

# *El análisis simple de ligazones*

Javier GUTIÉRREZ PUEBLA

## 1. INTRODUCCION

En 1961 Nystuen y Dacey publicaron un trabajo sobre la estructura nodal del Estado de Washington, partiendo de datos de flujo telefónico. El método que entonces propusieron, habitualmente denominado análisis primario de ligazones, se basa en la reducción de matrices de flujo a grafos. Así, los flujos nodales son representados en forma de digrafo (es decir, un grafo con ejes direccionados), lo que permite presentar la configuración espacial de dichos flujos y, sobre todo, captar la estructura nodal de la región analizada.

El método de Nystuen y Dacey alcanzó pronto una gran difusión internacional. Buena prueba de ello es su utilización por numerosos autores, como Dietvorst y Wever (1977) en un estudio sobre el flujo telefónico interurbano en Holanda o Ogunsanya (1981) en un trabajo sobre el transporte de mercancías en Lagos, así como el hecho de que habitualmente aparezca en los principales manuales de Geografía humana que tienen un enfoque cuantitativo como es el caso del de Haggett, Cliff y Frey (1977) o del de Chapman (1979).

Sin embargo, no han faltado las críticas contra este método. Holmes y Haggett (1975, cit. por Haggett, Cliff y Frey, 1977) señalan el peligro de considerar sólo el flujo mayor emitido por cada unidad espacial en el caso de que éste no destaque claramente sobre los demás, y proponen otro método, el análisis múltiple de ligazones, para subsanar esta deficiencia. Moreno Jiménez (1980), por su parte, centra su crítica en la pérdida de información que supone el considerar exclusivamente a los denominados flujos nodales. No obstante, y a pesar de todo, no cabe duda de que el método de Nystuen y Dacey ofrece grandes ventajas, como son su simplicidad y lo expresivo de los digrafos que presenta. En

realidad, de las críticas que se han formulado contra él lo único que se deduce es la conveniencia de utilizarlo junto con otros métodos complementarios, como pueden ser el propio análisis múltiple de ligazones (Haggett, Cliff y Frey, 1977) o el análisis de la centralidad estructural de la red (McKenzie, 1966; Moreno Jiménez, 1980).

Pensamos, sin embargo, que el método de Nystuen y Dacey puede ser mejorado en algunos aspectos. Con el objeto de aumentar la expresividad de los digrafos y de establecer un sistema que permita medir el grado de concentración/dispersión de la estructura que presentan los flujos principales, hemos desarrollado una variante del método original de estos dos autores americanos, que ha sido denominada «análisis simple de ligazones» para diferenciarla del método original, conocido como «análisis primario de ligazones»<sup>1</sup>.

## 2. EL ANÁLISIS SIMPLE DE LIGAZONES

### 2.1. *La constitución de un único agrupamiento*

En el análisis simple de ligazones se parte de una matriz origen-destino con ceros en su diagonal principal (es decir, sólo se consideran los flujos entre unas unidades y otras, pero no los intrazonales). El orden jerárquico (rango) de estas unidades o nodos viene dado por la suma de las columnas (flujos atraídos). La unidad que más flujos atrae es denominada nodo central de la red. Inicialmente sólo se representa el flujo mayor emitido por cada unidad, indicando su dirección.

En el caso de que se formen varios agrupamientos, el nodo de mayor rango de cada agrupamiento es el nodo central de agrupamiento, existiendo por tanto tantos nodos centrales de agrupamiento como el número de éstos (evidentemente, el nodo central de la red es al mismo tiempo nodo central de agrupamiento). El resto de los nodos son satélites de los correspondientes nodos centrales de agrupamiento.

Una vez que ya están constituidos los agrupamientos iniciales, se prescinde de los flujos enviados por los nodos centrales de agrupamiento. A continuación, se representa el flujo mayor enviado por cada uno de éstos (excepto por el nodo central de la red) hacia otro nodo que no pertenezca a su mismo agrupamiento. De esta forma se obtiene en última instancia un único agrupamiento, conservando las ideas de orden jerárquico. Para que no se pierdan de vista los agrupamientos formados inicialmente, en el que se obtenga finalmente se señalan los nodos centrales de agrupamiento.

---

<sup>1</sup> El método de Nystuen y Dacey es suficientemente conocido, por lo que no se ha creído oportuno exponerlo paso a paso en esta introducción. No obstante, el lector que no tenga información sobre él podrá conocer sus rasgos básicos a través de la comparación que más adelante se hace con la variante aquí propuesta.

Por último, en el caso de que inicialmente se constituya un único agrupamiento, basta con dejar de representar el flujo mayor enviado por el nodo central de la red.

Como se puede observar, el método que aquí proponemos es muy semejante al de Nystuen y Dacey, pero destaca más los aspectos relativos a la configuración espacial de los flujos, que en estos dos autores se sacrifica parcialmente a costa de las ideas de jerarquización. En efecto, Nystuen y Dacey no representan el flujo mayor de un nodo cuando se dirige a otro de orden inferior, lo que favorece la formación de varios agrupamientos, en detrimento del número de flujos representado. En cambio, en el método que aquí proponemos sólo se deja de representar el flujo principal del nodo central de la red, alcanzándose siempre el mismo número de flujos representados ( $n - 1$ ).

Pero la ventaja mayor de esta variante sobre el método original de Nystuen y Dacey estriba en la constitución en última instancia de un único agrupamiento, lo que permite la aplicación del conocido índice de dispersión del grafo  $D(G)$ , asimilando los ligazones unidireccionales del digrafo (flujos representados) a ejes no direccionados. Este índice debe ser interpretado como medida morfológica expresiva del grado de concentración/dispersión del grafo, y no propiamente como medida de conectividad.

Para ilustrar esta variante, comparándola con el método de Nystuen y Dacey, vamos a recurrir a la matriz hipotética que estos dos autores ponen como ejemplo para explicar su método (tabla 1).

TABLA I  
MATRIZ DE FLUJO ENTRE PARES DE CENTROS

Al centro:	<i>a</i>	<i>b</i>	<i>c</i>	<i>d</i>	<i>e</i>	<i>f</i>	<i>g</i>	<i>h</i>	<i>i</i>	<i>j</i>	<i>k</i>	<i>l</i>
Del centro:												
<i>a</i>	00	75	15	20	28	02	03	02	01	20	01	00
<i>b</i>	69	00	45	50	58	12	20	03	06	35	04	02
<i>c</i>	05	51	00	12	40	00	06	01	03	15	00	01
<i>d</i>	19	57	14	00	30	07	06	02	11	18	05	01
<i>e</i>	07	40	48	26	00	07	10	02	37	39	12	06
<i>f</i>	01	06	01	01	10	00	27	01	03	04	02	00
<i>g</i>	02	16	03	03	13	31	00	03	18	08	03	01
<i>h</i>	00	04	00	01	03	03	06	00	12	38	04	00
<i>i</i>	02	28	03	06	43	04	16	12	00	98	13	01
<i>j</i>	07	40	10	08	40	05	17	34	98	00	35	12
<i>k</i>	01	08	02	01	18	00	06	05	12	30	00	15
<i>l</i>	00	02	00	00	07	00	01	00	01	06	12	00
Total:	113	141	337	128	290	071	118	065	202	311	091	039
Rango	8	1	5	6	3	10	7	11	4	2	9	12

FUENTE; Nystuen and Dacey (1961).

Según el método propuesto por Nystuen y Dacey, sólo se considera el flujo mayor de cada nodo cuando se dirige hacia otro de orden superior (flujo nodal). Aquellos nodos que emiten su flujo mayor hacia otro de rango inferior son dominantes y constituyen los puntos terminales del grafo. A partir de ellos se representan mediante rectas los flujos nodales de sus correspondientes nodos satélites, con lo que se forman agrupamientos distintos (tantos como nodos terminales). En el caso de la matriz de la tabla 2, *b*, *e*, *g* y *j* son nodos dominantes, por lo que se constituyen cuatro agrupamientos de distintos tamaños (fig. 1). Nótese que habiendo 12 nodos, son sólo 8 los flujos representados.

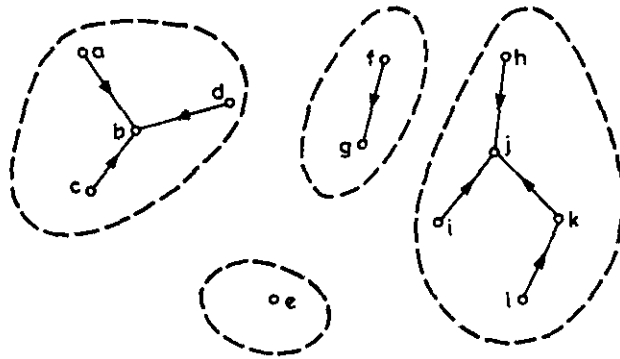


FIG 1.—Estructura nodal de la matriz presentada en la tabla 1, según el método de Nystuen y Dacey. Fuente: Nystuen y Dacey (1961).

Si nos atenemos a la variante que aquí hemos propuesto se debe seguir el siguiente proceso: en primer lugar se representa el flujo mayor emitido por cada nodo, independientemente de que se dirija a otro de rango superior o inferior (fig. 2a); a continuación se prescinde de los flujos enviados por los nodos centrales de agrupamiento (*b*, *g* y *j*) (fig. 2b) y en su lugar se representa el flujo mayor enviado por éstos hacia otro nodo de un agrupamiento distinto (excepto en el caso del nodo central de la red, *b*): el segundo flujo mayor de *g* se dirige hacia *i* y el segundo de *j* hacia *b* (fig. 2c). Podemos observar cómo el pequeño agrupamiento *g-f* queda subsumido dentro del *j-h-i-k-l*, formando un conjunto que a su vez pasa a integrarse en el agrupamiento *b-a-c-d*.

El agrupamiento final (fig. 2c) ofrece, a nuestro juicio, una visión más completa que el grafo de la fig. 1 acerca de la configuración espacial de los flujos principales en la región considerada. Por otro lado, dicho agrupamiento final presenta una estructura jerárquica en la que no se pierde la idea de relativa independencia que sugieren los agrupamientos iniciales. En efecto, como se mantiene la representación de los

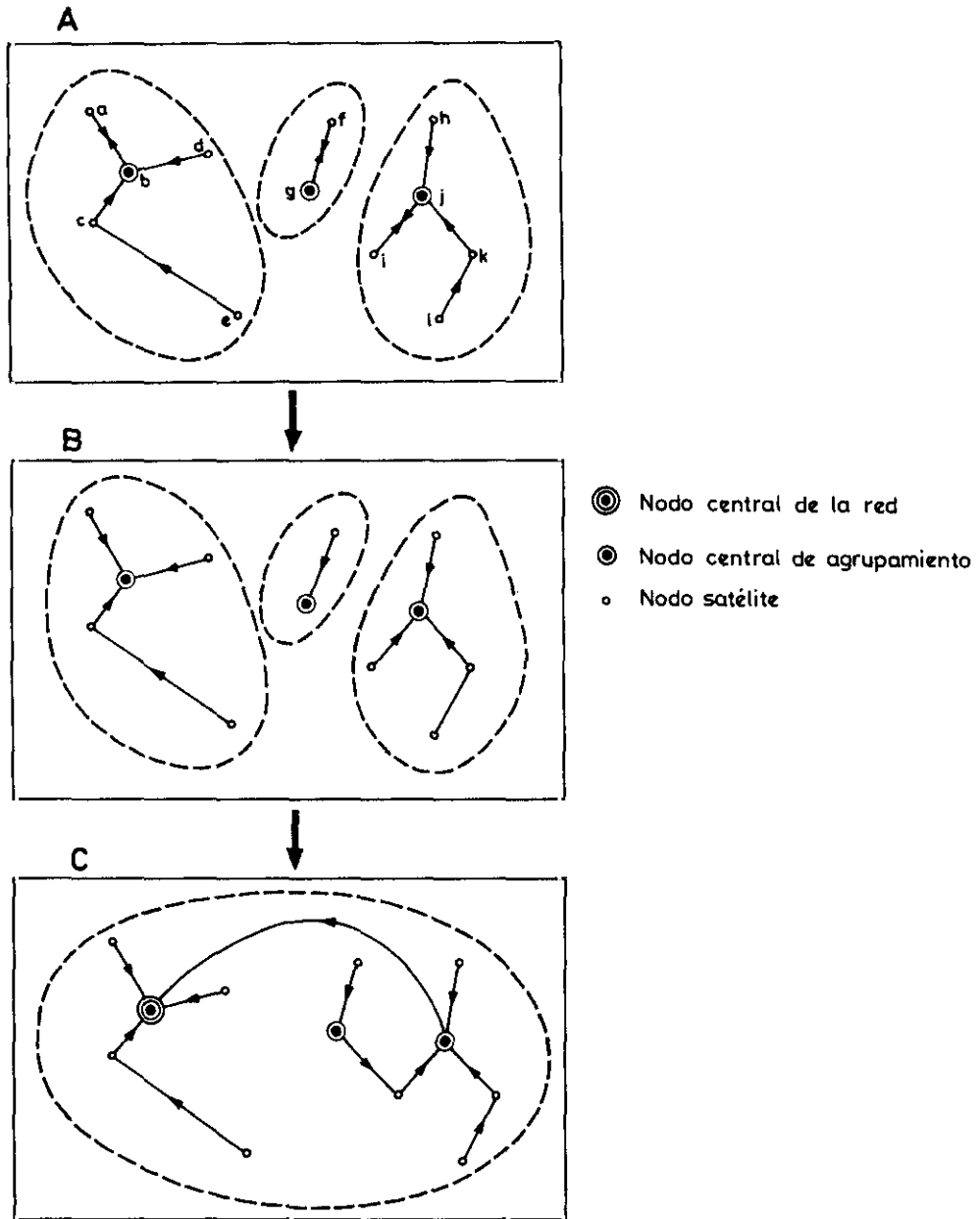


FIG 2.—Proceso de formación de un único agrupamiento sobre la base de los datos de la tabla 2. A: Flujos mayores emitidos por cada nodo. B: Se prescinde de los flujos mayores emitidos por los nodos centrales de agrupamiento. C: Se representa el flujo mayor de los nodos centrales de agrupamiento hacia un nodo de otro agrupamiento.

nodos centrales de agrupamiento, sin necesidad de contemplar las figuras anteriores (fig. 2a y 2b) se pueden reconstruir los agrupamientos iniciales, así como el proceso de integración de éstos hasta constituir el agrupamiento final. Asimismo, la representación gráfica de los nodos centrales de agrupamiento permite que se puedan reconocer los flujos que éstos emiten, que como se recordará no son los mayores en términos absolutos, sino los mayores entre los dirigidos a otros agrupamientos.

Por último, es conveniente añadir que en el caso de los análisis de las relaciones intraurbanas lo más probable es que directamente se constituya un único agrupamiento (y que, por lo tanto, el nodo central de la red sea a la vez el único nodo central de agrupamiento), ya que el espacio interior de la ciudad se caracteriza por unas intensas relaciones jerárquicas. En cambio, en el caso de las conurbaciones o en el estudio de los flujos interregionales o interurbanos es muy posible que se formen inicialmente varios agrupamientos, con sus correspondientes nodos centrales de agrupamiento. En el ejemplo que se ofrece más adelante sobre desplazamientos según motivos en el interior de la ciudad de Madrid, en todos los casos (los cuatro motivos considerados), como era de esperar, se formó inicialmente un único agrupamiento.

## 2.2. *La medida de la dispersión del grafo resultante*

El hecho de que esta técnica desemboque en la formación de un único agrupamiento supone la ventaja de poder medir el índice de dispersión del grafo resultante asimilando los ligazones unidireccionales del dígrafo (flujos representados) a ejes no direccionados. Recuérdese que este índice sólo es aplicable para redes que constituyen un único agrupamiento. No tiene sentido, en cambio, aplicar otros de los índices habitualmente utilizados en la teoría de grafos, como el  $\beta$ ,  $\gamma$ ,  $\mu$  y  $\alpha$ . En efecto, con un solo agrupamiento el número de ejes de que consta el grafo resultante será siempre inferior en una unidad al número de nodos ( $e = n - 1$ ). En esas circunstancias, en una misma área de estudio los índices  $\beta$  y  $\gamma$  ofrecerán siempre los mismos resultados, mientras que el cálculo de los índices  $\mu$  y  $\alpha$  no procede, al no poder formarse ningún circuito en un único agrupamiento cuando  $e$  es menor que  $n$ .

En las estructuras derivadas del análisis simple de ligazones, el grado máximo de polarización se da cuando el nodo central de la red se encuentra directamente conectado con todos los demás nodos (fig. 3a). La dispersión del grafo se hace mayor cuando aparecen ligazones en cascada (fig. 3b). Por último, la dispersión máxima corresponde a una estructura en la que todos los nodos constituyen una línea (grafo en el que todos los nodos aparecen alineados, sin llegar a formar un circuito).

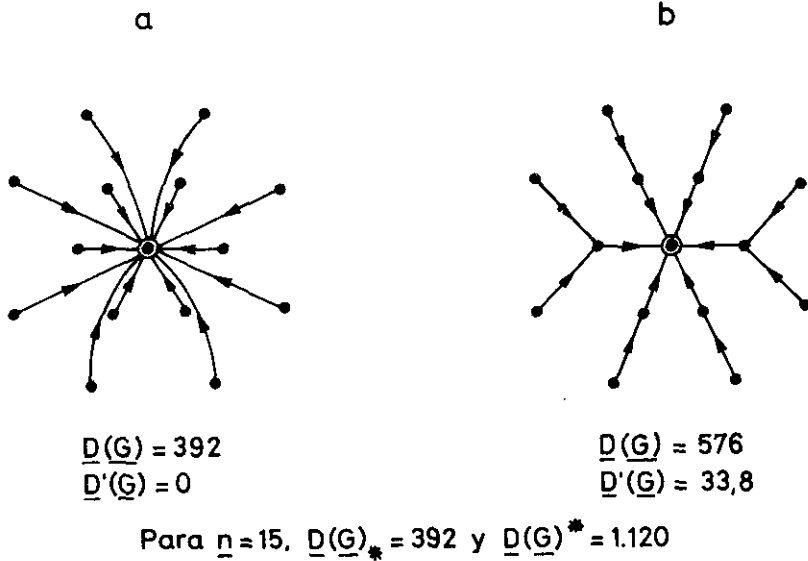


FIG 3.—Estructuras derivadas del análisis simple de ligazones. a: Estructura radial con polarización máxima: el nodo central de la red recibe el flujo máximo de cada uno de los demás nodos, por lo que aparece directamente conectado a todos ellos. b: Estructura radial con ligazones en cascada: el nodo central de la red no se encuentra directamente unido a todos los demás nodos.

El grado de concentración/dispersión de las estructuras resultantes tras la aplicación del análisis simple de ligazones puede ser medido a través del índice de dispersión del grafo. Este viene dado por la suma de los índices de Shimmel de los distintos nodos. Por su parte, el índice de Shimmel de cada nodo se obtiene sumando el número de ejes que separa por el camino más corto a ese nodo de cada uno de los demás. Brevemente el índice de dispersión del grafo  $D(G)$  se puede expresar como

$$(1) \quad D(G) = \sum_i \sum_j s(i, j)$$

donde  $s(i, j)$  es el número de ejes que corresponde al camino más corto entre los nodos  $i$  y  $j$  (fig. 9).

En la teoría de grafos, el valor mínimo del índice de dispersión es  $n(n - 1)$ , que se alcanza cuando cada nodo del grafo se encuentra directamente unido a todos los demás nodos. Pero esto no puede ocurrir en las estructuras espaciales derivadas de la aplicación del análisis simple de ligazones, ya que nunca se puede dar que el número de ejes sea mayor que el de nodos ( $e = n - 1$ ). El grado máximo de polarización se da

en una estructura semejante a la de la fig. 2a, en la que todos los nodos conectan directamente con un nodo central. En este tipo de estructuras se obtendría el valor más bajo del índice de dispersión, que notamos como  $D(G)_*$  y que se puede calcular según

$$(2) \quad D(G)_* = (n - 1)(2(n - 2) + 1) + (n - 1)$$

El valor más alto del índice de dispersión correspondería a una línea (grafo en el que todos los nodos aparecen alineados, sin llegar a constituir un circuito). En el caso de que el número de nodos sea par, ese valor se puede obtener mediante

$$(3) \quad D(G)^* = 2 \sum_{i=1}^{n/2} A_i$$

donde  $D(G)^*$  representa el valor máximo del índice de dispersión del grafo,  $A$  la accesibilidad (índice de Shimbél) de los nodos (numerados a partir de cualquier de los extremos del grafo) y  $n$  el número de nodos. El valor del índice de Shimbél de cualquiera de los dos nodos de menor accesibilidad ( $A_1$ ), es decir, de los nodos extremos, se obtiene según

$$(4) \quad A_1 = \sum_{i=1}^{n-1} (n - i)$$

y una vez que este valor es conocido, se calculan los de los demás nodos hasta  $n/2$  mediante

$$(5) \quad A_i = A_{i-1} - (n - 2(i - 1))$$

Así, por ejemplo, en una línea con ocho nodos, la accesibilidad de cualquiera de los dos nodos extremos según (4) sería igual a

$$A_1 = \sum_{i=1}^7 (8 - i) = 7 + 6 + 5 + 4 + 3 + 2 + 1 = 28$$

y una vez que conocemos ese valor es posible calcular los de los nodos que siguen a ese nodo extremo hasta llegar a  $n/2$  (en este caso hasta  $n = 4$ ) según (4). Así

$$\begin{aligned} A_2 &= 28 - (8 - 2(2 - 1)) = 22 \\ A_3 &= 22 - (8 - 2(3 - 1)) = 18 \\ A_4 &= 18 - (8 - 2(4 - 1)) = 16 \end{aligned}$$

con lo que el índice de dispersión del grafo según (3) sería

$$D(G)^* = 2(28 + 22 + 18 + 16) = 168$$



En el caso de que el número de nodos de la línea sea impar, se introduce una pequeña modificación en la fórmula (3), que queda de la siguiente forma

$$(6) \quad D(G)^* = A_{\frac{n+1}{2}} + 2 \sum_{i=1}^{\frac{b-1}{2}} A_i$$

donde  $A_{\frac{n+1}{2}}$  es el valor del nodo que ocupa el centro de la línea, valor inferior en una unidad al de los otros nodos vecinos.

Ya que podemos calcular los valores más alto y más bajo del índice de dispersión para un determinado número de nodos, estamos en condiciones de proponer el siguiente índice de dispersión relativa del grafo<sup>2</sup> que notamos como  $D'(G)$

$$(7) \quad D'(G) = \frac{D(G) - D(G)^*}{D(G)^* - D(G)_*} \cdot 100$$

donde  $D(G)$  es el índice de dispersión del grafo considerado de  $n$  nodos,  $D(G)^*$  el valor máximo posible para ese número de nodos y  $D(G)_*$  el mínimo posible. El valor de este índice puede oscilar entre 0 (máxima polarización) y 100 (máxima dispersión), lo que supone una clara ventaja a la hora de la interpretación frente al índice  $D(G)$ , que sólo ofrece valores absolutos, y frente a la media de dicho índice (ver Chapman, 1979), que se encuentra muy influida por el número de nodos del grafo.

### 3. APLICACIÓN DEL ANÁLISIS SIMPLE DE LIGAZONES AL ESTUDIO DE LOS FLUJOS DE PERSONAS EN EL INTERIOR DE MADRID<sup>3</sup>

#### 3.1. *Los datos*

Para ilustrar el método aquí propuesto se han analizado los desplazamientos de personas según motivos en el interior del municipio de Madrid. Los datos, procedentes de una encuesta origen-destino realizada por COPLACO en 1981, han sido tratados a nivel de distrito. Con ello se pretendía que este ejemplo de aplicación del método fuera lo más sencillo posible, pero sobre todo se eliminaban los problemas deriva-

<sup>2</sup> Este índice está inspirado en el de accesibilidad topológica relativa a Stutz (1973), cit. por Potrykowski, M. y Taylor, Z. (1984).

<sup>3</sup> Los datos han sido procesados por el autor en un ordenador personal Hewlett-Packard 86, del Instituto de Geografía Aplicada (CSIC).

dos de la utilización de factores de expansión sobre los datos originales, que hacen menos fiable a la información cuanto menor sea su nivel de agregación<sup>4</sup>. Los motivos de viaje considerados han sido trabajo, escuela, compras y todos los viajes, contabilizándose sólo los desplazamientos de ida.

Antes de efectuar el análisis simple de ligazones se llevó a cabo una transformación de los datos de la encuesta origen-destino. Con ello se intentaba neutralizar la distorsión derivada del desigual tamaño (en nuestro caso, volumen demográfico) de las distintas unidades de análisis. Precisamente este problema es particularmente grave en el caso del análisis de los flujos intraurbanos, ya que las unidades espaciales en que se divide el espacio urbano son demarcaciones delimitadas más o menos arbitrariamente, al formar todas ellas un continuo espacial.

Téngase en cuenta, a este respecto, que las unidades de análisis más grandes, con un mayor volumen demográfico, tenderán a atraer más flujos que las de un tamaño más reducido. La sola fusión de dos unidades en otra mayor podría hacer que esta nueva unidad apareciera como principal centro polarizador de los flujos del área, sin que proporcionalmente a su volumen demográfico se pudiera hablar de que esa unidad tenga una gran capacidad de atracción. Es decir, que la configuración espacial de los flujos puede variar según la delimitación espacial que se adopte.

En estas circunstancias se hace necesario utilizar un criterio que permita neutralizar el efecto de la diferente magnitud de las unidades de análisis. Una forma de lograrlo es utilizar como factor de ponderación del volumen de los flujos a la población de la unidad de origen y de la unidad de destino. Los elementos de la nueva matriz se obtienen mediante

$$F'_{ij} = \frac{F_{ij} \cdot 1.000}{P_i \cdot P_j}$$

donde  $F_{ij}$  representa el flujo de  $i$  a  $j$ ;  
 $P_i$  la población de  $i$  y  $P_j$  la de  $j$ ; y,  
 $F'_{ij}$  el flujo ponderado de  $i$  a  $j$ .

De esta forma se obtuvieron nuevas matrices origen-destino, cuyos elementos son datos ponderados, con la ventaja de que, al no haberse incluido en la transformación de los datos las distancias entre los centroides de los distritos (en analogía al modelo gravitatorio), no se pierden las relaciones de vecindad. Estas cuatro nuevas matrices (ya que son cuatro los motivos de viaje considerados) constituyen la base del análisis realizado posteriormente.

<sup>4</sup> Sobre el tema de los factores de expansión puede consultarse la obra de Lane (1973).

## 3.2. El área de estudio

La ciudad se caracteriza por unos desequilibrios funcionales muy acusados (tabla 2). Los distritos centrales y el número 9 son los que cuentan con una mejor infraestructura funcional (oportunidades) y, por tanto, con un mayor poder de atracción: allí se encuentran el 73,8% de los empleos de la ciudad, el 46,4% de los puestos escolares y el 75% de los empleos en comercio minorista, mientras que su población sólo representa el 34% de la población total de la ciudad. En especial cabe destacar al distrito 1 por su gran concentración de empleos (especialmente terciarios) y de comercios, y al distrito 9 por su gran oferta de

TABLA 2  
ALGUNAS CARACTERISTICAS SOCIOECONOMICAS DE LOS DISTRITOS DEL MUNICIPIO DE MADRID

	Población 1981	Empleos 1978	Puestos escolares (incluida Univer- sidad) 1974	Empleos comercio minorista 1978
1. Centro .....	162.444	179.025	47.068	26.381
2. Arganzuela .....	119.886	47.685	18.518	7.229
3. Retiro .....	125.527	52.566	26.393	7.049
4. Salamanca .....	178.915	103.732	34.800	19.077
5. Chamartín .....	147.012	92.473	54.755	11.291
6. Tetuán .....	164.408	61.352	21.426	10.379
7. Chamberí .....	180.669	85.849	39.635	15.605
Total distrito centro .....	1.078.861	622.682	242.595	97.011
8. Fuencarral .....	168.731	29.891	40.137	3.089
9. Moncloa .....	108.257	70.665	106.656	4.558
10. Latina .....	290.320	21.537	51.861	3.302
11. Carabanchel .....	255.608	27.331	59.387	5.329
12. Villaverde .....	195.798	57.728	43.253	3.677
13. Mediodía .....	169.932	12.155	34.503	1.254
14. Vallecas .....	189.853	10.661	42.760	3.044
15. Moratalaz .....	146.281	5.763	20.148	1.173
16. Ciudad Lineal .....	233.057	41.359	52.683	6.963
17. San Blas .....	137.294	23.303	32.947	3.037
18. Hortaleza .....	168.387	16.406	25.556	2.812
Total distrito periférico .....	2.063.518	316.799	509.891	38.238
Total municipio de Madrid .....	3.142.379	939.481	752.486	135.249

FUENTE: Instituto Nacional de Estadística y COPLACO.

plazas escolares (al estar localizada allí la Universidad Complutense, que concentra la mayor parte de las plazas escolares universitarias de la ciudad).

Los distritos periféricos, por su parte, suelen tener una infraestructura funcional deficiente, con la excepción del distrito 9 y, en menor medida, del 16. Estos desequilibrios funcionales, junto con el carácter radial de la red de transporte, son los responsables de que los desplazamientos tomen una orientación marcadamente centrípeta.

Diariamente se producen en el interior de la ciudad de Madrid unos 4.440.000 viajes (viajes de ida), el 25,9% de los cuales se dirigen al trabajo, un 34,5% a la escuela y un 18,5% a compras. Más de la mitad de estos desplazamientos son de corta distancia, teniendo su origen y destino en el mismo distrito. Los desplazamientos más largos son los que se dirigen al trabajo, mientras que los que se dirigen a la escuela y, sobre todo, a compras son mucho más cortos.

### 3.3. Resultados empíricos

Tras efectuar el análisis simple de ligazones con los datos (transformados según se expresó en el apartado 3.1) correspondientes a *todos los desplazamientos* que tienen su origen y destino en el interior de la ciudad de Madrid, se obtuvo una estructura en la que destacan dos centros principales: los distritos 1 y 9 (fig. 5). Estos son efectivamente los nodos que más poder de atracción tienen, con unos valores de 13,71 y 11,99, respectivamente (tabla 3). El distrito 1 es, por lo tanto, el nodo central de la red.

El distrito 9 atrae a todos los nodos de la mitad norte de la ciudad (así como también al número 10), mientras que la influencia del distrito 1 se extiende sobre la mitad sur. Es importante destacar que en la mitad norte aparecen ligazones en cascada; en cambio, en el sur de la ciudad se observa un mayor grado de polarización, quedando el distrito 1 unido directamente con casi todos los demás nodos. Este hecho, que veremos que se repite en análisis posteriores, obedece en parte a la desigual distribución de la infraestructura funcional (oportunidades) en los distintos distritos.

Los distritos periféricos (excepto el 9) son los que tienen una peor infraestructura funcional, por lo que emiten unos flujos claramente centrípetos. Los distritos con una mejor infraestructura funcional son sin duda el 9 y, sobre todo, el 1, lo que explica su gran poder de atracción. En la zona sur, el distrito 1 sólo podría encontrar la competencia de los distritos 2 y 3, pero éstos tienen una infraestructura funcional deficiente, lo que facilita que las unidades periféricas conecten directamente con el distrito 1. En cambio, los distritos centrales de la zona norte y este no tienen una infraestructura funcional tan buena como el

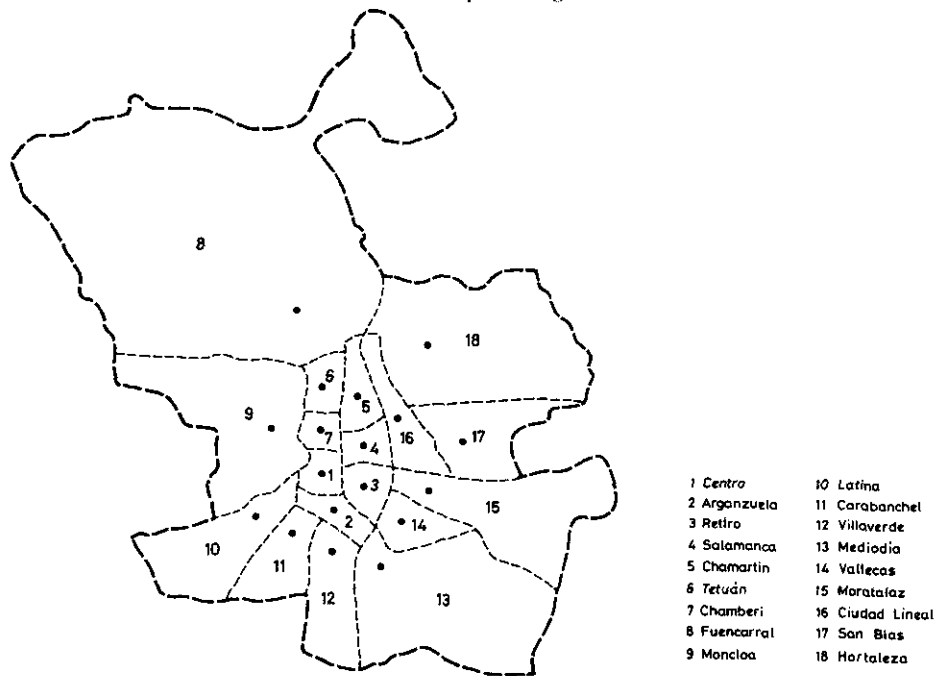


FIG 4.—Distritos del municipio de Madrid.

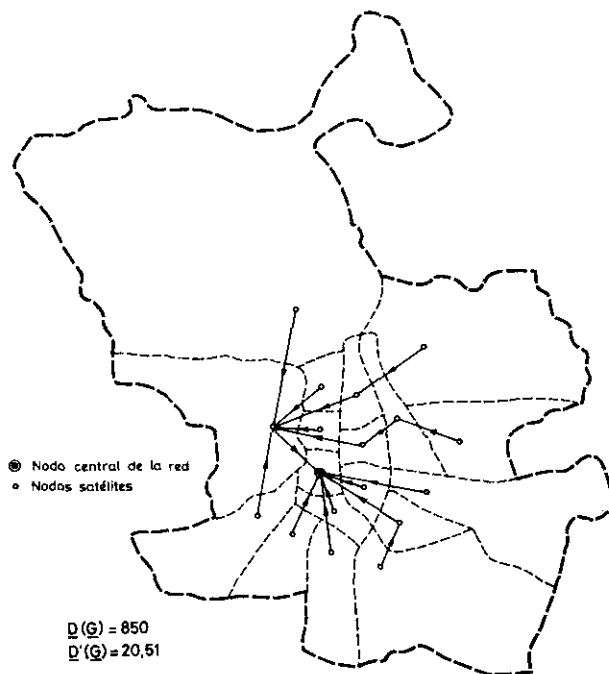


FIG 5.—Análisis simple de ligazones: todos los viajes.

1 y el 9 ni tan deficiente como el 2 y el 3. Este hecho, junto a la propia situación excéntrica del distrito 9 y la localización hacia el sur del distrito 1, favorece la formación de ligazones en cascada en la zona norte de la ciudad.

El índice de dispersión obtenido es de 850, bastante por encima del valor mínimo posible, que, en este caso ( $n - 18$ ), es igual a 578 (fig. 9a). En efecto, se puede comprobar cómo la estructura resultante difiere sustancialmente de la correspondiente a la máxima concentración posible, en la que todos los nodos estarían directamente ligados a un nodo central. En este caso no sólo aparecen dos centros principales, sino que además se constituyen varios ligazones en cascada. Sin embargo, existe un grado de polarización apreciable, como lo muestra el bajo valor del índice de dispersión relativa obtenido (20,51).

El grafo correspondiente a los *desplazamientos al trabajo* presenta un centro de atracción claramente destacado sobre los demás: el distrito 1, en el que existe una gran concentración de empleos, especialmente terciarios (fig. 6). El poder de atracción de este distrito supera ampliamente a los demás (5,91 frente a los 3,76 del segundo distrito en poder de atracción) (tabla 3). En toda la zona sur de la ciudad los distintos nodos conectan directamente con el nodo central de la red, mientras que en la zona norte son frecuentes los ligazones en cascada. Este hecho obedece a que los distritos centrales del norte están relativamente bien dotados de puestos de trabajo, mientras que en la mitad sur de la ciudad el desequilibrio es mucho mayor: el distrito 1 concentra numerosos puestos de trabajo, pero el resto de los distritos de esta zona presentan una oferta escasa (ver tabla 2).

En estas circunstancias es lógico que se alcancen unos índices de dispersión (724) y de dispersión relativa (11,01) muy bajos, debido al efecto polarizador del distrito 1 (fig. 9b). Estos valores se encuentran claramente por debajo de los obtenidos para los otros motivos analizados.

La estructura de los *viajes que tienen como motivo la enseñanza*, incluida la universitaria, muestra al distrito 9 como principal centro de atracción (fig. 7). Ese gran poder de atracción se debe a la presencia de la Universidad Complutense en ese distrito, concentrando la mayor parte de los puestos escolares universitarios de la ciudad. Así, mientras que los viajes que se producen hacia centros de otros niveles escolares son relativamente cortos y no suelen traspasar las barreras de los distritos o, en todo caso, sólo suelen llegar a los distritos vecinos, los que se dirigen hacia centros universitarios son necesariamente más largos, hasta alcanzar los lugares donde éstos se concentran.

En este grafo son menos frecuentes las conexiones directas con el nodo central de la red, apareciendo con más relevancia los ligazones en cascada. Esto ocurre a pesar del elevadísimo valor de atracción del distrito 9 (6,24), muy por encima del nodo de rango 2 (el distrito 1, con

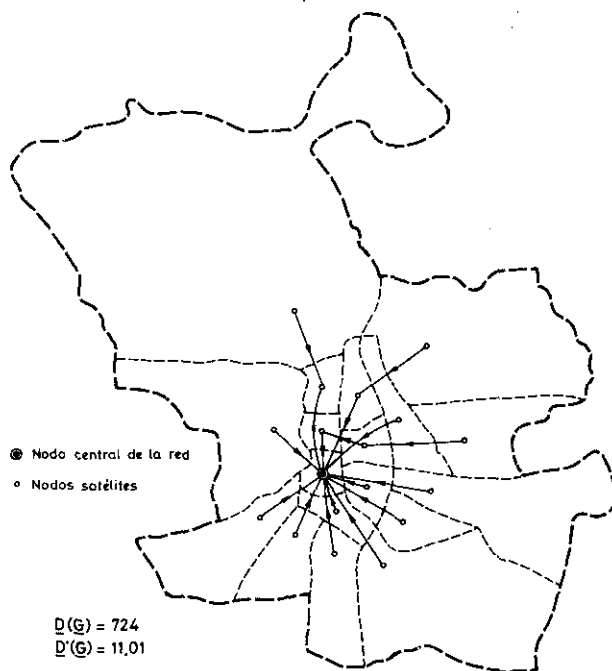


FIG 6.—Análisis simple de ligazones: viajes al trabajo.

2,50) (tabla 3). La explicación a este hecho hay que buscarla en la posición periférica del distrito 9, que evidentemente favorece la formación de ligazones en cascada, orientados hacia el oeste.

Por todo ello, y pese a que sólo existe un centro principal por su poder de atracción, los índices de dispersión (864) y de dispersión relativa (21,56) son los más altos de los motivos analizados (fig. 9c).

En los *viajes a compras* nuevamente destaca el gran poder de atracción del distrito 1, con un valor de 2,16, muy por encima de los correspondientes a los distritos de rango 2 (0,70) y 3 (0,64). La mayor parte de los viajes a compras son muy cortos y se suelen realizar en el interior del distrito correspondiente o en los distritos vecinos. Únicamente las compras de bienes de uso poco frecuente, más especializados, se llevan a cabo en los distritos más comerciales de la ciudad, especialmente en los citados anteriormente. De ahí que la matriz de flujos correspondiente a este motivo ofrezca muchos ceros.

El grafo resultante (fig. 8) refleja perfectamente el papel fundamental que desempeña el distrito 1, que tiene conexiones directas con casi todos los nodos de la zona sur, mientras que en la mitad norte de la ciudad nuevamente aparecen ligazones en cascada, con una componente claramente centrípeta. Los índices de dispersión (850) y de dispersión relativa (20,51) son ligeramente más bajos que los obtenidos para

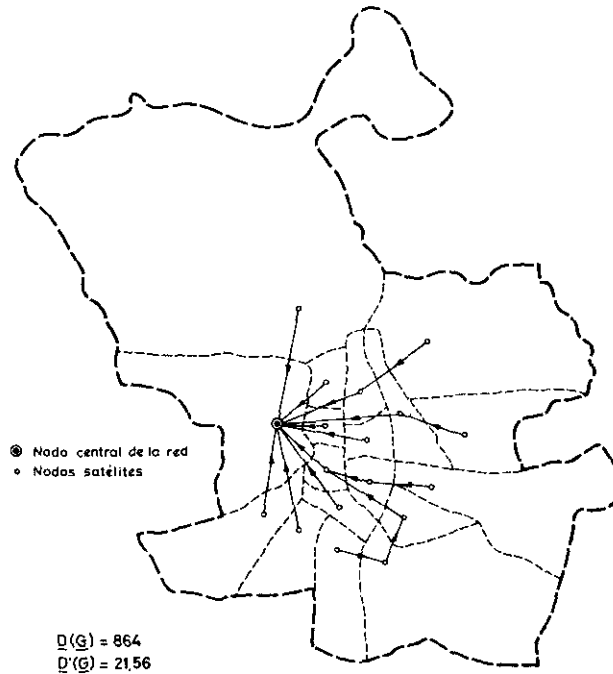


FIG 7.—Análisis simple de ligazones: viajes a la escuela.

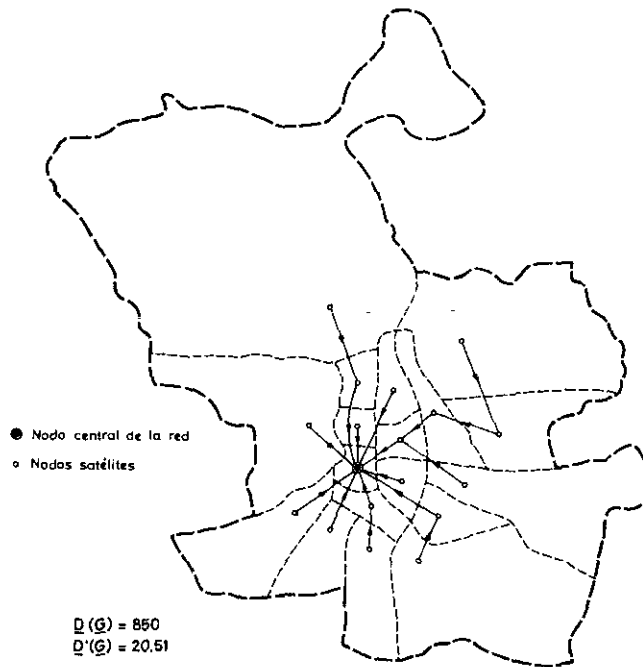


FIG 8.—Análisis simple de ligazones: viajes a compras.



los viajes a la escuela y mucho más altos que los correspondientes a los viajes al trabajo (fig. 9d).

TABLA 3  
FLUJOS ATRAIDOS (DATOS PONDERADOS) POR LOS DISTINTOS DISTRITOS  
SEGUN MOTIVOS

Motivos:	Todos los viajes	Viajes al trabajo	Viajes escolares	Viajes a compras
Districtos:				
1	13,71	5,91	2,50	2,16
2	3,06	1,54	0,58	0,31
3	3,66	1,96	0,55	0,03
4	6,98	3,76	0,92	0,70
5	5,54	2,81	1,40	0,24
6	4,48	2,31	0,49	0,64
7	6,52	2,74	1,60	0,32
8	2,31	0,77	0,92	0,01
9	11,99	2,92	6,24	0,27
10	0,69	0,24	0,14	0,02
11	1,16	0,50	0,31	0,04
12	1,54	0,87	0,32	0,02
13	1,22	0,36	0,35	0,06
14	1,70	0,32	0,45	0,51
15	0,96	0,36	0,23	0,01
16	2,19	1,03	0,48	0,18
17	1,50	0,55	0,39	0,21
18	1,58	0,89	0,47	0,02

FUENTE: Elaboración propia a partir de los datos de COPLACO (1982).

## CONCLUSIONES

El análisis simple de ligazones parece presentar dos ventajas claras sobre el método original de Nystuen y Dacey:

1. La mayor expresividad de los digrafos que presenta.
2. La posibilidad de medir el grado de concentración/dispersión de los flujos principales a través del conocido índice de dispersión del grafo  $D(G)$  y del aquí propuesto índice de dispersión relativa del grafo  $D'(G)$ . Debe quedar claro que estos índices sólo miden la dispersión de la estructura que presentan los flujos principales (ligazones) y no la de todos los flujos de la red —para lo que existen otros métodos, como el análisis de regresión lineal (Taylor, 1975) o el análisis de la centralidad estructural de la red (McKenzie, 1966)—.

**a. ALL THE TRIPS**

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	SHORTEST INDEX
1	0	1	1	2	2	2	2	2	1	2	1	1	2	1	1	3	4	3	31
2	1	0	2	3	3	3	3	3	2	3	2	2	3	2	2	4	5	4	47
3	1	2	0	3	3	3	3	3	2	3	2	2	3	2	2	4	5	4	47
4	2	3	3	0	2	2	2	2	1	2	3	3	4	3	3	1	2	3	41
5	2	3	3	2	0	2	2	2	1	2	3	3	4	3	3	3	4	1	43
6	2	3	3	2	2	0	2	2	1	2	3	3	4	3	3	3	4	3	45
7	2	3	3	2	2	2	0	2	1	2	3	3	4	3	3	3	4	3	45
8	2	3	3	2	2	2	2	0	1	2	3	3	4	3	3	3	4	3	45
9	1	2	2	1	1	1	1	1	0	1	2	2	3	2	2	2	3	2	29
10	2	3	3	2	2	2	2	2	1	0	3	3	4	3	3	3	4	3	45
11	1	2	2	3	3	3	3	3	2	3	0	2	3	2	2	4	5	4	47
12	1	2	2	3	3	3	3	3	2	3	2	0	3	2	2	4	5	4	47
13	2	3	3	4	4	4	4	4	3	4	3	3	0	1	3	5	6	5	61
14	1	2	2	3	3	3	3	3	2	3	2	2	1	0	2	4	5	4	45
15	1	2	2	3	3	3	3	3	2	3	2	2	3	2	0	4	5	4	47
16	3	4	4	1	3	3	3	3	2	3	4	4	5	4	4	0	1	4	55
17	4	5	5	2	4	4	4	4	3	4	5	5	6	5	5	1	0	5	71
18	3	4	4	3	1	3	3	3	2	3	4	4	5	4	4	4	5	0	59

DISPERSION INDEX = 650

**b. TRIPS TO WORK**

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	SHORTEST INDEX
1	0	1	1	2	1	1	1	2	1	1	1	1	1	1	1	1	3	2	22
2	1	0	2	3	2	2	2	3	2	2	2	2	2	2	2	2	4	3	36
3	1	2	0	3	2	2	2	3	2	2	2	2	2	2	2	2	4	3	36
4	2	3	3	0	3	3	1	4	3	3	3	3	3	3	3	3	1	4	48
5	1	2	2	3	0	2	2	3	2	2	2	2	2	2	2	2	4	1	36
6	1	2	2	3	2	0	2	1	2	2	2	2	2	2	2	2	4	3	36
7	1	2	2	1	2	2	0	3	2	2	2	2	2	2	2	2	2	3	34
8	2	3	3	4	3	1	3	0	3	3	3	3	3	3	3	3	5	4	52
9	1	2	2	3	2	2	2	3	0	2	2	2	2	2	2	2	4	3	36
10	1	2	2	3	2	2	2	3	2	0	2	2	2	2	2	2	4	3	36
11	1	2	2	3	2	2	2	3	2	2	0	2	2	2	2	2	4	3	36
12	1	2	2	3	2	2	2	3	2	2	2	0	2	2	2	2	4	3	36
13	1	2	2	3	2	2	2	3	2	2	2	2	0	2	2	2	4	3	36
14	1	2	2	3	2	2	2	3	2	2	2	2	2	0	2	2	4	3	36
15	1	2	2	3	2	2	2	3	2	2	2	2	2	2	0	2	4	3	36
16	1	2	2	3	2	2	2	3	2	2	2	2	2	2	0	4	3	36	
17	3	4	4	1	4	4	2	5	4	4	4	4	4	4	4	0	5	64	
18	2	3	3	4	1	3	3	4	3	3	3	3	3	3	3	5	0	52	

DISPERSION INDEX = 724

FIG 9.—Shortest path matrices de las estructuras derivadas del análisis simple de ligazones.

d. TRIPS TO SHOPS

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	SHUTTEL INDEX
1	0	1	1	1	1	1	1	2	1	1	1	2	2	1	2	2	3	4	27
2	1	0	2	2	2	2	2	3	2	2	2	1	3	2	3	3	4	5	41
3	1	2	0	2	2	2	2	3	2	2	2	3	3	2	3	3	4	5	43
4	1	2	2	0	2	2	2	3	2	2	2	3	3	2	1	1	2	3	35
5	1	2	2	2	0	2	2	3	2	2	2	3	3	2	3	3	4	5	43
6	1	2	2	2	2	0	2	1	2	2	2	3	3	2	3	3	4	5	41
7	1	2	2	2	2	2	0	3	2	2	2	3	3	2	3	3	4	5	43
8	2	3	3	3	3	1	3	0	3	3	3	4	4	3	4	4	5	6	57
9	1	2	2	2	2	2	2	3	0	2	2	3	3	2	3	3	4	5	43
10	1	2	2	2	2	2	2	3	2	0	2	3	3	2	3	3	4	5	43
11	1	2	2	2	2	2	2	3	2	2	0	3	3	2	3	3	4	5	43
12	2	1	3	3	3	3	3	4	3	3	3	0	4	3	4	4	5	6	57
13	2	3	3	3	3	3	3	4	3	3	3	4	0	1	4	4	5	6	57
14	1	2	2	2	2	2	2	3	2	2	2	3	1	0	3	3	4	5	41
15	2	3	3	1	3	3	3	4	3	3	3	4	4	3	0	2	3	4	51
16	2	3	3	1	3	3	3	4	3	3	3	4	4	3	2	0	1	2	47
17	3	4	4	2	4	4	4	5	4	4	4	5	5	4	3	1	0	1	61
18	4	5	5	3	5	5	5	6	5	5	5	6	6	5	4	2	1	0	77

DISPERSION INDEX - 850

c. TRIPS TO SCHOOLS

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	SHUTTEL INDEX
1	0	2	1	2	2	2	2	2	1	2	2	3	2	1	2	2	3	3	34
2	2	0	3	2	2	2	2	2	1	2	2	5	4	3	4	2	3	3	44
3	1	3	0	3	3	3	3	3	2	3	3	4	3	2	1	3	4	4	48
4	2	2	3	0	2	2	2	2	1	2	2	5	4	3	4	2	3	3	44
5	2	2	3	2	0	2	2	2	1	2	2	5	4	3	4	2	3	1	42
6	2	2	3	2	2	0	2	2	1	2	2	5	4	3	4	2	3	3	44
7	2	2	3	2	2	2	0	2	1	2	2	5	4	3	4	2	3	3	44
8	2	2	3	2	2	2	2	0	1	2	2	5	4	3	4	2	3	3	44
9	1	1	2	1	1	1	1	1	0	1	1	4	3	2	3	1	2	2	28
10	2	2	3	2	2	2	2	2	1	0	2	5	4	3	4	2	3	3	44
11	2	2	3	2	2	2	2	2	1	2	0	5	4	3	4	2	3	3	44
12	3	5	4	5	5	5	5	5	4	5	5	0	1	2	5	5	6	6	76
13	2	4	3	4	4	4	4	4	3	4	4	1	0	1	4	4	5	5	60
14	1	3	2	3	3	3	3	3	2	3	3	2	1	0	3	3	4	4	48
15	2	4	1	4	4	4	4	4	3	4	4	5	4	3	0	4	5	5	64
16	2	2	3	2	2	2	2	2	1	2	2	5	4	3	4	0	1	3	42
17	3	3	4	3	3	3	3	3	2	3	3	6	5	4	5	1	0	4	58
18	3	3	4	3	1	3	3	3	2	3	3	6	5	4	5	3	4	0	58

DISPERSION INDEX - 684

La metodología que aquí se ha utilizado presenta las limitaciones propias en este tipo de trabajos a la hora de interpretar los resultados obtenidos. Es evidente que la configuración espacial de los flujos en una determinada zona de estudio depende de la propia distribución espacial de las unidades de análisis y del número de éstas. Por lo que a la distribución espacial de las unidades de análisis se refiere, la propia forma del espacio urbano a estudiar puede influir en la configuración de los flujos. No es lo mismo una ciudad alargada, que favorece la formación de ligazones en cascada, que otra compacta. Pero, además, la elección inicial de un número mayor o menor de unidades también puede influir sobre los resultados finales. Si el número de unidades es muy grande, es mucho más fácil que el efecto de sombra de unas unidades sobre otras se deje notar, lo que favorecería la formación de ligazones en cascada y no de ligazones directos entre los nodos más lejanos y los más centrales.

Por todo ello, resulta evidente que se debe tener mucho cuidado en la comparación de los resultados obtenidos en este tipo de trabajos. No es válido comparar directamente los valores correspondientes a dos ciudades distintas ni tampoco los correspondientes a una misma ciudad en el caso de que se hayan modificado las unidades de análisis. Fuera de estas limitaciones, pensamos que la metodología utilizada en este trabajo sí resulta muy útil para realizar estudios evolutivos sobre la configuración de los flujos y para comparar las estructuras correspondientes a tipos de flujos distintos en un mismo espacio urbano. En ambos casos debe quedar claro que no se deben introducir variaciones en las unidades de análisis consideradas.

Noviembre, 1984.

#### BIBLIOGRAFIA

- CASSASAS, L. y otros (1980): *La organización territorial y administrativa de Barcelona*. Barcelona, Ayuntamiento de Barcelona.
- COPLACO (1980): *Informe sobre ordenación del territorio en el área metropolitana de Madrid*. Madrid, COPLACO.
- COPLACO (1982): *Matrices de viaje. Encuesta domiciliaria 1981*. Madrid, COPLACO.
- CHAPMAN, K. (1979): *People, patterns and process*. Londres, Edward Arnold.
- DIETVORST, A. G. L. y WEVER, E. (1977): «Changes in the pattern of information exchange in the Netherlands 1967-1974». *Tijdschrift voor Economische en Sociale Geografie*, 68, pp. 72-82.
- ESTÉBANEZ, J. y BRADSHAW, R. P. (1979): *Técnicas de cuantificación en Geografía*. Madrid, Tebar Flores.

- GUTIÉRREZ PUEBLA, J. (1983): *Aplicación de técnicas de ordenación del territorio al área metropolitana de Madrid: el análisis del comportamiento espacial de la población*. Madrid, Editorial de la Universidad Complutense.
- HAGGETT, P.; CLIFF, A. D. y FREY, A. (1977): *Locational methods*. Londres, Edward Arnold.
- HOLMES, J. H. y HAGGETT, P. (1975): «Graph theory interpretation of flow matrices: a note on maximization procedures for identifying significant links». University of Queensland, mimeografiado. Citado por Haggett, Cliff y Frey (1977).
- JAMES, G.; CLIFF, A. D.; HAGGETT, P. y ORD, J. K. (1970): «Some discrete distributions for graphs with applications to regional transport networks». *Geografiska Annaler, B*, 52, pp. 14-21.
- KANSKY, K. J. (1963): «Structure of transport networks: relationships between network geometry and regional characteristics». *University of Chicago, Department of Geography, Research Papers*, 84.
- LANE, R. (1973): *Planificación analítica del transporte*. Madrid, IEAL.
- McKENZIE, K. D. (1966): «Structural centrality of communications networks». *Psychometrika*, 31/1, pp. 17-25.
- MORENO JIMÉNEZ, A. (1980): «Jerarquía de núcleos y áreas funcionales: análisis con redes de flujos». *Estudios Geográficos*, 161, pp. 413-445.
- NYSTUEN, J. D. y DACEY, M. F. (1961): «A graph theory interpretation of nodal regions». *Papers of the Regional Science Association*, 7, pp. 29-42.
- OGUNSANYA, A. A. (1982): «Spatial patterns of urban freight transport in Lagos Metropolis». *Transportation Research, A*, 16, pp. 289-300.
- POTRYKOWSKI, M. y TAYLOR, Z. (1984): *Geografía del transporte*. Barcelona, Ariel.
- SANTOS PRECIADO, J. M. (1982): «Integración e interrelación de los distritos y municipios del área metropolitana madrileña». *Anales de Geografía de la Universidad Complutense*, 2, pp. 239-259.
- TAYLOR, P. J. (1975): *Distance decay in spatial interactions*. Norwich Geo Abstract (CATMOG, n.º 2).
- TINKLER, K. J. (1977): *An introduction to graph theoretical methods in Geography*. Norwich, Geo Abstract (CATMOG, n.º 14).

## RESUMEN

En este artículo se propone una variante del análisis primario de ligazones de Nystuen y Dacey, a la que se ha denominado análisis simple de ligazones. Esta variante destaca más los aspectos relativos a la configuración espacial de los flujos y, al desembocar siempre en un único agrupamiento, permite la aplicación de los índices de dispersión  $D(G)$  y  $D'(G)$ . Se utiliza el ejemplo de los movimientos diarios de personas según motivos en el interior del municipio de Madrid para ilustrar el método.

## ABSTRACT

Simple linkage analysis is a variant set forward here of Nystuen and Dacey's method (primary linkage analysis). This variant stresses aspects related to the

flow patterns. By constantly leading into one single cluster, this type of analysis allows for the application of the dispersion indices  $D(G)$  and  $D'(G)$ . To illustrate this variant we resort to the example of people's daily movements according to the purposes of same within the inner-city of Madrid.

### RÉSUMÉ

Avec cet article, nous proposons une variation de l'analyse primaire de liaisons. Avec cette variation, nous soulignons les aspects relatifs à la configuration spatiale des flux et en aboutissant toujours en un groupement unique, cela nous permet l'application des indices de dispersion  $D(G)$  et  $D'(G)$ . Nous utilisons l'exemple des mouvements quotidiens de personnes selon les motifs dans le ville de Madrid, pour illustrer cette méthode.