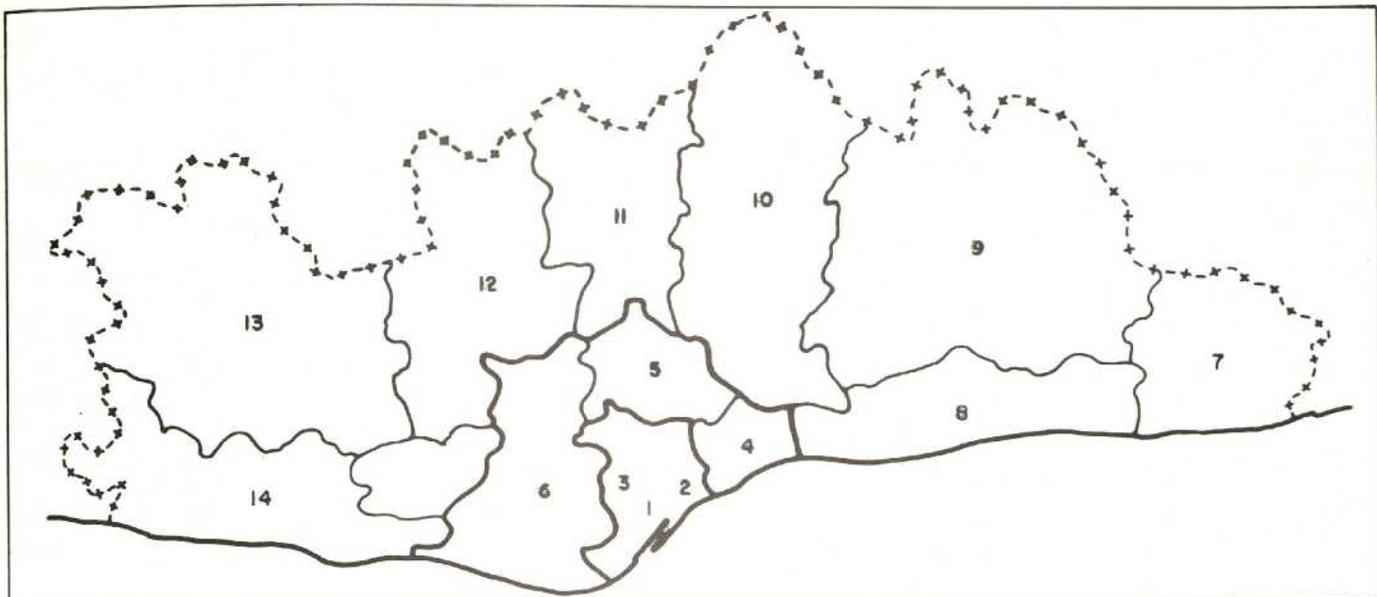
M = Media o centro de gravedad de la distribución.

C = Coeficiente de variación. Cociente entre la desviación tipo y la media.

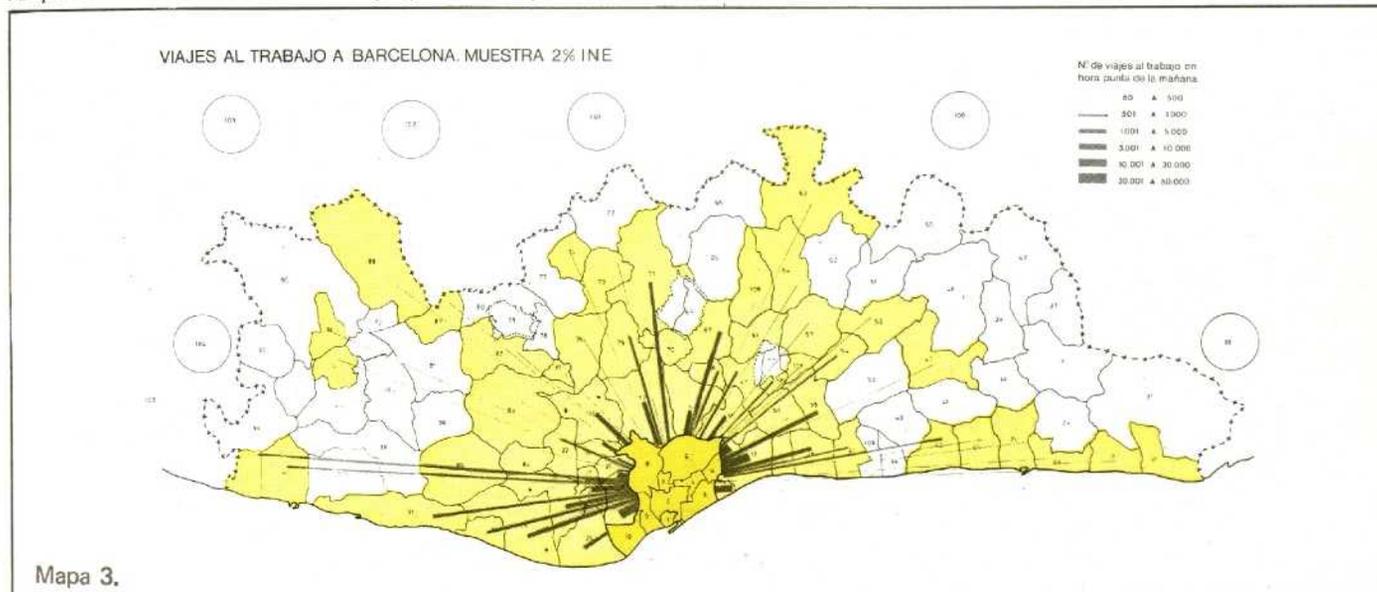
P = Porcentaje de viajes de distancia superior a un cuarto umbral.

$\gamma$  = Umbral de distancia o tiempo.

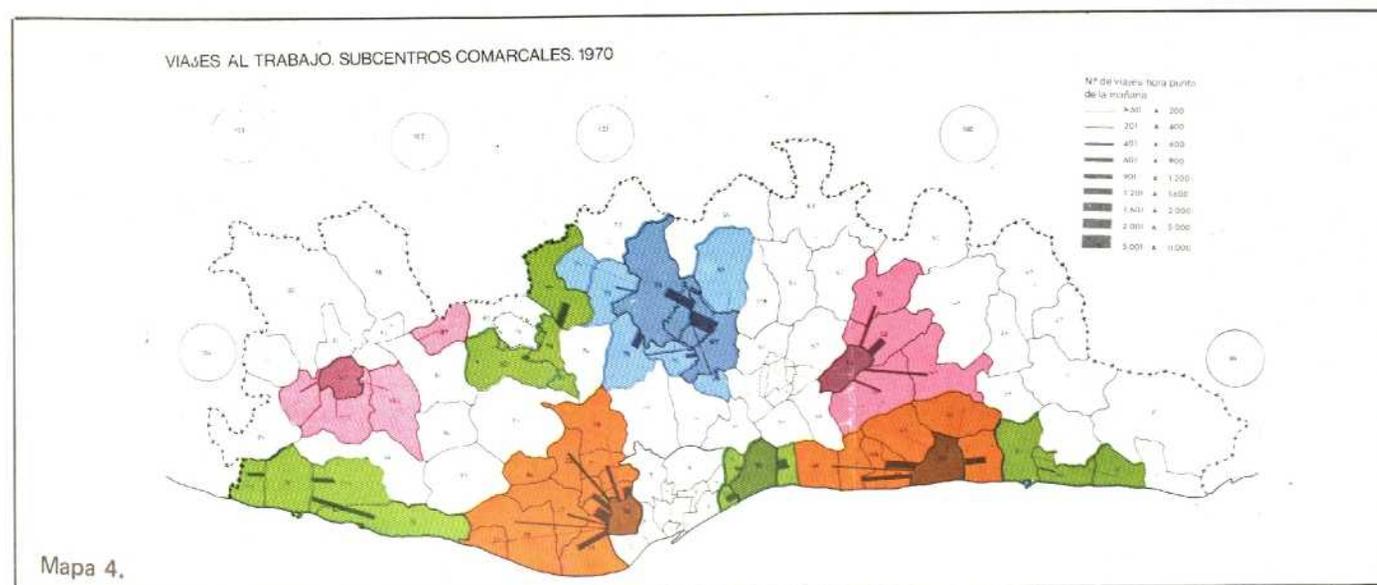
$N_{ii}$  = Número de viajes cuyos extremos están dentro de la misma subárea.



Mapa 2. Plano resumen de las agregaciones espaciales del AMB a nivel 4.



Mapa 3.



Mapa 4.



G = Indicador de generación. Porcentaje de viajes atraídos en la misma zona donde tienen su origen.

A = Indicador de atracción. Porcentaje de viajes generados en la misma zona donde tienen su destino.

Estas distribuciones e indicadores se han calculado para las zonas de los niveles 4, 5 y 6, es decir, para las comarcas, los grandes ámbitos y el total del AMB.

Del examen de los mapas y los indicadores cuyos valores se plasman en gráficos y tablas se deducen una serie de juicios y proposiciones que se exponen seguidamente.

El AMB es un sistema cerrado, es decir, un sistema cuyas relaciones domicilio - trabajo con las comarcas contiguas pertenecientes a la región son prácticamente inexistentes. Dentro de este sistema cerrado Barcelona - ciudad extiende su dominación prácticamente a todas las comarcas que integran el AMB (mapa 3). Evidentemente, la intensidad de esta dominación decrece en función de la distancia. En la medida que la distancia aumenta disminuye el número de interacciones con Barcelona, interfiriéndose con mayor fuerza el esquema de influencias a escala comarcal (mapa 4).

Atendiendo a Hawley (\*) se está en presencia de una metrópoli cuya influencia primaria medida por los movimientos cotidianos tiene un «hinterland» de unos 40 kilómetros de radio. Como referencia, el «hinterland» de la conurbación londinense tiene un radio de 70 kilómetros.

El grado de conmutación con el centro metropolitano es de 150.000 viajes en la hora punta.

TABLA 3  
Flujos entre grandes ámbitos del AMB

	Barcelona	Comarca 53 (sin Barcelona)	Resto AMB	Totales
Barcelona .....	—	40.000	10.000	50.000
Comarca 53 (sin Barcelona) ...	130.000	—	10.000	140.000
Resto AMB .....	20.000	5.000	—	25.000
Totales .....	150.000	45.000	20.000	

	Comarca 53	Resto AMB
Comarca 53 .....	—	20.000
Resto AMB .....	25.000	—

Fuente: Muestra 2 % viaje al trabajo. Censo 1970 del I.N.E.

Esta cifra, a pesar de su importancia, no alcanza los niveles de otras capitales. Por ejemplo, en París el «commuting» diario por motivo trabajo era en 1968 de 700.000 viajes en hora punta. Ahora bien, si se tienen en cuenta el tamaño de las respectivas conurbaciones, las cifras de Barcelona cobran toda su significación. Véase en la tabla 3 el balance de las migraciones en el AMB a nivel de grandes ámbitos.

En conjunto, Barcelona-capital y el resto de municipios del Plan Comarcal constituyen un sistema prácticamente cerrado, en el que trabajan 98,13 por 100 de su población activa y en el que únicamente un 2,3 por 100 de su empleo está cubierto por activos provenientes del resto del AMB. El grado de autocontención de los

municipios de la comarca y de los sectores barceloneses es relativamente bajo, 30 por 100 en promedio, lo que denota la absoluta integración de este espacio.

Las demás comarcas, en menor o mayor grado, constituyen a su vez sistemas cerrados en virtud del relativo equilibrio existente entre personas activas y empleos. Las más autosuficientes son las comarcas de Arenys y Penedés, es decir, las más alejadas de Barcelona. En la primera, la de Arenys, el 4 por 100 de su población activa trabaja fuera de la comarca. La de Penedés, por su parte, representa el grado más elevado de autocontención a nivel de agregación comarcal. En proporciones pequeñas recibe empleo de la comarca de Martorell y cede población activa a Villanueva y Geltrú.

Las demás comarcas, a medida que aumenta su proximidad a Barcelona, van desequilibrándose, tanto por el lado de la generación (oferta de mano de obra) como de la atracción (oferta de puestos de trabajo) (tabla 4).

Así la comarca del Vallés Central no puede considerarse como cerrada, ya que más del 20 por 100 de su empleo reside en otras zonas del Area Metropolitana, mientras que el 15 por 100 de su población activa tiene su empleo en otras zonas. Sus relaciones más importantes se establecen con Barcelona-ciudad, con los municipios próximos de la Comarca del Plan de 1953 y con la comarca de Granollers. En conjunto, en esta comarca, únicamente el 65 por 100 de la población activa trabaja en su municipio (mapa 5).

TABLA 4  
Datos generales de las comarcas y grandes ámbitos del AMB

AMBITO	(1) Población	(2) Incremento población 60-70	(3) Población activa		(4) Densidad de activos		(5) Empleo		(6) Densidad empleo		(7) Ratio activos empleos	(8) $A = \frac{nii}{Ei} \cdot 100$	(9) $G = \frac{nii}{Ai} \cdot 100$
			Total	%	Sup. casco urbano	Sup. total	Total	%	Sup. casco urbano	Total			
1. BARCELONA CENTRO .....	585.255	-83.818	26.249	17,20	203,37	202,15	460.000	29,45	348,75	346,65	0,58	34,22	66,76
2. BARCELONA RESID. ESTE .....	823.110	266.140	36.012	23,15	107,60	90,05	288.000	18,44	85,84	71,84	1,25	63,98	46,94
3. BARCELONA RESID. OESTE .....	354.864	23.044	14.397	9,52	45,35	32,42	165.000	10,57	50,43	36,04	0,90	36,63	45,44
BARCELONA .....	1.763.229	205.366	77.558	49,87	97,62	78,00	913.000	58,46	114,61	90,00	0,85	93,00	79,00
4. P. C. 53 BESOS .....	301.679	155.105	12.705	8,12	128,50	28,91	79.778	5,11	80,91	18,21	1,59	85,39	52,19
5. P. C. 53 CENTRO .....	83.273	46.377	3.975	2,24	73,02	3,26	29.492	1,89	61,57	2,75	1,19	69,20	65,02
6. P. C. 53 LLOBREGAT .....	583.703	318.088	24.155	15,72	131,52	10,85	176.052	11,27	94,45	7,79	1,39	81,28	64,06
RESTO COMARCA .....	968.655	519.570	40.835	26,08	122,06	17,00	285.322	18,27	85,60	13,00	1,42	65,00	93,00
7. COMARCA ARENYS .....	72.478	18.936	3.383	2,14	37,42	0,84	35.178	2,25	39,44	0,88	0,95	97,50	96,02
8. COMARCA MATARO .....	125.406	47.588	5.671	3,38	45,37	3,07	52.051	3,33	44,83	3,03	1,01	97,13	91,03
9. COMARCA GRANOLLERS .....	70.530	26.376	3.149	2,13	41,70	0,86	30.605	1,96	38,50	0,88	1,08	92,73	92,55
10. COMARCA VALLES CENTRAL .....	85.333	43.542	3.986	2,24	41,26	1,03	33.983	2,18	40,07	1,00	1,03	78,80	85,06
11. COMARCA SABADELL-TARRASA .....	362.345	130.967	15.808	9,99	61,83	3,83	149.224	9,55	59,22	3,67	1,04	94,93	92,17
12. COMARCA MARTORELL .....	42.146	15.205	1.966	1,22	43,10	0,67	18.806	1,20	42,74	0,66	1,01	78,15	88,57
13. COMARCA VILAFRANCA .....	50.281	8.451	2.113	1,29	40,63	0,43	19.757	1,27	39,91	0,42	1,02	96,23	95,58
14. COMARCA VILANOVA .....	56.238	14.659	2.869	1,66	44,52	0,99	23.863	1,53	41,07	0,91	1,08	94,12	90,57
RESTO AMB .....	864.757	305.724	37.945	24,05	48,49	1,8	363.467	23,27	47,00	1,7	1,03	93,00	96,00
TOTAL AMB .....	3.596.641	1.030.660	1.554.438	100,00	82,05	4,89	1.561.789	100,00	82,17	4,89	1,00	100	100

(\*) Amos Hawley, *Human Ecology*, 1930.

La comarca de Mataró tiene unas características de mayor relación con Barcelona y la Comarca de 1953. No puede por tanto considerarse como totalmente cerrada si bien internaliza más del 90 por 100, tanto de su población activa como de su empleo. El 80 por 100 de los activos de esta comarca trabaja en su propio municipio.

La zona de Granollers tiene la doble característica de receptora y cesora de empleo en proporciones similares. Sin embargo, los niveles en los que esto se produce son pequeños, por lo que se trata de una zona que internaliza más del 90 por 100 de los desplazamientos al trabajo. Actúa como zona de residencia de empleos de la zona del Vallés Central, zona de fuerte dinámica industrial, mientras que a su vez recibe empleos en pequeñas proporciones de todas las comarcas circundantes sin que destaque ninguna en especial. En esta comarca el 75 por 100 de los activos permanecen en su municipio.

La zona correspondiente a Sabadell - Tarrasa tiene un grado elevado de autocontención, ya que, como la de Granollers, internaliza más del 90 por 100 de los desplazamientos domicilio - traba-

jo. Sus conexiones principales se establecen en Barcelona-capital y con la corona de municipios que forman el P.C. 53, siendo poco relevantes las relaciones con el resto de comarcas del Area Metropolitana. Por una parte, recibe empleo de todas estas zonas y cede a Barcelona-capital y al centro del P.C. 53 (Moncada, Ripollet, Sardanyola, S. Cugat). En el interior de esta comarca revisten poca importancia las interrelaciones entre Tarrasa y Sabadell, proporcionando ambas empleos para residentes de Rubí y Castellbisbal. La autocontención de esta comarca tiene, asimismo, su correlato en el elevado nivel de activos que trabajan en el propio municipio, 87 por 100.

La comarca de Martorell puede definirse como de grado de autocontención menor que las de Sabadell - Tarrasa o Granollers, pero sin alcanzar el mismo nivel observado en la Comarca del P.C. 53. Su población activa está fundamentalmente empleada en la misma comarca, pero su empleo proviene además de Barcelona-capital, de la zona de Llobregat y de Tarrasa - Sabadell.

En el bien entendido de que el nivel a partir del cual se puede considerar cerrada una zona es ar-

bitrario, pero, no obstante, adoptando como nivel de referencia el 85 por 100, se deduce que las comarcas de Arenys, Mataró, Granollers, Sabadell - Tarrasa, Vilafranca y Villanueva son comarcas con un grado de autocontención suficiente para considerarlas cerradas.

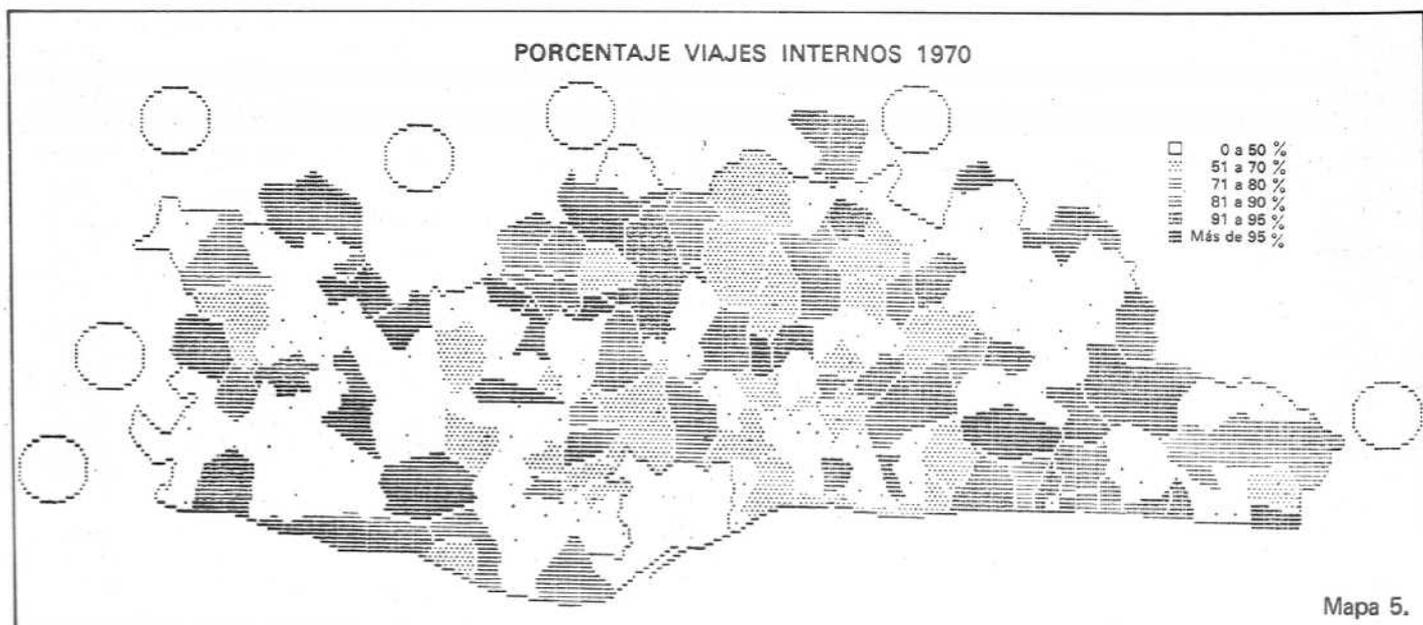
También lo sería la agregación del conjunto de los municipios que componen el P.C. 53, es decir, la suma de las comarcas de Barcelona, Besós, Centros P.C. 53 y Llobregat.

Para conseguir agrupaciones que cumplieren todas ellas con estas condiciones sería necesario agregar el Vallés Central y Martorell a aquellas comarcas con las que tienen mayor interrelación.

En el caso del Vallés Central, la zona con que establece una mayor conexión es Barcelona-ciudad, mientras que Martorell debería agregarse con la comarca de Llobregat. El sistema espacial que cumpliría el requisito establecido sería el compuesto por las siguientes agregaciones **cerradas**.

1. Barcelona-capital, resto de la Comarca del Plan Comarcal de 1953, Vallés Central y Martorell.

PORCENTAJE VIAJES INTERNOS 1970



Mapa 5.



2. Arenys.
3. Mataró.
4. Granollers.
5. Sabadell - Tarrasa.

6. Vilafranca.
  7. Villanueva.
- En cuanto a la longitud y duración de los viajes sobresalen los

siguientes aspectos (tablas 5 y 6 y gráfico 1). En su conjunto, la longitud media de todos los viajes generados en el AMB por motivo de

**TABLA 5**  
Parámetros de centralidad y disposición espacial.

COMARCAS	(1) Distancia media física en km.	(2) Coefic. de variación	(3 = 1/4) Relación media física geom.	(4) Distancia media geom. en km.	(5) Coefic. de variación	(6) Tiempo medio	(7) Coefic. de variación
<b>B</b>							
1. CENTRO .....	2,9894	1,44	1,29	2,3101	1,57	11,1274	1,21
2. RESID. ESTE .....	4,6753	0,94	1,28	3,6402	1,02	20,0541	1,52
3. RESID. OESTE .....	3,7153	1,14	1,37	2,7122	1,28	14,2776	1,34
BARCELONA .....	3,90	1,25	1,30	3,00	1,37	15,87	1,37
<b>COM</b>							
4. BESOS .....	6,6759	0,87	1,71	3,9005	1,19	25,5833	1,37
5. CENTRO .....	5,7618	1,13	1,56	3,6868	1,33	20,2769	1,48
6. LLOBREGAT .....	4,8180	1,04	1,47	3,2808	1,34	18,8940	1,38
RESTO COMARCA ...	5,37	1,07	1,53	3,50	1,31	21,09	1,42
<b>RAMB</b>							
7. ARENYS .....	3,5154	2,68	1,68	2,0899	3,70	13,5018	0,70
8. MATARO .....	4,2205	1,89	1,90	2,2206	2,83	13,2349	0,76
9. GRANOLLERS .....	3,3384	1,94	1,67	2,0044	2,66	12,3607	1,01
10. VALLES CENTRAL ...	4,3114	1,69	1,46	2,9617	2,03	17,4363	0,83
11. SABADELL-TARRASA ..	4,4692	1,41	2,64	1,6881	3,06	14,9473	0,89
12. MARTORELL .....	3,1937	2,08	1,74	1,8399	2,62	12,1642	0,89
13. VILAFRANCA .....	3,4967	2,41	1,67	2,1023	3,27	12,7073	0,55
14. VILANOVA .....	5,8924	2,26	1,44	4,0751	2,86	13,8881	0,71
RESTO AMB .....	4,21	2,03	1,97	2,13	3,05	14,24	0,87
<b>A.M.B.</b> .....	4,48	1,28	1,51	2,96	1,60	17,2332	1,15

**TABLA 6**  
Porcentajes de viajes de distancia y duración superior a un umbral determinado.

COMARCAS	% viajes sup. a 5 km. físicos	% viajes sup. a 10 km. físicos	% viajes sup. a 25 minutos	% viajes sup. a 40 minutos
<b>B</b>				
1. CENTRO .....	12,63	3,43	11,10	1,67
2. RESID. ESTE .....	33,30	6,90	39,75	8,02
3. RESID. OESTE .....	16,71	3,82	19,45	2,57
BARCELONA .....	24,54	5,37	28,15	5,26
<b>COM</b>				
4. BESOS .....	50,06	25,08	49,26	17,54
5. CENTRO .....	36,27	28,94	36,81	10,98
6. LLOBREGAT .....	38,97	11,47	37,79	7,16
RESTO COMARCA .....	42,25	17,13	41,34	10,74
<b>RESTO AMB</b>				
7. ARENYS .....	11,20	6,65	10,25	3,42
8. MATARO .....	13,59	9,28	14,86	7,68
9. GRANOLLERS .....	12,94	8,43	17,65	5,11
10. VALLES CENTRAL .....	20,77	14,12	24,85	12,34
11. SABADELL-TARRASA .....	12,96	7,58	12,23	6,85
12. MARTORELL .....	15,87	9,84	12,38	5,71
13. VILAFRANCA .....	14,96	8,50	10,20	6,80
14. VILANOVA .....	16,72	9,44	11,87	9,44
RESTO AMB .....	14,10	8,71	13,98	7,16
<b>AMB</b> .....	26,78	9,46	28,19	7,25



Distribución de viajes trabajo según tiempo multimodal en hora punta y distancias física y geométrica

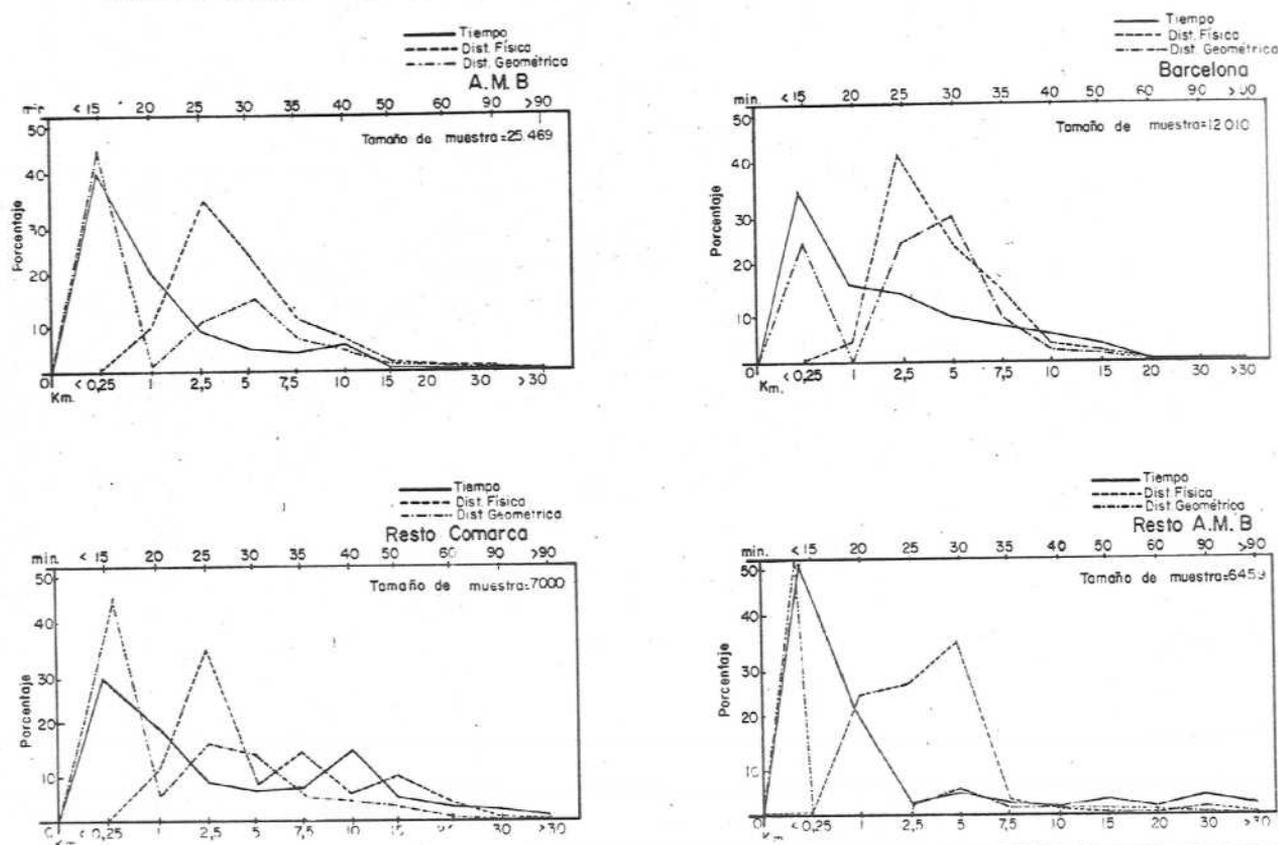


Gráfico 1.

trabajo es de 4,5 kilómetros. Esta cifra oscila fuertemente entre los 3 kilómetros que corresponden a la longitud promedio de los residentes en el área central de Barcelona (el Ensanche) y la de 6,7 más el doble de la anterior que soportan los residentes de los municipios de la Comarca del 53 en el ámbito del Besòs. Destacan en general los largos desplazamientos en los municipios de la Comarca del 53, zona periférica predominantemente de dormitorio, que depende de Barcelona-ciudad.

En cambio en las comarcas metropolitanas la distancia entre el empleo y la residencia es menor con la excepción de Garraf, que presenta casi 6 kilómetros de distancia promedio. Para toda el AMB únicamente el 27 por 100 de los viajes superan los 5 kilómetros y

sólo el 10 por 100 los 10 kilómetros.

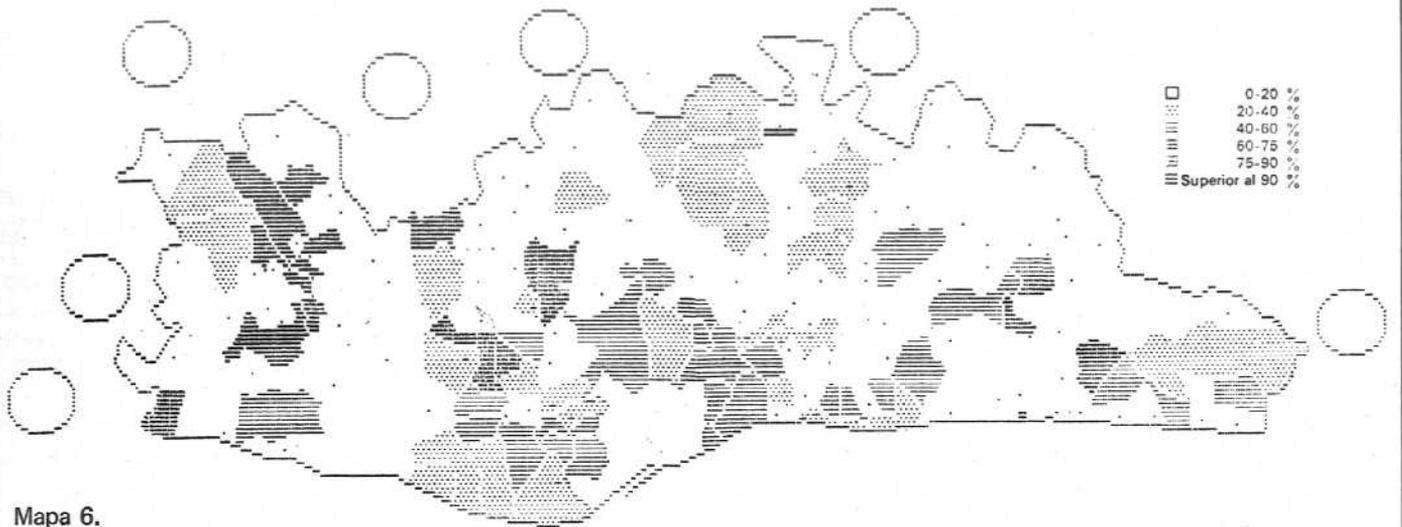
El ámbito del resto de la comarca presenta los peores valores de estos indicadores (mapas 6, 7 y 8). El mismo perfil de las curvas de distribución (distribuciones bimodales) denota, de forma expresiva, el carácter dependiente de este ámbito.

Observando la relación entre las medias física y geométrica, se aprecia claramente la anisotropía de la red de transportes mucho más densa y uniforme en Barcelona-ciudad para decaer en la corona comarcal y sobre todo en la metropolitana. En esta última, en el caso del Vallés Occidental, se hace patente la barrera de Collserola.

Por lo que respecta a las distribuciones según la duración tem-

poral de los viajes, pueden hacerse parecidas consideraciones al caso de las distancias físicas. Únicamente hay que subrayar que las distribuciones se alteran haciéndose más cortas o más largas en duración a las anteriores en virtud de las características espacio-temporales propias de los sistemas de transporte (coche, autobús, ferrocarril), las cuales tienden a privilegiar los viajes que pueden evitar discurrir por los accesos y vías interiores de Barcelona - ciudad, que son los tramos donde la congestión está más acentuada. En suma, si se atiende al tiempo (medido, recuérdese, según una ponderación entre todos los sistemas) se agudizan mayormente los desequilibrios espaciales por razón del viaje al trabajo, destacando negativamente en este sentido la corona comarcal de Barcelona.

PORCENTAJE VIAJES SUPERIORES A 4 KM. (DISTANCIA FISICA)



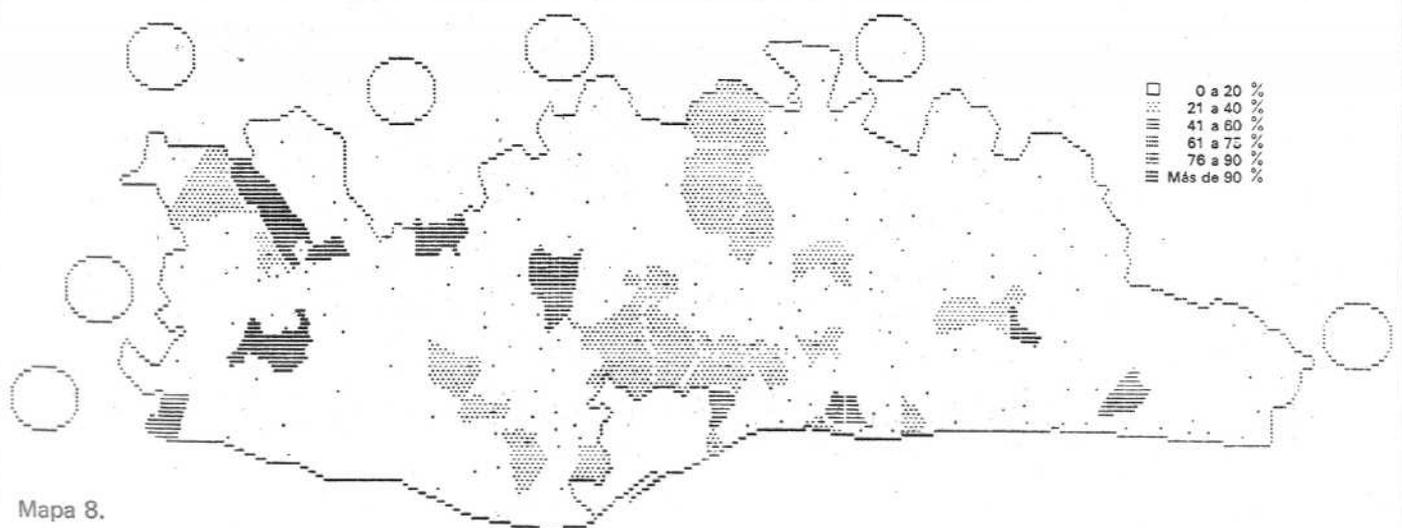
Mapa 6.

PORCENTAJE VIAJES SUPERIORES A 2 KM. (DISTANCIA GEOMETRICA)



Mapa 7.

PORCENTAJE VIAJES SUPERIORES A 30 MIN. H.P. 1970



Mapa 8.

### 3. DISCURSION SOBRE LA FORMALIZACION MATEMATICA AL VIAJE AL TRABAJO

La formalización matemática del proceso viaje al trabajo tiene una gran importancia en la medida que ha sido utilizado profusamente, tanto en la planificación del transporte como en la del uso del suelo. La información de partida en ambos casos ha consistido en una matriz de distribución de viajes origen destino o en circunstancias de aparato empírico más deficiente, en distribuciones viaje - distancia. La formalización matemática de este proceso urbano se ha fundamentado generalmente en la analogía gravitatoria.

Son sobradamente conocidos los supuestos de dicha teoría. Los flujos de viaje están en relación directa con las masas (población, empleo, renta, etc.) y en función inversa de una cierta medida de la distancia o fricción espacial.

El modelo de Wilson (1967) constituye el marco teórico más completo que se ha efectuado de la formalización gravitatoria. En él se engloban tanto los llamados modelos gravitatorios generalizados (Voorhees, 1959) como los de oportunidad (CATS, 1958). El mérito principal de Wilson, como se ha dicho (Le Boulanger y otros, 1970) estriba en haber precisado las hipótesis fundamentales, no explicitadas anteriormente, que subyacen a los modelos gravitatorios. Su razonamiento consiste en que, dados unos movimientos engendrados  $O_i$ , y atraídos,  $D_j$ , por un motivo determinado (el viaje al trabajo es el propósito que mejor se adapta en virtud de su fuerte sistematicidad) y unas desutilidades que representan la fricción existente entre cada zona,  $C_{ij}$ , la matriz de distribución de viajes interzonales más probable es aquella que maximiza la entropía asociada al sistema, asumiendo las restricciones de:

$$\sum_i t_{ij} = D_j \quad (1)$$

$$\sum_j t_{ij} = O_i \quad (2)$$

$$\frac{\sum_i \sum_j c_{ij} t_{ij}}{\sum_i \sum_j t_{ij}} = \bar{c} \quad (3)$$

donde:

- $t_{ij}$  = viajes estimados entre la zona  $i$  y la  $j$ .
- $O_i$  = número de orígenes en  $i$
- $D_j$  = número de destinos en  $j$
- $C$  = desutilidad promedio estimada a partir de una matriz de viajes  $n_{ij}$  observada.

La expresión de viajes interzonales,  $T_{ij}$ , que se deduce es:

$$t_{ij} = A_i B_j O_i D_j \exp(-\beta c_{ij}) \quad (4)$$

en la cual  $A_i$  y  $B_j$  son los multiplicadores de Lagrange asociados a las dos primeras restricciones (1) y (2), que se calculan mediante un procedimiento de iteraciones sucesivas y es el multiplicador que corresponde a la última restricción (3) y que se estima mediante técnicas apropiadas de calibración de parámetros (Wagon and Hawkins, 1970).

La interpretación de  $A_i, B_j$  ya ha sido abordada en diversos trabajos (Kirby, 1970).  $A_i$  y  $B_j$  traducen el concepto de las oportunidades intervinientes ponderadas por la accesibilidad que aprecian los distintos actores en competencia unos con otros. Así,  $A_i$  expresa la accesibilidad al trabajo que tiene la zona  $i$  para las familias que residen en ella;  $B_j$  por su parte significa la accesibilidad promedia al factor mano de obra referida a la zona  $j$  y visto desde el ángulo de las empresas. La medida de la accesibilidad, según Hansen (1965), encaja perfectamente con este factor de normalización propio de los modelos gravitatorios doblemente constreñidos. El parámetro es constante para todo el ámbito e incorpora toda una serie de aspectos de comportamiento que están implícitos en el modelo. De hecho este parámetro se interpreta

como la percepción que tienen los individuos de la distancia a través de la ponderación que hacen de ésta en la función analítica de accesibilidad. Esta función analítica, como se observa en la expresión matemática (4), es la exponencial.

Ahora bien, en los casos en los cuales la percepción subjetiva de la distancia no corresponde a la medida objetiva y sí más bien a un tipo de media logarítmica, la función analítica se transforma en potencial. La expresión de los viajes queda entonces:

$$t_{ij} = A_i B_j O_i D_j C_{ij}^{-\beta}$$

fórmula matemática que resulta más familiar a la analogía gravitatoria.

Evidentemente, todas estas consideraciones teóricas aparentemente poco tienen que ver con el contexto urbanístico. No obstante, sirven para introducir el aparato analítico mediante el cual se han efectuado una serie de comprobaciones y «test» aplicados al caso del AMB. Los resultados de dichas comprobaciones, que se expondrán a continuación, giran alrededor de dos problemas:

1. La búsqueda del ajuste más satisfactorio explicativo del viaje al trabajo en el ámbito del AMB.
2. La discusión de la hipótesis de la accesibilidad al trabajo como determinante principal de la localización residencial.

#### 3.1. Ajuste del modelo del viaje al trabajo en el AMB

En lo que concierne al primer punto es conveniente avanzar que, en teoría (Wilson, 1970), la función exponencial parece más adecuada para ámbitos urbanos con un seccionado espacial de subáreas de pequeño tamaño. Y la potencial para el estudio de las interacciones en un medio regional en el cual la subáreas más elementales equivalen a comarcas o subcomarcas. Todo ello sin perjuicio de que sea otro tipo de función la que



en ciertos casos se adapte mejor o que generaliza las anteriores, como es el caso de la función gamma  $c_{ij} \exp(-\beta c_{ij})$  (March, 1969). Los resultados de los primeros ajustes para el caso del AMB se muestran en la tabla 7.

TABLA 7

A) AJUSTE EXPONENCIAL	
$t_{ij} = A_i B_j O_i D_j \exp. (-0.1398 c_{ij})$	
$C_{OBS} = 19.67$	$C_{MOD} = 19.73$
$\sigma_{OBS} = 23.1$	$\sigma_{MOD} = 24.2$
$R^2 = 0.7034$	
$X^2 = 9.068$ (Calibración en 5 iteraciones.)	
b) AJUSTE POTENCIAL	
$t = A_i B_j O_i D_j C_{ij} - 4.55$	
$C_{OBS} = 19.67$	$C_{MOD} = 19.63$
$\sigma_{OBS} = 23.1$	$\sigma_{MOD} = 26.9$
$R^2 = 0.6020$	
$X^2 = 10.677$ (Calibración en 11 iteraciones.)	

La calibración del parámetro en ambos ajustes ha sido realizado siguiendo la técnica empleada en el modelo SELNEC (Wagon and Hawkins, MAU, 1970). El número de zonas era de 50 de las cuales 10 corresponden a Barcelona-ciudad, 15 a la Comarca del 53 y las restantes a la corona metropolitana. Como métrica de la distancia

se ha tomado la siguiente expresión:

$$c_{ij} = i c_{ij}^k + (1-\gamma_i) \text{MAX}_{k \neq k'} c_{ij}^k$$

donde:

- $c_{ij}$  = coste llamado multimodal en tiempo.
- $\sigma_{i k k'}$  = tasa de vehículos privados por activo de la zona.
- $c_{ij}$  = costes modales en tiempo ( $k = K$  coche;  $K \neq K'$ : bus, metro-tren y pie).

El parámetro  $\beta$  calibrado resulta ser aquél que minimiza, admitiendo cierto umbral de tolerancia, la discrepancia entre la media y la variancia de los tiempos observados con los calculados por el modelo. Examinando la tabla se comprueba que la función exponencial ajusta ligeramente peor el tiempo medio pero es muy superior en el ajuste de la desviación tipo. Con todo, la comprobación más importante a los efectos perseguidos es la de los otros dos estadísticos. El coeficiente de correlación y el «test» de la  $X^2$  miden el grado de semejanza existente entre la matriz de viajes calculados por el modelo y la matriz de viajes observados. En este caso y con el fin de poder realizar este «test» con una información observada más significativa (no se olvide su naturaleza muestral), se han agregado las matrices de  $56 \times 56$  al nivel  $14 \times 14$ . Bien, los resultados una vez más, privilegian al ajuste exponencial ya que tanto el coeficiente de correlación como el «test» de  $X^2$  le confieren una mejor nota, estadísticamente significativa. Hay que subrayar que tanto en un caso como en otro se han calculado estos estadísticos logaritmizando previamente los elementos de ambas matrices con el fin de linealizarlos, asimilándolos mejor, de esta forma, a distribuciones normales.

La interpretación de este resultado está en la línea de los juicios emitidos en el apartado descriptivo. Se está en presencia de un ámbito en el cual el fenómeno del viaje al trabajo desborda limitada-

mente las fronteras municipales; la única excepción la constituye Barcelona-ciudad con el resto de la Comarca del 53.

### 3.2. Pertinencia de la hipótesis de la accesibilidad al trabajo como determinante del proceso de la localización residencial

Como han señalado diversos autores (Drewet, 1969; Harris, 1968), el viaje al trabajo constituye el único fundamento teórico de muchos de los modelos operativos concebidos para su utilización en los trabajos de planificación física.

Este hecho se explica en buena parte si se tiene en cuenta que los modelos de localización residencial pertenecen a una generación inmediatamente posterior a la de los modelos de transporte en los cuales se inspiraron. Por otra parte, como apunta Lowry (1964), la dependencia que tienen los modelos de la localización residencial respecto al viaje al trabajo, sólo es válida para aquellos modelos que están basados en la tradición funcionalista latente en la denominada física social. Los otros, los basados en la teórica neoclásica de la localización (tradición marginalista), siguen unas pautas relativamente menos vinculadas a dicho fenómeno.

Visto tanto desde el ángulo de los modelos de distribución (orientados al problema del transporte) como desde el enfoque de los modelos de localización residencial, el fundamento teórico de ambos reposa en un sencillo razonamiento económico: las familias deben decidir su residencia y su empleo. El proceso de elección puede esquematizarse tal como se muestra en la figura 2.

La residencia se escoge en función de ciertas características familiares que determinan sus necesidades y de las peculiaridades de la oferta de viviendas. La decisión será el resultado de un compromiso que tiene en cuenta

FIGURA 2



las restricciones de la renta familiar disponible y el tiempo resultante de la posición de la vivienda en relación a los destinos posibles: el equipamiento y sobre todo el empleo.

El enfoque neoclásico con mayores pretensiones de poder explicativo ha sido contestado y refutado en muchos trabajos tanto técnicos como empíricos (\*).

En el caso del AMB donde a nivel empírico se conocen los resultados de la encuesta CINAM, en los cuales aparece claramente la falta de significación de la hipótesis del viaje al trabajo como determinante de la localización residencial (sólo un 9 por 100 de candidatos a vivienda, manifiesta tener en cuenta el factor de la proximidad

al empleo. Estudio CINAM para la Comisión de Urbanismo), se ha testado el grado de correlación entre la distribución de la población y la dinámica 60-70 con la variable  $A_i$  (inverso de la accesibilidad-oportunidad al empleo) para dos ámbitos. Uno claramente urbano sin apenas solución de continuidad (40 zonas de Barcelona y comarca) y otro metropolitano con una desagregación a nivel de agregados de municipios (56 zonas). Los resultados del «test» se muestran en la tabla 8. En medio urbano se produce una corroboración

contraria a la expresada con arreglo a la teoría. Es decir, que el asentamiento de la población actual y su dinámica más reciente se está produciendo en sentido contrario al de la localización del empleo. En medio metropolitano la teoría tiende a cumplirse, con lo cual se justifica en buena parte la pertinencia de utilizar modelos de previsión basados en este supuesto.

(\*) Consultar, en este sentido, *Accesibilidad and residential location*. Horacio Torres. LUBF, 1970 y DREYFUS (reunión del APSRENO, Barcelona, 1973).

TABLA 8

	$R^2$ de $A_i$ y Pob	$R^2$ de $A_i$ y $\Delta$ Pob
Medio urbano	0,25	0,47
Medio metropolitano	- 0,57	- 0,31

## BIBLIOGRAFIA CONSULTADA

- Geography of transportation.
- An analysis of transport technology and network structure.
- En España destaca poderosamente una medida de accesibilidad aplicación a la comarca de Barcelona.
- Structure of transportation networks. Network analysis in geography.
- «Work-trip Data». Highway Research Board.
- «Journey-To-Work statistics». Highway Research Board.
- «An approach using work-trip data». Highway Research Board.
- «Confluence at the work site some applications or urban work journey analyses». Transp. Res. (vol. 4).
- «Estimates of Journey-to-work distances from Census statistics». Regional Studies (vol. 6).
- «Journey-to-work». Ed. Maclaren.
- «The journey to work in Britain: Some Trends and problems». Regional Studies (vol. 2).
- «Moving Behavior and Residential Choice». Highway Research Board 81.
- Edward J. Taaffe.
- Howard L. Gauttier, Jr., 1973.
- Edward K. Marlok, 1967.
- Laboratorio de Urbanismo. ETSAB, 1971.
- K.S. Kansky, 1963.
- Peter Hagget, 1969.
- Richard J. Morley.
- Josepf F. Daly, 1971.
- Sidney R. Robertson, 1971.
- Gordon A. Shunk, 1971.
- M. E. Eliot Hurst, 1970.
- A. M. Warnes, 1972.
- F. R. Wilson, 1967.
- R. Lawton, 1967.
- Edward W. Dutler y otros, 1969.