

4. Las redes:

Graficación, estructura y funcionalidad

La sociedad se ha estructurado con base en un sinnúmero de elementos y relaciones que en la actualidad complejizan la distribución y funcionamiento de ésta. Tales relaciones, ya sean de carácter comercial, de transportes, de servicios, de comunicaciones, sugieren una estructura específica en relación con la utilización del espacio definiendo flujos particulares, algunos de los cuales responden a elementos tangibles (vías) y otros a elementos intangibles (flujos bancarios) que muestran grados diversos de conexión, accesibilidad y movilidad.

El análisis en relación con estos aspectos debe tener en cuenta que el espacio no puede ser definido en términos absolutos, puesto que las distancias reales le dan paso a las relaciones. Por esta razón algunas ciudades se encuentran relativamente más cerca a puntos extremos del planeta que a puntos de su entorno inmediato, ya que con los primeros existe una relación más estrecha de tipo comercial o de comunicaciones.

En geografía, este tipo de relaciones se estudia bajo el concepto de *red*. Según Bosque (1992), una red es “un sistema interconectado de elementos lineales, que forman una estructura espacial por la que pueden pasar flujos de algún tipo: personas, mercancías, energía, información”. Esta definición no sólo hace referencia a la parte material de la red, que podría relacionarse directamente con la infraestructura de transportes, el sistema de acueducto y alcantarillado, el cableado, etc., y los puntos de destino y origen de los mismos. De ella se puede inferir, el aspecto funcional de una red, que siendo estrictamente artificial, no puede existir sin la dinámica que le imprime la sociedad a partir de las relaciones políticas, informacionales, económicas y culturales que operan sobre ella; como afirma Santos (2000) “la red también es social y política, por las personas, mensajes, valores que las frecuentan. Sin esto, y a despecho de la materialidad con que se imponen nuestros sentidos, la red es, en verdad, una mera abstracción”.

El análisis de las redes implica lógicamente su “abstracción”, sin embargo ésta no se ciñe únicamente a lo material sino que hace evidentes ciertas relaciones, mostrando su configuración tanto estructural como funcional.

El análisis de las redes se constituye entonces en una herramienta para entender algunos conceptos de síntesis, tales como *el territorio*. López y Del Pozo (1999) definen el territorio como “una porción de espacio delimitado, perteneciente a una entidad nacional, regional, provincial, municipal, producto resultante a partir de las redes, circuitos y flujos proyectados por los grupos sociales”. En este sentido, la red es un elemento importante en la construcción territorial que según Oftner (1996) se manifiesta en el ensamblaje de relaciones o círculos de poder, que son elementos consubstanciales a toda relación. Es indispensable, según este



mismo autor, saber descifrar la complejidad de esa trama que las relaciones de poder tejen durante toda la producción social que se vuelve real en la relación de espacios y tiempos. El análisis de redes permite identificar precisamente algunos elementos que hacen parte de la complejidad del territorio para descifrar varias de sus transformaciones, bajo una visión multitemporal. No obstante, los datos arrojados por los diferentes procesos analíticos contribuyen a dar explicaciones de aspectos específicos de la red, mas no explican en su totalidad la complejidad del territorio.

En términos gráficos la red está constituida por un conjunto de puntos (nodos, vértices) y líneas (arcos, aristas) conectados entre sí. En el análisis espacial de acuerdo con Seguí (1995) “los nodos o vértices de la red pueden venir constituidos por los puntos de origen y destino de los intercambios (ciudades, puertos, aeropuertos o centros de zona -denominados centroides, si trabajamos a una escala urbana, a los que se les atribuyen las características del área que representan). Los arcos o aristas se identifican con las rutas, tanto si tienen estructura física de soporte (rutas terrestres) como si no cuentan con ella (rutas marítimas, aéreas o referidas a teleflujos), o con los flujos (pasajeros, mercancías, flujos telemáticos...) que por ellas circulan cuando se trata de redes valorizadas”.

Al tratar de identificar los componentes básicos de una red (puntos y líneas) a partir de determinada relación, se pueden establecer redes a diferente escala: local, regional y mundial.

La naturaleza también presenta redes con estructura y funcionalidad específica, como en el caso de las redes hídricas. Los nodos o vértices, están constituidos por los puntos de nacimiento, conexión con otras corrientes y desembocadura; y los arcos y aristas están conformados por las diferentes corrientes de agua. Unos y otros no son constantes en el tiempo y el espacio porque funcionan de acuerdo a una dinámica natural en la que intervienen varios factores.

No todos los nodos, ni todos los arcos tienen la misma funcionalidad dentro de una red. Algunos nodos adquieren mayor importancia por reunir una buena cantidad de funciones, lo que hace que se conviertan en centros de atracción o de paso obligado para acceder a otros centros o servicios. De otra parte, algunos arcos son de mayor acceso o adquieren más importancia de acuerdo a la cantidad de flujos que por ellos circulan. Se habla entonces, de *jerarquía de una red*, es decir, del orden que toman cada uno de sus elementos y funciones.

Cabe agregar que aunque la mayoría de las veces se habla de redes artificiales o creadas por el hombre, estas están directamente ligadas a la estructura física donde se desarrollan, lo que limita, en parte, la forma que estas adquieren. No obstante, existen en la actualidad, redes de comunicación que logran superar este tipo de inconvenientes y sugieren nuevas conexiones en la estructura general de las redes. Para Oftner (1996) la red de telecomunicaciones actual es un elemento básico en el establecimiento de relaciones, que pone en duda el término de distancia y le ofrece otras connotaciones al espacio, en tanto *el tiempo real o inmediato* actúa como un factor fundamental y de hecho como una nueva condición de todas las formas de especulación económica que emplean como herramienta éste instrumento. A diferencia de las redes de transporte, las redes de telecomunicaciones presentan cierta transparencia inmaterial en el espacio, obviándose las distancias geométricas en función de la instantaneidad. En este caso, el análisis de las distancias no resulta tan fundamental como las relaciones mismas y/o sus flujos.



4.1 El análisis espacial y las redes

“El análisis de redes se centra en el estudio de la distancia, la accesibilidad y la interacción espacial por medio del análisis y tratamiento de los flujos y de las jerarquizaciones territoriales que estos establecen, el planteamiento y simulación de modelos de demanda y la utilización, de forma analógica, de otros modelos procedentes de otras disciplinas”. (Seguí, 1995).

Es evidente que esta definición parte de un enfoque cuantitativo, sin embargo desde la Geografía de la Percepción, se han propuesto metodologías cualitativas que tienen en cuenta la imagen subjetiva en la representación de redes de las cuales los individuos hacen parte. La psicología, la sociología y la antropología hacen referencia a redes sociales en donde los nodos son los diferentes actores que intervienen en un fenómeno y los arcos son sus relaciones. Por lo general, estos tipos de análisis se proponen para una escala local.

En cuanto al análisis cuantitativo, Seguí (1995), propone una clasificación de técnicas en dos vías: la primera, dirigida al estudio estático de las redes, cuyo objetivo es medir el grado de conexión entre los distintos nodos de la red. Busca fundamentalmente identificar los componentes básicos de la red, describirlos y localizarlos. La segunda vía, comprende el estudio dinámico de las redes, lo que implica un análisis de la funcionalidad de la misma en términos de cohesión, accesibilidad y centralidad. Por su parte, Flórez y Chenut (1997) proponen identificar las propiedades gráficas de la red. Su metodología consiste en hacer una simplificación de la red que permita “al lector el reconocimiento de agrupaciones y estructuras, así como de las relaciones que encadenan una información”.

Según Lupien, Moreland y Dangermond (1987) citados por Bosque (1992), “el análisis de redes, permite plantear y resolver un amplio conjunto de problemas prácticos como son: la determinación de rutas óptimas para vehículos que deben moverse en una red de carreteras, la localización de servicios e instalaciones (por ejemplo urgencia médica) de modo eficaz en cuanto a costes de recorridos para su empleo por los usuarios, la delimitación de distritos y áreas de influencia, la asignación de caminos de distribución de un producto a los almacenes existentes, etc.”.

En el presente capítulo se hizo una clasificación de diferentes técnicas de análisis de redes tratando de conservar las tres vías anteriormente mencionadas: la gráfica, la estática y la dinámica.

4.1.1 Análisis gráfico de las redes

Este tipo de análisis aplica el concepto de *grafo*. “Un grafo no es más que un conjunto de puntos y un conjunto de relaciones entre pares de puntos” (Del Canto, et. al. 1993). Construir el grafo, tiene como objetivo simplificar la estructura real de las redes para hacer mucho más manejable su análisis.

En geografía la utilización del grafo en el análisis de redes, puede sacrificar la exactitud y las características particulares del terreno para darle paso a las relaciones difícilmente perceptibles al existir elementos distractores de la información. El grafo facilita la posterior aplicación de medidas que pueden dar razón de la verdadera estructura y funcionamiento de la red. No obstante, este no puede convertirse únicamente en un ejercicio previo, puesto que los datos obtenidos al aplicar algunas medidas, son susceptibles de representarse por medio de variables visuales para evidenciar mejor algunas magnitudes.



¿Cómo se convierte una red en grafo?

Procedimiento:

- 1 Se identifica la red real.
- 2 Se sobrepone a la base topográfica un calco y se pasan a éste los nodos.
- 3 Respetando la conexión real entre uno y otro nodo, se trazan líneas rectas para eliminar los ángulos.

La figura 4.1 corresponde a la red vial de la Sabana de Bogotá. Inicialmente fueron señalados los vértices o nodos correspondientes a cada una de las cabeceras municipales que la componen. Posteriormente y tratando de respetar la distribución real de la red, se unieron éstos vértices utilizando líneas rectas (ver figura 4.2). Es necesario tener presente que en el espacio real existen accidentes físicos tales como lagunas y relieve quebrado que son ignorados en el momento de trazar el grafo. Por ello es pertinente señalar que la conversión de la red al grafo puede alejarse mucho de la realidad, lo que hace conveniente conocer cuál es su grado de simplificación aplicando la Razón de sinuosidad, que permite a la vez clasificar el tipo de red en relación con su forma real.

¿Cómo se establece la razón de sinuosidad?

Procedimiento:

- 1 Se determina la longitud real de la red. Manualmente cada uno de los tramos de la red real, se pueden dividir en segmentos rectos y estos se suman para obtener una cifra aproximada.
- 2 Se determina la longitud del grafo, se miden las rectas y se suman. También en posible hacerlo de manera precisa utilizando el teorema de Pitágoras cuando se emplean coordenadas para ubicar los nodos (ver figura 4.3).
- 3 Se aplica la fórmula:

$$S = \frac{L_r}{L_g}$$

S	=	Razón de sinuosidad
L _r	=	Longitud real de la red
L _g	=	Longitud del grafo

Se busca establecer cuál es el índice de sinuosidad entre la red de la figura 4.1 y el grafo de la figura 4.2. Para ello, fueron tomadas las longitudes de cada una; en la primera se hizo con un curvímeter que arrojó un valor de 750 Km. La longitud del grafo, por su parte, se estableció tras una previa enumeración de los arcos.

El cuadro 4.1 muestra cada arco con su respectiva longitud; estos resultados fueron sumados, obteniéndose un total de 132,4 cm. que equivalen en una escala de 1:500.000 a 662 Km.

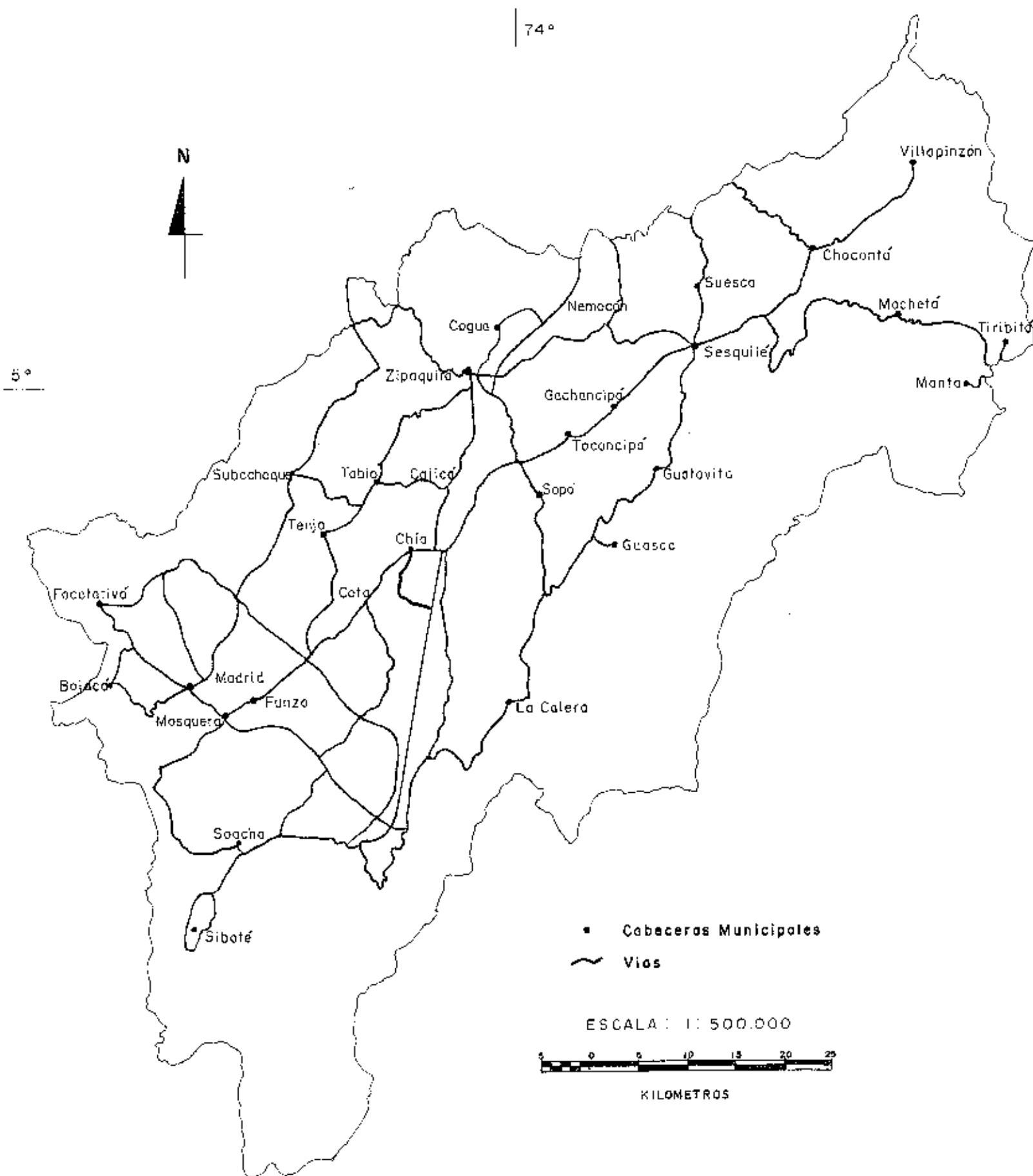


Fig. 4.1 Red vial de la Sabana de Bogotá

Fig. 4.2 Grafo red vial de la Sabana de Bogotá

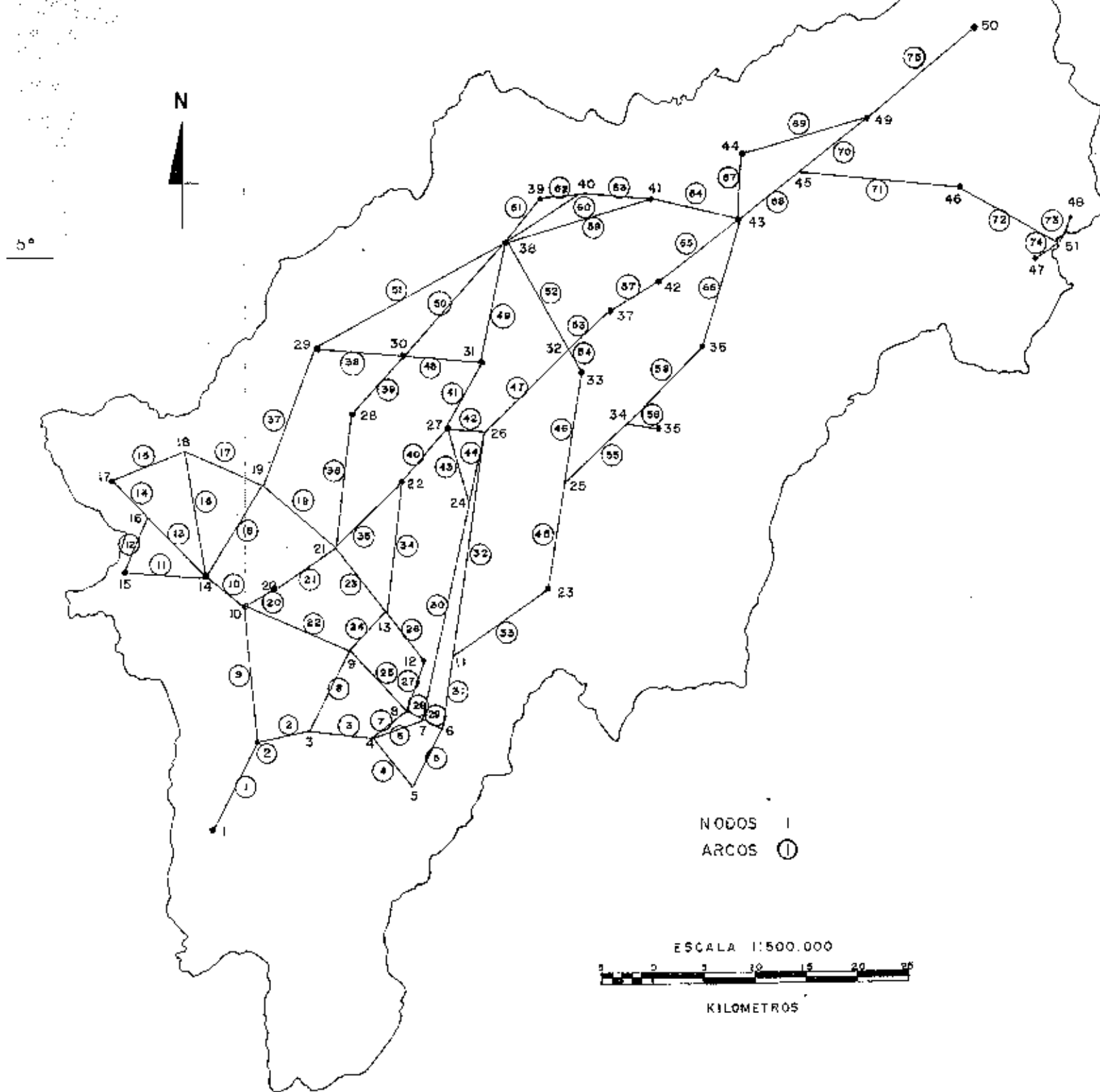


Fig. 4.2 Grafo red vial de la Sabana de Bogotá



Cuadro 4.1 Longitud de cada arco del grafo.

<i>Arco</i>	<i>Long</i>	<i>Arco</i>	<i>Long</i>	<i>Arco</i>	<i>Long</i>	<i>Arco</i>	<i>Long</i>	<i>Arco</i>	<i>Long</i>	<i>Arco</i>	<i>Long</i>
1	2.1	14	1.1	27	1.0	40	1.5	53	1.1	66	2.6
2	1.0	15	1.6	28	0.4	41	1.5	54	0.5	67	1.3
3	1.3	16	2.5	29	0.4	42	0.7	55	1.7	68	1.6
4	1.2	17	1.7	30	4.4	43	1.4	56	0.7	69	2.6
5	1.3	18	2.1	31	1.3	44	1.2	57	1.1	70	1.7
6	1.1	19	1.8	32	4.5	45	2.0	58	2.0	71	3.1
7	0.9	20	0.6	33	2.4	46	2.2	59	3.0	72	2.4
8	1.8	21	1.5	34	2.5	47	2.3	60	1.8	73	0.5
9	2.7	22	2.2	35	1.7	48	1.5	61	1.0	74	0.7
10	1.0	23	1.7	36	2.5	49	2.4	62	0.9	75	2.7
11	1.7	24	1.0	37	3.8	50	3.0	63	1.4	<i>Total</i>	132,4
12	1.2	25	1.6	38	1.8	51	4.2	64	1.7		
13	1.6	26	1.2	39	1.5	52	2.4	65	2.0		

Con los datos anteriores se aplica la fórmula así:

$$S = \frac{750 \text{ km.}}{662 \text{ km.}} \quad S = 1,1$$

De acuerdo a Bosque (1992), este índice nos puede indicar qué tipo de red es:

- Lineal, cuando S es igual a 1.
- Regular, cuando S se ubica entre 1 y 1,5
- Irregular, cuando S está entre 1,5 y 2
- Tortuosa, cuando S es mayor a 2

En nuestro ejemplo tenemos una red regular, puesto que el valor resultante se ubica en este rango y como no se aleja tanto de 1, indica que el nivel de simplificación tampoco se aparta demasiado de la realidad.

Recordemos que para obtener la distancia entre un nodo y otro es posible hacerlo utilizando el Teorema de Pitágoras con el que se procede de la siguiente manera: para establecer la distancia entre los puntos a y b, se traza un sistema de coordenadas x e y , y se establecen los valores de cada uno de los puntos. Con estos datos se aplica la fórmula como aparece en la figura 4.3.

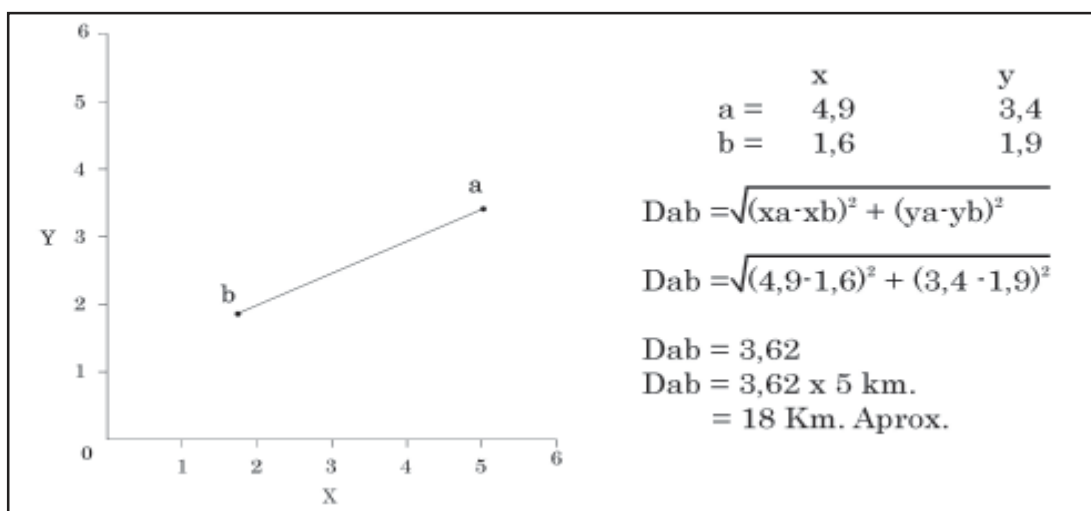


Fig. 4.3 Distancia a - b a partir del teorema de Pitágoras

Este procedimiento es aconsejable para redes que tengan pocos nodos, puesto que se aplica la misma fórmula entre uno y otro punto, para finalmente sumar todas las distancias, multiplicarlas por la escala y obtener una cifra aproximada.

4.1.2 Análisis estructural de la red

Corresponde al estudio estático de las redes, propuesto por Seguí (1995); su propósito fundamental consiste en identificar cuál es la estructura de la red a partir del reconocimiento y descripción de sus elementos básicos (puntos y líneas) y definir su grado de conexión con la aplicación de determinados índices.

4.1.2.1 Descripción de una red

¿Cómo se describe una red?

Procedimiento:

1. Se cuenta el número total de nodos y se define su tipología (capitales, cabeceras municipales, centros de acopio, centrales de servicios, sedes bancarias...) de acuerdo al problema y a la escala que se este trabajando. Se debe tener en cuenta que existen algunos nodos que corresponden a puntos de intersección entre aristas, pero no necesariamente a ciudades o cabeceras municipales.
2. Se cuenta el número total de arcos y se define su tipología (carreteras, flujos aéreos, corrientes hídricas, líneas telegráficas, líneas telefónicas, acueducto...) de acuerdo al problema y a la escala a trabajar. Recordemos que un arco es una línea recta que relaciona dos nodos, o dos puntos de intersección.
3. Se establece la longitud total de la red.
4. Se establece la longitud media, definida a partir de la longitud total del grafo dividida en la cantidad de arcos.
5. Se establece el área a la que pertenece la red y se describe cómo se ubica ésta en relación con el área.
6. Se determina la densidad de la red así:

$$D = \frac{\sum \text{longitudes}}{\text{Área total}}$$



Los elementos básicos a analizar en una red se identifican a partir del grafo y son los siguientes: nodos, arcos, longitud total, longitud media, área y densidad.

Según el nivel de resolución planteado, la red vial de la Sabana de Bogotá está constituida por un total de 51 nodos, 29 de los cuales corresponden a cabeceras municipales, y los 22 restantes constituyen cruces. Esta red se compone de 75 arcos rectos que tienen una longitud total de 662 Km.; sin embargo la longitud real es de 750 Km. La longitud media es de 8,82 Km. El área¹ total es de 4.250 km². Su red vial se extiende en sentido suroeste-noreste. La densidad de la red es de 0.1 Km./km², lo que significa que por cada Km² de la Sabana hay aproximadamente 800 metros de vías.²

4.1.2.2 Grado de conexión de una red:

El grado de conexión se fundamenta en el número de arcos y de nodos y en las relaciones que se establecen en función de éstas cantidades. Lo que significa que entre más nodos y arcos presente una red esta tendrá mayor conexión y favorecerá el flujo de ciertos elementos. De acuerdo con Seguí (1995) y Del Canto, et al (1993), el grado de conexión de una red se establece a partir de varios índices de los cuales los más usados son los siguientes: índice beta, índice gamma, número ciclomático e índice alfa.

¿Cómo se identifica el grado de conexión de una red?

Procedimiento:

⚡ Se obtiene el índice Beta $\beta = \frac{\text{N}^\circ \text{ de arcos}}{\text{N}^\circ \text{ de nodos}}$

Consiste en relacionar el número de arcos con el número de nodos, cuando éste índice es igual a 0 significa que no existen arcos, por lo tanto es una red nula. Cuando es igual a 1 significa que existe el mismo número de nodos y de arcos, y por lo tanto entre ellos se puede establecer un circuito. Entre más grande sea el número de arcos, significa que la red tiene una mayor conexión.

Se obtiene el índice gamma que consiste en relacionar el número de arcos existentes con el número máximo posible de los mismos, teniendo en cuenta el número real de nodos de la red.

$$\gamma = \frac{2a}{N(n-1)}$$

Al igual que en el índice anterior, la cercanía a 1, muestra una red "idealmente" más conectada.

¹ Recordemos que para determinar áreas sobre el mapa existen 6 métodos: plantilla de puntos, aproximando el área a un conjunto de figuras geométricas, utilizando un planímetro digital o mecánico, método analítico, por peso y por sistema digital.

² La densidad no siempre es una medida óptima puesto que distribuye el fenómeno a analizar, de manera homogénea sobre la superficie.



- ✚ También se puede obtener en porcentaje, así:

$$\gamma = (a/3(n-2)) \times 100$$

- ✚ Indica el porcentaje de arcos que debería introducirse en cada nodo para obtener una red mucho más integrada.

- ✚ Se establece el número ciclomático: Es el número de circuitos que tiene la red. Se les denomina circuitos a los tramos que comienzan y terminan en un mismo punto mostrando pequeñas estructuras cerradas al interior de la red. Se puede obtener a simple vista cuando la red no es tan compleja, teniendo en cuenta que no puede existir un circuito dentro de otro. También se puede calcular mediante la fórmula:

$$NC = (a - (n - 1))$$

- ✚ Se obtiene el índice alfa: consiste en relacionar el número de circuitos existentes y el número máximo posible para lograr una red completa o cerrada. Se obtiene así:

$$\alpha = \frac{NC}{2(n-5)}$$

Nótese que algunas de las fórmulas incluyen cifras precisas que han sido el producto de procesos de programación lineal.

Al aplicar las fórmulas a nuestro ejemplo tenemos que:

$$\text{Índice Beta (b)} = \frac{75}{51} = 1,4$$

$$\text{Índice Gamma (g)} = \frac{2(75)}{51(51-1)} = \frac{150}{2.500} = 0,06$$

$$\begin{aligned} \text{Índice Gamma (g) \%} &= (75/3(51-2)) \times 100 \\ &= (75/144) \times 100 \\ &= 75/147 \times 100 \\ &= 51\% \end{aligned}$$

$$\text{Número Ciclomático} = (75 - (51 - 1)) = 25 \text{ circuitos}$$

$$\begin{aligned} \text{Índice Alfa (a)} &= \frac{25}{2(51-5)} \\ &= \frac{25}{92} = 0,27 \end{aligned}$$

Cuadro 4.2. Índices que muestran el grado de conexión de la Sabana de Bogotá

Índice	Total
Índice Beta (b)	1,4
Índice Gamma (g)	0,06
Índice Gamma (%)	51,1%
Número Ciclomático (NC)	25
Índice Alfa (a)	0,27



El índice Beta (b) con un valor de 1,4 indica que es una red bien conectada, puesto que su número de aristas supera notoriamente el de nodos; visualmente esto se comprueba en tanto de la mayoría de los nodos se desprenden dos aristas, y en algunos casos hasta 5.

El índice gamma (g), equivalente a 0,06 indica que el número de aristas existentes es muy pequeño con relación a un número “ideal” de las mismas, en este caso 2.500. Este índice es confirmado por su aplicación en porcentaje, que indica que en cada nodo se podría introducir un 51% del total de aristas para obtener un grafo más completo.

El número de circuitos existentes en esta red es de 25, los cuales coinciden con un conteo sobre el grafo.

El índice alfa (a) igual a 0,27, indica que el actual número de circuitos de la red es muy bajo con relación al número “ideal” de circuitos que es de 92.

El análisis estructural de las redes permite hacer una descripción general de las mismas, en función de su grado de conectividad, cuyo objetivo es determinar la cantidad de conexiones de cada nodo para hacer óptimos sus flujos, economizar costos o simplemente acortar distancias. No obstante, hay que tener en cuenta que algunos índices permiten hacer un análisis “ideal”, bajo la suposición de un número mayor de nodos y aristas que probablemente no son aplicables a la realidad espacial tanto por sus condiciones físicas, requerimientos infraestructurales y sobre todo necesidades concretas y prácticas de establecer relaciones.

Cabe agregar que los índices hasta ahora trabajados son mucho más valiosos, cuando se trata de comparar dos redes y más aún cuando se analiza la evolución de una misma red, logrando identificar sus transformaciones. De igual forma es posible descubrir los cambios que podrían introducirse a una red añadiéndole nodos y aristas a manera de simulación.

Vale la pena recordar que el análisis estructural se basa en los nodos y aristas existentes y/o posibles pero no incluye otro tipo de variables que probablemente modificarían la forma de ver la red, como ocurre con el análisis dinámico.

4.1.3 Análisis dinámico de las redes

De acuerdo a Seguí (1995) y Del Canto et. al. (1993), el análisis dinámico de las redes consiste en el estudio funcional de la red, a partir de su cohesión, accesibilidad, centralidad, jerarquía y comportamiento de flujos.

4.1.3.1 Análisis de la Cohesión

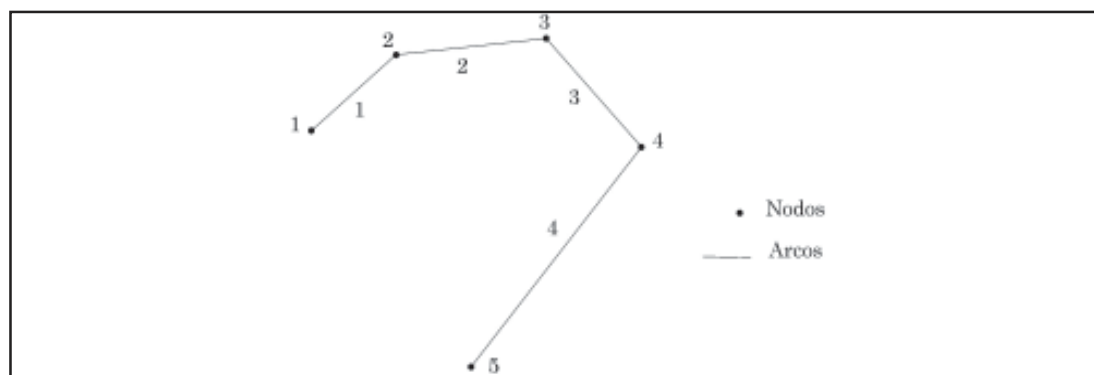


Fig. 4.4 Red hipotética



En la red hipotética de la figura 4.4, existen 4 relaciones directas representadas por aquellos nodos que están unidos por un arco, a esto lo llamamos conectividad. A pesar de que todos los nodos de la red, no están directamente unidos o conectados entre sí, puede afirmarse que si están cohesionados, por hacer parte de una misma red. En este sentido la cohesión se define a partir de la existencia de relaciones indirectas entre los nodos de la red. Este análisis, permite identificar la relación entre los nodos, señalando su grado de cohesión. Es preciso agregar que la mayoría de autores no hacen diferencia entre los términos cohesión y conectividad, lo cual puede prestarse a confusiones, no obstante en este trabajo será determinada la cohesión a partir de la denominada *matriz topológica de conectividad directa*.

¿Cómo se construye la matriz de conectividad directa?

Procedimiento:

- 1. Teniendo el grafo inicial con sus nodos y arcos enumerados, se procede a construir un cuadro de doble entrada situando los nodos, tanto en filas como en columnas.
- 2. Se identifican dentro del grafo las relaciones directas, es decir aquellos nodos que están unidos a otros únicamente por una arista.
- 3. Dentro del cuadro se señalan con el número 1, aquellas relaciones.
- 4. Se establecen los porcentajes de relaciones directas e indirectas.

La matriz topológica de conectividad de la Sabana de Bogotá (cuadro 4.3), elaborada a partir de su grafo (figura 4.2) consta de 51 filas y 51 columnas que señalan cada uno de los nodos. Estos pueden representar una población o un cruce de caminos como aparece en el siguiente cuadro.

Cuadro 4.3 Poblaciones y/o cruces de caminos según grafo Sabana de Bogotá

Nodo	Población o cruce	Nodo	Población o cruce	Nodo	Población o cruce
1	Sibaté	18	Cruce	35	Guasca
2	Soacha	19	Cruce	36	Guatavita
3	Cruce	20	Funza	37	Tocancipá
4	Cruce	21	Cruce	38	Zipaquirá
5	Cruce	22	Cota	39	Cogua
6	Cruce	23	La Calera	40	Cruce
7	Cruce	24	Cruce	41	Nemocón
8	Cruce	25	Cruce	42	Gachancipá
9	Cruce	26	Cruce	43	Sesquilé
10	Mosquera	27	Chía	44	Suesca
11	Cruce	28	Tenjo	45	Cruce
12	Cruce	29	Subachoque	46	Machetá
13	Cruce	30	Tabio	47	Manta
14	Madrid	31	Cajicá	48	Tibirita
15	Bojacá	32	Cruce	49	Chocontá
16	Cruce	33	Sopó	50	Villapinzón
17	Facatativa	34	Cruce	51	Cruce

[illegible]

63



4.1.3.2 Análisis de la Accesibilidad

Según Bosque (1992) “la accesibilidad es la mayor o menor cantidad de aristas y nodos que es necesario atravesar para llegar al nodo de referencia desde alguno de los restantes”. Dicha accesibilidad también puede medirse tomando las distancias tanto en km como en tiempo de un nodo a otro. Para determinar la accesibilidad de una red se construye la *matriz de accesibilidad*, incluyendo en ella el *número asociado* y el *número shimbel*. También se puede hacer este tipo de análisis indicando el grado de dispersión del grafo, su longitud media y la media de los recorridos.

¿Cómo se construye la matriz de accesibilidad?

Procedimiento:

1. Teniendo como base la matriz anterior, se procede a buscar el camino más corto entre dos nodos de una red, señalando en cada casilla la cantidad de arcos mínimos que se deben atravesar, lo que significa que cada arco adquiere el valor de 1.
2. Se incluyen dos columnas más en la matriz: una se destina para el número asociado (NS) que corresponde al mayor número de la fila e indica el número máximo de aristas o de kilómetros que se deben recorrer para acceder al nodo que corresponde a esa fila, siendo el número mayor, el nodo menos accesible. La última columna se destina para el número shimbel (shi) que es igual a la sumatoria de los números de esa fila; entre más grande sea este número significa que este nodo tiene un acceso más difícil.

El cuadro 4.5, corresponde a la matriz de accesibilidad de la Sabana de Bogotá. Cada casilla señala el número de arcos que es necesario recorrer entre un nodo y otro por el camino más corto, por ejemplo, entre el nodo 17 (Facatativa) y el nodo 35 (Guasca) hay 11 aristas por recorrer, mientras que entre el nodo 2 (Soacha) y el nodo 20 (Funza) hay únicamente dos aristas.



Fig. 4.5 Mapa de Conectividad Directa de la Sabana de Bogotá.



Cuadro 4.5 Matriz topológica de accesibilidad. Sabana de Bogotá.

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50	51	52	53	54																														
1	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50	51	52	53	54																												
2	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50	51	52	53	54																												
3	2	1	0	1	2	3	2	2	1	2	4	3	2	3	4	4	5	4	4	3	3	5	3	6	4	4	4	5	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34																									
4	3	2	1	0	1	2	1	1	2	3	3	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50	51	52	53	54																			
5	4	3	2	1	0	1	2	3	3	4	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50	51	52	53	54																				
6	5	4	3	2	1	0	1	2	3	3	1	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50	51	52	53	54																				
7	4	3	2	1	2	1	0	1	2	4	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50	51	52	53	54																				
8	4	3	2	1	2	1	0	1	2	3	1	2	3	4	4	5	4	4	3	3	3	4	2	5	3	4	5	4	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50	51	52	53	54				
9	3	2	1	2	3	3	2	1	0	1	4	2	1	2	3	3	4	3	3	2	2	5	3	6	4	3	3	4	4	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50	51	52	53	54			
10	2	1	2	3	4	3	3	2	1	0	5	3	2	1	2	2	3	2	2	1	2	3	6	4	7	5	4	3	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50	51	52	53	54			
11	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50	51	52	53	54																									
12	5	4	3	2	3	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50	51	52	53	54																						
13	4	3	2	3	4	4	3	2	1	2	5	1	0	3	4	4	4	3	2	2	1	5	6	4	7	5	4	3	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50	51	52	53	54			
14	3	2	3	4	5	5	4	3	2	1	6	4	3	3	0	1	1	2	1	1	2	3	3	7	5	6	5	4	3	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50	51	52	53	54		
15	4	3	4	5	6	6	5	4	3	2	7	5	4	1	0	1	2	2	2	3	3	4	6	6	6	5	4	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50	51	52	53	54				
16	4	3	4	5	6	6	5	4	3	2	7	5	4	1	0	1	2	2	2	3	3	4	6	6	6	5	4	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50	51	52	53	54				
17	5	4	5	6	7	7	6	5	4	3	8	6	5	4	2	2	1	0	1	2	4	3	4	6	6	7	6	5	4	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50	51	52	53	54		
18	4	3	4	5	6	6	5	4	3	2	6	4	3	1	2	2	1	0	1	3	2	3	8	5	6	5	4	3	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50	51	52	53	54		
19	4	3	4	5	6	6	5	4	3	2	6	4	3	1	2	2	2	1	0	2	1	2	7	4	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50	51	52	53	54	
20	3	2	3	4	5	5	4	3	2	1	5	3	2	3	3	4	3	2	0	1	1	2	7	4	7	6	5	4	3	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50	51	52	53	54	
21	4	3	3	4	5	5	4	3	2	1	5	3	2	1	1	0	1	5	5	6	3	2	1	2	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50	51	52	53	54						
22	5	4	3	4	5	4	4	3	2	3	3	2	1	3	4	4	4	3	2	2	1	0	4	2	5	2	1	2	3	3	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50	51	52	53	54
23	7	6	5	4	3	4	3	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50	51	52	53	54																							
24	5	4	3	2	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50	51	52	53	54																							
25	6	7	6	5	4	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38																																										



En el cuadro 4.6 cada casilla señala el número mínimo de km a recorrer entre un nodo y otro. Por ejemplo entre el nodo 17 y el 35 hay 15,2 km.

Estas matrices, nos permiten identificar cuál es el nodo más accesible, utilizando el número asociado (NS). En la matriz topológica de accesibilidad, el número asociado menor es 6, dicho número corresponde al nodo 38 (Zipaquirá). Los puntos cuyo NS es igual a 7, también son muy accesibles, y son: 29 (Subachoque), 30 (Tabio), 31 (Cajicá), 32 (cruce entre Zipaquirá, Chía, Sopó y Tocancipá), 39 (Cogua), 40 (cruce entre Nemocón, Cogua, Zipaquirá) y 41 (Nemocón). Entre éstos el más accesible se elige a partir del número shimbél mínimo que en este caso corresponde al nodo 32, cuyo No. Shi es igual a 189.

De la misma forma es posible identificar cuál es el nodo menos accesible. A partir del número asociado (NS) existen 3 nodos cuyo más alto valor es 13 y son: 3 (Cruce entre Soacha y Bogotá), 47 (Manta) y 48 (Tibirita). Entre estos los menos accesibles son Manta y Tibirita ya que su No. Shi igual a 388, es el mayor.

La matriz kilométrica de accesibilidad, basada lógicamente en distancias que se acercan a la realidad, puede resultar mucho más precisa que la anterior. Según los datos de ésta matriz, el nodo más accesible es el 32, seguido del 38; las diferencias no son mayores, de acuerdo al número asociado. Los datos de estas matrices son útiles para determinar otro tipo de medidas de accesibilidad, como se verá más adelante.

¿Cómo se grafican las matrices de accesibilidad?

Procedimiento:

- Se halla para cada nodo la accesibilidad topológica relativa o también llamado índice omega por C. del Canto et al (1993), aplicando la siguiente fórmula:

$$\Omega_i = \frac{SHI \cdot SHI_i}{SHI' \cdot SHI_i} \times 100$$

donde:

- Ω_i = índice omega del nodo i
- SHI = Número shimbél del nodo i
- SHI_i = Número shimbél más bajo
- SHI' = Número shimbél más alto

- Se ordenan los resultados obtenidos y se establecen rangos.
- Se aplica la variable visual valor al grafo.⁴

69

[illegible]



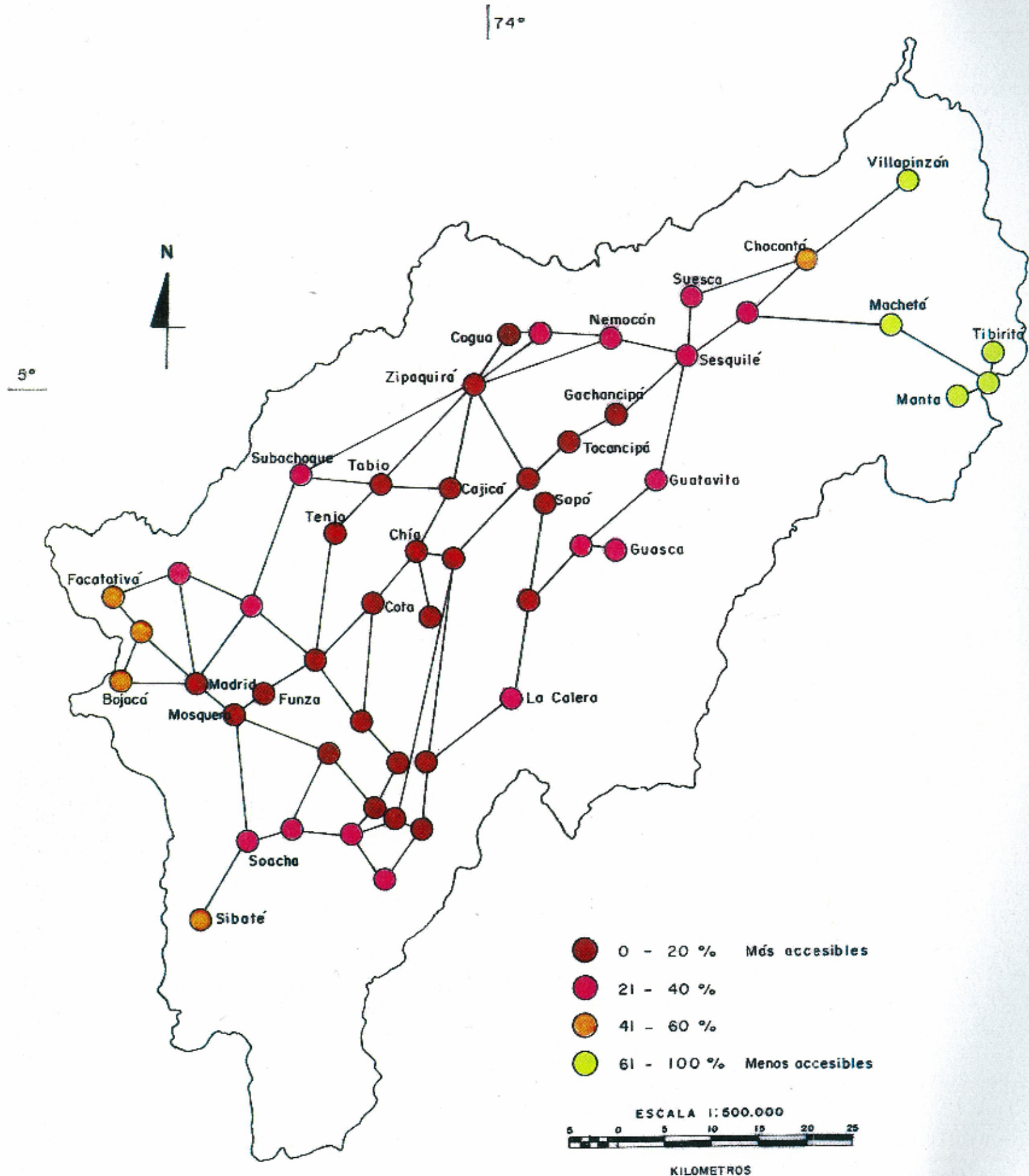


Fig. 4.6 Accesibilidad topológica relativa de la Sabana de Bogotá.



Es necesario anotar que en este caso los porcentajes más bajos corresponden a los nodos más accesibles (cuadro 4.7), mientras que los más altos representan los nodos menos accesibles; por ésta razón en la figura 4.6, se optó por señalar con una tonalidad más oscura los porcentajes más bajos y con una más clara los porcentajes más altos.

Cuadro 4.7. Índice Omega

<i>Nodos</i>	Índice Omega	<i>Nodos</i>	Índice Omega
27	0	19	21,3
22	1,5	23	21,7
26	2,2	40	23,9
32	2,7	29	24
21	6,4	43	25,1
24	7,7	3	26,6
33	8,1	34	27,6
31	8,5	41	29,3
38	10,1	5	30,3
37	10,9	2	33
13	12,2	36	33,3
30	12,8	35	34,5
20	13,6	18	36,1
9	14,2	44	38,4
28	15,2	45	38,9
7	16,5	16	42,7
14	16,8	17	49,7
25	17,3	15	50
8	17,4	49	55,9
11	17,5	1	58,8
6	17,6	46	67,7
42	17,7	50	87
12	17,8	51	94,1
39	18,1	47	100
10	19	48	100
4	21,1		

4.1.3.3 Otras alternativas de este tipo de análisis

El análisis de la cohesión y la accesibilidad de una red, vistas a través de estas matrices, permite evaluar el impacto sobre la red con la construcción de una nueva vía que vendría a conformar un nuevo arco. Para efectos didácticos hemos tomado los cinco primeros nodos de la red de la Sabana de Bogotá (figura 4.7a) y posteriormente trazamos un nuevo arco entre el nodo 1 y el 4 (figura 4.7b).

De igual forma se determinaron el número asociado (NS) y el número Shimbél (N.Shi) en pequeñas matrices.

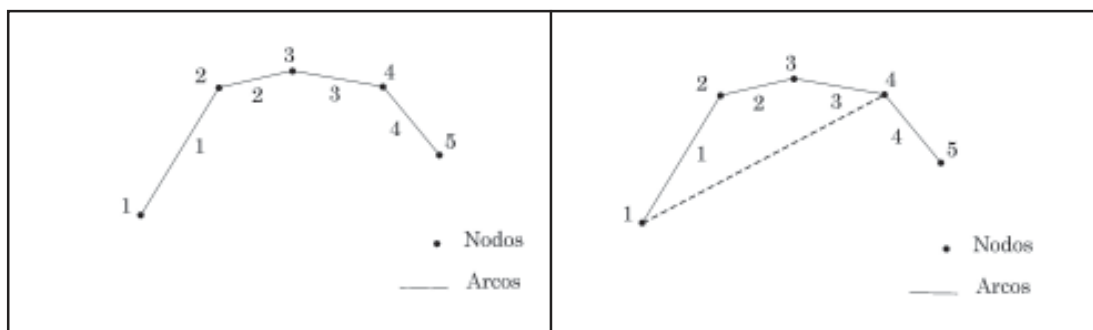


Fig. 4.7a red original

Fig. 4.7b red proyectada

Cuadro 4.8 Matriz original

Nodos	1	2	3	4	5	NS	N.Shi
1	0	1	2	3	4	4	10
2	1	0	1	2	3	3	7
3	2	1	0	1	2	2	6
4	3	2	1	0	1	3	6
5	4	3	2	1	0	4	10

En la matriz anterior, el nodo más accesible era el 3, puesto que tenía el número asociado más bajo.

Cuadro 4.9 Matriz proyectada

Nodos	1	2	3	4	5	NS	N.Shi
1	0	1	2	1	2	2	6
2	1	0	1	2	3	3	7
3	2	1	0	1	2	2	6
4	1	2	1	0	1	2	5
5	2	3	2	1	0	3	8

Con la eventual construcción de la vía, la matriz resultante nos permite verificar que la accesibilidad se aumenta en la medida en que disminuye el número de arcos a recorrer. En este caso los nodos 1, 3 y 4 presentan un número asociado igual a 2, pero de ellos el más accesible es 4 puesto que presenta el N.Shi más bajo.

¿Cómo se determina la dispersión del grafo?

Este tipo de medida permite establecer la accesibilidad general de un conjunto de datos, puede determinarse a partir de distancias reales (Km.), tiempo (minutos) o la sumatoria de las aristas para cada nodo. Sirve para comparar dos grafos que tengan el mismo número de aristas y nodos. Permite obtener la longitud media del grafo.



Procedimiento:

- 1 Se determina el número shimbel para cada nodo.
- 2 Se suman los resultados anteriores.

La medida de dispersión del grafo de la Sabana de Bogotá, da como resultado 12.538 que señala el número total de aristas que se deberían recorrer desde cada nodo a todos los demás, por el camino más corto.

¿Cómo se determina la longitud media del grafo?

Consiste en identificar el número medio de aristas que se recorrerían desde un nodo a todos los demás.

Procedimiento:

- 1 Se determina la dispersión del grafo.
- 2 Se divide el resultado anterior entre el número de nodos.

Para la Sabana de Bogotá, la longitud media del grafo, resulta de dividir:

$$\frac{\text{Dispersión del grafo}}{\text{Número de nodos}} = \frac{12.538}{51} = 245,8$$

Este dato indica que todos los valores de la columna shimbel que están por debajo de 245,8 son los más accesibles y los que están por encima de ésta cifra son los menos accesibles. Estos últimos para nuestro caso son los siguientes: 1, 2, 3, 4, 5, 6, 12, 15, 16, 17, 23, 34, 35, 36, 44, 45, 46, 47, 48, 49, 50 y 51, la mayoría de los cuales a excepción del 12, se encuentran ubicados en la periferia de la Sabana de Bogotá. De todos los anteriores números los menos accesibles son 47 (Tibirita) y 48 (Manta), que además de situarse en el área periférica, no hacen parte de ningún circuito, estando únicamente conectados a una vía.

¿Cómo se halla la media de los recorridos?

Es también llamada longitud media de la vía, según Seguí (1995), consiste en relacionar las distancias topológicas (N.Shi) de cada nodo, entre el número total de nodos de la red. Esta medida permite determinar el número medio de arcos que es preciso recorrer para llegar desde un nodo a cualquier otro de la red. A su vez confirma los nodos más accesibles de la red.

Procedimiento:

- 1 Se halla el número Shimbel
- 2 Cada uno de los anteriores datos se divide entre el número de nodos

Al determinar la longitud media de los recorridos para la Sabana de Bogotá, se observa que el número menor es 3,4 obtenido por el nodo 38 (Zipaquirá), lo que confirma su buena accesibilidad. Ver el siguiente cuadro:

**Cuadro 4.10** Longitud media de los recorridos

<i>Nodos</i>	NS	SHI	LR	<i>Nodos</i>	NS	SHI	LR	<i>Nodos</i>	NS	SHI	LR
1	12	320	6,3	18	10	239	4,7	35	11	309	6,1
2	11	266	5,2	19	8	200	3,9	36	11	270	5,3
3	13	275	5,4	20	10	242	4,7	37	9	214	4,2
4	11	248	4,9	21	9	206	4	38	8	174	3,4
5	11	265	5,2	22	9	206	4	39	7	219	4,3
6	10	238	4,7	23	9	247	4,8	40	7	205	4
7	10	225	4,4	24	9	211	4,1	41	7	193	3,8
8	11	238	4,7	25	9	238	4,7	42	9	234	4,6
9	11	238	4,7	26	8	194	3,8	43	10	216	4,2
10	11	243	4,8	27	8	190	3,7	44	9	257	5
11	9	226	4,4	28	8	208	4,1	45	10	251	4,9
12	11	255	5	29	7	192	3,8	46	11	294	5,8
13	10	226	4,4	30	7	190	3,7	47	13	388	7,6
14	9	222	4,4	31	7	191	3,7	48	13	388	7,6
15	11	277	5,4	32	7	189	3,7	49	10	293	5,7
16	11	276	5,4	33	8	224	4,4	50	11	343	6,7
17	11	286	5,6	34	10	261	5,1	51	11	338	6,6

4.1.3.4 La ruta óptima

La matriz de accesibilidad, fundamentada en la identificación de los caminos más cortos, sólo lo hace en términos abstractos al señalar únicamente el número de aristas que es necesario recorrer entre un nodo y otro. Sin embargo, no muestra cuál es la ruta óptima entre dos puntos, información que resultaría adecuada en términos de costos. En este caso la matriz kilométrica es mucho más eficiente puesto que toma las distancias reales.

¿Cómo se determina la ruta óptima?

Procedimiento:

- 1 Se identifican los nodos de origen y destino.
- 2 Se buscan todas las rutas posibles entre los dos puntos teniendo en cuenta la distancia más corta entre un punto y otro.

Una empresa distribuidora de correo, necesita saber cuál es la ruta más corta entre Mosquera y Zipaquirá. Contando con nuestro grafo ya construido, procedemos a identificar las rutas más convenientes en términos de distancia entre estos dos puntos. Se pueden precisar varias rutas, 3 son las más viables; a cada una se le asignó una letra y una estructura gráfica para diferenciarlas visualmente (figura 4.8).

Se sugiere construir un cuadro de trabajo para comparar resultados así:

Cuadro 4.11. Comparación entre rutas óptimas

RUTAS	Nº. Nodos	Nodos utilizados	Nº. Aristas	Aristas Utilizadas	Distancia Real
A	5	38, 29, 19, 14, 10	4	50, 36, 12, 10	51 km.
B	6	38, 30, 28, 21, 20, 10	5	49, 38, 35, 20, 19	65,5 km.
C	7	38, 31, 27, 22, 21, 20, 10	6	48, 40, 39, 34, 20, 19	46,5 km.

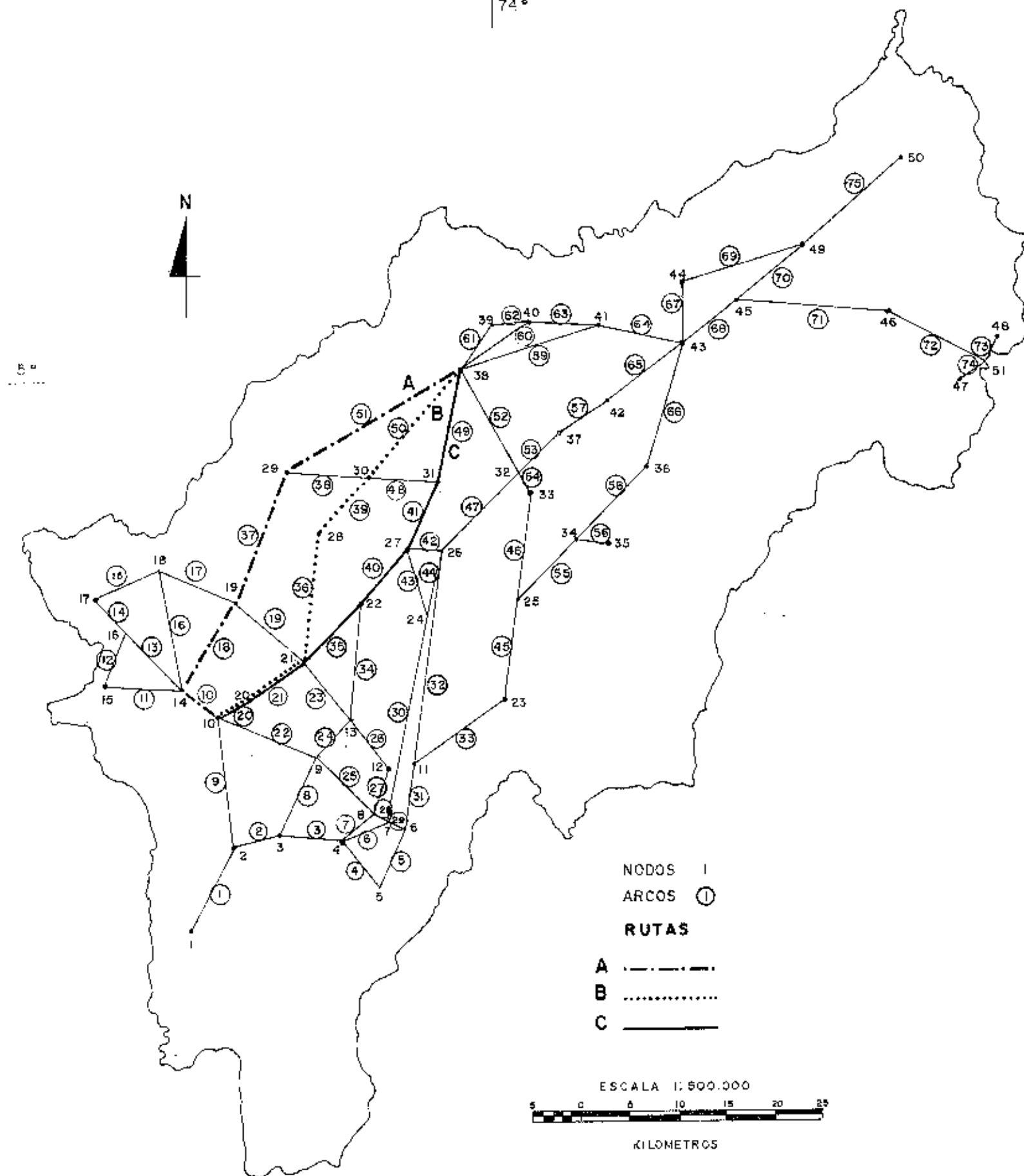


Fig. 4.8 La ruta optima



De acuerdo a la matriz de accesibilidad la ruta más corta es la A, puesto que se fundamenta en el menor número de aristas por recorrer. Pero de acuerdo a la matriz kilométrica, la ruta más corta entre Mosquera y Zipaquirá, es la C, puesto que a pesar de recorrer mayor número de aristas y nodos, la distancia real es más corta que las de las rutas A y B.

Seguí (1995) propone una matriz de itinerarios que muestra directamente cuál es la ruta óptima entre dos puntos cualesquiera de la red, a modo de juego de simulación. Este mismo proceso puede realizarse a través de programas computacionales que a partir de los datos rápidamente muestran un resultado gráfico.

4.1.4 Análisis dinámico: centralidad y jerarquías

Como se mencionó en un comienzo, el análisis de redes incluye su interacción espacial a través del estudio de los flujos y de las jerarquizaciones territoriales. En este sentido, el análisis de redes no se basa únicamente en la cantidad de nodos y aristas y en sus diferentes relaciones; incluye también otro tipo de variables que den cuenta de la funcionalidad de la red o de los movimientos ocurridos sobre ésta. Es así como su análisis implica la utilización de otras alternativas, algunas de las cuales se constituyen en verdaderos métodos empíricos como en el caso de *los modelos*. Según Bailly (1978) “un modelo es un copia reducida a escala del mundo; una aplicación experimental basada en una teoría... un filtro a través del cual se ve el mundo”. Visto de esta forma, puede entenderse como una construcción “ideal” a partir de la cual se experimenta con el mundo real para llegar a esquemas ordenados del espacio.

Para las redes en general, y para los sistemas urbanos en particular, se han propuesto varios modelos de análisis. En nuestro caso, hemos escogido, entre otras herramientas algunos modelos que nos parecen de gran interés didáctico para entender otros aspectos de la red distintos a sus elementos constitutivos básicos.

En el capítulo anterior, vimos cómo las medidas de resumen tienen la capacidad de proporcionar una localización central a partir de un conjunto de datos o de un parámetro en particular de los mismos. Dichos procesos pueden ser también aplicables al análisis de redes. Sin embargo, teniendo en cuenta que una red es un cuerpo estructurado, no bastaría con localizar un nuevo centro inexistente o por fuera de la misma. En éste caso es más útil determinar los puntos o nodos que actúan como centros por su importancia frente a los demás. En este sentido, las herramientas hasta ahora expuestas nos han proporcionado de hecho centros, es el caso del nodo más accesible, del más conectado y del más cohesionado; para cada uno de los cuales, se tuvo en cuenta la cantidad de nodos y aristas. Sin embargo, también es posible establecer centros a partir de la cantidad de funciones que tenga cada nodo o de la posibilidad de prestar un servicio especial a los demás miembros de la red. Al mismo tiempo se establece un orden o jerarquía que no sólo está dado por la cantidad de funciones, sino también por la cantidad de bienes, servicios y personas que se mueven por la red, lo que se denomina *flujos*.

4.1.4.1 El análisis de la centralidad

Este tipo de análisis puede hacerse en dos sentidos: uno, teniendo en cuenta la distribución de algunos nodos especiales de la red, como en el caso de las ciudades; y dos, a partir de la atracción que ejercen unos nodos sobre otros. Para el primer caso es adecuado establecer el Índice Rn y para el segundo, los modelos de gravedad.



¿Cómo se analiza la distribución de los nodos?

Dentro de una red, sus nodos no se distribuyen de manera uniforme. Algunos obedecen a ciertos factores como en el caso de un recurso natural, la aparición de una vía importante o el uso que vaya adquiriendo determinado territorio. El índice Rn permite, de acuerdo a Del Canto, et al (1993) “medir la distribución (grado de concentración/dispersión) de los asentamientos sobre el espacio”, para posteriormente clasificar dicha distribución en: concentrada, aleatoria o uniforme.

Procedimiento

- 1 Se determina el área de estudio.
- 1 Se señalan los nodos sobre un mapa.
- 1 Se une cada nodo con su vecino más próximo utilizando para ello una flecha que indique reciprocidad.
- 1 Se miden las distancias entre estos nodos, se suman y se promedian.
- 1 Se calcula el índice Rn con la siguiente fórmula:

$$Rn = 2d \sqrt{\frac{N}{S}}$$

endonde: d = distancia media entre cada núcleo y su vecino más próximo.
 N = número de núcleos.
 S = Superficie donde éstos se asientan

Para determinar el tipo de distribución de las cabeceras municipales de la sabana de Bogotá, se señalaron en la figura 4.9 cada uno de los nodos que las representan, se tomaron las distancias sobre el mapa y se organizaron en el siguiente cuadro.

Cuadro 4.12. Distancia al vecino más próximo.

Núcleo de población	Núcleo más próximo	Distancia al nodo más próximo (cm)	Núcleo de población	Núcleo más próximo	Distancia al nodo más próximo (cm)
Sibaté	Soacha	2	Tocancipá	Gachancipá	1.1
Soacha	Sibaté	2	Guasca	Guatavita	1.7
Mosquera	Funza	0.7	Guatavita	Gachancipá	1.6
Funza	Mosquera	0.7	Gachancipá	Tocancipá	1.1
Madrid	Mosquera	1	Zipaquirá	Cogua	1.1
Bojacá	Madrid	1.5	Cogua	Zipaquirá	1.1
Facatativa	Bojacá	1.8	Nemocón	Sesquile	1.8
Cota	Chía	1.5	Sesquile	Suesca	1.3
Chía	Cajicá	1.4	Suesca	Sesquile	1.3
La Calera	Chía	3.7	Machetá	Chocontá	2.2
Tenjo	Subachoque	1.5	Chocontá	Machetá	2.2
Subachoque	Tenjo	1.5	Manta	Tibirita	1.2
Tabio	Cajicá	1.4	Tibirita	Manta	1.2
Cajicá	Tabio	1.4	Villa Pinzón	Chocontá	2.7
Sopó	Tocancipá	1.3			$\Sigma d = 45$



$$d = \frac{45}{29} = 1,5 \times 500.000 \text{ (Escala)} = 7,5 \text{ Km}$$

$$R_n = 2 \times 7,5 \sqrt{\frac{29}{4.250}}$$

$$= 1,2$$

Al calcular el índice R_n obtuvimos un resultado de 1,2. De acuerdo a Del Canto, et al (1993), éste índice ofrece valores comprendidos entre 0 y 2,15. Aquellos resultados que se acercan a 0, indican una distribución *concentrada* de los asentamientos; es *uniforme*, o casi semejante a la retícula hexagonal propuesta por Christaller en 1933, cuando los resultados se acercan a 2,15; ahora bien, cuando el resultado es igual a 1 muestra una distribución *aleatoria*. En nuestro caso, presenta ésta última forma. Sería conveniente no sólo quedarse con el resultado final, sino pensar a qué obedece, qué aspectos, ya sea de tipo físico o humano influyeron en tal distribución.

Es posible que a simple vista se pueda definir qué tipo de distribución presenta un conjunto de asentamientos, sin embargo, el índice R_n lo precisa, evitando posibles errores visuales.

Es importante señalar que éste índice, a diferencia del índice de sinuosidad propuesto por Bosque (1992), es más selectivo en tanto no incluye todos los nodos de la red, sino aquellos a los que se le otorga cierta importancia de acuerdo al tipo de estudio.

¿Cómo se analiza la atracción entre nodos?

El estudio de los nodos tampoco puede limitarse a la posición que presentan dentro de una red o a su cantidad de relaciones. Es necesario entender que la dinámica interna de cada nodo o sus características particulares pueden ejercer fuerzas de atracción o de repulsión otorgándole a cada nodo un orden específico dentro de la red. Para hacer este tipo de análisis se han introducido elementos teóricos de otras disciplinas que al aplicarlos a fenómenos sociales, explican en parte, su comportamiento.

“Reylly (1929), utilizó el concepto de gravedad en la delimitación de áreas de mercado especificando que el número de personas que una ciudad atrae a su mercado depende directamente de su población e inversamente del cuadrado de la distancia a que están los posibles compradores”. (Del Canto, et al (1993))

Procedimiento:

- 1 Se identifican los tres nodos a estudiar, teniendo en cuenta el número de población.
- 2 Se elige un nodo de referencia entre los tres.
- 3 Se toman las distancias de los demás nodos al nodo de referencia, tratando de respetar en lo posible los arcos que representan las vías.
- 4 Se aplica la siguiente fórmula:

$$\text{Proporción de personas de A que compran en B, en relación con las que compran en C.} = \frac{\text{Población de B}}{\text{Población de C}} \times \frac{(\text{Distancia de A a C})^2}{(\text{Distancia de A a B})^2}$$



Este modelo, que se basa en la fórmula de la gravedad³, identifica los posibles compradores que acudirían a determinado núcleo urbano en comparación con otro, relacionando dos variables: la población y la distancia. Tratándose de un eventual intercambio de bienes, personas y servicios, este modelo lleva implícito el concepto de flujo.

Se desea saber cuál es la proporción de personas que viven en Chía y compran en Zipaquirá en relación con las que viven en Chía y compran en Sopó.

En este caso A = Chía (Nodo de referencia)
 B = Zipaquirá
 C = Sopó

Al aplicar la fórmula tenemos que:

$$\frac{\text{Población de Zipaquirá}}{\text{Población de Sopó}} \times \frac{(\text{Distancia Chía a Sopó})^2}{(\text{Distancia Chía a Zipaquirá})^2}$$

$$\frac{60.585}{5.629} \times \frac{(14,5)^2}{(19)^2}$$

$$\frac{12.734.967}{2.032.069} = 6,26$$

Este resultado indica que Zipaquirá podría atraer 6,26 veces más compradores de Chía que los que son atraídos desde ese mismo punto por Sopó; obviamente la población de Zipaquirá es mucho más grande que la de Sopó, y a pesar de que la distancia de éste último punto a Chía es menor, Zipaquirá representa en función de su población una mayor oferta de mercado. En porcentajes tendríamos que el 86,2% de los posibles compradores que viven en Chía, se desplazarían a Zipaquirá y sólo el 13,8% realizarían sus compras en Sopó.

¿Cómo se identifican áreas de influencia?

Un área de influencia puede definirse como el radio de acción que se ejerce desde un punto, a partir de determinado parámetro de medida. Para situaciones reales, dicho radio no puede ser tan uniforme como el de un círculo; es el caso del área de influencia de un volcán, la zona de inundación de un río, el área de expansión de un producto, etc.

En las redes, el área de influencia incluye necesariamente a nodos y arcos, pero estas áreas dependen de otras variables, tales como un bien, un servicio, o la cantidad de población, entre otras.

Converse (1949), citado por Del Canto et al (1993), propuso determinar áreas de influencia a partir del “punto de ruptura que marca una frontera teórica entre dos áreas de mercado”.

³ Ley de Newton: “Dados dos cuerpos, situados a cierta distancia uno de otro, comprobaremos que se atraen con una fuerza directamente proporcional al producto de sus masas e inversamente proporcional al cuadrado de sus distancias”. (Tomado de Bailly, 1978).



Procedimiento:

Para determinar áreas de ruptura, según Converse.

- 1. Se elige el punto o nodo central a partir del cual se va a establecer su área de influencia.
- 2. Se determina el área de mercado a analizar, a partir de los nodos que pueden disputarla con el nodo anterior. A estos nodos les podemos dar el nombre de satélites.
- 3. Se especifica la población de cada nodo.
- 4. Se toma cada una de las distancias desde el nodo central a los nodos satélites.
- 5. Se aplica la siguiente fórmula, entre el nodo central y cada uno de los nodos satélites.

$$D_x = \sqrt{\frac{D_{xy}}{1 + \frac{P_y}{P_x}}}$$

en donde:

- x = representa cada uno de los nodos satélites
- y = representa al nodo central
- D_x = punto de ruptura entre x e y.
- D_{xy} = distancia entre el punto central y uno de los satélites
- P_x = población del nodo satélite.
- P_y = población del nodo central.

Se desea saber cuál es el área de influencia de Chía, a nivel de mercado, en relación con los núcleos urbanos de Tabio, Cajicá, Sopó, Cota y Tenjo. Para ello, elaboramos el siguiente cuadro:

Cuadro 4.13 Chía y sus municipios más cercanos

<i>Ciudad</i>	Habitantes	Distancia / Km.
<i>a. Chía</i>	41.632	0
<i>b. Tabio</i>	2.937	15
<i>c. Cajica</i>	15.687	7.5
<i>d. Sopó</i>	5.629	17.5
<i>e. Cota</i>	5.071	7.5
<i>f. Tenjo</i>	2.084	20

Y obtuvimos los siguientes resultados:

$$\begin{aligned}
 D_b &= \sqrt{\frac{15}{1 + \frac{41.632}{2.937}}} = 3,2 & D_b &= \sqrt{\frac{7,5}{1 + \frac{41.632}{15.687}}} = 2,8 \\
 D_b &= \sqrt{\frac{17,5}{1 + \frac{41.632}{5.629}}} = 4,7 & D_b &= \sqrt{\frac{7,5}{1 + \frac{41.632}{5.071}}} = 1,9 \\
 D_b &= \sqrt{\frac{20}{1 + \frac{41.632}{2.084}}} = 3,7
 \end{aligned}$$



¿Cómo se grafican las áreas de influencia?

Los datos anteriores señalan la distancia en la que se ubica teóricamente el punto de ruptura entre dos áreas de mercado, medido desde cada uno de los nodos satélites. La manera de graficarlos es la siguiente:

Procedimiento:

- Se señalan cada uno de los nodos, conservando su posición real.
- Se trazan líneas rectas entre el nodo central y los satélites.
- Teniendo en cuenta la escala, se marcan cada uno de los puntos de ruptura desde los nodos satélites, puesto que se busca señalar el punto hasta el cual, estos nodos permitirían que llegara la influencia del nodo central.
- Por último se unen estos puntos para determinar gráficamente el área de influencia.

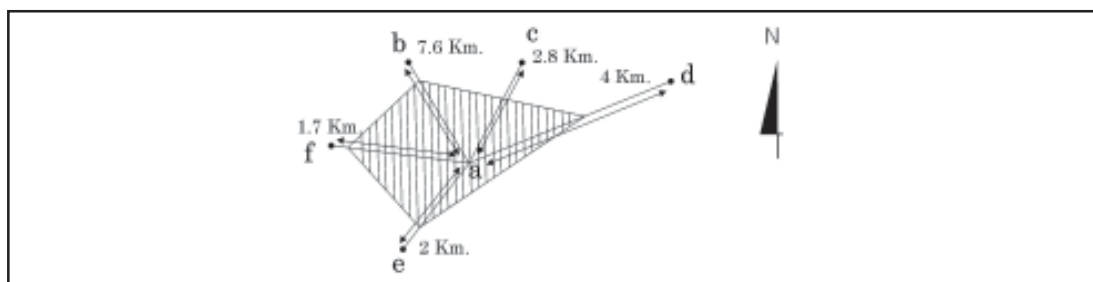


Fig. 4.10 Área de influencia de Chía

La figura 4.10 muestra el área de influencia de la ciudad de Chía. De ella se desprenden 5 ejes que terminan en los núcleos satélites. Los valores por fuera del área de influencia señalan la distancia al punto de ruptura. Puede notarse que entre más grande es el número de habitantes de los nodos satélites, la competencia es aún mayor entre éstos y el nodo central, reduciendo el área de influencia de éste último, como ocurre con el núcleo urbano de Cajicá. Dicho comportamiento es contrario cuando la ciudad satélite presenta una población reducida, como ocurre con Tabio y Tenjo, ampliándose en este caso el área de influencia de Chía. Cuando la distancia entre el nodo central y uno de los satélites es más grande, el segundo al parecer obtiene ventajas sobre el primero, como ocurre entre Chía y Sopó.

La unión entre los diferentes puntos de ruptura, crea un límite que adquiere una posición relativa en tanto existe la posibilidad de aplicar este mismo procedimiento a los demás puntos de una red, haciéndose evidentes ciertos solapamientos, como lo muestra la figura 4.11, en la que fueron trazadas las áreas de influencia tanto de Chía como de Cajicá. La superposición misma, puede entenderse como un área de transición en la que hay una fuerte disputa por los mercados.

Del Canto, et al (1993) encuentra que tanto la propuesta de Reilly como la de Converse “no deben ser interpretadas de la misma forma para cualquier adquisición”, puesto que la demanda y la oferta de determinado producto puede hacer que varíen las áreas de mercado, lo que hace que éstas fórmulas sean muy generales, puesto que se le da mayor importancia a la población y no incluye una variable relacionada con un producto o un bien específico.

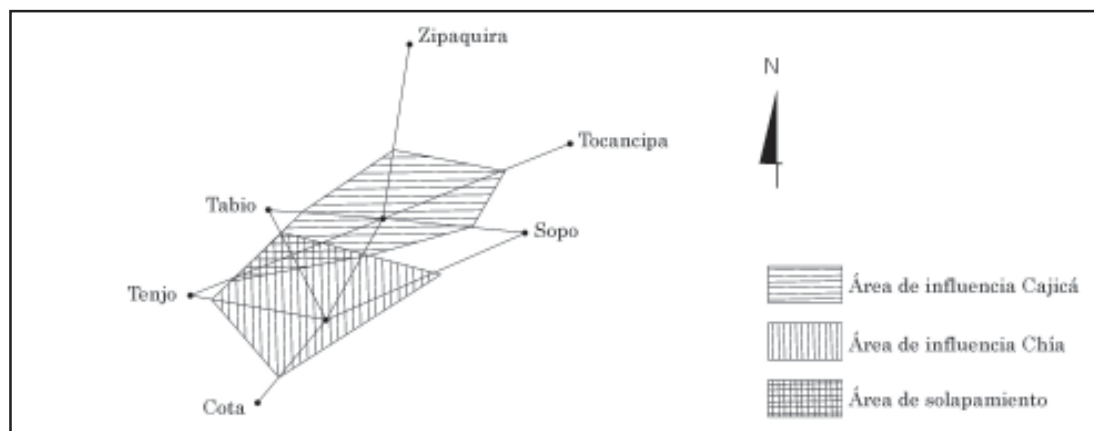


Fig. 4.11 Solapamiento áreas de influencia

4.1.4.2 El análisis de la jerarquía

Como ya se mencionó, el análisis dinámico de las redes lleva implícita la idea de jerarquía. Desde la Geografía Urbana, el análisis de la jerarquía ha tenido importancia en tanto permite dar, en parte, explicación a las posibles regularidades de la organización estructural y funcional de los territorios.

Se han desarrollado numerosos trabajos teóricos y metodológicos en éste sentido, entre ellos el pionero fue el realizado por Christaller, con la teoría de los lugares centrales, donde se buscaba dar explicación a la influencia que ejerce un lugar central sobre una región circundante, siendo el lugar central una ciudad de intercambio de bienes y servicios, y la región circundante un espacio productor de materias primas y alimentos.

Aunque esta teoría ha sido en parte revaluada, especialmente por no explicar las diferentes dinámicas de un lugar, abre el camino a numerosos trabajos urbanos, acompañados de variadas técnicas en su mayoría dentro de una perspectiva cuantitativa. Entre ellas las más conocidas son el índice de primacía, la regla rango-tamaño y los índices de centralidad, que están dirigidos a hallar las relaciones existentes entre la población, el comercio y los servicios ofrecidos por una ciudad.

Hay que tener presente, como afirma Bailly (1978), que el estudio de las jerarquías urbanas “es concebido como un análisis de conjunto de centros de diferentes niveles, vinculados entre sí por medio de flujos” ... “que privilegian las funciones comerciales y de servicios”, no teniendo en cuenta la totalidad de los fenómenos económicos, básicamente porque se toman como “espacios autónomos, fuera de influencias sociales y económicas del mundo exterior”.

Aunque en esta parte no se trabajan las herramientas antes mencionadas para el estudio de jerarquías, sí se llama la atención sobre la importancia de la utilización de éstas técnicas, válidas para realizar una aproximación más precisa de las estructuras urbanas. En la actualidad, vienen siendo utilizadas especialmente en la planificación urbana y en estudios de mercado. Su gran ventaja radica en que permiten hacer análisis evolutivos y llevar un control sobre la efectividad de los servicios que se ofrecen con el propósito de realizar eventuales cambios, si es necesario, o conservar el orden jerárquico de los diferentes centros.



4.2 Conclusiones de capítulo

- Partiendo de la simplificación que se hace con el grafo, el análisis de redes facilita el entendimiento de ciertas estructuras que no son fácilmente perceptibles, sin embargo ello mismo debe tenerse en cuenta al relacionar los resultados con el espacio real, para no sobreidealizarlo.
- A pesar de la observación anterior, el análisis de redes permite pensar el espacio a futuro y/o comparar varios momentos de la red.
- Casi todas las herramientas propuestas se centran en el estudio de los nodos, ya sea de forma general o selectiva, sin embargo sería conveniente proponer un análisis que de mayor énfasis a los arcos o aristas.
- Es importante insistir en que el análisis de redes no es suficiente para comprender la complejidad del territorio o de la región, siendo apenas una herramienta.