

LA ORGANIZACION ESPACIAL DE LA RED DE CARRETERAS EN ARAGON. APLICACION METODOLOGICA DE LA TEORIA DE GRAFOS

José GARRIDO PALACIOS

Departamento de Geografía y Ordenación del Territorio
Universidad de Zaragoza

Resumen: En este trabajo se analiza la organización espacial de la red de carreteras de Aragón mediante la aplicación metodológica de la teoría de grafos. Para ello se utilizan las medidas de conectividad, accesibilidad y centralidad. El estudio se complementa con la integración de nodos exteriores al grafo de Aragón y la correlación de la red de carreteras y el desarrollo socioeconómico.

Palabras clave: Organización espacial, teoría de grafos, conectividad, accesibilidad, centralidad, red de carreteras y correlación.

Abstract: This work analyses the spacial organization of the road network in Aragon by means of the methodologic application of the theory of graphs. To do this we have used the measures of connectivity, accessibility and centrality. This work adds external nodes of the graph of Aragon and the correlation of the road network and the socioeconomic development.

Key words: Spacial organization, theory of graphs, connectivity, accessibility, centrality, road network and correlation.

INTRODUCCION

La técnica de grafos en Geografía, derivada de la topología, constituye un instrumento esencial para el estudio de las redes de transporte, en especial su organización y estructura espacial. Esta aplicación es además uno de los claros exponentes de la Geografía neopositivista, de forma que la red se reduce a un simple dibujo topológico.

Aunque el iniciador de este tipo de estudios fue el matemático Euler en el siglo XVIII, sin embargo, Garrison es el pionero de su aplicación a la Geografía en 1960 (Giménez y Capdevilla, 1986). Y, posteriormente, su implantación en la comunidad internacional y nacional ha sido muy intensa, como lo demuestran los trabajos de GINSBURG (1961), BURTON (1962), MARBLE (1965), REED (1970), HAGGET (1970), ESTEBANEZ (1978), GARCIA LORCA (1979), BRUNET ESTARELLES (1982), SEGUI y PETRUS (1986), E SCALONA (1990) y otros autores.

Ahora bien, las actuaciones históricas sobre la red viaria se proyectan directamente sobre el territorio, aunque normalmente es "el desarrollo socioeconómico y demográfico de un espacio el que posibilita un reacondicionamiento de las redes, evolucionando éstas como resultado de dichas variables" (DUPUY, 1987). Por tanto, la red de transportes está fuertemente vinculada con el territorio al que articula y es a la vez expresión y consecuencia de las interrelaciones que aquélla mantiene con los sistemas socioeconómicos (SEGUI y PETRUS, 1991).

En cualquier caso, la aplicación de la teoría de grafos ha sido ampliamente utilizada y constituye una etapa ineludible en el análisis de redes de transporte. No obstante, éste análisis debe complementarse con otras metodologías *ad hoc*.

METODOLOGIA Y CONCEPTOS

El objetivo de este trabajo es conocer la organización espacial de la red de carreteras en Aragón. Para ello, la metodología aplicada radica en el estudio de las medidas de conectividad, accesibilidad y centralidad.

Los elementos fundamentales que conforman el sistema espacial son los núcleos urbanos y las conexiones entre ellos, o sea, en términos topológicos, los nodos y arcos del grafo.

Los nodos están constituidos por los municipios aragoneses superiores a 2.000 habitantes¹ -población de hecho en 1991-, lo que permite incluir en la red topológica a todos los núcleos urbanos y semiurbanos de la región.

Por su parte, los arcos se definen por el trazado de la carretera que une los diferentes nodos de la red, distinguiendo los que corresponden a la Red de Interés

¹ Según el Censo de Población en 1991.

General del Estado (RIGE) y los de la Red Autonómica (carreteras regionales y comarcales)².

La conectividad o cohesión determina el grado de comunicación recíproca entre los vértices, y es el grado de integración o interconexión que representa una red para su funcionamiento interno. Parte del principio básico de que cuantos más arcos tenga el grafo mayor será su grado de conectividad. En realidad, indica la mayor o menor complejidad estructural de la red, lo cual está ligado directamente al número de nodos, arcos y a su disposición espacial. Para medir esta cohesión se utilizan una serie de índices, siendo los de empleo habitual los introducidos por Kansky (KANSKY, 1963).

Entre ellos cabe destacar los índices Beta, Gamma y Alfa, junto al Número Ciclomático³.

La aplicación de estos indicadores se han realizado no sólo para la RIGE y Autonómica (Red Regional y Comarcal), sino que se han comparado a escala provincial en la Comunidad de Aragón.

Las medidas de **accesibilidad** permiten analizar la organización espacial de la red, de forma que los nodos establecen una jerarquía en función de la facilidad de acceso de cada uno al resto de los nodos del grafo.

El concepto de accesibilidad es diverso y varias las medidas para valorarlo. En general, se define como "el sumatorio de las oportunidades relativas de contacto e interacción espacial desde el conjunto del sistema" (CALVO PALACIOS, 1993). Ahora bien, la localización de la red viaria debe interrelacionarse con otros agentes como la distancia, los costes y el tiempo requerido. Por otra parte, velocidad,

² De acuerdo al Plan General de Carreteras de Aragón (1994-2003).

³ El **índice beta** (β) es la relación entre el número de arcos y nodos de la red, y se expresa como:

$$\beta = a / n$$

Siendo a el número total de arcos y n el de nodos.

El **índice gamma** (γ) establece la relación del número de arcos que tiene el grafo y el máximo posible.

$$\gamma = 2a / n(n-1)$$

Frente al indicador anterior, este supone la gran ventaja de efectuar comparaciones entre redes de distinto número de nodos.

El **número ciclomático** (u) es el número de circuitos que tiene un grafo.

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

Pero esta formulación es aplicable sólo a las redes coherentes³, por lo que en Aragón hay que recurrir a fórmulas que integren a redes constituidas por varios subgrafos:

$$u = a - n + g$$

Siendo g el número de subgrafos de la red.

Por último, el **índice alfa** (x) expresa el ratio entre el número de circuitos de un grafo y el máximo posible.

$$x = u / 2n - 5$$

densidad y congestión son elementos que deberían ser considerados en el concepto de accesibilidad. Asimismo, la accesibilidad puede ser medida como un potencial de oportunidades (económicas, sociales, culturales, etc.), como una medida física de utilidad (entendida en relación al servicio público), como un conjunto de elementos (costes, etc.), y otras (MARTELLATO, 1995).

En este trabajo se ha considerado la distancia en función de los nodos y arcos de la red, sin tener en cuenta otras variables, por lo que, en estudios posteriores, se puede profundizar en esta línea.

El paso previo para este análisis es la confección de una matriz de accesibilidad, donde se refleja la distancia topológica por el camino más corto entre los nodos del grafo. De esta matriz, asimismo, se deducen varias medidas de accesibilidad: el número Köning o asociado, el índice de Shimbel o de accesibilidad absoluta, la longitud media de la vía (cadena) y el índice Omega o de accesibilidad topológica relativa⁴.

La medida de la centralidad define el grado de influencia de un lugar central en su área tributaria. Christaller fue el primero en aplicarlo, relacionando la población y los teléfonos instalados en cada núcleo, y lo desarrolla DAVIS (1967) para los establecimientos ubicados en un lugar central. De cualquier manera, esta medida desempeña un papel significativo para explicar la ubicación de infraestructuras o de equipamientos diversos y para obtener la mayor cobertura territorial posible.

⁴ El número de Köning o asociado es aquél que corresponde con la distancia que separa a cada nodo con el más distante topológicamente. Esto implica que el número asociado más bajo es el nodo más accesible. Más utilizado es el índice de Shimbel o índice de accesibilidad absoluta. Se basa en la ruta más corta entre los nodos, y es la suma del número de arcos que separa cada nodo con todos los demás por el camino más corto. Se expresa así:

$$Ay = \sum dxy$$

Donde dxy es el número de arcos que separa a los nodos x e y por el tramo más corto. Igualmente al caso anterior, el valor más bajo corresponde al más accesible.

El índice de accesibilidad absoluta permite, a su vez, deducir otros dos índices. El primero, denominado longitud media de la vía (cadena), es el cociente de la accesibilidad topológica absoluta y el número de nodos.

$$Py = Ay / n$$

Por otro lado, para obviar la dificultad de comparar redes con distinto número de nodos se obtiene el índice de accesibilidad topológica relativa o índice omega, que se define como:

$$Oy = (Ay - Amín.)100 / Amáx. - Amín.$$

Siendo Ay el índice de Shimbel de dicho nodo, $Amáx.$ el índice de Shimbel más alto, y $Amín.$ el más bajo. Los valores oscilan entre 0 y 100 para los nodos de mayor a menor accesibilidad, respectivamente. De cualquier forma, la jerarquía de estos últimos indicadores mantiene la correspondencia con el de Shimbel.

La centralidad puede hallarse para toda la red o bien para cada nodo. En el trabajo presente interesa la segunda con el fin de representar cartográficamente sobre el territorio las líneas de isoaccesibilidad⁵.

Por otro lado, para conocer la relación entre la red de transporte y el desarrollo se aplica el análisis de correlación, que mide la fuerza de asociación entre el grado de conectividad⁶ de la red y diferentes variables socioeconómicas: población, PIB (Producto Interior Bruto), Renta Regional Bruta y el PIB por habitante (BBV, 1995). Este análisis ha sido utilizado por Kansky para observar el grado de correlación de diferentes países; sin embargo, en este trabajo se aplica a las entidades provinciales y a la regional. En cualquier caso, la asociación entre dos conjuntos no implica una causa-efecto entre los hechos que se comparan, sino la mera existencia de su relación.

Asimismo se calcula el coeficiente de determinación (r^2) para señalar que la variación de la conectividad explica la variación que aparece en el resto de las variables consideradas.

A continuación se muestra un ejemplo empírico en Aragón de la aplicación de todos estos indicadores.

LA CONECTIVIDAD DE LA RED

Como se ha comentado anteriormente, el análisis de la conectividad permite conocer la estructura de la red. En la Tabla 1 se reflejan los resultados de los diferentes índices, tanto a escala provincial como regional, así como la desagregación de la red de carreteras según se trate de la RIGE, Red Autónoma o de la Red total de Carreteras (Mapas 1, 2, 3, 4 y 5). En todos los casos se admite que los tramos pasan por un núcleo de la Comunidad de Aragón cuando la distancia es inferior a 6 km⁷, como, por ejemplo, Cella, Pina, Calatorao y Gallur.

A la vista de los resultados obtenidos, se observa que en Aragón el valor del índice β en la Red de Carreteras es el más elevado (1,60), seguido de la Red Autónoma (1,24) y la RIGE (1,05); en último lugar se encuentra la Red Comarcal con

⁵ En este sentido, la centralidad media de cada nodo se calcula por el ratio del índice de Shimmel de cada nodo y el número total de nodos menos uno.

$$C = AY / n-1$$

⁶ En este caso se ha aplicado el número ciclomático por considerarlo el más adecuado, sin que por ello se excluya el empleo de otros índices.

⁷ Esa distancia se admite como tolerancia. Equivale al 5,3 % del arco de mayor longitud: Daroca-Albalate del Arzobispo = 112 km.

0,80. En suma, los resultados son obvios, pues es lógico que la cohesión sea mayor cuanto más tupida sea la red.

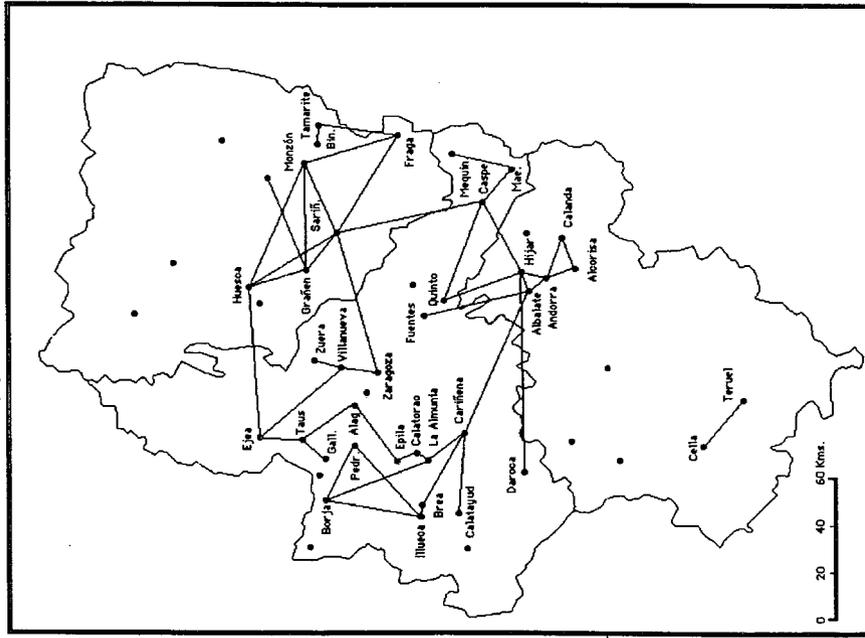
Tabla 1.- Índices de conectividad.

	A	B	C	D	E	F	G
1	ARAGON	Nodos (n)	Arcos (a)	$\beta=a/n$	$Y=2a/n(n-1)$	$\mu=a-n+g$	$x=\mu/2n-5$
2	Red de Interés General	39	41	1,05	0,06	4	0,05
3	Red Autonómica	37	46	1,24	0,07	11	0,16
4	Red Regional	27	28	1,04	0,08	3	0,06
5	Red Comarcal	25	20	0,80	0,07	2	0,04
6	Red Total de Carreteras	50	80	1,60	0,07	31	0,33
7	ZARAGOZA						
8	Red de Interés General	21	19	0,90	0,09	0	0,00
9	Red Autonómica	18	20	1,11	0,13	4	0,13
10	Red Regional	14	11	0,79	0,12	0	0,00
11	Red Comarcal	11	9	0,82	0,16	1	0,06
12	Red Total de Carreteras	27	35	1,30	0,10	9	0,18
13	HUESCA						
14	Red de Interés General	8	7	0,88	0,25	0	0,00
15	Red Autonómica	8	11	1,38	0,39	4	0,36
16	Red Regional	6	5	0,83	0,33	1	0,14
17	Red Comarcal	7	7	1,00	0,33	1	0,11
18	Red Total de Carreteras	12	18	1,50	0,27	7	0,37
19	TERUEL						
20	Red de Interés General	9	9	1,00	0,25	1	0,08
21	Red Autonómica	7	7	1,00	0,33	2	0,22
22	Red Regional	5	4	0,80	0,40	0	0,00
23	Red Comarcal	5	3	0,60	0,30	0	0,00
24	Red Total de Carreteras	11	14	1,27	0,25	4	0,24

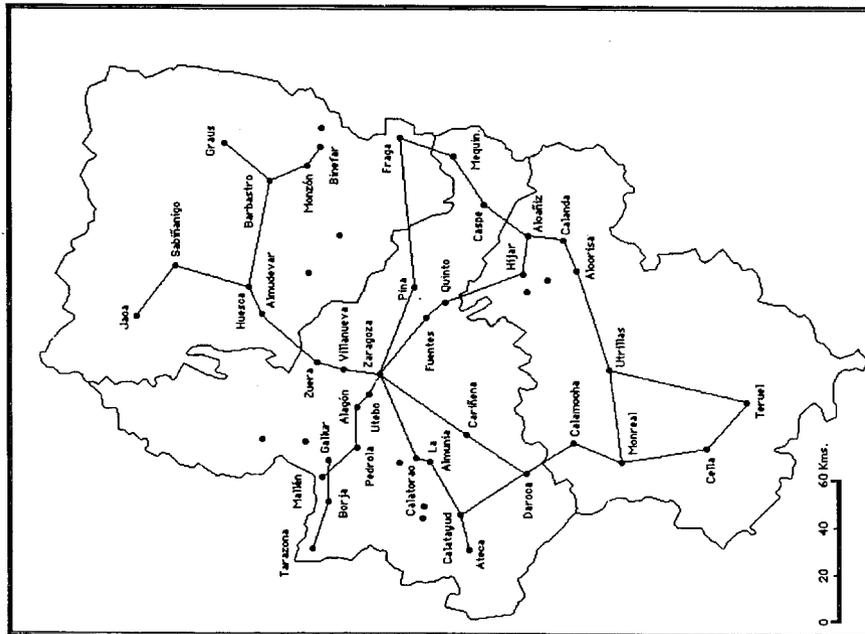
A escala provincial, la correspondencia es análoga -Red de Carreteras, Autonómica, RIGE, etc.-, pero los umbrales de la Red Comarcal en Zaragoza y Huesca son superiores a la Regional. No obstante, estos valores hay que contrastarlos con el índice *gamma*, pues es el que mejor admite la comparación de redes con diferente número de nodos. En efecto, en la provincia de Zaragoza la Red Comarcal supera al resto, y en otras provincias se encuentra entre los valores superiores. Esto es así porque esa Red une directamente el número máximo posible de núcleos.

El número ciclomático (u) refleja de forma nítida que los circuitos⁸ aumentan ostensiblemente al tener en cuenta todas las Redes (31 circuitos en Aragón), mientras descende de forma notable la RIGE (con 4 circuitos) y la Regional y Comarcal (3 y 2 circuitos, respectivamente).

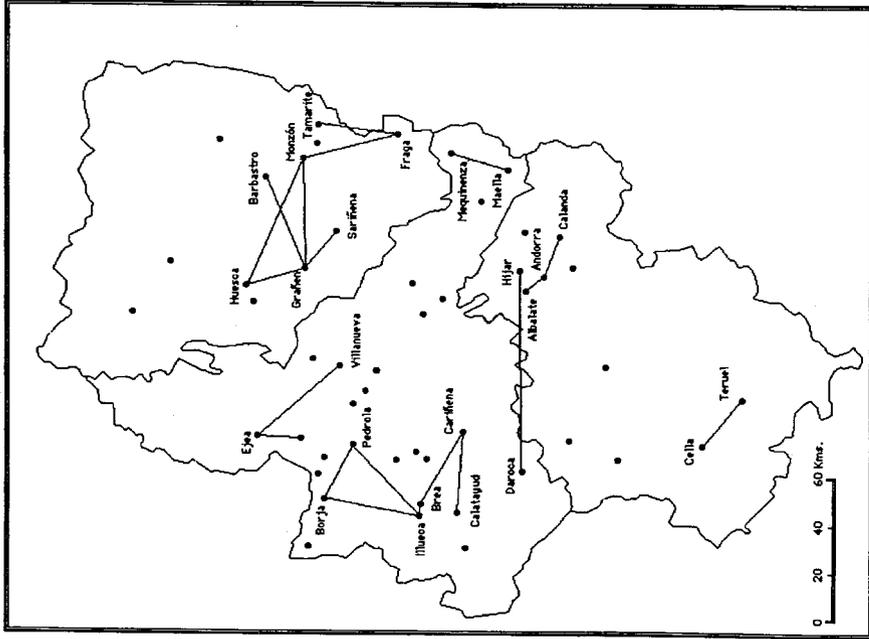
⁸ Un circuito es un tramo que comienza y termina en un mismo nodo.



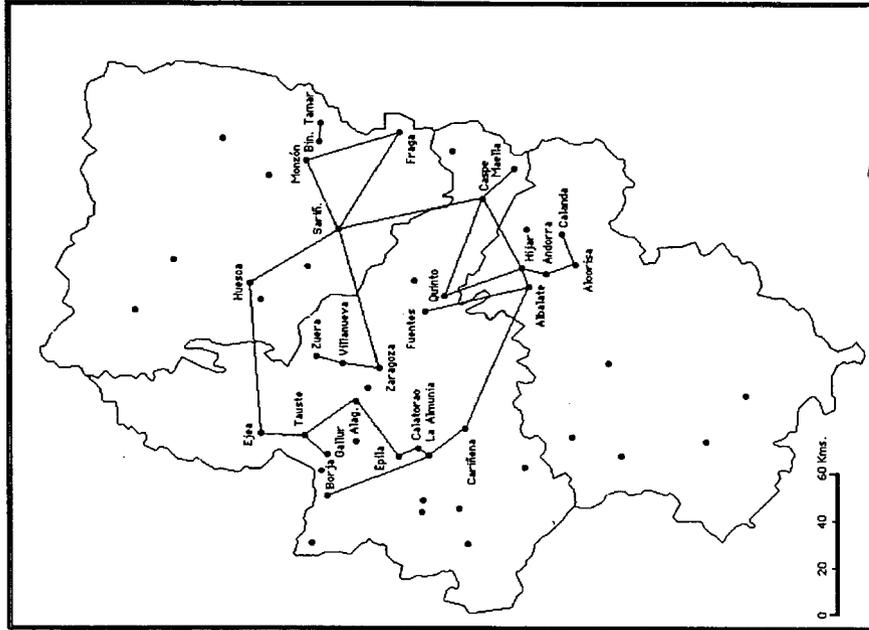
Mapa 2.- Red autonómica.
Fuente: Mapa de Carreteras de Aragón (1991).
Elaboración propia.



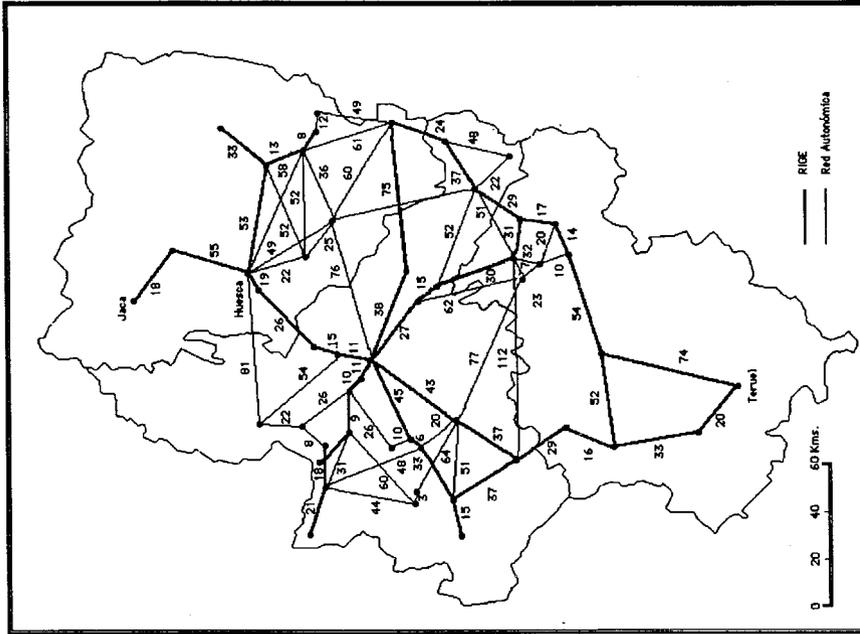
Mapa 1.- Red de interés general.
Fuente: Mapa de Carreteras de Aragón (1991).
Elaboración propia.



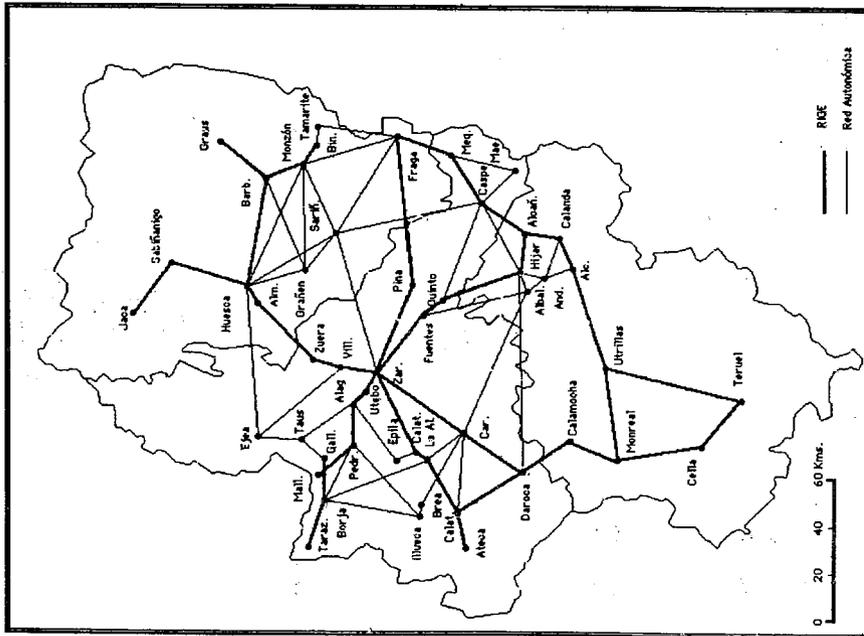
Mapa 4.- Red comarcal.
Fuente: Mapa de Carreteras de Aragón (1991).
Elaboración propia.



Mapa 3.- Red regional.
Fuente: Mapa de Carreteras de Aragón (1991).
Elaboración propia.



Mapa 6.- Distancias reales.
Fuente: Mapa de Carreteras de Aragón (1991).
Elaboración propia.



Mapa 5.- Red total de carreteras.
Fuente: Mapa de Carreteras de Aragón (1991).
Elaboración propia.

En las provincias aragonesas el grado de conexión es casi nulo en la Red Comarcal (1 en Zaragoza y Huesca y 0 en Teruel) y con valores ínfimos, *grosso modo*, para la RIGE. En cuanto al índice alfa (α), el valor igual a cero corresponde a los grafos incoherentes⁹ -RIGE de Zaragoza y Huesca, etc.- y muestra unos resultados similares al anterior, es decir, prevalecen los valores de la Red total de Carretera y la Red autonómica.

Tabla 2.- Índices de accesibilidad y centralidad.

Municipios	Köning	Shimbel	Long. media	Acces. topol. relat.	Central. Vértice
SARINENA	7	149	2,98	0,00	3,04
CARINENA	7	153	3,06	2,45	3,12
ZARAGOZA	6	155	3,10	3,68	3,16
ALBALATE DEL ARZOBISPO	7	172	3,44	14,11	3,51
HIJAR	8	177	3,54	17,18	3,61
ALMUNIA DE DOÑA GODINA (LA)	8	177	3,54	17,18	3,61
CASPE	8	179	3,58	18,40	3,65
DIAROCA	8	179	3,58	18,40	3,65
CALATORAO	7	181	3,62	19,63	3,69
FUENTES DE EBRO	7	181	3,62	19,63	3,69
MONZON	8	183	3,66	20,86	3,73
UTEBO	7	184	3,68	21,47	3,76
FRAGA	8	185	3,70	22,09	3,78
VILLANUEVA DE GALLEGO	7	186	3,72	22,70	3,80
GRANEN	8	187	3,74	23,31	3,82
EJEA DE LOS CABALLEROS	8	189	3,78	24,54	3,86
PINA	7	191	3,82	25,77	3,90
CALATAYUD	9	202	4,04	32,52	4,12
ANDORRA	8	205	4,10	34,36	4,18
ALCAÑIZ	9	207	4,14	35,58	4,22
ALAGON	8	207	4,14	35,58	4,22
HUESCA	9	210	4,20	37,42	4,29
QUINTO	8	210	4,20	37,42	4,29
MEQUINENZA	9	213	4,26	39,26	4,35
TALUSTE	9	214	4,28	39,88	4,37
CALANDA	9	216	4,32	41,10	4,41
EPILA	9	217	4,34	41,72	4,43
BORJA	10	218	4,36	42,33	4,45
MAELLA	9	219	4,38	42,94	4,47
CALAMOCHA	9	222	4,44	44,79	4,53
ZUERA	8	222	4,44	44,79	4,53
ALCORISA	9	227	4,54	47,85	4,63
ALMUDEVAR	9	229	4,58	49,08	4,67
BREA	11	231	4,62	50,31	4,71
GALLUR	10	235	4,70	52,76	4,80
BINEFAR	10	238	4,76	54,60	4,86
ILLUECA	10	239	4,78	55,21	4,88
PEDROLA	9	239	4,78	55,21	4,88
ATECA	10	250	5,00	61,96	5,10
BARBASTRO	10	257	5,14	66,26	5,24
SABIÑANIGO	10	257	5,14	66,26	5,24
TAMARITE DE LITERA	9	259	5,18	67,48	5,29
MONREAL DEL CAMPO	10	260	5,20	68,10	5,31
UTRILLAS	9	260	5,20	68,10	5,31
TARAZONA	9	277	5,54	78,53	5,65
MALLEN	10	283	5,66	82,21	5,78
CELLA	11	297	5,94	90,80	6,06
JACA	11	304	6,08	95,09	6,20
GRAUS	11	305	6,10	95,71	6,22
TERUEL	10	312	6,24	100,00	6,37

⁹ Se denomina red incoherente o no relacionada cuando todos los nodos no quedan unidos por arcos.

En resumen, la estructura de la Red manifiesta la alta conectividad en el caso de la integración del conjunto de las infraestructuras viarias de Aragón; sin embargo, cuando se contempla cada red independiente del resto, el grado de cohesión disminuye notablemente. Igualmente ocurre cuando se analiza una provincia desligada del conjunto regional, en especial la de Teruel que apenas tiene representación en la Red Regional y Comarcal.

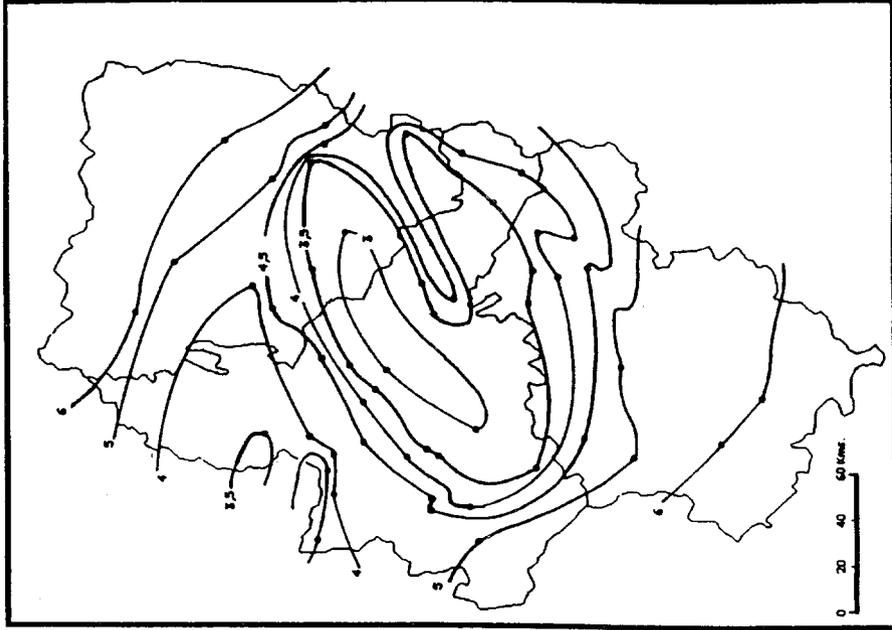
MEDIDAS TOPOLOGICAS DE ACCESIBILIDAD

En relación con los conceptos anteriores, se acepta que un punto es tanto más accesible cuanto mayor es el número de tramos que lo unen a la red. Así pues, en esta línea se ha calculado el número de Köning¹⁰. De la matriz de accesibilidad topológica (Tabla 2), deducida de la distancia mínima entre nodos (Mapa 6), se obtiene ese indicador, siendo la distancia mayor entre un nodo y todos los demás el que asume el centro del grafo. En la Tabla 3, el nodo de Zaragoza es el que tiene el número asociado más bajo (el 6), y con 7 están Sariñena, Cariñena, Albalate del Arzobispo, Calatorao, Fuentes de Ebro, Utebo y Villanueva del Gállego. Por el contrario, Cella, Brea, Jaca y Graus (con 11) se encuentran en la periferia del grafo. Por consiguiente, este valor parece que señala claramente la accesibilidad de los nodos.

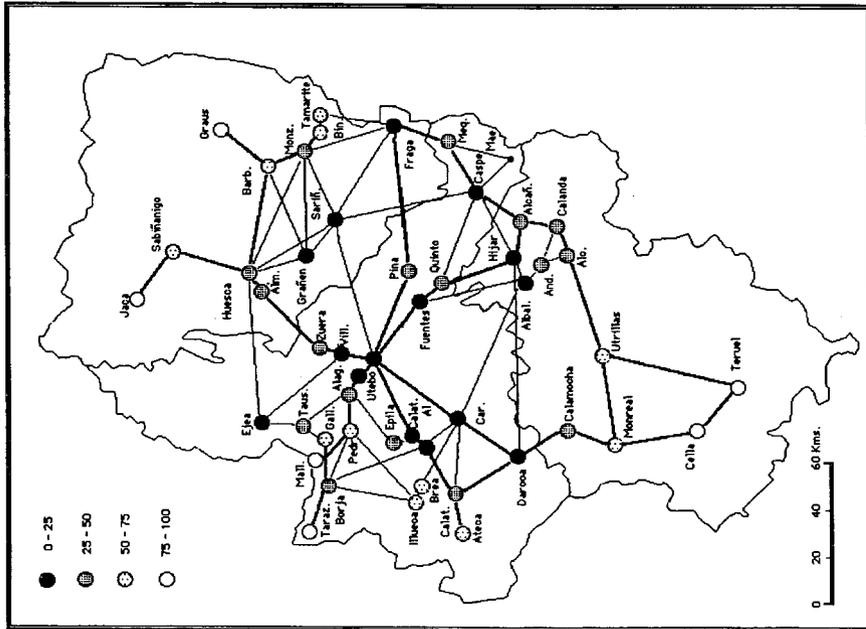
El índice de Shimbel presenta la ventaja, respecto al anterior, de obtenerse en función de todos los nodos de la red, por lo que ofrece resultados más precisos y fiables. En la segunda columna de la Tabla 3 aparecen todos los núcleos ordenados de menor a mayor o, lo que es lo mismo, de mayor a menor accesibilidad. Por tanto, los nodos de Sariñena, Cariñena, Zaragoza, etc. son los más accesibles; en cambio, los de Teruel, Graus, Jaca, Cella, etc. son los de peor accesibilidad. Esto indica una de las características de la red: que los nodos más accesibles se concentran en el centro del grafo y disminuyen a medida que aumenta la distancia.

Por otra parte, la longitud media de la vía no modifica la jerarquía anterior, pero sí que es interesante el resultado de la accesibilidad topológica relativa, pues indica qué nodo central es el de mayor rango, el cual coincide precisamente con el valor cero. En el Mapa 7 se ha establecido una jerarquización de los nodos en cuatro clases, de tal manera que se observa la disminución progresiva de la accesibilidad desde el centro hacia la periferia, siendo los núcleos extremos de Jaca, Graus, Teruel y Cella los de peor accesibilidad.

¹⁰ También denominado diámetro del grafo (Potrykowsky y Taylor, 1984).



Mapa 8.- Isolíneas de centralidad.
Fuente: Mapa de Carreteras de Aragón (1991).
Elaboración propia.



Mapa 7.- Accesibilidad topológica relativa.
Fuente: Mapa de Carreteras de Aragón (1991).
Elaboración propia.

Bien es verdad que estos resultados ocultan otros datos significativos, tales como la calidad de las infraestructuras y las distancias físicas u horarias, pero también es cierto que ofrecen resultados aproximados de la distribución espacial de la red en la Comunidad de Aragón y refuerza la importancia del centro en detrimento de los municipios periféricos.

LA CENTRALIDAD

La centralidad espacial media, obtenida mediante algoritmos de cálculo a partir del índice de Shimbél, posibilita conocer la posición de los nodos de la red. El valor mínimo (Tabla 3) evidencia el punto más central de la red y las isolíneas de accesibilidad señalan las distancias y las relaciones espaciales de los diferentes nodos.

En el Mapa 8 se observan las líneas más o menos concéntricas respecto a la central formada por Sariñena-Zaragoza-Cariñena. Por el contrario, se distingue de forma nítida la marginalidad de los nodos septentrionales y meridionales de Aragón, aunque en este aspecto hay que recordar el carácter cerrado del grafo, pues no considera las relaciones con las provincias colindantes, y los condicionantes del medio físico.

Al propio tiempo, esta cartografía permite apreciar la proximidad de las isolíneas ubicadas en el eje del Jalón-eje occidental del Ebro-zona de Barbastro, Monzón-Binefar; sin embargo, esa mayor densidad obedece a la mera distribución espacial de los núcleos mayores de 2000 habitantes ligados a las líneas de isocentralidad.

VARIACIONES DE ACCESIBILIDAD Y CENTRALIDAD AL CONSIDERAR LAS RELACIONES CON LAS PROVINCIAS LIMITROFES

En el Mapa 9 se dibujan las relaciones de los nodos y arcos de Aragón vinculados al exterior de la Región, esto es, se han representado los núcleos y arcos de las provincias limítrofes que conectan con Aragón a través de la RIGE, Red Regional o Comarcal.

Tabla 4.- Variaciones de accesibilidad y centralidad.

Municipios	ShImbel	Variación	Acces. topol. relat.	Variación	Central. Vértice	Variación
EJEA	189	-2	24,54	1,22	3,86	0,04
TARAZONA	277	-3	78,53	1,84	5,65	0,06
TAUSTE	214	-1	39,88	0,61	4,37	0,02
BINEFAR	238	-1	54,60	0,61	4,86	0,02
GRAUS	305	-3	95,71	1,84	6,22	0,05
TAMARITE DE LITERA	259	-2	67,48	1,22	5,29	0,04

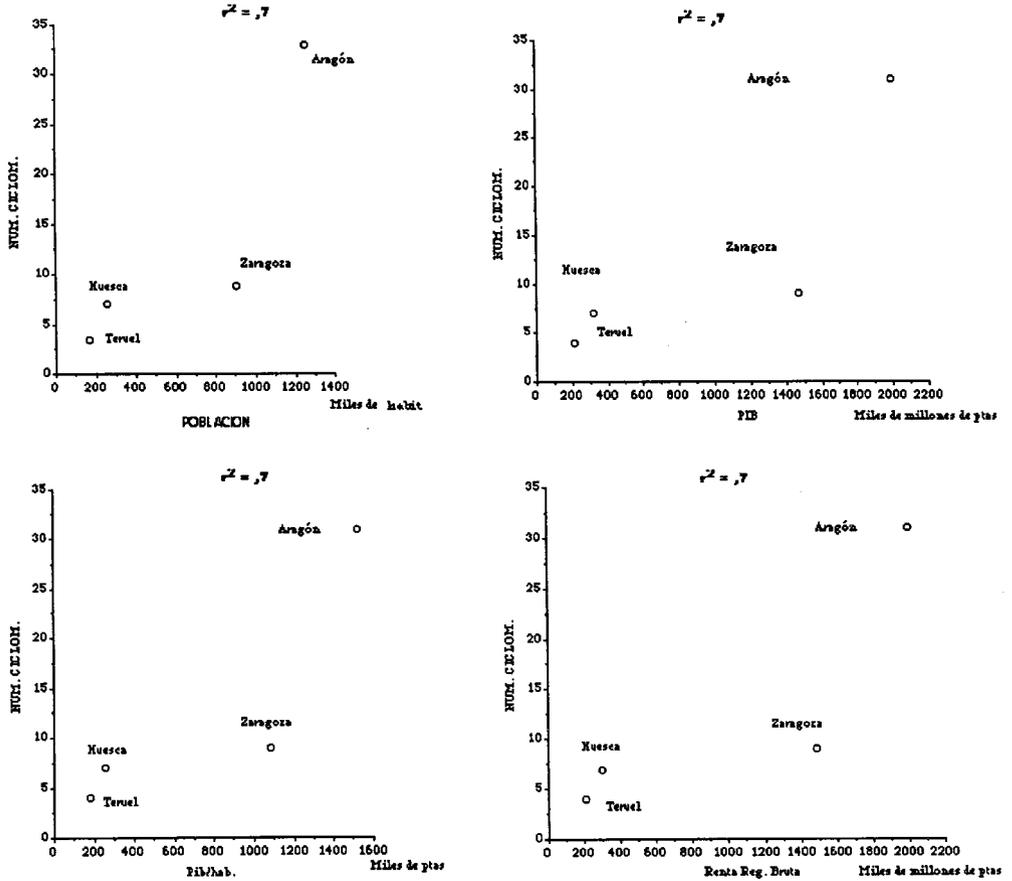
En cuanto a las Cinco Villas, la incorporación de Tudela facilita la accesibilidad de Tauste, Ejea y Tarazona. Por tanto, si anteriormente eran necesarios cuatro arcos para desplazarse de Ejea a Tarazona, con el itinerario a través de Tudela solamente son necesarios dos arcos. De la misma manera, para acceder al mismo núcleo desde Tauste se disminuye un arco.

En conclusión, los nodos más favorecidos con la integración de los nodos exteriores a Aragón son los núcleos de Tarazona y Graus (-3 arcos), Ejea y Tamarite (-2) y, finalmente, Tauste y Binefar (-1). En consecuencia, la accesibilidad de estos puntos mejora ligeramente, pero en el conjunto jerárquico de la Comunidad apenas modifican su posición. Esto se pone de manifiesto precisamente en la variación de accesibilidad topológica relativa y la centralidad de estos nodos, pues en el mencionado cuadro nº 4 se refleja la diferencia insignificante que supone para el conjunto regional, aunque a escala local este hecho tenga una importancia vital.

RELACION ENTRE LA CONECTIVIDAD Y EL DESARROLLO

La relación entre la variable de conectividad con la de población, PIB (Producto Interior Bruto), Renta Regional Bruta y PIB por habitante demuestra que la red de transporte está directamente relacionada con el desarrollo socioeconómico.

En esta línea, la correlación entre la primera y la población alcanza el 0.9, es decir, próximo a la unidad que equivale a la correlación perfecta. Igualmente sucede con la variable de PIB por habitante. No obstante, la correlación con el PIB y la Renta Regional Bruta es algo inferior, pues supone el 0.8.



Figuras 1-4.- Relación entre grado de conectividad y variables socioeconómicas (1993). Fuente, B.B.V. (1995): Renta Nacional de España y Elaboración propia.

Al considerar el coeficiente de determinación (Figs. 1-4), la asociación de la conectividad con las otras cuatro variables ofrece un resultado idéntico, pues con $r^2=0.7$ implica que el resultado explica el 70 por ciento de los casos. Este dato es significativo pero no excesivamente elevado, por lo que no es un elemento fundamental de apoyo *ad hoc*.

En definitiva, se puede argumentar que sí existe una cierta relación entre el grado de conectividad de la red de transportes y el desarrollo socioeconómico de

Aragón a escala provincial, aunque en ningún caso ello implica una relación mecanicista de causa-efecto.

RESUMEN

El análisis de la red de carreteras de la Comunidad aragonesa, mediante la aplicación de la teoría de grafos, ha puesto de manifiesto la alta conectividad de la red cuando se considera la integración de todas las infraestructuras viarias, mientras que el grado de cohesión se reduce notablemente con su desagregación y la individualización provincial.

La accesibilidad, por su parte, corrobora que los nodos más accesibles se encuentran localizados en el centro del grafo, siendo decreciente a medida que aumenta la distancia. Finalmente, la centralidad refleja las isolíneas concéntricas en torno a los nodos centrales de Cariñena, Zaragoza y Sariñena, siendo la periferia septentrional y meridional la más desfavorable. Por otra parte, la integración de nodos exteriores a Aragón en el grafo supone un ligero aumento de accesibilidad de los núcleos ubicados en las zonas de La Litera y las Cinco Villas.

La relación entre la conectividad y distintas variables socioeconómicas pone de manifiesto también que existe cierto grado de correlación entre ellas a escala provincial.

En definitiva, la técnica de grafos es válida para el objetivo propuesto, lo que no excluye la profundización de su estudio con otras metodologías.

BIBLIOGRAFIA

- BARKE, M. (1986): *Transport and trade*, Oliver and Boyd, 249 p, Edinburgh.
- B.B.V. (1995): *Renta Nacional de España. Distribución Provincial. Avance 1992/1993*, Banco Bilbao Vizcaya, 427 p, Bilbao.
- BINIMELIS SEBASTIAN, J. (1989): Evolución de la red viaria de la isla de Mallorca. Aplicación metodológica de la teoría de grafos, *XI Congreso Nacional de Geografía*, 118-130, AGE, Madrid.
- CALVO, J.L. PUEYO, A. ALONSO, M.P. Y JOVER, J.M. (1993): Matización de los valores cartográficos de accesibilidad por carretera de la España Peninsular en función de la variable demográfica, *IV Jornadas de la Población Española*, 191-200, La Laguna.

- DUPUY, G. (1987): Les réseaux techniques sont-ils des réseaux territoriaux, *L'Espace Géographique*, 3, París.
- ESCALONA ORCAO, A.I. (1990): *Las comunicaciones transpirenaicas en Aragón*, Estudios Altoaragoneses, Huesca.
- GIMENEZ Y CAPDEVILLA, R. (1986): *La Geografía de los transportes, en busca de su identidad*, Geocrítica 62, p. 63, Barcelona.
- HAGGET, P. (1965): *Análisis locacional en la Geografía Humana*, Gustavo Gili, 399 p, Barcelona.
- KANSKY, K.J. (1963): Structure of transport networks: relationships between network geometry and regional characteristics, *Research papers*, 84, Department of Geography, University of Chicago.
- MARTELLATO, D. NIJKAMP, P. y REGGIANI, A. (1995): Measurement and measures of network accesibility: economic perspectives, Conference *European Transport and Communications Networks*, Espinho, Portugal.
- POTRYKOWSKI, M. Y TAYLOR, Z. (1984): *Geografía del transporte*, 303 p, Ariel, Barcelona.
- SEGUI PONS, J.M. (1988): Aplicació metodològica de la teoria de grafos a la xarxa de carreteres D'Eivissa, *Treballs de Geografia*, 39, 97-116, Unive. de les Illes Balears, Palma.
- SEGUI PONS, J.M. y PETRUS BEY, J.M. (1991): *Geografía de redes y sistemas de transportes*, 231p, Síntesis, Madrid.
- WOLKOWITSCH, M. (1992): *Géographie des transports*, Armand Colin, 191 p, París.