

CAPÍTULO 3. ¿CÓMO SON LAS REDES DE CIUDADES EN LA REALIDAD? : UNA COLECCIÓN DE CASOS

0. INTRODUCCIÓN

Una vez introducido el paradigma de las redes de ciudades (capítulo 1) y su relación con las economías externas y el crecimiento económico (capítulo 2), el objetivo de este capítulo es presentar diferentes casos de redes de ciudades que han sido documentados y estudiados en la literatura.

La documentación de estos casos nos permite observar las características particulares de las redes, de los lugares en los que se identifican, y la existencia de las diferentes tipologías de redes de ciudades. El estudio de casos reales se convierte de este modo en una herramienta importante que soporta los aportes teóricos y permite enriquecerlos.

Los casos pueden ordenarse de diferentes maneras. Se ha optado por separarlos en una primera instancia en función del ámbito de la interacción: redes regionales, nacionales, europeas y mundiales; y en segundo lugar atendiendo al principio de formación e intercambio: redes naturales y redes de cooperación/planificación.

1. LAS 'REDES' ANTES DE LAS REDES

La capacidad humana de superar la limitación del espacio ha mejorado a lo largo del tiempo principalmente sobre la base de dos recursos (Westlund, 1999, p. 94)¹: el principio de contigüidad entre territorios (integración mediante la fusión de áreas), y la interacción en redes (cooperación entre puntos separados en el espacio). Aunque el estudio de las redes de ciudades se ha centrado en épocas recientes, pueden encontrarse estructuras de este tipo desde hace 2500 años.

La colonización griega a lo largo de las costas del Mediterráneo occidental y del Mar Negro (siglos VIII a VI a.c.) es uno de los primeros ejemplos de la interacción en forma de red. Estas colonias estaban vinculadas a sus metrópolis de origen, con las que mantenían un comercio activo, pero eran políticamente independientes. En el siglo IV a.c., la conquista de Grecia por Filipo de Macedonia acaba con la independencia de las polis, y supone el cambio de un modelo en red a un modelo que concibe el territorio como un área sometida a un poder político y militar. Algunos de los nodos de la red griega servirán como punto de referencia a la posterior expansión romana.

El modelo de interacción espacial del imperio romano puede entenderse como el opuesto al de las ciudades y colonias griegas. Es una red jerárquica, principalmente sobre la base de emplazamientos ya existentes. Se soporta sobre la base de una red de calzadas terrestres, destinadas no tanto al intercambio comercial como a asegurar y reforzar la integración de los territorios bajo el control de Roma.

Hohenberg y Less (1985)² identifican dos tipos de modelos de crecimiento urbano durante la Edad Media. El modelo de lugar central (*central place model*) es similar a los descritos por Christaller (1933)³, y es una extensión del desarrollo rural, en el que la actividad económica crece, desde el intercambio y producción local para los mercados locales, hacia el comercio de larga distancia. Un segundo tipo de modelos (*network models*) se basa en la existencia de una ciudad que actúa como pasarela (*gateway*) con una red de ciudades comerciales.

A partir del siglo XII se asiste a un auge del comercio y al desarrollo de las operaciones de cambio, los créditos y los sistemas de pago diferido. Surgen las sociedades de mercaderes como la *Guilda* y la *Hansa* en el norte de Europa y las *commenda* y *societas maris* en el Mediterráneo, sobre la base de ciudades que unen sus intereses y protegen el comercio. Estas ciudades comerciales se constituyen en

¹ WESTLUND, HANS (1999): "An interaction-cost perspective on networks and territory", *The Annals of Regional Science*, vol.33, pp. 93-121 .Springer-Verlag, 1999.

² HOHENBERG, P.M. y L.M.LESS (1985): *The making of urban Europe 1000-1950*. Cambridge, MA: Harvard University Press.

³ CHRISTALLER, WALTER (1933): *Die zentralen Orte in Süddeutschland*. Publicada en 1968 por Wissenschaftliche Buchgesellschaft, Darmstadt, Germany. Existe una traducción parcial del texto al inglés: "Central Places in Western Germany" (1968), a cargo de Baskin, y otra completa al italiano "Le località centrali della Germania Meridionale" (1980), a cargo de Elisa Malutta e Paola Pagnini.

auténticas *redes de ciudades inter-regionales*. Al igual que la red de ciudades comerciales griegas en el pasado, estas redes se desarrollaron de forma rápida y sólida sobre la base de la especialización y la cooperación, y sin los costes de conquista y defensa que tenía la integración militar de los territorios⁴. El declive de estas redes se verá asociado a los nuevos movimientos de integración de los territorios y la centralización del poder (monarquías autoritarias), así como del desplazamiento del comercio desde el Mediterráneo y el Mar del Norte hacia América. Los movimientos asociados a la colonización volverán a ser, como en el caso de Roma, asimétricos en favor de las metrópolis, que jerarquizarán los movimientos, y las colonias, que se convierten en suministradoras de materias primas.

Durante la revolución industrial asistimos a la formación de sistemas urbanos en red en lugares como el Ruhr y Liverpool-Manchester. En el Ruhr, los asentamientos se expandieron a través de la línea marcada por la red de centros comerciales medievales. Las poblaciones del Ruhr se caracterizaron por funciones económicas muy similares, que formaron un sistema urbano complejo, aunque no altamente diferenciado. En otras áreas, en cambio, los recursos de carbón combinados con una rica herencia protoindustrial produjeron una red urbana mucho más especializada. Un ejemplo es la relación entre Liverpool y Manchester, que dividieron las funciones de una capital regional. El papel de Manchester era el de centro comercial y de servicios al círculo de poblaciones del algodón a su alrededor. Liverpool era menos industrial y ofrecía mayor soporte al comercio y a la navegación. En poco tiempo, Manchester se convirtió en la cima de un conjunto de lugares centrales, mientras Liverpool ejercía de *gateway* entre la región y las redes urbanas europeas y transatlánticas (Hohenberg y Less, 1985)⁵.

⁴ Para Westlund (1999, p. 97), el éxito de estas redes se relaciona con la ausencia de un poder central fuerte en estos países y el desarrollo de la capacidad comercial basada en la especialización.

⁵ Op.cit.

2. REDES DE CIUDADES DE ÁMBITO REGIONAL

2.1. Redes de ciudades naturales (espontáneas y no cooperativas)

2.1.1. Redes de ciudades en Piamonte y Lombardía

Las redes de ciudades en el Piamonte y la Lombardía italianas se conocen a partir de los trabajos de identificación de Dematteis-Emanuel y de Camagni.

Dematteis y Emanuel utilizan datos de *stock* para revelar la presencia de relaciones de red entre ciudades en la zona del Piamonte y la Lombardía. Estos trabajos observan las diferencias entre las funciones teóricas que debe tener cada centro según su rango, y las que se observan en la realidad. Mediante la articulación funcional y territorial de los servicios se intenta analizar la proximidad de los centros urbanos al modelo jerárquico de lugar central (Emanuel, 1989, pp.118-129)⁶.

Para identificar los diferentes tipos de redes se realiza un análisis factorial sobre una muestra de servicios separados en servicios destinados a los consumidores finales (familias) y destinados a las empresas⁷. A continuación se aplica otro análisis factorial para cada una de las submuestras, con el objetivo de identificar agrupaciones de servicios espacialmente asociados, según su presencia o ausencia en los centros. Así se obtiene un primer conjunto de servicios asociados a los centros por su especialización y homogeneidad, y un segundo conjunto de servicios, definibles como centrales, que se relacionan a los centros en niveles jerárquicos regulados por su rareza y por la relación entre umbral y amplitud.

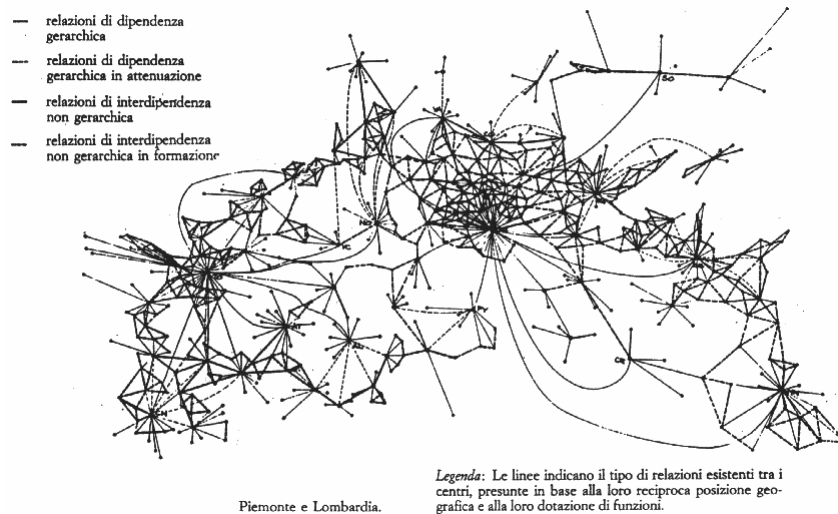
De esta manera, mientras para el primer conjunto de servicios se analiza la intensidad de la presencia de las funciones en los centros, para el segundo conjunto se analiza el perfil funcional del municipio, o bien el grado de cumplimiento de las hipótesis del modelo de lugar central que presenta el municipio. Los resultados obtenidos sugieren que la distribución de las funciones urbanas no se adapta al modelo de lugar central. Los servicios parecen agruparse no sólo por niveles jerárquicos, sino también por homogeneidad funcional o por especialización. De esta manera, se puede observar varios perfiles de municipios: municipios especializados en servicios a la agricultura, municipios especializados en servicios

⁶ EMANUEL, CESARE (1989) : “Oltre la crisi: centralizzazione e decentramento, polarità e reticoli nel Piamonte degli anni 80” en PETROS PETSIMERIS (a cura di) “Le reti urbane tra decentramento e centralità”. Franco Angeli, Milano.

⁷ La base de datos que se utiliza para analizar las características funcionales de los centros es el archivo de datos *Seat* 1985. A partir del archivo, se han dividido los servicios en aquellos destinados a los consumidores finales (familias) y los destinados a las empresas, y se han reagrupado en una muestra considerada significativa al final de la investigación. El archivo original constaba de 1506 actividades, de las cuales se han utilizado 424, de los cuales 217 eran servicios a las familias y 207 a las empresas.

turísticos-recreativos, municipios especializados en servicios a la movilidad y el transporte de mercancías, municipios especializados alrededor de la producción artesanal de muebles y los arrendamientos inmobiliarios, y municipios especializados en los servicios relacionados con la investigación industrial y de marketing⁸.

Figura 1. Redes de ciudades en el Piemonte y la Lombardia



Fuente: Dematteis (1991)

A partir de una perspectiva diferente, Camagni et al. (1994)⁹ utilizan datos de flujos telefónicos para identificar las redes de ciudades en Lombardia y el Valle del Po, y contrastar la hipótesis de que el paradigma jerárquico, basado en la literatura sobre modelos de lugar central, debe ser complementado por un nuevo paradigma, el de la ciudad-red, más amplio, donde pueden coexistir estructuras verticales y horizontales.

Para identificar patrones de redes horizontales se asimila la lógica jerárquica con el comportamiento de un modelo gravedad. El modelo de gravedad relaciona la intensidad de los flujos directamente con la masa e inversamente proporcional a la distancia entre los nodos. El procedimiento de estimación consiste en ajustar un modelo de gravedad doblemente restringido y comparar los flujos estimados con los reales. Cuando los flujos reales excedan significativamente de los flujos estimados, se dice que la lógica gravitatoria (jerárquica) no se cumple, y existe una relación de red.

⁸ El procedimiento mediante datos de *stock* ha sido criticado por Camagni, que es de la opinión de que los datos adecuados para identificar redes son datos de flujo, y no de stock, y que los resultados obtenidos por Dematteis y Emanuel no son concluyentes (Camagni y Salone, 1993, p. 1061).

⁹ CAMAGNI, ROBERTO; DIAPPI LIDIA and STEFANO STABILINI (1994): "City networks in the Lombardy region: an analysis in terms of communication flows", *Flux* n°15, p.37-50.

El análisis de los flujos telefónicos reales sugiere que conviven dos tipos de estructura, la jerarquía y la red¹⁰, y que cada una prevalece en una parte de la región de Milán. La jerarquía se cumpliría en las áreas rurales, como Pavía, mientras que en zonas menos rurales, se encontraría evidencia de estructuras reticulares. Las redes se formarían a partir de un nodo especializado, que elige a sus nodos colaboradores e inhibe el desarrollo de especializaciones similares fuera de la red, en un proceso de competencia-cooperación.

Figura 2. Flujos telefónicos macro-nivel (excepto los flujos con Milán)



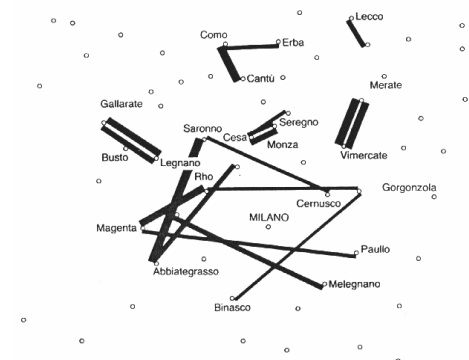
Fuente: Camagni et al. (1994)

La estimación se lleva a cabo para la Padania y la Lombardia, con y sin Milán (con la intención de aislar el efecto de la gran masa de Milán), y tomando en consideración sólo los flujos que superan un umbral. Los resultados confirman la coexistencia, para diferentes niveles de desagregación territorial y diferentes zonas, de estructuras jerárquicas y reticulares. La comparación de los flujos reales y estimados a nivel de distrito muestra otros dos resultados interesantes: la función de Milán como portal regional, y la presencia de distritos especializados y nodos multifuncionales.

En general, se extraen las siguientes conclusiones:

- Coexisten relaciones jerárquicas con relaciones no jerárquicas (reticulares);
- las estructuras de red no conectan centros de rangos diferentes, sino que se producen entre ciudades de tamaños muy parecidos;
- las relaciones en forma de red son mucho más intensas entre nodos pequeños o medianos que entre nodos grandes;
- los centros de las áreas actúan como catalizadores del intercambio de información entre áreas
- Encontramos evidencia de dos tipos de estructuras reticulares: redes de complementariedad, similares a distritos marshallianos, y redes de sinergia, con el objetivo de asumir funciones de alto rango.

Figura 3. Resultados del modelo de gravedad para Lombardia



Fuente: Camagni et al. (1994)

¹⁰ Camagni suele asimilar el término “redes de ciudades” con las redes de ciudades horizontales. Para mayor detalle puede consultarse en el capítulo primero el epígrafe destinado a los distintos conceptos de red.

2.1.2. El Ruhr

El Ruhr es una conurbación compuesta de 30 ciudades, de las cuales 25 superan los 100.000 habitantes. Ocupa una superficie de 15.000 km² y se divide en tres zonas: la cuenca del Ruhr, la línea del Rin y el Bergische Land.

Una de las principales características del Ruhr es la facilidad con la que sus ciudades son capaces de constituir redes de forma espontánea, lo que no evita que cada ciudad mantenga su identidad y su especificidad, y siga compitiendo con las demás. La capacidad de formar red (*networking*) es el resultado de varios factores (Neuschwander y Berthe 1992, p. 44)¹¹:

- La tradición histórica de relación y de cooperación
- El número y la calidad de las comunicaciones
- La proximidad geográfica de las poblaciones
- La homogeneidad resultante de un proceso de desarrollo similar
- El marco institucional

Las redes operan a tres niveles: un primer nivel (estructural) en el cual algunas redes vinculan el Ruhr al exterior; un segundo nivel de cooperación intercomunal, formado por las redes de ciudades locales; y un tercer nivel donde los actores son capaces de movilizarse formando redes particulares para afrontar situaciones determinadas¹².

Este equilibrio se mantiene desde el siglo XII, en los que Essen, Duisburg, Dortmund y Bochum eran ciudades hanseáticas. Su tradición como ciudades de la Hansa acostumbradas a cooperar, y su proximidad geográfica, facilitaron la perpetuación de las redes hasta la actualidad. Neuschwander y Berthe (1992, p.44)¹³ destacan que las relaciones comerciales entre las ciudades desde tiempos de la Hansa propiciaron que, hasta la actualidad, en el trasfondo de la red hayan dominado las motivaciones económicas sobre las políticas. Houtum y Lagendijk (2000)¹⁴ también destacan la fuerte identidad económica de la región, frente a la falta de una identidad política o de conciencia regional, que no les es necesaria para formar las redes de ciudades.

¹¹ NEUSCHWANDER, CLAUDE y PIERRE BERTHE (1992): "Town networks-The Ruhr example", *Ekistics*, nº 352.

¹² Aunque la planificación del Ruhr intenta aplicar una jerarquía de centros en la provisión de equipamientos, la realidad es que entre las ciudades de la zona no existe ninguna que destaque sobre las demás con la fuerza suficiente para jerarquizar el territorio. La falta de un centro principal puede ser un factor que haya reforzado la cooperación entre las diferentes ciudades.

¹³ Op.cit.

¹⁴ HOUTUM, HENK VAN y ARNOULD LAGENDIJK (2000): "The role of regional identity in the construction of polycentric urban regions, the cases of the Rhur Area and the Basque Country", paper presented at the 40th Congress of the European Regional Science Association, Barcelona, Spain, 29 August-1 September.

Figura 4. Ciudades del Ruhr



Fuente: Neuschwander y Berthe (1992)

De esta manera, desde el siglo XII hasta el siglo XXI, y pasando por el desarrollo industrial del XIX, en las relaciones entre las poblaciones del Ruhr la economía ha precedido siempre a la política. Las corporaciones municipales han continuado una tradición ancestral que, aún en ausencia de formalismos, ha mantenido la eficiencia en sus modelos relacionales.

Si se lo considera agregadamente es una de las principales aglomeraciones europeas¹⁵, dotada de buenos equipamientos. Si se lo considera separadamente, es un conjunto de ciudades intermedias que utilizan conjuntamente algunos equipamientos en

base al principio de complementariedad. Por ejemplo, el sistema de comunicaciones permite utilizar los aeropuertos de Düsseldorf y de Colonia con tiempos de acceso realmente bajos desde cualquier lugar del Ruhr.

En conjunto, podemos caracterizar el Ruhr como un área con una facilidad especial para estimular y crear redes de ciudades. Las ciudades son autónomas, conservan su identidad y compiten entre ellas, pero son capaces de cooperar en red (mediante un sistema de relaciones informales y espontáneas), con el objetivo de movilizar recursos que superan sus capacidades individuales. De esta manera, se lo puede considerar como una superposición de redes horizontales en diferentes capas, que comunican cada una con la otra.

Aún así, debe quedar muy claro que la cooperación en red no es una estrategia única e infalible para el crecimiento y la resolución de problemas. De hecho, la zona del Ruhr sufre desde los años 70 un proceso de reestructuración debido a que la base industrial tradicional, motor del Ruhr, lastra ahora el crecimiento de la zona, como se ve en la reducción de la participación sobre el PIB alemán, el incremento del desempleo y la pérdida de población. Además de la dependencia de industrias en declive, también se observa falta de flexibilidad en el mercado laboral, falta de mano de obra cualificada, contaminación ambiental y un sistema de comunicaciones más adaptado al transporte en masa que a las necesidades de la pequeña y mediana empresa.

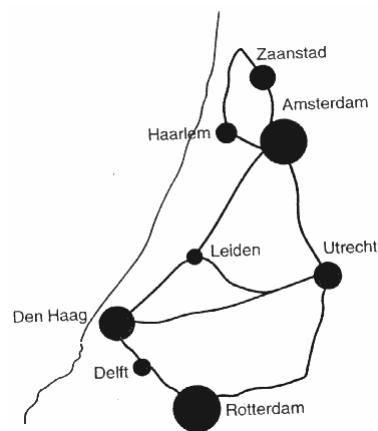
Esto sugiere que, obviamente, el *networking* es un instrumento y una potencialidad (y que puede servir para transmitir tanto economías como deseconomías), y por tanto debe completarse con el diseño y uso de otros instrumentos y políticas adecuadas para cada zona.

¹⁵ En la clasificación de la DATAR podría ser la tercera mayor aglomeración europea en términos poblacionales, además de producir el 8% del PIB alemán a principios de los 90.

2.1.3. El Randstad holandés

El Randstad es un sistema de ciudades definido tradicionalmente como *ciudad anillo*. Es la zona más densamente urbanizada de Holanda. El área incluye 6 millones de habitantes y dos millones de puestos de trabajo, divididos en 200 municipalías, incluyendo tres conurbaciones agrupadas alrededor de las ciudades de Ámsterdam, Róterdam, La Haya y Utrecht, que se complementan con nodos menores en Delft, Haarlem y Zaanstad. El centro del anillo y el espacio entre ciudades está ocupado por un cinturón verde, que los planificadores intentan conservar a toda costa.

Figura 5. Red de ciudades en el Randstad



Fuente: Batten (1993)

El Randstad combina las características de una gran metrópolis con las de un área rural, que marca los niveles de la estructura urbana y divide el área en poblaciones separadas. En términos de organización espacial y de funcionamiento, el Randstad es una metrópolis polinucleada. La principal diferencia con otras metrópolis es que no existe una ciudad que domine la región o el país (Boelens y de Herder 1992, p. 34)¹⁶.

Los orígenes de la red se remontan al siglo XIX, durante la revolución industrial (Batten, 1995, p. 321)¹⁷. En este periodo, el rápido crecimiento económico a las orillas del Rin permitió que las ciudades situadas en sus orillas contrarrestaran la supremacía de Ámsterdam, de manera que Róterdam se convirtió en el puerto principal y La Haya en residencia real y capital política. El resultado final fue la descentralización de la estructura del sistema de ciudades del Randstad.

En la actualidad, estas ciudades están tan integradas que podemos hablar de ellas como un ejemplo de red madura (Batten, 1995, p. 321). Su vocación es la de una red de complementariedad, donde cada ciudad o conurbación se especializa en unos elementos determinados: puerto, aeropuerto, funciones políticas, orientación internacional u orientación hacia la economía nacional. La identidad y las potencialidades de cada lugar se perciben como uno de los mayores valores de su estructura espacial.

¹⁶ BOELENS, LUK and WOUTHER DE HERDER (1992): "Randstad Holland: Towards a new regional balance in a united Europe", *Ekistiks*, nº352.

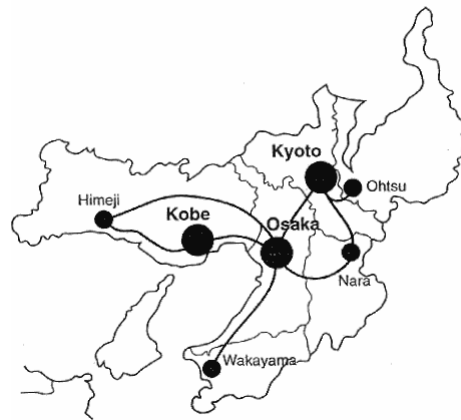
¹⁷ BATTEN, DAVID (1995): "Network Cities: Creative Urban Agglomerations for the 21th Century", *Urban Studies*, vol.32, nº2, p.313-237.

2.1.4. Kansai

Otro caso de red de ciudades documentado por Batten (1995, p. 322)¹⁸ es el de Kansai (o Kinki) en Japón. Se trata de una región urbana que históricamente ha competido con Tokio, y que se compone de seis prefecturas: Osaka, Hyogo, Kyoto, Nara, Wakayama y Siga. Cada una de las prefecturas aparecía con una tradición y una especialización diferente, y no había cohesión entre ellas. Esta fue una de las causas de que el crecimiento de Tokio fuera dominante durante décadas, y sin embargo, esta misma diversidad es la causa de que al incrementar la integración entre estas prefecturas, comenzaran a configurarse como una red de ciudades.

Las ciudades más grandes son Osaka (2,6 millones de habitantes), Kyoto y Kobe (también ciudades millonarias), pero unas buenas infraestructuras de transporte permiten integrar a la perfección otros nodos de menor tamaño como Himeji, Nara, Ohtsu y Wakayama. El núcleo central de Kansai, conocido como el área metropolitana de Keihanshin contiene una población superior a los 18 millones de habitantes, y Kansai entero supera los 21 millones.

Figura 6. Red de ciudades en Kansai



Fuente: Batten (1993)

En cuanto a su especialización, Nara y Kyoto son antiguas capitales imperiales (Kyoto fue la capital milenaria del país hasta 1868), y contienen activos culturales muy importantes. Kobe y Osaka son ciudades portuarias, lo que les concede carácter de ciudades internacionales. Kyoto y Kobe son también capitales administrativas y con funciones industriales.

Osaka es también el centro comercial e industrial. Desde mediados del siglo XVI hasta 1868 es la primera ciudad industrial y comercial de Japón, y a finales del XIX recupera su estatus de primer centro económico de Japón, aunque Tokio retiene la primacía administrativa y política. Es un centro tradicional de industria textil, construcción naval, electricidad, química y otras industrias pesadas. La crisis de estos sectores tradicionales provoca el declive de Osaka a principios de los años 70, mientras que Tokio se especializa en servicios y refuerza su función de capital y de ciudad internacional. Desde finales de los 70, Osaka renueva los sectores tradicionales mediante la introducción de innovaciones de producto y de diseño, y además comienza la incorporación de sectores de alta tecnología, como electrónica, circuitos, instrumentos de precisión y biotecnología.

¹⁸ Op.cit. El tema de Kansai también lo aborda el mismo autor en BATTEN, DAVID (1993): "Network cities versus central place cities: building a cosmo-creative constellation", en A.;A.N.E. ANDERSSON, BATTEN, D.F., KOBAYASHI, K. and K.YOSHIKAWA (eds.): *The cosmo-creative society*; p.137-150. Heildelberg: Springer.

La integración entre las diferentes prefecturas de Kansai en una red de ciudades no sólo la convierte en una red de 21 millones de habitantes en interacción, sino que el reconocimiento de este hecho le lleva a una planificación integrada para el área, con proyectos como la construcción de un nuevo aeropuerto internacional o las dos ciudades científicas.

2.1.5. Redes en la Región Metropolitana de Barcelona y en la Provincia de Barcelona

La Región Metropolitana de Barcelona es un ámbito de planificación (Pla Territorial Metropolità de la RMB) que coincide con el área metropolitana de 1991. Se compone de 163 municipios, 4,5 millones de habitantes y 1,5 millones de ocupados¹⁹.

La identificación de redes de ciudades en la RMB ha sido abordada desde diferentes puntos de vista. En Trullén y Boix (2000)²⁰ y Boix (2000 a)²¹ se adaptan los trabajos de Camagni (1994)²² y Dematteis y Emanuel 1990²³ para identificar redes de municipios. Los resultados de estos trabajos permiten observar las características principales de las redes de ciudades en la Región Metropolitana de Barcelona:

- el esqueleto principal es el de una región urbana policéntrica, aunque como en Turín o Milán, destaca la posición central de Barcelona
- coexistencia de estructuras jerárquicas, policéntricas y horizontales. Barcelona y los subcentros ejercen una posición de jerarquía relativa sobre el territorio, pero que se completa con la existencia de una densa red horizontal entre los municipios con tamaños similares. En algunos corredores la estructura es claramente de red, sin ningún centro dominante;
- detección de redes de sinergia y redes

Figura 7. Redes de ciudades en la región metropolitana de Barcelona. Barcelona no mapificada



Fuente: Boix (2000 a)

¹⁹ En 1996 superaba ampliamente los 200 municipios, y las previsiones para el 2001 son de que podría superar los 400 municipios, y abarcar más de 5 millones de habitantes y 2 millones de ocupados.

²⁰ TRULLÉN, JOAN y RAFAEL BOIX (2000): "Policentrismo y redes de ciudades en la Región Metropolitana de Barcelona", III Congreso de Economía Aplicada, Valencia.

²¹ BOIX, RAFA (2000a): Redes de ciudades en la Región Metropolitana de Barcelona. Departament d'Economia Aplicada, Universitat Autònoma de Barcelona.

²² Op.cit.

²³ EMANUEL, CESARE y GIUSEPPE DEMATTEIS (1990): "Reti urbane minori e deconcentrazione metropolitana nella Padania centro-occidentale", en D.MARTELLATO y F.SFORZI (eds) "Studi sui sistemi urbani" pp.233-261, Milano, Franco Angeli.

de complementariedad. Las redes de sinergia se detectan alrededor de los subcentros con tradición de distritos industriales. La complementariedad resulta más difícil de detectar a nivel de municipio, pero aún así se observa la complementariedad de servicios entre municipios del mismo rango;

Además de los trabajos anteriores, existe otro trabajo que intenta identificar las redes de movilidad emergentes (Nel-lo, López y Piqué 2000)²⁴. El ámbito de referencia es la provincia de Barcelona, un ámbito de alrededor de 310 municipios, aunque su núcleo principal es la Región Metropolitana de Barcelona. Para responder a las necesidades del estudio, se intenta ver cuáles son los destinos relevantes en términos de movilidad de cada municipio. Para ello se aplica un concepto de **flujo significativo**, que se deriva de ajustar los sucesivos destinos a un método de minimización cuadrática, que determina qué flujos son significativos y cuáles no. Los resultados están fuertemente condicionados por el tipo de datos utilizados (flujos de *commuting*) y por la metodología. Los resultados muestran una elevada autocontención de los municipios en 1986, que se transforma en una gravitación hacia los subcentros principales en 1991 y comienza a mostrar formas de retícula en 1996²⁵.

2.2. Redes de cooperación y planificación

2.2.1 Redes regionales de cooperación en Francia

Camagni y Salone (1993, pp.1059-1060)²⁶ y Tesson (1997)²⁷ proporcionan ejemplos de redes de innovación en Francia. En este caso, las redes de ciudades responden a unos acuerdos tácitos de cooperación entre administraciones locales fomentadas por la DATAR como una política de urbanismo y desarrollo desde finales de los años 80. Las redes se basan en el concepto sociológico de comunidad potencial de acción (Tesson 1997, p. 26)²⁸, y sus características principales son el intercambio y la solidaridad, la flexibilidad y solidez, y el dinamismo y eficacia.

²⁴ NEL-LO, ORIOL, LÓPEZ, JOAN. y JOSEP MARIA PIQUÉ (2000): Les xarxes emergents de mobilitat al nostre territori. Institut d'Estudis Metropolitans de Barcelona.

²⁵ A grandes rasgos, los resultados coinciden con los de las investigaciones anteriores.

²⁶ CAMAGNI, ROBERTO e CARLO SALONE (1993b): "Elementi per una teorizzazione delle reti di città", en R.CAMAGNI e G.DE BLASIO (a cura di) "Le reti di città: teoria, politiche e analisi nell'area padana". Franco Angeli, Milano.

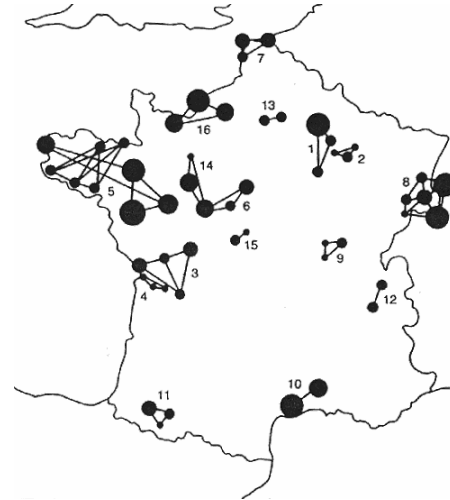
²⁷ TESSON, F. (1997): "Les expériences françaises de réseaux de villes: des dynamiques pour de nouveaux territoires", *Flux*, nº 27/28, p.25-39.

²⁸ Op.cit.

Los objetivos de estas redes de cooperación son:

- a) se organizan entre centros que cooperan sobre proyectos específicos con el objetivo de alcanzar la suficiente masa crítica. De esta manera, pueden llevar a cabo proyectos relevantes que no podrían abordar como ciudades aisladas;
- b) pretenden ganar en coherencia a los límites político-administrativos de los territorios, en la medida que dejan de postular que estos límites constituyan el único perímetro posible de respuesta a las potencialidades y a los problemas;
- c) se constituyen en una lógica pragmática frente a una concepción muy centralizada del territorio francés;
- d) otros objetivos básicos son la gestión del territorio y la equidad.

Figura 8. Redes de innovación en Francia



Fuente: Camagni y Salone (1993)

En total, las distintas redes de ciudades de la DATAR están compuestas de 63 ciudades de distintos tamaños y con objetivos concretos diferentes: 41 ciudades superan los 60.000 habitantes, 8 entre 50 y 60.000 habitantes, 10 entre 40 y 50.000, 5 entre 30 y 40.000, 10 entre 20 y 30.000, y 8 ciudades tienen menos de 20.000 habitantes.

Las redes también difieren en número de ciudades, en el volumen total de población que abarcan y en su distribución geográfica. En cuanto a su localización, se han desarrollado principalmente en la periferia de los grandes polos de desarrollo, en los límites de las regiones, y en los límites del territorio francés (Tesson 1997, p. 34). De esta manera encontramos siete redes en el oeste, dos en el este, una en el norte, en las cuales 35 de sus ciudades están en los límites del territorio.

En lo referente a sus vocaciones específicas, se trata de redes basadas en acuerdos de cooperación en materia de provisión de infraestructuras, servicios tecnológicos, programas educacionales y culturales, y gestión del turismo y promoción.

3. REDES DE CIUDADES DE ÁMBITO NACIONAL

3.1. Redes de ciudades naturales (espontáneas y no cooperativas)

3.1.1. Red de sistemas urbanos en Italia

Otro caso que aborda la clasificación de sistemas urbanos y la identificación de las relaciones de red es Dematteis (1997 b, c)²⁹, donde se examina la relación entre el proceso de integración y las redes regionales en Italia. La investigación parte de los 148 mayores DUS³⁰ italianos, definidos por el ISTAT en 1994. Los DUS actúan como nodos de la red, y están dotados de características propias, de manera que la investigación se basa en identificar las características de los nodos (DUS) en relación a las características de red y en medir la intensidad de las interacciones regionales.

Para medir la importancia de las características de red de los DUS como nodos de redes globales se utilizan cuatro indicadores³¹:

- 1a. Tamaño del DUS, medido en población y ocupación, bajo el supuesto de que las interacciones de red crecen con el tamaño;
- 2a. Especialización económica del DUS, medida mediante los coeficientes de especialización en servicios a las empresas, industria manufacturera y servicios al consumo. El supuesto es que las interacciones de red incrementan con la especialización y la cualificación de las actividades;
- 3a. Grado de internacionalización, medido por el número de funciones internacionales. El supuesto es que la interacción de red incrementa a medida que incrementan estas funciones.

Para medir la intensidad de las interacciones territoriales entre los diferentes DUS, se utilizan tres indicadores:

- 1b. Intensidad y nivel de interacciones entre los nodos de la red regional a la cual el DUS pertenece, aproximado como:
 - 1b'. Densidad de nodos urbanos en la red (número de DUS de la red);
 - 1b''. Intensidad de viajes al trabajo entre los DUS;
 - 1b'''. Número de niveles funcionales jerárquicos en la red regional
- 2b. Posición (rango) del DUS en la red regional

²⁹ Existen dos versiones del trabajo que son prácticamente idénticas: la publicada en G.Dematteis e P. Bonavero (a cura di) "Il sistema urbano italiano nello spazio unificato europeo" (en italiano), y la versión publicada en GeoJournal 43.4 (en inglés). Aunque la versión del GeoJournal es más fácil de encontrar, recomiendo la versión italiana, porque incorpora información más completa sobre los indicadores y las tablas de valores de estos indicadores.

³⁰ Daily Urban Systems o Sistemi Giornalieri.

³¹ Para mayor detalle, consultar las tablas finales de Dematteis (1997 b).

3b. Dinámicas demográficas difusivas, medidas en número de DUS contiguos con crecimiento demográfico durante los años 80.

A partir de estos indicadores se obtienen los resultados mostrados en los dos mapas de la figura 9. El primer mapa muestra la clasificación de los DUS en relación al grado de integración en redes supraregionales, y el segundo muestra la forma de las redes regionales.

Las conclusiones de la investigación sobre las características de la red de sistemas urbanos italianos son:

- Las conexiones de red regionales son más importantes que el tamaño individual de los sistemas urbanos. Se rechaza también la hipótesis pesimista de que los grandes polos metropolitanos detraen recursos a los otros centros, y se acepta la hipótesis contraria, es decir, que la proximidad a los polos metropolitanos estimula la división del trabajo entre los nodos de las redes regionales;
- En algunos sistemas urbanos, como la Lombardía, se superponen estructuras jerárquicas monocéntricas y estructuras de red policéntrica. En estos sistemas, las relaciones de sinergia y complementariedad tienden a desarrollarse de forma espontánea, y son, por tanto, los lugares idóneos para la implementación de las políticas de red³²;
- Los sistemas regionales reemplazan a las áreas metropolitanas. El concepto de área metropolitana en los países europeos responde más a las concentraciones urbanas de los años sesenta que a la fase actual de polarización selectiva. En este sentido, el área metropolitana se adecua más a una forma de aglomeración compacta y suburbanización, que a las nuevas estructuras emergentes en forma de red, que ya no se basan en la contigüidad de la expansión de los asentamientos. Al contrario que las áreas, las redes escapan del control puramente territorial, debido a que la geometría de la red cambia continuamente. Por esto las formas espaciales de los gobiernos locales y regionales deben basarse en una geometría variable.
- La conexión de los sistemas regionales no significa su fusión.

Figura 9. Posición de los DUS en la relación entre interacción de red e integración regional



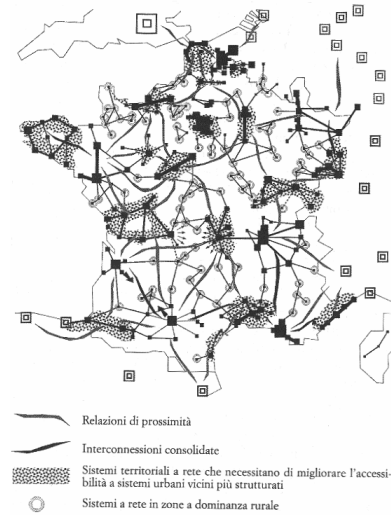
Fuente: Dematteis (1997 b)

³² Podemos comprobar que, en sus trabajos, la posición de Dematteis respecto a la implementación de políticas de red es más restrictiva que la de otros autores. Dematteis opina que las posibilidades de éxito de las políticas de red, en entornos donde no se den unas condiciones favorables, son bajas, y que en cambio pueden ser muy provechosas en entornos donde ya existe una fuerte interacción entre los actores. Esta postura justificaría el estudio previo del entorno antes de plantearse la aplicación de cualquier tipo de política de red.

3.1.2. Redes de ciudades en Francia

Francia ha sido uno de los países que más atención ha prestado desde los años sesenta al diseño e implantación de políticas de desarrollo que tienen como uno de los factores esenciales el territorio. El territorio francés es un territorio con elevados grados de centralismo. Desde principios de los años 80 las políticas de cooperación entre ciudades son un instrumento con el que contrarrestar el débil tejido de ciudades medianas. La segunda generación de políticas de redes, a mediados de los años 90, parte del trabajo de identificación de las dinámicas existentes entre ciudades y sistemas urbanos, partiendo de consideraciones de proximidad y de relaciones existentes o potenciales entre las ciudades. En concreto, estudio de la DATAR (1994)³³ que sirve como preparatorio del esquema nacional de desarrollo del territorio, distingue entre relaciones derivadas de la proximidad, interconexiones consolidadas, pequeños sistemas en red en zonas rurales, y sistemas autocontenidos con necesidad de apertura a sistemas vecinos³⁴.

Figura 10. Redes de ciudades en Francia



Fuente: DATAR (1994)

3.1.3. Redes urbanas en Finlandia

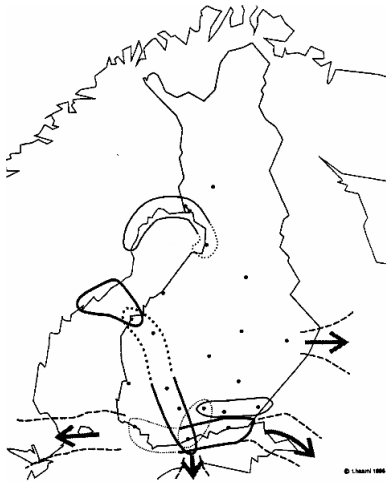
El estudio de Vartiainen (1997, pp. 7-8)³⁵ sobre redes urbanas en Finlandia se basa en entrevistas con los responsables de las políticas de desarrollo espacial de las principales ciudades y consejos, y en los documentos de planificación y proyectos. El objetivo era la búsqueda de redes de ciudades funcionales entre ciudades adyacentes.

³³ DATAR (1994): Débat national pur l'aménagement du territoire: document introductif. La Documentation Française, Paris.

³⁴ El esquema que reproducimos es el las relaciones "naturales" de red identificadas por la DATAR. Las redes planificadas a partir de relaciones de cooperación se analizan en este mismo capítulo.

³⁵ Op.cit.

Figura 11. *Redes urbanas en Finlandia y principales direcciones del networking.*



Fuente: Vartiainen 1997, p. 13

Las principales redes de ciudades traspasan la frontera finlandesa hacia el sur, soportadas por corredores de transporte. Helsinki se sitúa entre dos redes-corredor, planificado para llegar a las ciudades del Báltico (Tallin y Riga). Otras redes identificadas son la de Via Finlandia (cooperación para marketing internacional) y Vaasa-Umeå. Se identifican dos redes entre Finlandia y Suecia, de naturaleza multifuncional.

Otras características que se observan son la relevancia de las universidades, parques científicos y compañías en las redes de innovación y transferencia, y la concentración de las redes de ciudades en las zonas de mayor urbanización, mientras que en las zonas de urbanización dispersa las ciudades continúan manteniendo características de lugar central, tanto por su lugar en el sistema nacional de ciudades, como por su especialización.

3.2. Redes de cooperación y planificación

3.2.1. Redes urbanas en Alemania

En la Guía para la planificación territorial (BFLR 1993)³⁶, el gobierno alemán recoge el esquema de redes de ciudades que conforman el sistema urbano de Alemania. La forma en que se llega a caracterizar estas redes no se especifica con claridad, aunque su utilidad es servir como instrumento para la ejecución de políticas. Uno de los principales objetivos de estas políticas es la atenuación de los desequilibrios entre el este y el oeste mediante el refuerzo de una organización espacial policéntrica sobre la base de redes de ciudades. A partir de este esquema operarían otras políticas como la descentralización de competencias y las políticas de infraestructuras a nivel de sistema urbano nacional y de red local.

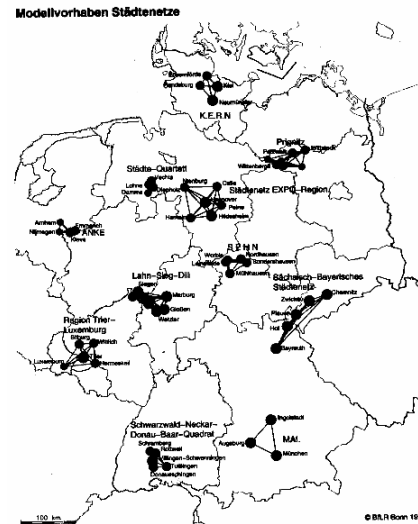
El otro objetivo que rige la política de redes en Alemania es la competencia de las ciudades alemanas con las ciudades europeas. La organización en redes debería promover una planificación más flexible, fomentando la cooperación horizontal entre ciudades cercanas.

³⁶ BFLR (Bundesforschungsanstalt für Landeskunde und Raumordnung) (1993): Guidelines for regional planning. Bonn.

En el documento se distingue entre las redes consolidadas y las redes en formación, y también presta atención a aquellas redes con necesidad de refuerzo o poco desarrolladas. Entre las redes que se distingue encontramos³⁷:

- La red de la Hansa: compuesta por Hamburgo, Bremen, Greifswald, Kiel, Lubeca, Rostock, Schwerin, Stettino, Stralsund y Wismar. Esta red se corresponde con una parte de las ciudades que formaban la antigua Liga Hanseática.
- Red formada por Berlín, Brunswick, Frankfurt, Hannover, Magdeburgo y Potsdam.
- La red de Brandeburgo y la aglomeración de Berlín.
- La red de Dessau, Halle y Lipsia.
- La red urbana de Dresda, desde el valle del Elba superior por Chemnitz, Zwickau.
- La red urbana de Turingia, formada por Eisenach, Erfurt, Gera, Jena, y Weimar, con vínculos a Bad Hersfeld, Fulda y Kassel.

Figura 12. Model projects in “ExWoSt-Forschungsfeld Städtenetze”



Fuente: Vartiainen 1997, p. 14

Las ciudades alemanas suelen presentar dos características que las hacen interesantes en términos de políticas de redes: suelen ser ciudades especializadas, y son ciudades espacialmente cercanas. El esquema de redes de ciudades del BFLR (1993), que como hemos visto introduce las redes de ciudades en los nuevos principios para el desarrollo espacial y la planificación, termina finalmente experimentándose en 11 redes urbanas (a partir de las 6 anteriores) de varias categorías y tamaños (alrededor de grandes centros, en torno a centros medios y pequeños, en áreas transfronterizas, etc.), y a través de medidas concretas de política económica local, comunicaciones, infraestructuras, turismo, cultura, tecnología, *management* municipal, etc. (Vartiainen 1997, p. 8)³⁸.

Posiblemente es demasiado pronto para evaluar los resultados de la política de redes en las ciudades alemanas, al tratarse de políticas a medio y largo plazo. Vartiainen (1997, pp. 8-9) llama la atención respecto a que se contrastan respuestas positivas en algunas redes, aunque duda del éxito de la cooperación multifuncional. La duda de Vartiainen puede estar fundamentada, puesto que al fomentar una relación multiplexa (sobre varios objetivos) entre las ciudades de cada red, es

³⁷ La enumeración ha sido tomada de Salone (1997, pp.82-84). SALONE, CARLO (1997): “Le politiche urbane e territoriali nell’Europa comunitaria”, en GIUSEPPE DEMATTEIS e PIERO BONAVERO (a cura di) “Il sistema urbano italiano nello spazio unificato europeo”. Il Mulino, Bologna.

³⁸ VARTIAINEN, PERTTU (1997): “Urban networking: an emerging idea in spatial development planning”, 37th European Regional Science Association Congress, Roma 26-29th August 1997.

posible que algunas de las relaciones se consoliden, mientras que otras no. Por ejemplo, en el caso de la red urbana Saxonia-Bavaria, la red acaba consolidándose alrededor de proyectos de turismo y cultura, mientras que la cooperación en materia de transferencia de tecnología resulta escasa.

3.2.2. La red policéntrica Suiza

En 1996, el gobierno federal suizo adoptó una estrategia de desarrollo espacial (*Grundzüge der Raumordnung Schweiz* o Guía para el desarrollo espacial suizo)³⁹. Las principales directrices de esta estrategia son reducir las tendencias negativas del desarrollo en Suiza, adaptarse a los cambios ante un mercado global y mejorar la posición competitiva frente a otras regiones-ciudad europeas.

Los principales problemas del desarrollo urbano en Suiza se dividen en dos grupos: a nivel interno y en el contexto internacional. A nivel interno, los principales problemas son la tendencia de las actividades de mayor nivel de concentrarse en los principales centros urbanos, y el creciente *sprawl* urbano. En el contexto internacional, los problemas derivan de que, a nivel individual, el tamaño de las ciudades suizas (las mayores son de alrededor de un millón de habitantes) parece demasiado pequeño para competir con el resto de ciudades-región europeas, con varios millones de habitantes.

La parte central de la estrategia es el desarrollo de una **red urbana policéntrica** aprovechando el sistema de ciudades existente en Suiza (Ringli, 1997, pp. 5-7)⁴⁰. El sistema dispone de una serie de ciudades de tamaño medio con una especialización relativa dentro del sistema: Ginebra y Lausana (sede de organizaciones internacionales), Berna (Gobierno y administración), Zurich (Negocios y finanzas), y Basilea (Alta tecnología farmacéutica). Se completa con una serie de ciudades de pequeño tamaño (Lötschberg, Luzen, Gotthard, Lugano, Domodossola, Olten, St.Gallen, Sargans, Chur, etc.). Un sistema de transporte eficiente une las ciudades grandes, medias y pequeñas que configuran una “ciudad suiza funcional”. De esta manera, la red urbana está formada por un número relativamente elevado de ciudades de tamaño mediano y pequeño, que se pretende utilizar para evitar problemas de congestión.

La **conectividad** entre el sistema de ciudades se pretende asegurar a partir de la coordinación entre transporte público y privado. El ferrocarril es elemento central en su papel de infraestructura de comunicaciones que une directamente los centros de las principales ciudades del sistema

La red urbana funcional, en su disposición policéntrica, ofrece oportunidades para que las ciudades **cooperen en vez de competir** por la atracción recursos. Cada

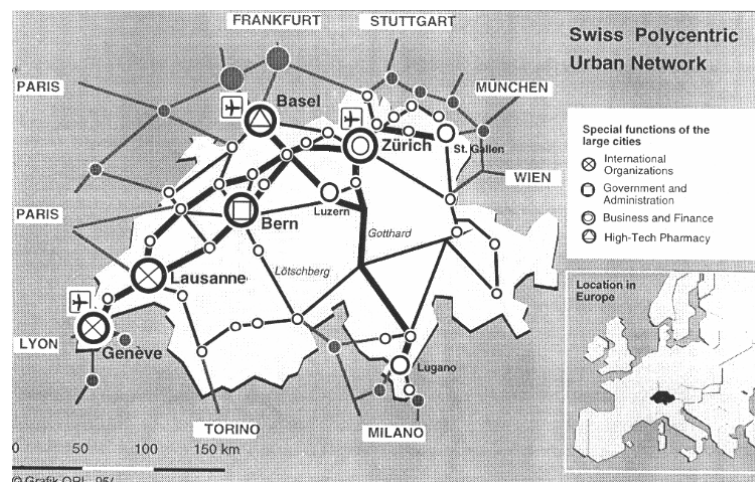
³⁹ BUNDESAMT FÜR RAUMPLANUNG (1996): “Grundzüge der Raumordnung Schweiz”, *Bericht* v.22, Bern.

⁴⁰ RINGLI, HELLMUT (1997): “The Swiss urban development strategy: A polycentric urban network”, *Ekistics*, n° 282, p.4-11.

ciudad debe mantener y reforzar aquellas funciones en las que posee una fortaleza relativa (Ringli, 1997, p. 8)⁴¹. El funcionamiento paralelo en la red asegura que el resto de ciudades de la red cubra las debilidades puntuales que pueda tener una ciudad en un recurso determinado, sea administración, finanzas, alta tecnología, etc., y un sistema de comunicaciones eficiente debe facilitar el acceso rápido al resto de recursos del sistema, de centro a centro de cada ciudad⁴².

En conjunto, se pretende utilizar el substrato urbano existente para convertir el sistema de ciudades suizo en una red urbana policéntrica, sobre la base de la complementariedad de funciones diferentes. Mediante el recurso de la red de complementariedad se busca también resolver el *handicap* de la reducida dimensión de las ciudades suizas, que para los autores de la estrategia es un problema (conseguir aumentar la escala). De esta manera, se pretende configurar una red de ciudades que contendría alrededor de tres millones de habitantes y dos millones de puestos de trabajo, y conseguir la dimensión necesaria para proveer servicios más especializados (que no podría ofrecer ninguna de las ciudades por separado) y a los profesionales de mayor nivel⁴³.

Figura 13. Proyecto de la red policéntrica suiza



⁴¹ Op.cit.

⁴² Además, con el sistema de transporte ferroviario eficiente se pretenden disminuir los problemas derivados de la movilidad obligada y contener el *sprawl* urbano. Cuando un centro urbano se encuentre congestionado, se deberán utilizar las ciudades cercanas de la red para descongestionarlo.

⁴³ La orientación de una parte de la estrategia hacia una mayor calidad de vida pretende ser un reclamo para la atracción de este factor.

4. REDES DE CIUDADES EN LA UNIÓN EUROPEA

4.1. Redes de ciudades naturales (espontáneas y no cooperativas)

La visión de la estructura del sistema de ciudades europeo ha evolucionado desde la visión norte-sur y centro-periferia a una concepción en áreas y corredores, y desde ésta hacia una visión de integración en redes policéntricas.

La visión de la estructura como norte-sur o como centro-periferia se hace patente con la incorporación de los países del sur a la Unión Europea (España, Grecia, Portugal), a los que se suman Irlanda y el sur de Italia, formando la llamada periferia. En el centro de la Unión Europea quedan las regiones de mayor riqueza y dinamismo económico (Francia, Alemania, Inglaterra y el norte de Italia).

Esta percepción es sustituida por otra donde se distinguen las áreas formando corredores con una dinámica similar (DATAR, 1989)⁴⁴. En esta concepción se define claramente la gran dorsal europea (también conocida como “arco lotaringio”), que abarca desde Londres a Milán, por el norte de Francia y Alemania. El otro eje que se distingue es el llamado “arco mediterráneo”, que abarcaría el resto del norte de Italia, y se extendería por Lyon-Marsella y Barcelona hasta Valencia y Madrid. El resto de zonas serían periféricas respecto a estos dos ejes de desarrollo. Una imagen muy similar de la estructura del territorio europeo se desprende del estudio del European Institute of Urban Affairs of Liverpool⁴⁵, que divide Europa en el viejo centro (Inglaterra, Norte de Francia, Benelux y Alemania), el nuevo centro (desde Frankfurt hasta Valencia y Madrid, pasando por Milán, Marsella-Lyon y Barcelona), y la periferia (resto de España, Portugal, centro y sur de Italia, Grecia e Irlanda).

La visión en ejes se va sustituyendo por una concepción en forma de red, formada por las relaciones entre las principales áreas urbanas (Brunet, 1998; Dematteis 1998; Cattan et al. 1999; Conti e Salone 2000)⁴⁶. Esta concepción permite sustituir los ejes de crecimiento por vínculos entre las ciudades y las áreas urbanas, de manera que el dibujo resultante puede ser interpretado en clave de teoría de sistemas. Cada uno de los estudios intenta caracterizar la red de ciudades europea

⁴⁴ Op.cit.

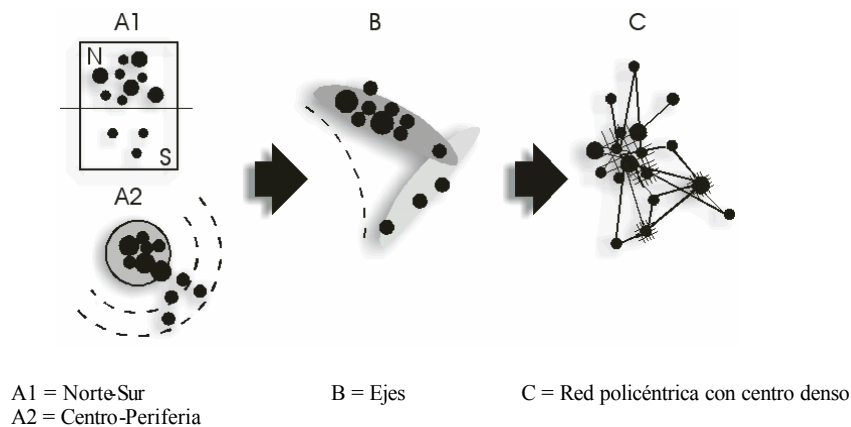
⁴⁵ EUROPEAN COMMISSION (1992): Recite: InfoBackground, B-531.

⁴⁶ BRUNET, ROGER. (1998): “L’Europa delle reti”, en BONAVERO, PIERO. e EGIDIO DANSERO (a cura di) L’Europa delle regioni e delle reti. I nuovi modelli di organizzazione territoriale nello spazio unificato europeo”. UTET, Milano; DEMATTEIS, GIUSEPPE (1998): “Il sistema metropolitano europeo tra centralità concentrata e centralità distribuita”, en BONAVERO, PIERO y EGIDIO DANSERO (a cura di) L’Europa delle regioni e delle reti. I nuovi modelli di organizzazione territoriale nello spazio unificato europeo”. UTET, Milano; CATTAN, NADINE; PUMAIN, DENISE; ROZENBLAT, CELINE et THÉRÈSE SAINT-JULIEN (1999): Le système des villes européennes. Anthropos, Paris; CONTI, SERGIO e CARLO SALONE (a cura di) (2000): Il sistema urbano europeo fra gerarchia e policentrismo. EU-POLIS sistemi urbani europei, Dipartimento Interateneo Territorio (Politecnico e Università di Torino).

de una forma diferente, aunque sus resultados o conclusiones, en conjunto, resultan complementarios.

Dematteis (1998, pp.263-272)⁴⁷ llama la atención sobre la posibilidad de observar rasgos de tres tipos de modelos en la descripción del sistema urbano europeo: redes *christallerianas*, redes interconectadas a diferentes niveles sobre la base de complementariedades funcionales, y jerarquía centro-periferia.

Figura 14. Evolución de la representación de la estructura europea



Los trabajos del equipo P.A.R.I.S. (Cattan et al. 1999)⁴⁸ utilizan indicadores sobre datos de *stock* y de flujos para caracterizar las ciudades europeas (o metrópolis) de más de 200.000 habitantes y las relaciones entre ellas. La conjunción de ambos datos les proporciona una base para establecer la estructura de relaciones y las jerarquías en el sistema urbano europeo. Las relaciones de flujo se establecen en base a tres tipos de datos diferentes: flujos ferroviarios, flujos aéreos y relaciones entre filiales de grandes empresas y sus sedes centrales⁴⁹. Si bien los datos de flujos ferroviarios se ven influidos por la componente nacional en la dotación de infraestructuras, los datos de pasajeros aéreos y sedes-filiales de grandes empresas muestran una buena capacidad para revelar la estructura de la red de ciudades europea. De los resultados destaca especialmente:

- la forma de red mostrada por los datos de pasajeros aéreos, y que es especialmente densa en el centro de Europa (entre Londres-París-Milán);
- la configuración policéntrica la red mostrada por las relaciones de empresa, con una posición dominante de Londres y París, pero con muchos

⁴⁷ Op.cit.

⁴⁸ Op.cit.

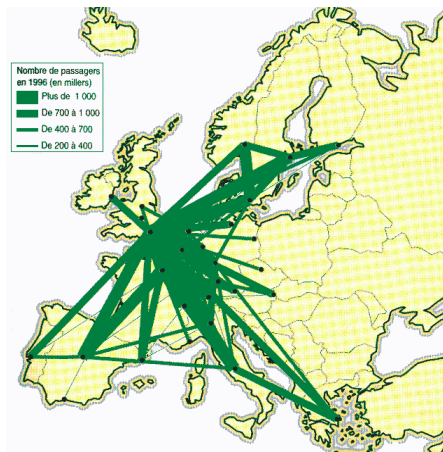
⁴⁹ Los resultados obtenidos, como en todos los casos en los que se ha intentado la identificación de redes de ciudades, son parciales y sesgados por el tipo de datos de flujo, que independientemente de su calidad, siguen siendo muy difíciles de obtener. No obstante, aunque parciales, los resultados son muy interesantes, y constituyen una buena base sobre la que ir añadiendo pruebas posteriores.

subcentros distribuidos a lo largo del espacio europeo: Milán, Madrid, Barcelona, Lisboa, el Randstad, el Ruhr, Zurich, Praga, Viena, etc.
- la tendencia a intensificarse la forma reticular de la estructura urbana europea entre 1991 y 1996.

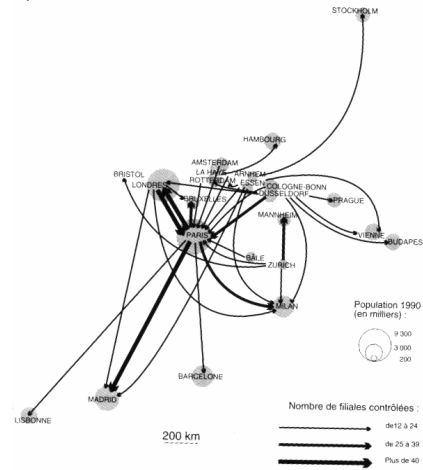
De esta manera se configura la imagen de una red de ciudades policéntrica, alrededor de los mayores centros urbanos, y que es especialmente densa en el centro de Europa (tanto en nodos como en relaciones), y cuya tendencia es a incrementar el número de relaciones entre los nodos.

Figura 15. Relaciones entre los principales nodos urbanos de la Unión Europea según nº de pasajeros y por relaciones sede-filial.

a) Nº de pasajeros avión 1996



b) Relaciones sede-filial 1996



Fuente: Reproducido de Cattán et al. (1999), pp. 81 y 110.

También Conti y Salone (2000)⁵⁰ analizan la estructura del sistema urbano europeo como una red con características de jerarquía (ejercida por los principales nodos) y de policentrismo, configurado por el resto de ciudades distribuidas a lo largo del espacio europeo⁵¹.

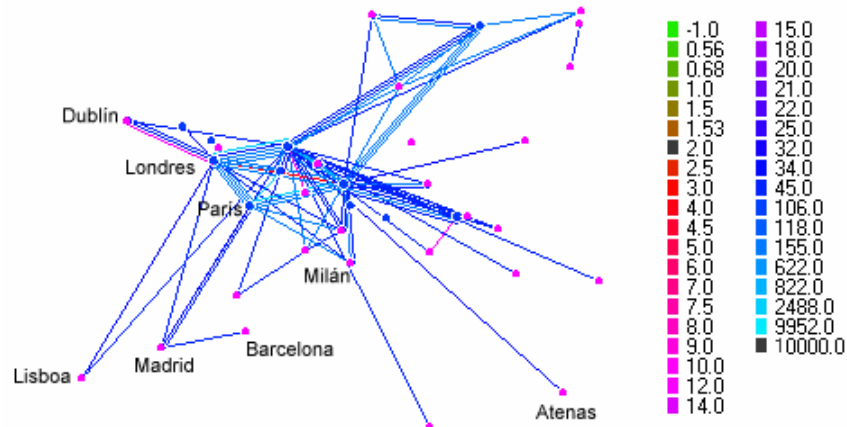
La configuración principal de una red europea de ciudades con una mayor densidad relacional en el centro también se encuentra si consideramos datos de oferta de infraestructuras de telecomunicaciones, en este caso la red de cable de alta velocidad. La Figura 3.30 recoge *R&E + comercial backbones* de los principales operadores internacionales de la infraestructura en Europa⁵².

⁵⁰ Op.cit.

⁵¹ Aunque esta vez los vínculos se deducen por proximidad relacional, y no por datos de flujo.

⁵² Los operadores internacionales con red desplegada en Europa son Above.net, AT&T Worldnet, Cable Internet, EsNet, EUNet, Exodus, IPF.Net, TEN-155 Networky, y UUNET. La utilidad Mapnet, accesible desde la p. web de Caida (<http://www.caida.org/tools/visualization/mapnet>), proporciona la primera utilidad que recoge periódicamente los datos de oferta de 35 operadores internacionales y la capacidad de generar los mapas de flujos on-line.

Figura 16. Relaciones entre los principales nodos urbanos de la Unión Europea a partir de la red de cable y su ancho de banda efectivo



Fuente: Elaborado a partir de Caida-Mapnet <http://www.caida.org/tools/visualization/mapnet> ; Noviembre 2001).

4.2. Redes de cooperación y planificación

La organización de las ciudades o las regiones en red ha sido vista por la Unión Europea como un instrumento útil con el que afrontar cuestiones relativas al desarrollo y la cohesión desde el punto de vista de la cooperación. Las iniciativas sobre redes de ciudades se recogen alrededor del programa *Recite* (Regiones y ciudades de Europa), inaugurado en 1991⁵³. El programa *Recite* promueve la cooperación entre ciudades y regiones alrededor de 37 iniciativas que se configuran con vocación de redes de cooperación sobre proyectos comunes entre autoridades de regiones o ciudades de diferentes países.

De forma genérica, los objetivos de estas iniciativas son favorecer el desarrollo económico y la cohesión entre los miembros de las redes, de forma que esto favorezca el crecimiento económico y la cohesión dentro de la Unión Europea (Rossignolo, 1998)⁵⁴. Otros objetivos comunes son la promoción económica de las regiones menos desfavorecidas, la transferencia de conocimientos de las regiones más desarrolladas a las menos desarrolladas, la obtención de economías de escala mediante la cooperación y el compartir costes, mantenimiento y mejora de las administraciones regionales y locales en las regiones más desfavorecidas, y la promoción e implementación de las nuevas políticas de la Unión Europea. Además de los objetivos generales y los comunes, cada programa tiene sus propios objetivos y sus especificidades.

⁵³ Aunque las primeras iniciativas en el campo de las redes urbanas se remontan a 1989 (Fesr).

⁵⁴ ROSSIGNOLO, CRISTIANA (1998): "Le reti de cooperazione nell'Unione Europea: Il programma Recite", en BONAVERO, PIERO y EGIDIO DANSERO (a cura di) *L'Europa delle regioni e delle reti. I nuovi modelli di organizzazione territoriale nello spazio unificato europeo*. UTET, Milano.

Tabla 1. Redes participantes en el programa Recite⁵⁵

• Agencia de Desarrollo	• Eurogateway
• Coast	• Eurosynet
• Cámaras de Comercio e Industria	• Finatlantic
• Ciudades y regiones de la industria automovilística (Car)	• Hyde
• Comisión de las ciudades medianas	• Idee
• Estrategias de las ciudades medianas	• Observatorio urbano europeo
• Compostela Foret	• Polis
• Cooperación económica	• Quartiers en crise
• Cooperación entre las regiones atlánticas	• Rebuild
• Coordinación de los transportes públicos	• Resigmur
• Desmilitarización	• Red de centros científicos
• Dyonisos	• Roc Nord
• Ecos y Overture	• Sealink
• Ecowat	• Desarrollo económico de las regiones más desaventajadas
• Environet	• Tecnologías de comunicaciones
• Eurisles	• Transferencia de tecnología
• Euroceram	• Transporte en el Mediterráneo
• Eurocities	• Turismo en el Mediterráneo
	• Universidades y regiones

Fuente: Rossignolo (1988, pp.278-279)

Algunas ciudades pertenecen a varias redes a la vez, al perseguir cada red objetivos distintos. Aún parece pronto para evaluar los resultados de todas estas redes de cooperación. El trabajo de Capello (2000)⁵⁶ sugiere la existencia de ventajas específicas derivadas de la cooperación en red, sin embargo este análisis no ha sido extendido al conjunto de las redes de ciudades. Un último punto adicional es en qué medida las redes de cooperación contribuirán a crear redes estables entre las ciudades asociadas.

⁵⁵ Esta investigación no se centra especialmente en las redes europeas de cooperación, por lo que no se extenderá más el tema. Para ampliar información puede consultarse la siguiente bibliografía: Rossignolo (1997 y 1998), European Commission (1992, 1995, 1996a, 1996b, 1996c, 1999), Camhis and Fox (1992), Dommergues (1992), Martinos and Humphreys (1992), Marlow (1992), Cornelissen (1992).

⁵⁶ CAPELLO, ROBERTA (2000): "The new city network paradigm: measuring urban network externalities", *Urban Studies*, vol.37, n° 11, p.1925-1945.

5. REDES A ESCALA MUNDIAL

Aunque no se trata de un fenómeno nuevo, la existencia de redes a escala mundial toma especial relevancia en la época postindustrial, donde un grupo de ciudades se convierten en nodos centrales de una nueva economía caracterizada por los servicios y los flujos de información (Cappellin 1991a; Sassen 1991 y 2000; Castells 1997)⁵⁷. En este contexto, los flujos se transmiten de manera preferente entre estas ciudades, lo que configura una red de ciudades “mundiales” o “globales”, articulada en distintos niveles.

De este modo, hablar de las redes de ciudades mundiales es hablar de la organización espacial de la economía mundial, puesto que se trata de los principales nodos de producción, consumo, control, intermediación e intercambio de la economía mundial. A través de los flujos directos ciudad-ciudad se obtiene la estructura básica de la red de ciudades mundiales. Esta estructura es multiplexa, puesto que se basa en diferentes tipos de flujos, tanto económicos como políticos, culturales o socio-relacionales (Smith y Timberlake 1995a, p.287)⁵⁸.

Los trabajos alrededor de la identificación de redes de ciudades mundiales son escasos, porque la perspectiva relacional del enfoque de redes requiere datos de flujos entre ciudades⁵⁹. Smith y Timberlake (1995a) sugieren que estos datos deberían incluir flujos sobre tres formas básicas: población humana, objetos materiales, e información, negocios y comunicaciones. Además, pueden añadirse las dimensiones política, cultural y social-reproductiva.

Una de las respuestas de por qué apenas existen trabajos sobre la red mundial de ciudades es por la dificultad de reunir los datos necesarios sobre flujos para una muestra representativa de ciudades. En su lugar, se utilizan aproximaciones a partir de indicadores parciales, como los viajeros que se desplazan en avión entre ciudades (Smith y Timberlake 1995 a,b; Keeling 1995)⁶⁰. Utilizando estos datos de flujos, se pueden establecer los patrones de conectividad entre ciudades de rangos

⁵⁷ CAPPELLIN, RICARDO (1991a): “International networks of cities”, en CAMAGNI, ROBERTO (ed.) (1991a) *Innovation Networks: Spatial perspectives*. London, Belhaven Press, p. 230-244 ; SASSEN, SASKIA (1991): *The global city: New York, London, Tokyo*. Princeton University Press, Princeton NJ; SASSEN, SASKIA (2000): “Cities in a World Economy”. Second edition, Pine Forge Press, Thousand Oaks; CASTELLS, MANUEL (1997): *La era de la información: economía, sociedad y cultura* (Vol.1. de La Sociedad Red). Alianza.

⁵⁸ SMITH, DAVID A. and MICHAEL TIMBERLAKE (1995a): “Conceptualising and mapping the structure of the world system’s city system”, *Urban Studies*, vol.32, n° 2, p.287-302.

⁵⁹ Son más frecuentes los trabajos que identifican los roles de las ciudades mundiales a partir de datos de atributos, más sencillos de conseguir. Véase para un repaso de esta literatura: Friedmann and Wolff (1982), Chase-Dunn (1985) y Sassen (1991).

⁶⁰ SMITH, DAVID A. and MICHAEL TIMBERLAKE (1995a): “Conceptualising and mapping the structure of the world system’s city system”, *Urban Studies*, vol.32, n° 2, p.287-302; SMITH, DAVID A. and MICHAEL TIMBERLAKE (1995b): “Cities in global matrices: towards mapping the world-system’s city system”, en PAUL L.KNOX and PETER J.TAYLOR (Eds.) *World Cities in a World System*. Cambridge University Press, Cambridge; KEELING, DAVID J. (1995): “Transport and the world city paradigm”, en PAUL L.KNOX and PETER J.TAYLOR (Eds.) *World Cities in a World System*. Cambridge University Press, Cambridge.

diferentes (relaciones verticales), y entre ciudades del mismo rango (relaciones horizontales), en una variedad de escalas regionales, donde destacan los tres primeros niveles (Keeling 1995, p. 121):

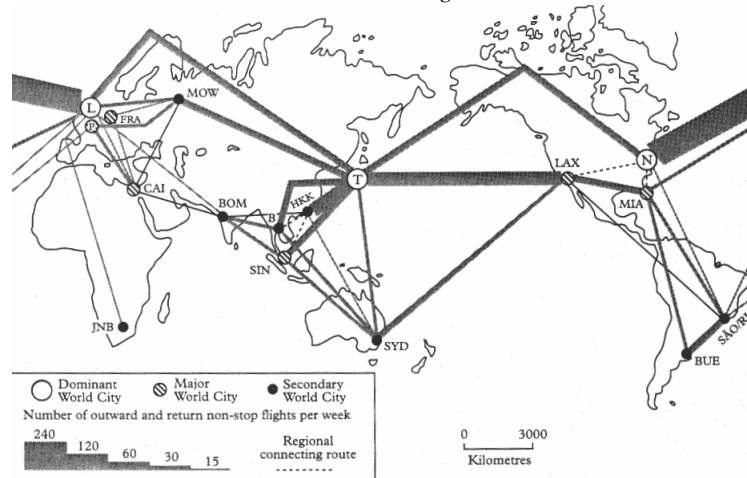
1. En lo más alto de la jerarquía se encuentran Nueva York, Londres y Tokio. Estas ciudades actúan como centros de mando y control de la economía mundial, al recoger las sedes, divisiones y cuarteles regionales de las mayores empresas y bancos mundiales.
2. En el segundo nivel de la red se encuentran París, Frankfurt, Ámsterdam, Zurich, Miami, Los Ángeles, Singapur y El Cairo. Estas ciudades comparten sus funciones de nodos globales importantes con las funciones como nodos regionales, zona en la que se concentra su principal ámbito de influencia.
3. En el tercer nivel encontramos las ciudades cuya influencia se concentra principalmente a escala regional: Moscú, Hong-Kong, Sao Paulo y Sydney.

Tabla 2. Tipología conceptual de vínculos entre ciudades

Función	Forma		
	Humana	Material	Información
Económica	<ul style="list-style-type: none"> • Trabajo • Managers • Abogados • Consultores 	<ul style="list-style-type: none"> • Capital • Mercancías 	<ul style="list-style-type: none"> • Llamadas telefónicas • Fax • Telex • Transferencia de tecnología • Publicidad
Política	<ul style="list-style-type: none"> • Tropas • Diplomáticos • Social workers 	<ul style="list-style-type: none"> • Armamento • Ayuda extranjera 	<ul style="list-style-type: none"> • Tratados • Amenazas políticas
Cultural	<ul style="list-style-type: none"> • Estudiantes de intercambio • Grupos de debate • Conciertos de rock 	<ul style="list-style-type: none"> • Pintores • Escultura • Artefactos 	<ul style="list-style-type: none"> • Películas • Videos • Discos y CD's
Reproducción social	<ul style="list-style-type: none"> • Teatro • Familias • Cruz Roja • Organizadores comunitarios 	<ul style="list-style-type: none"> • Envíos • Ayuda extranjera 	<ul style="list-style-type: none"> • Tarjetas postales • Llamadas nocturnas

Fuente: Smith y Timberlake (1995b, p. 86)

Figura 17. Relaciones dominantes en la red aérea global

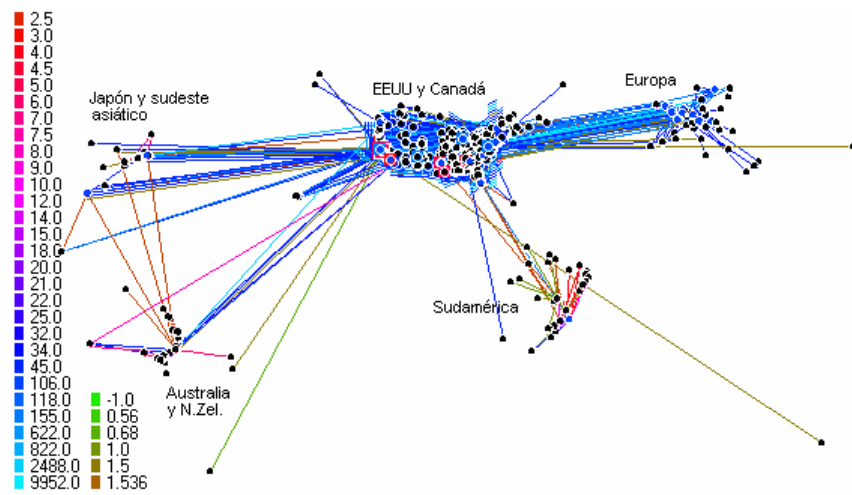


Fuente: Keeling 1995, p. 122

Al igual que para Europa, la utilidad de *Caida-Mapnet* también nos permite la generación de mapas de oferta de infraestructuras de cable de alta velocidad para el total de ciudades mundiales. La figura 19 recoge *R&E + comercial backbones* de los principales operadores internacionales de la infraestructura⁶¹. En este caso observamos cinco cliques o subredes que conforman la espina dorsal de red mundial de cable: el mayor y más denso lo forman los EEUU y el sur de Canadá; el segundo, con menos nodos y de menor densidad, es el europeo; el tercero es una subred poco densa y ligeramente centrada en el entorno de Sao Paulo – Buenos Aires; el cuarto también es poco denso y se centra en la costa este de Australia; el quinto, también con pocos nodos y pocas conexiones, se localiza alrededor de Japón y el sudeste asiático. La forma global de la figura 19 sugiere que EEUU se sitúa en el centro de la red mundial, aunque sus redes con Europa son tan intensas que bien podrían situarse en un mismo espacio relacional. Sin embargo, es la red norteamericana la que actúa de *hub* para el resto de redes mundiales, puesto que, excepto entre Australia y el sudeste asiático, no existen posibilidades de comunicación lateral. Esta red sería mucho más jerárquica que la derivada de los flujos aéreos.

⁶¹ AAI, AEROnet, CAIRN, IDREN, ESnet, MAGIC Network, NASA Internet, VBNS, AGIS, ANS, BBN Planet, CompuServe, CRL, CWIX Cable and Wireless, DataXchange Network, Inc., DIGEX, EPOCH, GeoNet, GetNet, GlobalCenter, GoodNet, GridNet, Home, IBM, IDT Corp, iStart, internetMCI, Nap.Net, Netrail, PSINet, Savvis, Sprint, TCG CERFnet Services, UUNET/MFS/WorldCom, VisiNet.

Figura 18. Relaciones entre los principales nodos urbanos mundiales a partir de la red de cable y su ancho de banda efectivo.



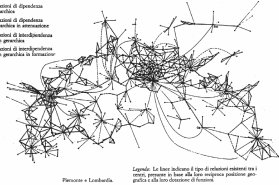
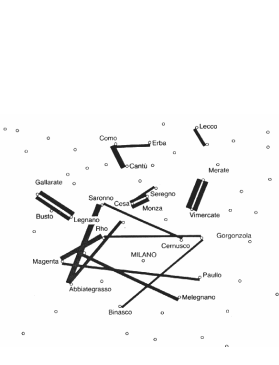

Fuente: Elaborado a partir de Caida-Mapnet (<http://www.caida.org/tools/visualization/mapnet> ; Noviembre 2001).

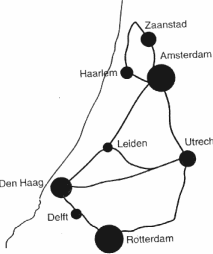
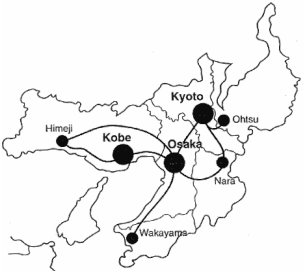

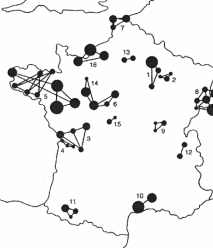
6. CONCLUSIONES


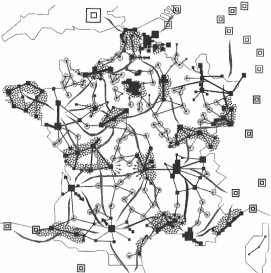
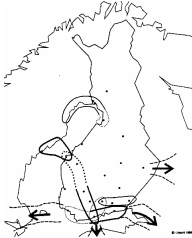

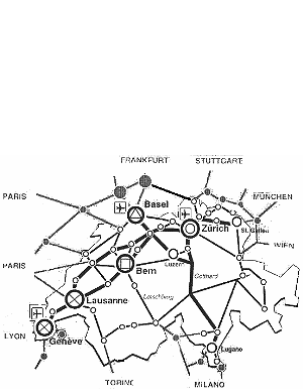
A lo largo del capítulo se han presentado ejemplos empíricos de redes de ciudades en ámbitos regionales, nacionales, europeo y mundial. Los casos recogen también la existencia de redes naturales y de redes cooperativas. El estudio de estos casos aporta información adicional sobre la variedad de formas y ámbitos en los que son identificables redes de ciudades, y a los cuales es aplicable como concepto de planificación. Las principales conclusiones que se deducen son las siguientes:

1. A lo largo de la historia se han alternado estructuras reticulares con estructuras jerárquicas, en función del momento y la coyuntura económica y política. La mayoría de redes estudiadas tienen una trayectoria histórica que ha influido en la forma actual de la red de ciudades.
2. La manera de aproximar la forma de la red de ciudades es diferente en cada trabajo, y depende en gran medida del tipo de información disponible y de los objetivos de la investigación.
3. La morfología de la red también es cambiante. Se observa como en algunas redes de ciudades existe un centro de dimensión mucho mayor al del resto (Piamonte-Turín, Lombardía-Milán), mientras que en otras el policentrismo es mucho más equilibrado (Randstad, Ruhr).
4. La masa conjunta de la red es significativamente mayor que la de cualquiera de los nodos individuales. Cuando las ciudades de la red son de varios centenares de miles de habitantes, la masa conjunta de la red puede alcanzar millones (Ruhr); cuando las ciudades son millonarias, como en Kansai, la masa conjunta de la red alcanza decenas de millones de habitantes.
5. En algunas de las redes se observa división del trabajo (funciones) entre nodos especializados, funcionando como redes de complementariedad (Randstad, Kansai).
6. Las ciudades pueden formar redes mediante el recurso de la cooperación, lo que les permite abordar proyectos que no podrían realizar por separado, o conseguir mejores resultados (redes de innovación en Francia).
7. Las redes de ciudades pueden utilizarse como base para una estrategia de política económica basada en el territorio. En este caso, la planificación puede ser concertada entre las ciudades u organizada desde niveles superiores de gobierno (BLFR en Alemania; red policéntrica suiza).
8. La forma en que se analiza el espacio europeo (y el mundial) también ha transitado desde modelos centro-periferia y modelos en ejes, hacia modelos en red. En este caso, se reconoce la importancia para el desarrollo local de conectarse con la red de ciudades europea y mundial.

Tabla 3. Redes de ciudades (síntesis)

Imagen	Red	Identificación	Características
1. REDES DE CIUDADES DE ÁMBITO REGIONAL			
 <p>— enlaces de funciones gravitacionales — enlaces de funciones gravitacionales — enlaces de funciones gravitacionales — enlaces de funciones gravitacionales — enlaces de funciones gravitacionales</p> <p>Paravia - Lombardia</p>	<p>PIAMONTE Y LOMBARDÍA</p>	<p>Difusión territorial de los servicios centrales y escasos (Emanuel 1989; Dematteis 1991; Dematteis y Emanuel 1990)</p> <p>Datos de stock</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Disposición anómala de los servicios respecto al modelo tradicional de referencia (modelo de lugar central) • Coexistencia de jerarquías y redes horizontales • Conserva grados de jerarquía importantes alrededor de Turín y de Milán
 <p>Como, Lecco, Erba, Carpi, Morate, Gallarate, Saronno, Cuggiono, Monza, Vimercate, Legnano, Pavia, Carrattono, Garzano, Magenta, Pessallo, Abbiategrasso, Binasco, Melegnano</p>	<p>LOMBARDÍA</p>	<p>Modelo gravedad (Camagni et al., 1994)</p> <p>Flujos telefónicos</p> <p>Problemas con la forma funcional</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Supergravitación alrededor de Milán • Coexisten relaciones jerárquicas con relaciones no jerárquicas o reticulares • Las estructuras de red no conectan centros de rangos diferentes, sino que se producen entre ciudades de tamaños muy similares • Las relaciones en forma de red son mucho más intensas entre nodos pequeños o medianos que entre nodos grandes • Los centros de las áreas actúan como catalizadores del intercambio de información entre áreas • Encontramos evidencia de dos tipos de estructuras reticulares: redes de complementariedad, similares a distritos marshallianos, y redes de sinergia, con el objetivo de asumir funciones de alto rango
	<p>RUHR</p> <ul style="list-style-type: none"> • 5,2 millones de habitantes 	<p>Neuschwander y Berthe (1992)</p> <p>Rechmann (1992)</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Las ciudades o comunidades que forman parte de la red conservan su identidad y su autonomía. Se observa un doble principio de solidaridad-cooperación y competencia • Se da una cierta homogeneidad entre las ciudades de la red, lo que facilita la cooperación, aún así, cada ciudad es diferente de las demás • Complementariedad de funciones y sinergias entre las diferentes ciudades; • La proximidad geográfica entre las ciudades, que se reduce aún más debido al sistema de comunicaciones • Ausencia de relaciones formales en la cooperación; aún así, no se descuida la implementación de una estrategia regional • Cooperación entre la iniciativa privada y la pública • Elevada apertura internacional, que fomenta la cooperación entre las ciudades de la zona para competir en el exterior • Economías de escala derivadas de la cooperación entre distritos, ciudades o comunidades

	<p>RANDSTADT</p> <ul style="list-style-type: none"> • 6 millones de habitantes • 2 millones de ocupados • 200 municipalías 	<p>Batten (1995) Boelens y de Herder (1992)</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Tres conurbaciones agrupadas alrededor de las ciudades de Ámsterdam, Róterdam, La Haya y Utrecht, que se complementan con nodos menores en Delft, Haarlem y Zaanst • El espacio entre ciudades está ocupado por un cinturón verde • Metrópolis polinucleada, en términos de organización espacial y de funcionamiento • No existe una ciudad que domine la región • Red de complementariedad, donde cada ciudad o conurbación se especializa en unos elementos determinados: puerto, aeropuerto, funciones políticas, orientación internacional u orientación hacia la economía nacional • La identidad y las potencialidades de cada lugar se ve como uno de los mayores valores de su estructura espacial
	<p>KANSAI</p> <ul style="list-style-type: none"> • 21 millones de habitantes • 6 prefecturas 	<p>Batten (1995)</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Cada una de las prefecturas aparecía con una tradición y una especialización diferente, y no había cohesión entre ellas, Esta fue una de las causas de que el crecimiento de Tokio fuera dominante durante décadas • Esta misma diversidad es la causa de que al incrementar la integración entre estas prefecturas, comenzaran a configurarse como una red de ciudades • Unas buenas infraestructuras de transporte permiten integrar a la perfección los nodos de menor tamaño con los más grandes
	<p>REGIÓN METROPOLITANA DE BARCELONA</p> <ul style="list-style-type: none"> • 4,2 millones de habitantes • 1,5 millones de ocupados • 163 municipios 	<p>Modelo de gravedad (Trullén y Boix, 2000)</p> <p>Servicios centrales y avanzados; ratios de similitud e igualdad; MDS (Boix 2000 a, b)</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Región urbana policéntrica, aunque destaca la posición central de Barcelona • Coexistencia de estructuras jerárquicas, policéntricas y horizontales • Redes de sinergia y redes de complementariedad
	<p>REDES DE COOPERACIÓN EN FRANCIA</p>	<p>Redes planificadas: descripción en Camagni and Salone (1993)</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Basadas en acuerdos de cooperación en materia de provisión de infraestructuras, servicios tecnológicos, programas educacionales y culturales, y gestión y promoción del turismo. • Cooperan para alcanzar masa crítica • Pretenden ganar en coherencia a los límites político-administrativos de los territorios, en la medida que dejan de postular que estos límites constituyan el único perímetro posible de respuesta a las potencialidades y a los problemas • Se constituyen en una lógica pragmática frente a una concepción muy centralizada del territorio francés • Otros objetivos básicos son la gestión del territorio y la equidad

2. REDES DE CIUDADES DE ÁMBITO NACIONAL			
	<p>ITALIA</p> <ul style="list-style-type: none"> • 148 mayores sistemas urbanos 	<p>Dematteis (1997 b, 1997 c)</p>	<ul style="list-style-type: none"> • La ordenación de los sistemas urbanos se hace en base a su integración en las redes globales más que en base a sus características productivas • Las conexiones de red son más importantes que el tamaño de los sistemas urbanos • En algunas redes se solapan estructuras jerárquicas con estructuras policéntricas reticulares • Los sistemas regionales reemplazan a las áreas metropolitanas • La conexión de los sistemas urbanos no implica su fusión
	<p>REDES DE CIUDADES EN FRANCIA</p>	<p>Preparatorio del esquema nacional de desarrollo del territorio Datar (1994)</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Base para la planificación del territorio • Distingue entre relaciones derivadas de la proximidad, interconexiones consolidadas, pequeños sistemas en red en zonas rurales, y sistemas autocontenidos con necesidad de apertura a sistemas vecinos
	<p>REDES URBANAS EN FINLANDIA</p>	<p>Vartiainen 1997 (Entrevistas con responsables)</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Las principales redes son transnacionales (<i>cross-border</i>) • Las redes se dan en las zonas más urbanizadas, en el resto rigen modelos de lugar central • Crecimiento alrededor de las redes de infraestructuras • Importancia de agentes colectivos y privados • Diferentes tipos de <i>networking</i>
	<p>REDES URBANAS EN ALEMANIA</p>	<p>Trabajos para la planificación territorial Guía para la planificación territorial (BFLR 1993). Vartiainen 1997</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Base para la ejecución de políticas • Distinción entre redes consolidadas y redes en formación
	<p>RED POLICÉNTRICA SUIZA</p> <ul style="list-style-type: none"> • 3 millones de habitantes • 2 millones de ocupados 	<p>Red Planificada: Grundzüge der Raumordnung Schweiz (Guía para el desarrollo espacial suizo, 1996) Ringli (1997)</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Red planificada • Se pretende utilizar el substrato urbano existente para convertir el sistema de ciudades suizo en una red urbana policéntrica, sobre la base de la complementariedad de funciones diferentes • Se busca también resolver el <i>handicap</i> de la reducida dimensión de las ciudades suizas, que para los autores de la estrategia es un problema (conseguir aumentar la escala). • Ciudades de tamaño medio con una especialización relativa dentro del sistema. Se completa con ciudades pequeñas • Un sistema de transporte eficiente debe unir las ciudades • El ferrocarril es elemento central en su papel de infraestructura de comunicaciones que une directamente los centros de las principales ciudades del sistema

3. REDES DE CIUDADES EN LA UNIÓN EUROPEA			
	<p>REDES DE CIUDADES EUROPEAS</p>	<p>Grupo P.A.R.I.S. : Cattan et al. (1999). Aproximación con datos de flujos o relacionales.</p> <p>Conti e Salone (2000): inferencia de tendencias.</p> <p>Caida (2000): infraestructuras de cable de alta velocidad.</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Redes a partir de los flujos aéreos, ferroviarios, de relaciones de empresas (central-filial), y de oferta de infraestructuras de cable. • La red es especialmente densa en el centro de Europa • Posición dominante de Londres y París, pero con muchos subcentros distribuidos a lo largo del espacio europeo • Tendencia a intensificarse la forma reticular de la estructura urbana europea entre 1991 y 1996

4. REDES DE CIUDADES MUNDIALES			
	<p>REDES DE CIUDADES MUNDIALES</p>	<p>Ningún trabajo lo suficientemente completo. Aproximaciones muy parciales en Sassen (1991), Smith y Timberlake (1995 a y b), Keeling (1995), y Castells (1997).</p> <p>Perspectiva desde la oferta: infraestructuras de cable (Caida 2000).</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Jerarquía de redes de ciudades con diferentes niveles • Disposición policéntrica de los diferentes niveles de redes • Tipologías de funciones complementarias y sinérgicas • Flujos multiplexos • Red policéntrica con mayor centralidad de las ciudades de EEUU y Europa en la oferta de cable.

CAPÍTULO 4. METODOLOGÍAS DE IDENTIFICACIÓN DE REDES DE CIUDADES E INSTRUMENTOS DE ANÁLISIS

0. INTRODUCCIÓN

En los capítulos anteriores se han detallado las bases teóricas del paradigma de las redes de ciudades (capítulo 1), se ha procedido a la revisión de las teorías sobre externalidades urbanas para introducir la categoría de externalidades de red (capítulo 2), y se han mostrado casos empíricos (capítulo 3). El objetivo de este capítulo es proporcionar instrumentos que permitan la identificación de las redes de ciudades en un ámbito regional, y el análisis de sus características básicas.

La comprensión de los conceptos que conforman el paradigma de las redes de ciudades requiere la capacidad de sistematizar y estructurar las economías urbanas y sus interrelaciones en un contexto de complejidad. El enfoque aplicado que se ha escogido en esta parte de la investigación es marcadamente sistémico. La teoría de sistemas ha desarrollado los conceptos y el instrumental para desenvolverse en un entorno de estas características (anexo 2). La economía urbana requiere pensar la ciudad como un espacio relacional entre los diferentes subsistemas que forman las ciudades, tanto a nivel intra-ciudad (redes internas a las ciudades) como inter-ciudad (redes de ciudades).

La primera parte del capítulo está destinada a la exposición de las metodologías de identificación de redes de ciudades que se han utilizado en la literatura aplicada y al desarrollo de metodologías para identificar la forma global de la red y sus tipologías (verticales/horizontales, complementariedad/sinergia, y conocimiento) en ámbitos regionales.

La segunda parte del capítulo se dedica a la introducción de instrumental para el análisis de las redes, una vez identificadas. Para ello se utilizan instrumentos derivados de la teoría de sistemas e indicadores procedentes de la econometría espacial. Los primeros nos permiten analizar las características de las redes y los nodos, y los segundos nos permiten analizar las características básicas de la interacción.

1. LA IDENTIFICACIÓN DE REDES DE CIUDADES

1.1. ¿Cómo identificamos redes de ciudades?: El problema de los flujos¹

En el capítulo 1 se puso de manifiesto la elevada variedad de tipologías de redes de ciudades con las que puede encontrarse el investigador. Esto significa que no existe una única metodología ni un único tipo de datos para identificar de manera unívoca la red. El tipo de datos existente y el tipo de red que se busca influyen en gran medida en la metodología de identificación.

Los flujos pueden ser de dos tipos: materiales e inmateriales. Los **flujos materiales** poseen la propiedad de poder medirse directamente (son directamente observables), lo cual es una ventaja a efectos del análisis, pero a nivel empírico se traducen en un verdadero problema para el investigador, que raramente puede obtenerlos, y cuando los obtiene no suelen ser de la calidad deseada. Son flujos materiales los flujos de mercancías y personas, como por ejemplo una parte de los flujos postales, los flujos de *commuting*, los flujos de pasajeros por avión, flujos de materias primas, flujos de productos industriales e intraindustriales, desplazamientos por compras, por turismo, etc.

Los **flujos inmateriales** pueden ser directamente observables o no. Los flujos inmateriales observables suelen ser flujos de información, que se transmiten por los canales de comunicaciones y telecomunicaciones, como las llamadas telefónicas, las transacciones e intercambios electrónicos, y los intercambios de información cara a cara.

Los flujos inmateriales que no son directamente observables deben inferirse a partir de la información disponible. Un ejemplo de flujos no observables son los intercambios de conocimiento.

A menudo, y por un mismo canal, pueden transmitirse diferentes tipos de flujos a la vez. Por ejemplo, una persona, a la vez que se mueve de una ciudad a otra, puede transmitir información o conocimiento.

Todas estas características de los flujos hacen que sea difícil identificar las redes de ciudades con un gran nivel de exactitud. Por lo general, la medida correcta de las redes exigiría trabajar con muchos de estos flujos a la vez, dispuestos en capas formando una estructura multiplexa², y la aplicación de instrumental para trabajar

¹ La orientación de este epígrafe y el siguiente están influidas por la teoría de grafos y redes. Recomiendo la lectura del anexo 2 para introducción a los conceptos básicos de esta teoría.

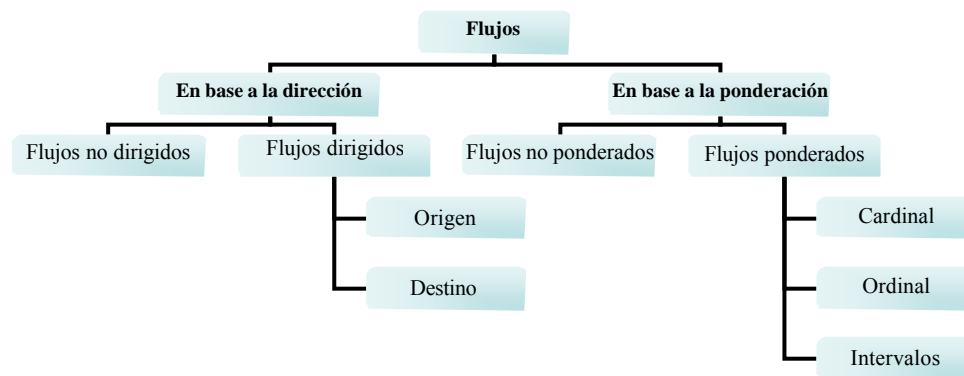
² La multiplexidad es una cualidad de las redes multicapa, en las que las relaciones se dan en base a diferentes tipos de flujos a la vez.

con redes multiplexas o, como mínimo, reducir estos flujos a una única estructura operativa.

Una vez definida la capa o las capas de flujos que conforman la red, se aplica la definición que más se acomode a la red que busca el investigador. Como se explicaba en el capítulo 1, no existe una única definición de lo que es una red de ciudades, aunque existen elementos comunes en muchas de ellas.

Además, los flujos pueden ser clasificados en base a su dirección: flujos dirigidos y no dirigidos, y en base a su ponderación: flujos no ponderados y flujos ponderados, los flujos ponderados pueden serlo en base a una ponderación cardinal, ordinal o por intervalos³.

Figura 1. Flujos en base a la dirección y a la ponderación



1.2. Una revisión de los primeros trabajos de identificación de redes de ciudades

Hasta el momento, los trabajos dedicados a la identificación de redes de ciudades han sido pocos y heterogéneos. Esta heterogeneidad se debe principalmente a los diferentes objetivos de cada investigación y a la disponibilidad de datos, y dificulta mucho la comparación de los resultados.

La clasificación de estos métodos puede establecerse sobre la base de diferentes parámetros, en este caso se han clasificado según la aproximación sea indirecta o directa. Los métodos **indirectos**, bien se basen en datos de atributos o de flujos, tratan de aproximar las relaciones de red mediante la falsación de las hipótesis del modelo de Christaller.

³ Véase el anexo 2 para más detalles.

Los métodos **directos** se basan en la utilización directa de los flujos para revelar las relaciones de red. Esto es, existe una relación de red entre dos unidades urbanas A y B cuando entre ellas existe un flujo de una determinada magnitud (sea ordinal o cardinal). En este caso no importa la divergencia de patrones christallerianos.

1.2.1. Métodos indirectos

Dos ejemplos de métodos indirectos pueden encontrarse en las investigaciones de Emanuel-Dematteis, y de Camagni⁴.

Emanuel (1989)⁵ intenta analizar la proximidad de los centros urbanos del Piamonte al modelo de lugar central, mediante la articulación funcional y territorial de los servicios. Para ello supone que cada centro puede diferenciar y variar la propia estructura de oferta sobre la base del número de tipo de servicios centrales que posee. Esta diferencia puede esquematizarse mediante la construcción de un perfil funcional a partir del tipo de servicios presente en cada nivel funcional sobre el total de servicios del mismo nivel (Emanuel, 1993, pp.140-145)⁶.

Se diferencia entre centros autónomos, que poseen todas las actividades propias de su rango, y centros complementarios, que no poseen todas las características de su rango o inferiores. Los centros autónomos tenderán a conectarse con los centros de mayor orden para acceder a las actividades de nivel superior, y a la vez servirán como proveedores a los centros de nivel inferior. De esta manera, sus relaciones se ordenarán de forma jerárquica, como en el modelo de lugar central. Los centros complementarios necesitarán adquirir las actividades de que carecen, por lo que para completar su oferta, se conectarán con otros centros tanto de mayor como de menor orden jerárquico. El supuesto crítico es que estas actividades se adquieren en el centro más cercano. Cuando este centro sea de orden superior, la relación será jerárquica, y en caso de que sea del mismo orden o inferior, la relación será no jerárquica.

El método aplicado por Emanuel es un ejemplo de identificación de redes en ausencia de datos de flujos, mediante la dinamización de atributos. Sin embargo, el supuesto de que la atracción se realiza exclusivamente en base a la distancia resulta excesivamente restrictivo, y tenderá a fallar en el caso de compras multipropósito, en ausencia de información perfecta por parte de los demandantes, y en el caso en que el intercambio se base en bienes o servicios que ambos municipios poseen (como en el caso del comercio intraindustrial)⁷. Además, los trabajos empíricos de

⁴ En el capítulo 3 pueden consultarse los resultados principales de los trabajos de Dematteis-Emanuel y Camagni.

⁵ EMANUEL, CESARE (1989): "Oltre la crisi: centralizzazione e decentramento, polarità e reticoli nel Piamonte degli anni 80" en PETROS PETSIMERIS (a cura di) "Le reti urbane tra decentramento e centralità". Franco Angeli, Milano.

⁶ EMANUEL, CESARE (1993): "Reticoli urbani e polarizzazione metropolitana in Lombardia", en R.CAMAGNI e G.DE BLASIO (a cura di) "Le reti di città: teoria, politiche e analisi nell'area padana". Franco Angeli, Milano.

⁷ En Boix (2000a) se aplica esta metodología, y puede observarse como algunos patrones locales difieren sustancialmente respecto de los resultados con datos de flujos. BOIX, RAFAEL (2000a):

Emanuel se aplican exclusivamente sobre servicios, lo que sesga los resultados al no incluir las actividades industriales.

Camagni, Diappi y Stabilini (1994)⁸ utilizan otro tipo de método indirecto basado en la comparación de los flujos reales con los predichos por un modelo que sigue la lógica del lugar central⁹. La investigación se aplica a Lombardía, define las redes de ciudades como redes horizontales y utiliza flujos telefónicos para la medida. Los autores argumentan que los datos que usualmente se han utilizado en los análisis con modelos de gravedad han sido datos de gravitación comercial o de *commuting*. Estos datos están fuertemente influidos por la fricción espacial y el efecto de masa de las ciudades, con lo que pueden ofrecer un buen ajuste en un modelo como el utilizado en la estimación. Camagni et al. (1994, pp.131-132) resaltan que los datos de flujos telefónicos, por su propia naturaleza, parece que deban ser más independientes de la distancia¹⁰, y podemos esperar que no ajusten bien con un modelo de gravedad. Este hecho, lejos de representar un problema, tiene la ventaja de que están más libres de influencias areales, y pueden ser más adecuados para encontrar relaciones no verticales.

El procedimiento de identificación es sencillo: se utiliza un modelo de gravedad doblemente restringido como una forma funcional que aproxima la interacción en un modelo de lugar central. Las predicciones del modelo se comparan con los datos reales, y cuando los flujos reales sean significativamente mayores que los predichos, se concluye que existe una relación de red significativa entre dos municipios.

Sin embargo, esta metodología de identificación tampoco está exenta de problemas: en primer lugar, en el caso de municipios con la misma masa y muy cercanos, el modelo puede considerar la interacción como normal, y fallar en la predicción¹¹. En segundo lugar, los flujos agregados funcionan como una media, de manera que en el caso de existir una relación muy fuerte basada en un sector específico, pero compensada negativamente por una baja relación en el resto de sectores, se la podría considerar como normal. Finalmente, la baja autocontención real de alguno de los núcleos principales podría actuar sesgando los resultados, en lo que serían errores provocados por algunos *outliers* sobre la forma funcional general del modelo.

Redes de ciudades en la Región Metropolitana de Barcelona. Departament d'Economia Aplicada, Universitat Autònoma de Barcelona.

⁸ CAMAGNI, ROBERTO; DIAPPI LIDIA and STEFANO STABILINI (1994): "City networks in the Lombardy region: an analysis in terms of communication flows", *Flux* nº15, p.37-50.

⁹ Se trata de una aplicación de la lógica del flujo prioritario, en la que se compara una distribución real con una ideal, y se consideran los flujos reales que son mayores de lo esperado.

¹⁰ Este supuesto es discutible. Las llamadas telefónicas son interacciones directas en el tiempo entre seres humanos, y como tal, en su mayor parte se basa que los dos interlocutores se conocen. En el caso de las llamadas entre empresas, la influencia de la proximidad puede ser mucho menor, pero en este caso, sería necesario asegurar que la matriz de flujos telefónicos sólo recoge relaciones empresa-empresa. Aún así, es seguro que en la mayoría de casos se observará una fuerte correlación entre intensidad del flujo telefónico y proximidad.

¹¹ La elección de la forma funcional para el modelo de gravedad es crítica en este aspecto, como se comenta en Boix (2000a, Op.cit.).

1.2.2. Métodos directos

Los métodos directos se basan en la observación de los flujos reales entre unidades urbanas, a partir de los que se detecta la estructura de la red. La forma de utilizar estos flujos admite diversas posibilidades a partir de la lógica de flujos dominantes y flujos significativos.

El procedimiento básico consiste en utilizar directamente la matriz de flujos directos para caracterizar la estructura urbana, y establecer diferentes combinaciones de filtros. El filtro más básico resulta de aplicar un mínimo a la intensidad del flujo, a partir del cual se considera significativo. Este filtro puede establecerse arbitrariamente, o utilizando un procedimiento matemático.

Existen diferentes investigaciones que aplican este tipo de procedimientos. Por ejemplo, el trabajo de **Pred** (1977)¹² concluye la existencia de redes entre ciudades de los Estados Unidos a partir de la observación directa de los flujos de información.

En **Boix** (2000a y 2002a)¹³ se aplica una variación de la metodología de flujo dominante: el flujo director. Este procedimiento considera que los primeros flujos en orden de magnitud de cada municipio son los que determinan el esqueleto básico de la estructura urbana. El trabajo se realiza con datos de *commuting*, se consideran significativos los cuatro primeros flujos por destino de cada municipio, y se construye el mapa a partir de estos flujos. Aunque se restringe el número de flujos de origen, no existe ninguna restricción respecto al número de flujos que puede recibir un municipio. El procedimiento se muestra capaz de revelar la estructura principal del sistema de ciudades, y cómo esta es bastante estable en períodos cortos de tiempo.

En **Trullén** (2001b)¹⁴ se adapta este procedimiento a la provincia de Barcelona, y se añade un filtro de significatividad por número mínimo de *commuters*, con el objetivo de revelar que parte de las relaciones del sistema urbano son más significativas, es decir, para revelar el esqueleto principal del sistema de ciudades. Además, considerando un abanico de rangos a partir de la población de cada municipio (atributos), se distingue que relaciones son verticales y cuales horizontales. La aplicación conjunta de flujos directores, filtros de significatividad y atributos, constituye un método sencillo y potente para revelar la estructura del sistema de ciudades y algunas de sus características. Sin embargo, al procedimiento puede objetarse la arbitrariedad en la fijación de los filtros.

¹² PRED, ALLAN (1977): City-systems in advanced economies. Hutchinson, London.

¹³ Ops.cit.

¹⁴ TRULLÉN, JOAN (2001b): La metròpoli de Barcelona cap a l'economia del coneixement: diagnosi econòmica i territorial de Barcelona 2001. Gabinet Tècnic de Programació, Ajuntament de Barcelona, Barcelona.

Una aplicación basada en el flujo significativo, que aplica un umbral de significatividad automático lo encontramos en **Nel-lo, López y Piqué (2000)**¹⁵. Este trabajo no intenta identificar tanto redes de ciudades como las redes emergentes a partir de los flujos de movilidad en la provincia de Barcelona. Se aplica un concepto de flujo significativo, que se deriva de ajustar los sucesivos destinos a un método de minimización cuadrática, que determina que flujos son significativos y cuales no. Los resultados están fuertemente condicionados por el tipo de datos utilizado (flujos de *commuting*) y por la metodología. El método parece resultar muy sensible a las variaciones relativas en los flujos y los destinos, por lo que se observan fuertes variaciones en cortos períodos temporales (5 años), plazos en los que la estructura de los sistemas ciudades tienden a ser estables y mostrar pocas variaciones.

Tabla 1. Síntesis de métodos de identificación de redes de ciudades

Método	Tipo	Aplicación	Ámbito	Datos	Procedimiento
Perfil funcional de los centros y distribución geográfica	Indirecto	Emanuel (1989) y Dematteis (1991)	Piamonte y Lombardía	Servicios a las empresas y a las familias (Seat 1985)	Menor distancia a la oferta potencial del servicio
		Boix (2000 y 2002)	Región metropolitana de Barcelona	Servicios a las empresas y a las familias (Censos y Padrones 1991 y 1996)	
Residuos del modelo de gravedad	Indirecto	Camagni (1994)	Lombardía	Flujos telefónicos (SIP 1991)	Ajuste de cada flujo al modelo de gravedad, forma exponencial.
		Boix (2000 y 2002)	Región metropolitana de Barcelona	<i>Commuting</i> total y sectorial (Censos y Padrones 1991 y 1996)	Ajuste de cada flujo al modelo de gravedad, formas exponencial y potencial.
Flujos directos y umbral de significatividad	Directo	Pred (1977)	EEUU	Flujos de información	Flujos directos
		Dematteis (1997b)	Italia	<i>Commuting</i> (Censos y Padrones)	Flujos directos
		Nel-lo, López y Piqué (2000)	Provincia de Barcelona	<i>Commuting</i> total (Censos y Padrones 1986, 1991 y 1996)	Modelo cuadrático de significatividad
		Boix (2000a y 2002a)	Región metropolitana de Barcelona	<i>Commuting</i> total (Censos y Padrones 1991 y 1996)	Flujos directores (4 primeros flujos)
		Trullén (2001)	Provincia de Barcelona	<i>Commuting</i> total Población y ocupación (Censos y Padrones 1991 y 1996)	Flujos directores y filtro de significatividad

¹⁵ NEL-LO, ORIOL; LÓPEZ, JOAN y JOSEP MARIA PIQUÉ (2000): Les xarxes emergents de mobilitat al nostre territori. Institut d'Estudis Metropolitans de Barcelona.

1.3. Métodos utilizados para la identificación de redes de ciudades

Los métodos que se exponen en este epígrafe se han diseñado para recoger la forma global de la red de ciudades y las principales tipologías de red expuestas en el capítulo 1: redes verticales-horizontales, redes de sinergia-complementariedad y redes de conocimiento¹⁶.

Todos los procedimientos son directos, y se basan en la combinación de flujos directores y/o flujos significativos. El objetivo no es contrastar el acercamiento o alejamiento de los modelos de lugar central, sino revelar la estructura del sistema de ciudades, y la naturaleza y características de la interacción entre los municipios, con el objetivo último de contrastar su relación con los procesos de crecimiento urbanos.

Los procedimientos presentados han sido diseñados para utilizarse con flujos de movilidad laboral (*commuting*), aunque pueden aplicarse igualmente con otro tipo de flujos. La limitación principal que introducen los flujos de movilidad es que son una aproximación parcial a la red de ciudades. Por ello, aunque tengan la capacidad de aproximar la estructura de la red urbana, es muy difícil considerar que las ponderaciones de cada flujo de red sean las interdependencias reales entre cada par de municipios. Esto nos obliga a trabajar con matrices binarias, que son neutras respecto a la ponderación de los flujos¹⁷.

1.3.1. Redes totales

Se han utilizado tres procedimientos básicos para aproximar la estructura principal de la red de ciudades:

1. **Flujos directores brutos**: considerando los cuatro primeros flujos de salida de cada municipio.
2. **Flujos directores filtrados por umbral mínimo de significatividad**: se utilizan los cuatro primeros flujos directores, pero se eliminan las interacciones de escasa ponderación (por ejemplo, las menores de 50 ó 100 *commuters*). Este método combina los enfoques de flujo director y flujo significativo.

¹⁶ Estos métodos han comenzado a probarse en Boix (2000a Op.cit.), Trullén (2001b, Op. cit.) y Trullén y Boix (2001b y 2003). En la presente investigación se añaden elementos nuevos que aún no se habían incorporado. TRULLÉN, JOAN Y RAFAEL BOIX (2001b): "Economia della conoscenza e reti di città: Città creative nell'era della conoscenza", *Sviluppo Locale*, vol.8, nº 18 ; TRULLÉN, JOAN Y RAFAEL BOIX (2003): "Barcelona, metrópolis policéntrica en red", Working Paper 03.03 del Departament d'Economia Aplicada UAB.

¹⁷ En el capítulo 5 se discutirá de forma más extensa la capacidad de estos flujos para la identificación de redes de ciudades, y sus limitaciones. El trabajo con matrices binarias es una opción conservadora, basada en las limitaciones que imponen los flujos de *commuting*.

3. **Flujos totales filtrados por umbral mínimo de significatividad:** es la aplicación del criterio de flujo significativo, aplicando umbrales mínimos de por ejemplo 50 y 100 *commuters* a los flujos de salida.

Estos procedimientos muestran un problema común: la especificación del número de flujos directores o el umbral mínimo que se considera significativo. Como se verá en el siguiente capítulo, en la presente investigación se ha optado por fijarlos manualmente, buscando la sencillez y claridad del procedimiento.

1.3.2. Redes verticales y horizontales

Las **redes verticales o jerárquicas** son aquellas que se establecen entre nodos de diferente rango, cuando algunos de los nodos dominan a los otros en el intercambio. Las **redes horizontales o heterárquicas** se establecen normalmente entre nodos del mismo rango, donde no existe dominancia. Adicionalmente, las redes horizontales también pueden establecerse entre ciudades de diferente rango, siempre que no exista una relación de dominación¹⁸.

El procedimiento propuesto se basa en identificar aquellos flujos direccionales que resulten significativos para el establecimiento de la jerarquía urbana y el rango de los nodos. Si se establece una relación significativa desde un municipio de rango inferior a un municipio de rango superior, se considera que la relación es jerárquica. En cambio, si la misma relación se establece entre dos municipios del mismo rango, o el flujo se dirige hacia un municipio de rango inferior, la relación se considera horizontal (equipotencial). En el caso de que entre dos municipios se establezcan relaciones significativas en ambos sentidos, hacemos el supuesto de que la relación jerárquica domina a la horizontal, y por tanto se asigna como relación jerárquica.

Los *rangos* se establecen en base a la población del municipio¹⁹. Por ejemplo, cuando apliquemos la metodología (capítulo 5) veremos que se establecen siete rangos, donde el nivel superior es ocupado en solitario por la ciudad de Barcelona. De esta manera, utilizamos la posibilidad de combinar datos de flujos con atributos, para obtener una tipología de red determinada.

¹⁸ La existencia de redes horizontales supone uno de los puntos principales del paradigma de las redes de ciudades, y se aleja de los modelos de tipo Christalleriano, donde las relaciones eran fundamentalmente verticales.

¹⁹ Otra posibilidad para obtener el rango de un municipio es a partir de indicadores de centralidad. Los indicadores de centralidad se expondrán en los siguientes epígrafes.

Tabla 2. Identificación de redes verticales y horizontales

Secuencia:

1. Establecer qué flujos son directores y/o significativos
2. Identificar el rango de los nodos
3. Comparar cada diada (relación entre pares de nodos) en función de los rangos de los municipios, estableciendo si la relación es horizontal o vertical.

1.3.3. Redes de sinergia y complementariedad

Las redes de sinergia y complementariedad (Camagni y Salone, 1993)²⁰ se relacionan con las características productivas y funcionales de cada municipio dentro de la red. Las **redes de sinergia** se dan entre municipios con orientaciones productivas o funciones muy similares. Las **redes de complementariedad** se dan entre municipios con orientaciones productivas o funciones diferentes.

Existen dos procedimientos alternativos para detectar redes de sinergia y complementariedad:

a) Con datos de flujos desagregados por sectores o actividades, podemos determinar directamente los pares de municipios entre los que existen fuertes intercambios sinérgicos y complementarios. De esta manera, la estructura de red se deduce de las mismas relaciones de sinergia y complementariedad. Sin embargo, resulta muy difícil disponer de datos de flujos intermunicipales desagregados por sectores / actividades.

b) Identificando la estructura de la red, y superponiendo sobre ella las especializaciones de los municipios, de manera que pueda establecerse si entre cada par de municipios conectados por una relación de red, la relación es de complementariedad o de sinergia, en base a su especialización en el sistema urbano. Este procedimiento utiliza datos de flujos para detectar la red, y datos de *stock* para aproximar la especialización de cada unidad urbana²¹.

Por razones de disponibilidad estadística, se ha optado por el segundo procedimiento, de manera que una vez identificada la red de ciudades, se identifica

²⁰ Op.cit.

²¹ Como se ha visto en este capítulo, otra opción es dinamizar datos de *stock* para que detecten relaciones entre ciudades. Esta opción ha sido utilizada por Emanuel y Dematteis (1990), y más recientemente en algunos trabajos sobre redes de ciudades globales (Taylor 2001). La dinamización espacial de datos de *stock* no suele ser un procedimiento óptimo, puesto que en cada caso requiere hacer supuestos muy concretos para determinar cuando existe una relación y cuando no. Sin embargo, en algunos casos es la única posibilidad de realizar análisis en ausencia de datos de flujos. EMANUEL, CESARE y GIUSEPPE DEMATTEIS (1990): "Reti urbane minori e deconcentrazione metropolitane nella Padania centro-occidentale", en D.MARTELLATO y F.SFORZI (eds) "Studi sui sistemi urbani" p.233-261, Milano, Franco Angeli ; TAYLOR, PETER S. (2001): "Specification of the World City Network", *Geographical Analysis*, 33 (2), P. 181-194.

el papel de cada municipio dentro del sistema urbano, y posteriormente se comparan las relaciones entre cada par de municipios entre los cuales existe una relación de red. Si los dos municipios entre los que existe la relación de red tienen la misma especialización, se considera que la relación de red es sinérgica, y en caso contrario (cada uno tiene una especialización diferente), se considera que la relación de red es complementaria.

Para identificar el perfil de cada municipio dentro del sistema urbano se utiliza la metodología multivariante *cluster k-medias*, que permite identificar conjuntos de municipios con una estructura productiva similar (tabla 3). Como individuos se utilizan los propios municipios, mientras que como variables se utilizan los sectores del análisis, en porcentaje sobre el total de ocupación o producción del municipio, de manera que cada sector es una variable.

Después de identificar los grupos, un análisis de la varianza permite conocer qué variables (sectores productivos) ofrecen mayor dispersión entre ellos²². Para caracterizar el perfil de los municipios de cada grupo en relación con los de los otros grupos, comparamos las desviaciones de cada grupo con respecto a la media de cada sector.

Una vez determinado a qué conglomerado pertenece cada municipio y su perfil, se superpone a la red de ciudades previamente identificada. Cuando entre dos municipios exista una relación de red, ésta será de complementariedad si ambos municipios pertenecen a un grupo diferente, o de sinergia, si pertenecen al mismo grupo.

Tabla 3. La metodología *cluster k-medias*

El *k-medias* es un tipo de técnica *cluster* que tiene por objeto realizar una única partición de los individuos (municipios) en *k* grupos²³, utilizando un algoritmo que permita formar conglomerados relativamente homogéneos a partir en las características de los individuos.

El *k-medias* se basa en la salida al centroide más próximo, asignando cada individuo a un grupo en

²² El análisis de varianza (ANOVA) descompone la suma total de los cuadrados en dos componentes: la variabilidad intra-cluster (media cuadrática del factor) e inter-cluster (media cuadrática del error), el ratio entre ambas es la distribución *F*. Las variables con mayor capacidad de discriminación entre *clusters* son principalmente actividades manufactureras, a las que se añaden actividades primarias, extractivas y algunos servicios, como hoteles, prestación pública de servicios y administración pública. Las actividades de servicios avanzados muestran una menor capacidad explicativa en la caracterización del perfil del municipio.

²³ Los métodos *cluster* se dividen en jerárquicos y partitivos. El *k-medias* es una técnica *cluster* partitiva. Las técnicas *cluster* partitivas se diferencian fundamentalmente de las jerárquicas (aglomerativas) en que no tienen por objetivo ir agregando individuos al cluster a partir de los ya existentes, sino dividir directamente a los individuos en un número de grupos predefinido. Los métodos *cluster* forman parte de las técnicas de análisis multivariante. Para un completo detalle sobre estas técnicas puede consultarse el libro de Dillon y Goldstein (1984).

función de que su distancia con respecto al centro del conglomerado sea la mínima (Dillon y Goldstein 1984 p.186-187; Visauta 1998 p.194)²⁴. La diferencia entre individuos se reduce a la distancia euclídea a partir de la información que proporcionan las variables. Las técnicas partitivas suponen que se predefine el número de grupos en los que se divide a los individuos. Dentro de las diferentes especificaciones del *k-medias*, el método utilizado actualiza los centros de los conglomerados de forma iterativa.

Tenemos n individuos (municipios), j variables (sectores), donde $i=1,2,\dots,n$ y $j=1,2,\dots,p$. La distancia entre el individuo i -ésimo y el *cluster*-ésimo l es:

$$D(i, l) = \left(\sum_{j=1}^p [X(i, j) - \bar{X}(l, j)]^2 \right)^{1/2} \quad [1]$$

, donde $X(i, j)$ es el valor del i -ésimo individuo sobre la j -ésima variable; $P(n, K)$ es la partición que resulta de asignar a cada individuo a un cluster 1, 2, ..., K ; $\bar{X}(l, j)$ es la media de la j -ésima variable en el l -ésimo *cluster*.

El componente de error de la partición se define por:

$$E [P(n, K)] = \sum_{i=1}^n D[i, l(i)]^2 \quad [2]$$

, donde $D[i, l(i)]$ es la distancia euclídea entre cada individuo i y la media del cluster $l(i)$ al que pertenece.

El número de grupos se determina exógenamente. Una vez fijado, el algoritmo busca la asignación de individuos entre grupos que minimiza el error. Esto se hace moviendo los individuos de un *cluster* a otro hasta que la reducción en el término de error no sea significativa.

Tabla 4. Identificación de redes de complementariedad y sinergia

Secuencia:

1. Establecer qué flujos son directores y/o significativos
2. Aplicar metodología *cluster k-medias*. Los municipios son los individuos, y la estructura sectorial del municipio actúa como variables.
3. Comparar cada diada (relación entre pares de nodos) en función del perfil de los municipios, estableciendo si la relación es de complementariedad (perfiles distintos) o de sinergia (perfiles idénticos)
4. OPCIONAL: Utilizar un análisis de varianza (ANOVA) para saber que sectores determinan el perfil de cada *cluster*.
5. OPCIONAL: Combinar con la metodología para identificar redes verticales y horizontales, para separar la sinergia y la complementariedad en redes verticales y horizontales

²⁴ DILLON, W. D. and MATTHEW GOLDSTEIN (1984): "Multivariate Analysis". John Wiley & Sons ; VISAUTA, B. (1998): "Análisis estadístico con SPSS para Windows: Estadística multivariante". McGraw Hill.

1.3.4. Redes de conocimiento

Los tradicionales *modelos de lugar central* relacionan la producción de innovaciones con el rango de la ciudad en el sistema urbano (Webber, 1972)²⁵. Por lo tanto, el volumen de conocimiento acumulado se ordena de forma jerárquica de acuerdo con la población de cada ciudad. Además, las innovaciones y el conocimiento se difunden verticalmente desde los centros de mayor rango a los de menor rango del sistema urbano. En cambio, en los *modelos de red*, la difusión del conocimiento puede realizarse no solo de forma vertical, sino también entre ciudades del mismo rango, y desde ciudades de rango inferior a ciudades de rango superior (Trullén y Boix 2001b)²⁶. El enfoque de las redes de conocimiento está concebido para analizar procesos de localización y/o difusión del conocimiento en la estructura urbana²⁷.

La utilización de categorías basadas en el conocimiento se relaciona con la necesidad de superar la tradicional visión de sector, definida por las características de lo “que” se produce, por una nueva clasificación definida por el modo “como” se produce (Trullén 2001b; Trullén, Lladós y Boix 2002, p.21-22)²⁸, y por tanto más adecuada para analizar los cambios técnico-organizativos en las ciudades. Por lo tanto, se propone incorporar la perspectiva basada en la **economía del conocimiento** (Knight 1995; OCDE 1999 y 2001)²⁹ en el análisis de las redes de ciudades.

Actualmente, la categoría basada en la economía del conocimiento se obtiene por agregación de datos disponibles en las categorías tradicionales. De esta manera, disponemos de tres fuentes para identificar las redes de conocimiento: los flujos por sectores, los flujos por profesiones, y los flujos por cualificaciones.

Los flujos por sectores han sido utilizados por Trullén y Boix (2001b)³⁰ para investigar la relación entre ocupación en actividades de conocimiento alto y estructura urbana. El **procedimiento** consiste en separar los flujos de conocimiento alto, y aplicar el procedimiento de flujos directores con un filtro de significatividad.

²⁵ WEBBER, MICHAEL J. (1972): *Impact of uncertainty on location*. MIT, Cambridge, Massachusetts.

²⁶ Op.cit.

²⁷ El concepto de “redes de conocimiento” es diferente del de “redes de innovación” utilizado en Camagni y Salone (1993). Las redes de innovación son un tipo de red programada con el objetivo de alcanzar la masa suficiente abordar un proyecto o para obtener una externalidad que lo haga más rentable. Las redes de conocimiento se relacionan con la localización y difusión del conocimiento a través de la estructura urbana. CAMAGNI, ROBERTO and CARLO SALONE (1993a): “Network Urban Structures in Northern Italy: Elements for a Theoretical Framework”, *Urban Studies*, Vol. 30, No. 6, p. 1053-1064.

²⁸ TRULLÉN, JOAN; LLADÓS, JOSEP y RAFAEL BOIX (2002): “Economía del conocimiento, ciudad y competitividad”, *Investigaciones Regionales*, nº1.

²⁹ KNIGHT, RICHARD. V. (1995): “Knowledge-Based Development: Policy and Planning Implications for Cities”, en *Urban Studies*, núm. 32 ; OCDE (1999): *Tableau de bord de l’OCDE de la science, de la technologie et de l’industrie*. OCDE, París ; OCDE (2001): *Tableau de bord de l’OCDE de la science, de la technologie et de l’industrie*. OCDE, París.

³⁰ Op.cit.

El procedimiento que utilizamos en la presente investigación sigue la misma lógica, aunque se utilizará también el procedimiento de flujos totales y se probará con filtros mínimos de 50 y 100 *commuters*. A diferencia de Trullén y Boix (2001b) no sólo se identificará la estructura de la red por conocimiento alto, sino también bajo³¹, y se utilizará tanto la clasificación por sectores (CNAE 93) como la clasificación por ocupados (CNO 94)³².

1.3.4.1. La economía del conocimiento y la clasificación de actividades

Desde hace algunos años, la OCDE elabora indicadores que puedan revelar los componentes de tecnología y conocimiento de las economías. Debido a la disparidad de criterios en las clasificaciones nacionales de actividades, la identificación de las actividades basadas en el conocimiento y la tecnología se establecía a partir de unas directrices generales, basadas en la CITI Rev.2.

La revisión de las contabilidades nacionales y su adaptación a la SCN93 y ESA95 ha mejorado la disponibilidad de datos estadísticos comparables, así como su detalle. En la edición 2001 del *Tableau de Bord de la STI* (OCDE 2001)³³ se actualiza la clasificación de actividades basadas en el conocimiento respecto a la que se ofrecía en la edición de 1999, pasando de utilizarse como base la CITI Rev. 3 en lugar de la CITI Rev.2.

Las actividades manufactureras se clasifican en cuatro intensidades de tecnología a partir de la intensidad de R+D en el valor final de la producción: tecnología alta, media-alta, media-baja y baja. La mayor diferencia respecto a la clasificación de 1999 es que el grupo “*Fabricación de instrumentos médicos, de precisión y óptica*” deja de considerarse tecnología media-alta y pasa a formar parte de la tecnología alta.

Las actividades de servicios se clasifican como sectores de intensidad en conocimiento fuerte o débil a partir de criterios de uso de tecnologías incorporadas (a partir de tablas input-output empresariales), de la intensidad de R+D, y de la cualificación de la mano de obra. En este caso, los cambios respecto a la clasificación de 1999 son importantes, fundamentalmente porque se eliminan de la clasificación de intensidad de conocimiento fuerte sectores como las inmobiliarias y la totalidad del grupo 9 de la CITI Rev., compuesto por servicios colectivos, servicios sociales y servicios personales. Además, se opta por incluir las

³¹ Con esto se pretende dar respuesta algunas preguntas surgían en Trullén y Boix (2002b, Op. cit.) al analizar los resultados de las estimaciones econométricas.

³² La CNO es la Clasificación Nacional de Ocupaciones, y tiene su equivalente a nivel internacional en la CITP-88 (CIUO-88 y CIUO-88 COM). Agradezco la sugerencia que hizo en su momento José Luís Roig sobre la posibilidad de utilizar esta fuente de datos en relación con la transmisión de información y conocimientos.

³³ Op.cit.

actividades de correos junto con las de telecomunicaciones debido a la dificultad de separarlas³⁴.

Tabla 5. Actividades basadas en la tecnología y el conocimiento. OCDE 2001

MANUFACTURAS			
Actividades de tecnología alta	<i>CITI Rev. 3</i>	Actividades de tecnología media-baja	<i>CITI Rev. 3</i>
Construcción aeronáutica y espacial	2423	Coquefacción, productos refinados del petróleo y combustibles nucleares	23
Productos farmacéuticos	30	Artículos de caucho y de materias plásticas	25
Máquinas de oficina y ordenadores	32	Otros productos minerales no metálicos	26
Aparatos de radio, televisores y telecomunicaciones	33	Construcción y reparación de naves	351
Instrumentos médicos, de precisión y óptica	353	Productos metalúrgicos de base	27
		Manufacturas metálicas, excepto máquinas y material	28
Actividades de tecnología media-alta		Actividades de tecnología baja	
Máquinas y aparatos eléctricos, n.c.a.	24 (menos 2323)	Otras industrias manufactureras y reciclaje	369
Fabricación de vehículos automóviles, remolques y semi-remolques	29	Papel, artes gráficas y edición	21+22
Productos químicos, excepto productos farmacéuticos	31	Textiles, vestido, cuero y calzado	17+18+19
Material ferroviario rodante y otros equipos de transporte, n.c.a.	34	Alimentación, bebidas y tabaco	15+16
Máquinas y material, n.c.a.	352+359	Madera y muebles	20+361
SERVICIOS			
Actividades basadas en el conocimiento		Actividades no basadas en el conocimiento	
Correos y telecomunicaciones	64	Resto de actividades de servicios	50 a 63, 70, 75, 90 a 99
Intermediación financiera y seguros	65-67		
Servicios a las empresas, excepto actividades inmobiliarias	71-74		
Educación y Sanidad	80,85		

Fuente: OCDE (2001, p. 126, 205 y 208)

A partir de la clasificación de actividades de la OCDE, el objetivo es construir un indicador aplicable en entornos urbanos, con capacidad para medir la intensidad de tecnología y conocimiento altos en relación con la tecnología y conocimiento bajos. La construcción de este indicador presenta diversos problemas, que han debido resolverse.

En primer lugar, podemos observar cómo en la tabla 5 no se incluyen todos los sectores de la contabilidad nacional, sino que faltan las actividades primarias, las industrias energéticas y la construcción. Además, la clasificación de manufacturas

³⁴ Para una justificación detallada de la inclusión las actividades en uno u otro grupo, puede consultarse el *Tableau de Bord de la STI 2001* (OCDE 2001, p.126).

se presenta a cuatro niveles, mientras que la de servicios sólo a dos. Para mostrar un indicador de intensidad de tecnología y conocimiento a escala municipal se ha optado por dividir la tecnología y el conocimiento en sólo dos intensidades: alto y bajo. Para ello agregamos *sector primario, energéticas, y manufacturas de tecnología baja y media-baja* en un único grupo de *conocimiento bajo*. Para formar el grupo de *conocimiento alto* se agregan las *manufacturas de conocimiento alto y medio-alto, y los servicios de conocimiento alto*. Las clasificaciones se adaptan individualmente desde la CITI Rev.3 a la CNAE 74 y la CNAE 93 con el objetivo de que la serie temporal sea homogénea.

Aunque se ha tomado como base la adaptación de Trullén, Lladós y Boix (2002)³⁵ para operar con 60 sectores de la CNAE, por problemas de continuidad en las series de movilidad, se ha utilizado una agregación a 31 sectores. Esto supone introducir dos cambios en los servicios, debido a la dificultad en desagregar: el sector de Correos y comunicaciones se incluye con los servicios de conocimiento bajo; y el sector de Actividades inmobiliarias se incluye con los servicios de conocimiento alto.

Tabla 6. Construcción del indicador de conocimiento

		OCDE ↓	
CNAE 93	→	Sector primario Industrias energéticas Industrias de tecnología baja y media-baja Terciario por conocimiento bajo	Conocimiento y tecnología bajo
CNAE 74	→	Industrias de tecnología alta y media-alta Terciario por conocimiento alto	Conocimiento y tecnología alto

1.3.4.2. La economía del conocimiento y la clasificación de ocupaciones

El Manual de Canberra (OCDE y Eurostat 1995)³⁶ define los criterios para identificar aquellos recursos humanos de elevada cualificación científica y tecnológica. Estos deben cumplir a menos uno de estos criterios:

- Ser poseedor de un diploma de fin de estudios de tercer ciclo³⁷.
- Pertener a los grupos 2 ó 3 de la CITP-88³⁸, a los que se pueden añadir algunos ocupados de los epígrafes 121, 122 y 131 de la CITP.

³⁵ Op.cit.

³⁶ OCDE (1995): Manual on the measurement of human resources devoted to S&T “Canberra manual”. OCDE.

³⁷ Titulación de diplomado/ingeniero técnico, licenciado/ingeniero superior o doctor universitario, o titulación equivalente.

³⁸ Clasificación Internacional por Tipo de Profesiones. Existe correspondencia con la CNO 94.

A partir de estos criterios, y para los países europeos³⁹, el *Tableau de Bord de la STI* (OCDE 2001, Op.cit. p.50) considera recursos humanos dedicados a la ciencia y la tecnología los que cumplen los siguientes criterios:

- Pertener a los grupos 2 ó 3 de la CIP-88, que son los grupos considerados como científicos y técnicos.
- Pertener a los grupos 121, 122 ó 131 de la CIP-88, con el requisito de que tengan estudios de tercer ciclo.

Para el presente trabajo consideraremos relevantes sólo aquellos profesionales que cumplan el primer criterio, es decir, pertenecer a los grupos 2 ó 3 de la CIP-88, por considerarlos más estrechamente relacionados con la ciencia y la tecnología. La CIP-88 se transforma en CNO-94 (Clasificación Nacional de Ocupaciones) sin que exista ningún tipo de pérdida de información. El grupo 2 de ambas clasificaciones corresponde a los “Técnicos y profesionales científicos e intelectuales”, y el grupo 3 a los “Técnicos y profesionales de apoyo”. En la tabla 7 se muestran las correspondencias entre CIP-88 y CNO-94 a un nivel de desagregación a dos dígitos, y en la tabla 8 la clasificación de profesionales en Ocupados STI y Ocupados no-STI.

Tabla 7. Correspondencias entre la CIP-88 y la CNO-94 a dos dígitos, en los grupos relacionados con la ciencia y la tecnología.

CIP-88		CNO-94	
21	Profesionales en ciencias físicas, matemáticas y de la ingeniería	20	Profesiones asociadas a titulaciones de 2º y 3er ciclo universitario en ciencias físicas, químicas, matemáticas e ingeniería
22	Profesionales de las ciencias biológicas y de la salud	21	Profesiones asociadas a titulaciones de 2º y 3er ciclo universitario en ciencias naturales y sanidad
23	Profesionales de la enseñanza	22	Profesiones asociadas a titulaciones de 2º y 3er ciclo universitario en la enseñanza
24	Otros técnicos y profesionales científicos e intelectuales	23	Profesionales del derecho
24	Otros técnicos y profesionales científicos e intelectuales	24	Profesionales en organizaciones de empresas, profesionales en las ciencias sociales y humanas asociadas a titulaciones de 2º y 3er ciclo universitario
24	Otros técnicos y profesionales científicos e intelectuales	25	Escritores, artistas y otras profesiones asociadas a
21	Profesionales en ciencias físicas, matemáticas y de la ingeniería	26	Profesiones asociadas a una titulación de 1er ciclo universitario en ciencias físicas, químicas, matemáticas, ingeniería y asimilados
22	Profesionales de las ciencias biológicas y de la salud	27	Profesiones asociadas a una titulación de 1er ciclo universitario en ciencias naturales y sanidad, excepto ópticos, fisioterapeutas y asimilados
23	Profesionales de la enseñanza	28	Profesiones asociadas a una titulación de 1er ciclo universitario en la enseñanza
24	Otros técnicos y profesionales científicos e intelectuales	29	Otras profesiones asociadas a una titulación de 1er ciclo universitaria

³⁹ La clasificación para los Estados Unidos puede consultarse en la misma p. 50 del *Tableau de Bord de la STI* - 2001.

31	Profesionales de apoyo de las ciencias físicas, químicas y de la ingeniería	30	Técnicos de las ciencias físicas, químicas e ingenierías
32	Profesionales de apoyo de las ciencias naturales y de la salud	31	Técnicos de las ciencias naturales y de la sanidad
33	Profesionales de nivel medio de la enseñanza	32	Técnicos en educación infantil, instructores de vuelo, navegación y conducción de vehículos
34	Otros profesionales de apoyo	33	Profesionales de apoyo en operaciones financieras y comerciales
34	Otros profesionales de apoyo	34	Profesionales de apoyo a la gestión administrativa
34	Otros profesionales de apoyo	35	Otros técnicos y profesionales de apoyo

Fuente: Elaboración a partir de OCDE (2001) y GESCLA (INE)

Tabla 8. Grupos de la CNO-94 y relación con la ciencia y la tecnología

Código	Descripción	Grupo
0	Fuerzas armadas	No STI
1	Dirección de empresas y de las administraciones públicas	No STI
2	Técnicos y profesionales científicos e intelectuales	STI
3	Técnicos y profesionales de apoyo	STI
4	Empleados de tipo administrativo	No STI
5	Trabajadores de los servicios de restauración, personales, protección y vendedores de los comercios	No STI
6	Trabajadores cualificados en la agricultura y en la pesca	No STI
7	Artisanos y trabajadores cualificados de las industrias manufactureras, la construcción, y la minería, excepto los operadores de instalaciones y maquinaria	No STI
8	Operadores de instalaciones y maquinaria, y montadores	No STI
9	Trabajadores no cualificados	No STI

Fuente: Elaboración a partir de OCDE (2001) y GESCLA (INE)

Tabla 9. Identificación de redes por conocimiento

<p>Secuencia:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Aplicar la clasificación de la OCDE (sectores y/o profesiones) para separar los flujos entre flujos de conocimiento alto y bajo. 2. Establecer qué flujos son directores y/o significativos para cada categoría de conocimiento (alto y bajo). 3. OPCIONAL: Combinar con la metodología para identificar redes verticales y horizontales, para separar las redes por conocimiento en redes verticales y horizontales.
--

2. INSTRUMENTOS DE ANÁLISIS DE REDES

2.1. Características de las redes y los nodos

Una vez identificadas las redes de ciudades, el análisis de sus características básicas puede realizarse mediante una inspección visual de los mapas (análisis visual del grafo). Sin embargo, cuando la cantidad de nodos y vínculos de la red es muy grande, este sistema resulta limitado y poco operativo.

En este caso, la teoría de sistemas proporciona el instrumental matemático adecuado para el trabajo con redes complejas. El instrumental se basa en el cálculo matricial y en la elaboración de indicadores que revelan las características de la red y las ciudades que la componen⁴⁰.

Además, existe la posibilidad es que necesitemos explorar la relación entre la red de ciudades identificada y alguna variable económica (producción, ocupación, población, etc.). En este caso, la econometría espacial proporciona un conjunto de instrumentos útiles para una primera aproximación univariante.

2.1.1. Matrices asociadas a un grafo

Las matrices básicas de la teoría de grafos son la matriz de adyacencia, la matriz de accesibilidad y la matriz de distancia geodésica⁴¹.

La **matriz de adyacencia** nos dice cuando existe una conexión directa entre dos nodos de la red en un grafo. Es una matriz cuadrada y binaria, donde un valor 0 indica la ausencia de relaciones entre dos nodos, y un valor 1 indica que dos nodos están directamente relacionados. Usualmente se considera que los elementos de la diagonal principal son cero ($Z_{ii}=0$).

Sean i y j vértices arbitrarios del grafo S , donde $i, j=1,2,\dots,n$, entonces los elementos de la matriz de adyacencia A del grafo vienen dados por:

⁴⁰ El instrumental matemático que mostramos conforma una selección de indicadores de teoría de redes que se han considerado aplicables a las redes de ciudades. Los indicadores básicos se han tomado de aplicaciones de la teoría de redes en ingeniería de sistemas, sociología, y comunicación: Freeman (1979), Freeman et al. (1989 y 1991), Knone y Kuklinski (1982), Scott (1991), Valente (1995), Casti (1995) y Johnson (1995a y b).

⁴¹ El trabajo sobre matrices en la teoría de sistemas tiene una utilidad inmediata en otros campos, como la econometría espacial. De hecho, en las estimaciones del capítulo 7 se utilizan matrices de adyacencia como matrices de contactos (W).

$$A_{i,j} = \begin{cases} 1 & \text{si } (i,j) \in E \\ 0 & \text{si } (i,j) \notin E \end{cases} \quad [3]$$

Las conexiones indirectas entre un conjunto de n nodos pueden encontrarse elevando la matriz de adyacencia (A) a sucesivas potencias, multiplicando la matriz por ella misma T veces. Los elementos resultantes en A^T indican el número de pasos a través de los cuales se puede conectar el nodo i al nodo j .

La **matriz de accesibilidad** R indica si un nodo de la red está conectado con otro, sea de forma directa o indirecta, o lo que es lo mismo, si se puede conectar el nodo i al nodo j en T o menos pasos.

Sean i y j vértices arbitrarios del grafo S , donde $i, j=1,2,\dots,n$, entonces los elementos de la matriz de accesibilidad R del grafo vienen dados por:

$$R_{i,j} = \begin{cases} 1 & \text{si existe alguna ruta (path) entre } i \text{ y } j \\ 0 & \text{si no existe ninguna ruta (path) entre } i \text{ y } j \end{cases} \quad [4]$$

Si los elementos de la matriz de accesibilidad son todos unos, el grafo es un grafo fuertemente conectado⁴².

La matriz de accesibilidad también puede ser ponderada (no binaria), cuando muestra el número total de conexiones entre pares de actores, en T o menos pasos (número total de *paths* por los cuales dos actores pueden conectarse). En este caso:

$$R^T = A + A^2 + \dots + A^T \quad [5]$$

Otro elemento importante dentro de la conectividad es la **optimalidad**, es decir, conocer cual es la ruta (*path*) más corta entre dos vértices del grafo. La ruta más corta es la que atraviesa el mínimo número de arcos para desplazarse entre los dos vértices. Esto puede concretarse en una **matriz de distancia geodésica** G . El elemento g_{ij} de esta matriz es simplemente la longitud del *path* o ruta más corta entre los vértices i y j , donde $i, j=1,2,\dots,n$:

$$G^T = A + A^{2'} + \dots + A^T \quad [6]$$

, donde $A^{2'}$ son los A^T elementos diferentes de cero que, en conjunto, son iguales a T , excepto porque son diferentes de cero en la matriz A elevada a alguna potencia menor que T . De nuevo, los elementos de la diagonal principal son siempre cero. El *path* más largo en una red debe ser igual a T cuando A^{T+1} contiene elementos distintos de cero en potencias menores de la matriz, y la principal característica de G^T es que excluye las conexiones redundantes.

⁴² *Path theorem*, Casti (1995, p. 7). CASTI, JOHN L. (1995): "The Theory of Networks", en D.F.BATTEN, J.L.CASTI and R.THORD (eds.), *Networks in Action*. Springer Verlag, Berlin

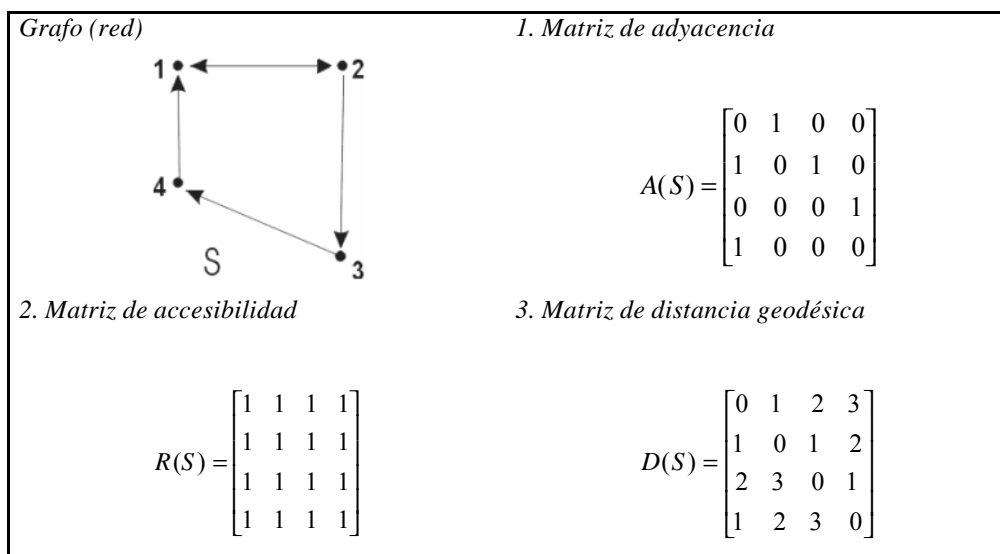
En el caso de que necesitemos comparar sistemas distintos (distinto número de nodos, distinto número de vínculos), la matriz de distancias puede normalizarse:

$$p_{ijk} = (d_{ijk} - 1) / d_{\max} \quad [7]$$

, donde d_{\max} es el *path* más largo observado en la red.

Podemos ver un ejemplo de las tres matrices a partir de un grafo simulado en la figura 2.

Figura 2. Ejemplo de matrices de conectividad



Fuente: Casti (1995, pp. 8 y 9)

Estas tres matrices las podemos aplicar a diferentes tipos de grafos dentro del sistema de ciudades de Cataluña, con distintos resultados. Así por ejemplo, un grafo de carreteras permite obtener una matriz adyacente $A(G)$ con ceros y unos, cuanto mayor sea el número de unos, mayor conectividad directa tiene el sistema. La matriz de accesibilidad $R(G)$ estará formada enteramente por unos, dado que la red de carreteras permite el acceso, directo o indirecto, entre todas las ciudades del sistema, mientras que cuanto más pequeños sean los valores de la matriz de distancia $D(G)$, más fácil será el acceso entre los diferentes nodos del sistema, y mayor será la accesibilidad directa.

En cambio, si los flujos son ferroviarios, podemos encontrar con que el número de relaciones directas de la matriz de adyacencia es bajo, y sobre todo que en la matriz de accesibilidad todos los componentes no son unos, y por tanto el grafo no está fuertemente conectado en un sentido estricto. Otra de las consecuencias directas de utilizar flujos ferroviarios es que los elementos de la matriz de distancia se amplían considerablemente, debido a la cantidad de nodos que atraviesa directamente la red ferroviaria y la existencia de trasbordos entre diferentes líneas y operadoras.

2.1.2. Índices básicos para nodos y redes unidimensionales⁴³

A partir de las matrices de adyacencia, accesibilidad y distancia pueden calcularse los estadísticos de teoría de grafos. Estos estadísticos permiten sintetizar numéricamente las características de las redes de ciudades complejas⁴⁴.

2.1.2.1. Estadísticos descriptivos

Los estadísticos descriptivos proporcionan la información más elemental sobre la red de ciudades, como el número de nodos (unidades urbanas), el número de relaciones, la densidad de la red o la transitividad.

a) El **número de nodos** es la suma de todos los nodos de la red. Cuanto mayor es el número de ciudades, es de prever que la red pueda llegar a ser más compleja:

$$N = \sum \text{nodos} \quad [8]$$

b) El número de relaciones (*links*) informa del número de ciudades que están conectadas de forma directa. A la suma del número de *links* también se le llama **tamaño de la red**:

$$S_k = \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^N z_{ij} \quad \forall i \neq j \quad [9]$$

, donde z es un flujo entre dos nodos, los sufijos indican el origen (i) y el destino (j).

c) La media ofrece una primera medida de la **densidad de la red**, como número de relaciones efectivas (tamaño de la red) dividido por el número de relaciones posibles excluyendo las autorrelaciones (excluyendo las N observaciones de la diagonal principal). La densidad se define entre 0 y 1, donde 0 es un grafo totalmente desconectado (grafo nulo) y 1 es un grafo totalmente conectado:

⁴³ Los estadísticos unidimensionales que ofrecemos son una selección que ha mostrado buenas propiedades con el tipo de datos con los que se va a trabajar. Además, existe otra familia de estadísticos preparada para el trabajo con redes multidimensionales. Sin embargo, por las restricciones que imponen los datos, en la presente investigación nos centraremos en las redes unidimensionales.

⁴⁴ En Boix (2002b) puede encontrarse una aplicación de los indicadores descritos sobre cuatro estructuras urbanas simuladas: un sistema monocéntrico, un sistema jerárquico en árbol, un sistema policéntrico y un sistema en malla totalmente conectado. El objetivo del trabajo es contrastar el funcionamiento de los indicadores de teoría de sistemas. BOIX, RAFAEL (2002b): "Instrumentos de análisis de redes en economía urbana: caracterización de redes de ciudades mediante el análisis de cuatro estructuras urbanas simuladas", en V Encuentro de Economía Aplicada, Oviedo (del 6 al 8 de junio de 2002). Se ha procurado que los indicadores presentados en esta investigación puedan calcularse mediante el empleo de un *software* estándar. En este caso, los indicadores de teoría de redes pueden calcularse utilizando *Ucinet* 4, 5 ó 6.

$$D_k = \frac{\sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^N z_{ij}}{(N^2 - N)} \quad \forall i \neq j \quad [10]$$

, donde z es un flujo entre dos nodos, los sufijos indican el origen (i) y el destino (j), y N es el número de nodos.

d) La **transitividad** hace referencia a que si A se relaciona con B , y B se relaciona con C , entonces A se relaciona con C . Las tríadas son conjuntos de tres nodos y las relaciones efectivas entre ellos, por tanto, la transitividad mide el porcentaje de tríadas donde los elementos están directa o indirectamente conectados sobre el total de tríadas conectadas posibles. De forma operativa, la densidad de tríadas es el número de tríadas que son transitivas (en las cuales $A \rightarrow B \rightarrow C$, y por tanto $A \rightarrow C$), dividido por el número total de *paths* de longitud 2 (número de tríadas potencialmente transitivas):

$$T = \frac{\sum_i tr_i}{\sum_i tr_*} \quad [11]$$

donde tr_i son las tríadas efectivas y tr_* las potenciales.

2.1.2.2. Cohesión

La cohesión hace referencia al número y fortaleza de los lazos entre las ciudades de la red.

a) La **distancia geodésica** es la suma del número de pasos del camino mínimo para conectar dos nodos. Se calcula elevando la matriz de adyacencia a potencias sucesivas (1, 2,...,T, donde T es el número de ciudades). Cuando la conexión entre dos ciudades se hace efectiva, se contabiliza el valor de la primera potencia en la que han conectado en la matriz de geodésicos (camino mínimo), y continuamos el proceso hasta las n potencias.

b) El **diámetro de una red** es el valor del geodésico más largo del sistema conectado. En términos operativos, el diámetro es el mayor valor que encontramos en la matriz de geodésicos:

$$D_g = \text{Max}(g_i) \quad [12]$$

, donde g_i son los valores de los geodésicos.

c) El **flujo máximo** (*maximum flow*) intenta medir la fortaleza o debilidad de la conexión entre dos ciudades sobre la base de que la fortaleza entre dos nodos no es mayor que la del *link* más débil en la cadena de conexiones entre los dos nodos, donde la debilidad se mide en falta de alternativas en la conexión. Es decir, se mide la cantidad de caminos por los cuales se pueden conectar dos ciudades, más que la longitud de estos caminos⁴⁵. De forma operativa, el indicador se calcula sumando de cuantas maneras diferentes se pueden conectar dos ciudades:

$$MF_{i,j} = R_{i,j}^T \quad [13]$$

donde R^T es la *Reachability Matrix* $R^T = A + A^2 + \dots + A^T$

2.1.2.3. Índices de centralidad, intermediación, influencia y poder

Uno de los elementos característicos de las redes es que las relaciones de poder entre los miembros de la red pueden o no ser simétricas, y que algunos nodos pueden adoptar una posición más relevante que otros (jerarquías). Los siguientes índices pretenden revelar algunas de estas características tanto para nodos individuales como para el conjunto de la red.

Centralidad

a) Cuando dos nodos se conectan a través de una relación directa se les llama *adyacentes*. El conjunto de nodos adyacentes a un punto (nodos con los que tiene una relación directa) se conocen como *vecindario* (*neighborhood*). El **grado** de un grafo es el número de vínculos que inciden o se relacionan directamente con el nodo, o sea, el número de nodos que forman su vecindario.

En un grafo o en una red de ciudades donde los vínculos son dirigidos (y en general en cualquier red asimétrica), podemos diferenciar entre grado de entrada y grado de salida de cada nodo⁴⁶.

El **grado de entrada** (*in-degree*) de un nodo es el número de vínculos que se dirigen directamente hacia el nodo (numero de flechas que apuntan al nodo). Se define como la suma por fila de la matriz de adyacencia:

$$I_j = \sum_{i=1}^N z_{ij} \quad [14]$$

El **grado de salida** (*out-degree*) es el número de vínculos que tienen origen directo en el nodo (número de flechas que salen del nodo):

⁴⁵ Este indicador es fácilmente relacionable con la probabilidad de supervivencia ante fallos en la transmisión de la información.

⁴⁶ Cuando la red es totalmente simétrica, el valor del grado de entrada y el de salida coinciden.

$$O_i = \sum_{j=1}^N z_{ij} \quad [15]$$

En ambos casos, z_{ij} se refiere al elemento i,j de la matriz de referencia para el cálculo del estadístico.

El **grado** es una de las medidas más elementales de centralidad y poder de un nodo, en la medida que cuantas más relaciones envía o recibe, más poder acumula, en términos relativos, sobre los otros nodos. De la misma manera, cuantas más relaciones tiene con los otros nodos, más alternativas tiene para escoger en sus relaciones, de manera que dispone también de mayor *autonomía*.

b) La medida mediante **autovectores** (Bonacich centrality) presta mayor atención a los patrones de comportamiento globales que a los locales. El procedimiento se basa en el uso del análisis factorial para identificar las dimensiones de las distancias entre los nodos. La posición de cada nodo respecto a cada dimensión es un autovalor, y el conjunto de los autovalores forma un autovector. La primera dimensión suele reflejar patrones de comportamiento más globales, mientras que las sucesivas dimensiones muestran patrones de comportamiento más locales. La distancia entre los actores se mide como la mayor distancia geodésica entre ellos.

A efectos de cálculo, el objetivo es calcular el autovector formado por los autovalores positivos más grandes, lo que proporcionará la medida de la centralidad. De esta manera, a partir de una matriz de adyacencia A , la centralidad de cada nodo se determina por la centralidad de los nodos a los cuales está conectado (c_{ij}):

$$C_i = a \sum A_{ij} c_{ij} \quad , \text{ donde } a \text{ es un parámetro} \quad [16]$$

Intermediación

La **intermediación** (*betweenness centrality*) intenta revelar si una ciudad tiene una posición favorable en la red, debido a que interviene muchas veces en los geodésicos que unen pares de nodos, es decir, es un intermediador nato. En la medida que muchas ciudades dependan de otra para relacionarse con otras, más poder acumula esta ciudad. De la misma manera, si dos ciudades están conectadas por más de un geodésico, menos poder tienen las ciudades intermediarias.

La intermediación se calcula como el número de geodésicos que pasan por un nodo. La medida puede normalizarse dividiendo por la intermediación máxima:

$$\textit{Betweenness} = \sum (g_{\max} - g(n_i)) \quad [17]$$

, donde g son los geodésicos y n_1, \dots, n_n los n nodos del sistema.

Influencia

La **influencia** mide la capacidad de una ciudad de afectar a otras. La influencia se mide, genéricamente, mediante el número de caminos posibles para unir pares de nodos, aunque existen diferentes formas de calcularla.

Los métodos de *Hubbell* y *Katz* se basan en contar el número total de conexiones entre nodos, ponderándola por la longitud (número de *paths*), de manera que a mayor longitud, más débil es la conexión. Por este motivo, se incluye un factor de atenuación entre cero y uno, que nos permite escoger la pérdida de influencia que existe entre dos ciudades al pasar por terceras ciudades. Por ejemplo, si el factor de atenuación es de 0,5 y la distancia entre dos ciudades es de tres pasos (A --> B --> C --> D), la influencia final será de 0,25, porque: 1 --> 0,5 --> 0,25. La diferencia entre el método de Hubbell y el de Katz es que el primero incluye una matriz identidad en la cual la conexión de cada nodo con él mismo es la más fuerte, mientras que Katz elimina las autorrelaciones. De esta manera, habrá un paso más en Hubbell que en Katz.

Una vez calculada la matriz con la influencia de cada nodo sobre los otros, podemos sumar por columna o por fila, obteniendo bien la influencia global de cada nodo (sumatorio por columna), o lo que cada nodo es influido por los demás (sumatorio por fila):

$$H_{Hubbell} = (I + \sum (\beta A))^{-1}, \text{ donde } A \text{ es la matriz de adyacencia y } \beta \text{ el factor de atenuación (que nosotros fijamos arbitrariamente)} \quad [18]$$

$$H_{Katz} = ((I + \sum (\beta A)) - I)^{-1}, \text{ donde } A \text{ es la matriz de adyacencia y } \beta \text{ el factor de atenuación (que nosotros fijamos arbitrariamente)} \quad [19]$$

Las medidas de influencia de Hubbell y Katz no tienen en cuenta la dirección de los flujos, por lo que tienen más sentido cuando se aplican a datos simétricos. Una tercera medida, la influencia de *Taylor*, puede ser más adecuada cuando los flujos son direccionales. Al igual que las dos anteriores, esta medida aplica un factor de ponderación sobre cada paso, pero en ese caso, se extraen los marginales de cada columna y cada fila para cada nodo, se restan, y posteriormente se normalizan. Valores positivos significan que el nodo envía más que recibe.

Poder

El indicador de **poder** (en este caso utilizamos el índice de poder de Bonacich) se basa en que la centralidad de una ciudad es función del número de conexiones que tiene esta ciudad, y no del número de conexiones de las ciudades de su vecindario (*neighborhood*). Este indicador cuestiona la idea de que los nodos centrales sean los más poderosos. Un nodo que esté situado cerca de un conjunto de nodos centrales, puede resultar bastante central por efecto de sus vecinos, pero esto no significa que sea poderoso. La explicación se debe a que, en primer lugar, el nodo

se relaciona estrechamente con una serie de nodos con un elevado nivel de centralidad y autonomía y, en segundo lugar, otros nodos dependen fundamentalmente de él. Pensemos, por ejemplo, en Badalona, un nodo bien conectado y de unas dimensiones considerables, pero que posiblemente no sea un nodo muy poderoso porque en su entorno se relaciona con Barcelona, Santa Coloma, Sant Adrià, L'Hospitalet de Llobregat, etc. En cambio, Vilafranca del Penedès es un nodo mucho más pequeño, pero acumula mucho más poder porque, más aislado de otros nodos poderosos, centraliza las relaciones a su alrededor.

El índice de **poder de Bonacich** se calcula a partir de la matriz de adyacencia (A), donde la centralidad de un nodo i es:

$$c_i = \sum A_{ij} (a + bc_j), \text{ donde } a \text{ y } b \text{ son parámetros} \quad [20]$$

La centralidad de cada ciudad se determina, por tanto, por la centralidad de las ciudades con las que se conecta.

Tabla 10. Resumen de los instrumentos de análisis de redes derivados de la teoría de sistemas

a) *Matrices*

Matriz	Descripción
- Matriz de adyacencia (A)	Matriz binaria que recoge la existencia de flujos directos entre pares de nodos.
- Reachability Matrix (R)	Matriz que recoge si existe algún camino que conecte dos nodos.
- Matriz de geodésicos (G)	Matriz que recoge el número mínimo de pasos con los que se puede conectar dos nodos. Es la matriz de caminos más eficientes.

b) *Indicadores en redes unidimensionales*

Indicador	Descripción	Nodo	Red	Formulación	Tipos de datos
Estadísticos descriptivos de la red					
- Nº de nodos:	nº de nodos de la red	x		$N = \sum_i n_i$ donde $n_1 \dots n_n$ es cada uno de los nodos de la red.	Matriz de adyacencia. Flujos dirigidos o simétricos.
- Dimensión de la red	nº de relaciones efectivas (<i>links</i>)	x		$Dim_k = \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^N z_{ij} \quad \forall i \neq j$	Matriz de adyacencia. Flujos dirigidos o simétricos.

- Densidad de la red:	nº de relaciones efectivas dividido por el número de relaciones posibles	x		$D_k = \frac{\sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^N z_{ij}}{(N^2 - N)} \quad \forall i \neq j$	Matriz de adyacencia. Flujos dirigidos o simétricos.
- Transitividad	nº de tríadas conectadas dividido por el número de tríadas posibles (una tríada es cuando A → B y B → C, entonces A → C y se cumple la propiedad de transitividad).	x		$T = \frac{\sum_i tr_i}{\sum_i tr_s}$ donde tr_i son las tríadas efectivas y tr_s las potenciales.	Matriz de adyacencia. Flujos dirigidos.
Cohesión					
- Diámetro	Valor del mayor geodésico	x		$D_g = \text{Max}(g_i)$, donde g_i son los valores de los geodésicos.	Matriz de geodésicos. Flujos dirigidos o simétricos, a partir de la cual se obtiene la de geodésicos.
- Flujo máximo	nº total de caminos por los cuales se puede conectar dos nodos	x	(x)	$MF_{i,j} = R_{i,j}^T$ donde R^T es la Reachability Matrix $R^T = A + A^2 + \dots + A^T$	Matriz de adyacencia. Flujos dirigidos o simétricos, a partir de la cual se obtiene la Reachability Matrix.
Centralidad					
- Grado (degree)	.			$G_i = \sum_{i=1}^N z_{ij} = \sum_{j=1}^N z_{ij}$	Matriz de adyacencia. Flujos simétricos.
- Indegree	nº de entradas al nodo	x	x	$I_j = \sum_{i=1}^N z_{ij}$	Matriz de adyacencia. Flujos dirigidos.
- Outdegree	nº de salidas del nodo.	x	x	$O_i = \sum_{j=1}^N z_{ij}$	Matriz de adyacencia. Flujos dirigidos.
- Eigenvalor geodesic distances (Bonacich centrality)	Cálculo del autovector formado por los autovalores positivos más grandes, a partir de ponderaciones factoriales.	x	x	$C_i = a \sum A_{ij} c_{ij}$, donde a es un parámetro	Matriz de geod.
Intermediación					
- Betweenness centrality (intermediación)	nº de geodésicos que pasan por un nodo	x		$B = \sum (g_{\text{max}} - g(n_i))$ donde g son los geodésicos y n_1, \dots, n_n los n nodos del sistema.	
Influencia					

- Infl. de Hubbell		x	$H_{Hubbell} = (I + \sum (bA))^{-1}$ donde A es la matriz de adyacencia y β el factor de atenuación (que nosotros fijamos arbitrariamente).	Matriz de adyacencia. Flujos dirigidos o simétricos, aunque preferentemente simétricos.
- Infl. de Katz	Cuentan el número total de conexiones entre nodos ponderándolo por la longitud (nº de <i>paths</i>), de manera que a mayor longitud, más débil es la conexión.	x	$H_K = ((I + \sum (bA)) - I)^{-1}$ donde A es la matriz de adyacencia y β el factor de atenuación (que nosotros fijamos arbitrariamente).	Matriz de adyacencia. Flujos dirigidos o simétricos, aunque preferentemente simétricos.
- Infl. de Taylor		x	Se calcula partiendo de la matriz de influencia de Katz y normalizando la matriz por el valor de un vector columna que se extrae de los marginales de las filas.	Matriz de adyacencia. Flujos dirigidos, porque los simétricos darían lugar a una matriz de ceros.
Poder				
- Bonacich power index	El poder del nodo es función de la centralidad de los nodos con los que se relaciona.	x	$c_i = \sum A_{ij} (a + b c_j)$, donde a y β son parámetros	Matriz de adyacencia. Flujos simétricos.

2.2. Índices para la dependencia y asociación espacial

En este epígrafe se describen instrumentos derivados de la econometría espacial adaptados al análisis de las redes de ciudades⁴⁷. La econometría espacial suele utilizar una matriz de contactos (W) basada en la contigüidad física entre unidades urbanas. En este caso, la diferencia radica en que un valor w_{ij} de la matriz W recoge relaciones de red entre unidades urbanas.

Los indicadores de la econometría espacial pueden utilizarse como una primera técnica exploratoria de la dependencia en la red de ciudades⁴⁸.

⁴⁷ Al igual que con los indicadores basados en la teoría de sistemas, se ha procurado que los índices derivados de la econometría espacial puedan calcularse con un software estándar. En este caso, los indicadores pueden calcularse utilizando *SpaceStat 1.91*. La formulación de los estadísticos se toma de Anselin (1992). Como soporte para la elaboración del epígrafe se utiliza el texto de Moreno y Vayá (2000). ANSELIN, LUC (1992): "SpaceStat tutorial: a workbook for using SpaceStat in the analysis of Spatial Data", University of Illinois, Urbana Champaign ; MORENO, ROSIÑA Y ESTHER VAYÁ (2000): Técnicas econométricas para el tratamiento de datos espaciales: la econometría espacial. Edicions Universitat de Barcelona.

⁴⁸ Beaumont et al. (2002) aplican una aproximación similar al utilizar el análisis exploratorio de datos (ESDA) para la detección de *clubs* espaciales. BAUMONT, CATHERINE; ERTUR, CEM and JULIE LE GALLO (2002): "The European Regional Convergence Process, 1980-1995: do Spatial Regimes and Spatial Dependence matter?", University of Burgundy (February 2002).

2.2.1. Estadísticos de correlación y asociación espacial global

2.2.1.1. Estadístico *I* de Moran

El estadístico *I* de Moran funciona de forma muy similar a un índice de correlación aplicado al espacio. Se define como:

$$I = \frac{N}{S_0} \frac{\sum_{ij}^N w_{ij} (x_i - \bar{x})(x_j - \bar{x})}{\sum_{i=1}^N (x_i - \bar{x})^2} \quad \forall i \neq j \quad [21]$$

, donde N es el número de observaciones, w_{ij} son los elementos de la matriz de contactos, x es la variable de análisis, con media \bar{x} , i y j son pares de localizaciones, y $S_0 = \sum_i \sum_j w_{ij}$.

El estadístico puede estandarizarse restándole la media $E(I)$, y dividiendo por la desviación típica $[V(I)]^{1/2}$:

$$Z(I) = \frac{I - E(I)}{[V(I)]^{1/2}} \quad [22]$$

El estadístico contrasta la hipótesis nula de inexistencia de correlación espacial a nivel univariante. Si es significativo, se rechaza la hipótesis nula de no autocorrelación espacial. Si el valor $Z(I)$ es positivo (correlación espacial positiva) sugiere la presencia de correlación espacial positiva, o lo que es lo mismo, que entre las unidades urbanas que pone en relación la matriz de contactos los valores de la variable son similares. Si el valor $Z(I)$ es negativo, existe correlación espacial negativa, lo que significa que los valores de la variable en las unidades de red son significativamente diferentes.

Anselin (1992, p.133-134)⁴⁹ propone tres aproximaciones para calcular el estadístico:

1. Si el tamaño muestral es suficientemente grande, puede suponerse que el estadístico estandarizado sigue una **distribución asintótica normal**. De esta manera, el valor del estadístico estandarizado puede compararse con la probabilidad en una tabla de normal estándar $Z(I) \sim N(0,1)$.
2. La **aproximación aleatoria** supone que cada valor observado podría haberse observado igualmente en cualquier otra localización, de manera que la localización de los valores y su disposición espacial es irrelevante. A partir de este supuesto se estiman varias desviaciones estándar teóricas del

⁴⁹ Op.cit.

estadístico. De nuevo, se supone que sigue una distribución normal estándar asintótica, y la significatividad del estadístico se obtiene utilizando las tablas de la distribución normal.

3. La tercera aproximación (**permutaciones**) sigue la misma lógica que la aproximación aleatoria, pero en vez de utilizar la media y desviación estándar teóricas, las genera empíricamente calculando los momentos de primer y segundo orden para todas las permutaciones.

2.2.1.2. Estadístico *c* de Geary

El estadístico *c* de Geary se define como:

$$C = \frac{N-1}{2S_0} \frac{\sum_{ij} w_{ij} (x_i - \bar{x})(x_j - \bar{x})}{\sum_{i=1}^N (x_i - \bar{x})^2} \quad \forall i \neq j \quad [23]$$

Contrasta la hipótesis nula de no autocorrelación espacial frente a la hipótesis alternativa de dependencia espacial. Al igual que el de Morán, el estadístico *c* puede estandarizarse, denominándose $Z(C)$.

En este caso, un valor negativo y significativo del estadístico indica dependencia espacial positiva. Un valor positivo y significativo indica la presencia de dependencia espacial negativa.

También como en el caso de la *I* de Morán, Anselin (1992) sugiere la posibilidad de una aproximación normal, una aleatoria y una por permutaciones.

2.2.1.3. Estadístico *G*

El estadístico de Getis y Ord (1992)⁵⁰ mide el grado de asociación de la variable en el espacio a partir de la suma de productos de la variable no normalizada y la matriz de contactos. La diferencia con los estadísticos de Morán y Geary, es que mientras estos se asemejan a índices de correlación, los estadísticos *G* se asemejan a índices de concentración. Además, el estadístico sólo es aplicable a variables positivas naturales⁵¹.

El estadístico *G* toma la forma:

⁵⁰ GETIS, A. and J.K.ORD (1992): "The analysis of spatial association by use of distance statistics", *Geographical Analysis*, nº 24, p.189-206.

⁵¹ Estas características del estadístico *G* global son también imputables a los estadísticos *G* locales.

$$G = \frac{\sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^N w_{ij}(d) x_i x_j}{\sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^N x_i x_j} \quad \forall i \neq j \quad [24]$$

, donde $W_{ij}(d)$ es una matriz de contactos simétrica que puede ser binaria o recoger distancias. En este último caso, se considerará que existe un contacto entre dos regiones cuando estas están dentro de una distancia. El estadístico se estandariza, y la media y varianza se calculan suponiendo un proceso estocástico (muestreo aleatorio) que tiende en el límite a una normal estándar. La hipótesis nula es que $Z(G)$ no muestra asociación espacial.

Un valor positivo y significativo del estadístico indica concentración de valores elevados, mientras un estadístico significativo y negativo indica concentración de valores bajos.

2.2.2. Estadísticos de correlación y asociación espacial local

Los estadísticos globales contrastan la correlación o dependencia para el total de la muestra. Sin embargo, la correlación puede darse en subconjuntos específicos, y no ser global para el total del conjunto de datos. Los estadísticos locales ofrecen los resultados por unidad urbana.

2.2.2.1. Local I de Moran

El estadístico toma la forma:

$$I = \frac{z_i}{\left(\sum_i z_i^2 / N \right)} \sum_{j \in J_i} w_{ij} z_j \quad [25]$$

, donde z_i es la variable normalizada, y $j \in J_i$ corresponde a conjunto de la unidades que forman red con el municipio i . El estadístico se estandariza puede calcularse mediante una aproximación normal o por permutaciones.

2.2.2.2. Estadístico New- G_i y New- G_i^*

Ambos estadísticos son medidas de asociación local, en la medida en que no muestran la correlación global de una variable, sino si una unidad urbana muestra una asociación espacial significativa con el resto. Los estadísticos $New-G_i$ y $New-$

G_i^* son reelaboraciones de los estadísticos G_i y G_i^* que pueden palicarse también a valores negativos y a matrices de contactos no simétricas (Getis and Ord 1995)⁵².

Las formulaciones de estos estadísticos son:

$$New-G_i = \frac{\sum_{j=1}^N w_{ij}x_j - W_i \bar{x}(i)}{s(i)\{[(N-1)S_{1i}] - W_i^2\}} \forall i \neq j \quad [26]$$

$$(N-2)^{1/2}$$

, donde $s(i)^2 = \frac{1}{N-1} \sum_j [x_j - \bar{x}(i)]^2$; $\bar{x}(i) = \frac{1}{N-1} \sum_j x_j$; $S_{1i} = \sum_j w_{ij}^2 \forall j \neq 1$

$$New-G_i^* = \frac{\sum_{j=1}^N w_{ij}x_j - W_i^* \bar{x}}{s\{[(NS_{1i}^*) - W_i^{*2}]\}} \forall i \neq j \quad , \text{ donde } S_{ij}^* = \sum_j w_{ij}^2 \quad [27]$$

$$(N-1)^{1/2}$$

La diferencia entre ambos es que el estadístico $New-G_i^*$ incluye también la propia observación en el análisis ($i=j$), mientras que el estadístico $New-G_i$ se calcula para $i \neq j$. De nuevo, para testar la significatividad, el estadístico se normaliza y se compara con los valores de la normal estandarizada. La hipótesis nula es que $Z(G)$ no muestra asociación espacial.

Un valor positivo y significativo del estadístico indica concentración de valores elevados, mientras un estadístico significativo y negativo indica concentración de valores bajos.

⁵² ORD, J.K. and A.GETIS (1995): "Local spatial autocorrelation statistics: distributional issues and an application", *Geographical Analysis*, n° 27(4), p.286-306.

Tabla 11 Contrastes de asociación espacial

Estadístico	Formulación	Hipótesis contrastada	Interpretación
Correlación y asociación espacial global			
I de Morán	$I = \frac{N}{S_0} \frac{\sum_{ij} w_{ij} (x_i - \bar{x})(x_j - \bar{x})}{\sum_{i=1}^N (x_i - \bar{x})^2} \quad \forall i \neq j$	Ho: no autocorrelación espacial	- Valor estandarizado significativo: se rechaza H0 (existe correlación espacial). - z(I)>0 : correlación espacial positiva - z(I) < 0: correlación espacial negativa
C de Geary	$C = \frac{N-1}{2S_0} \frac{\sum_{ij} w_{ij} (x_i - \bar{x})^2}{\sum_{i=1}^N (x_i - \bar{x})^2} \quad \forall i \neq j$	H0: no autocorrelación espacial H1: dependencia espacial	- Valor estandarizado significativo: se rechaza H0 (existe correlación espacial). - z(C)<0 : correlación espacial positiva - z(C) > 0: correlación espacial negativa
G(d)	$G = \frac{\sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^N w_{ij}(d) x_i x_j}{\sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^N x_i x_j} \quad \forall i \neq j$	H0: no asociación espacial	- Valor estandarizado significativo: se rechaza H0 (existe asociación espacial). - z(G)>0 : correlación espacial positiva - z(G) < 0: correlación espacial negativa
Correlación y asociación espacial local			
Local I de Moran	$I = \frac{z_i}{\left(\sum_i z_i^2 / N \right)} \sum_{j \in J_i} w_{ij} z_j$	Ho: no autocorrelación espacial	- Valor estandarizado significativo: se rechaza H0 (existe correlación espacial). - z(I)>0 : correlación espacial positiva - z(I) < 0: correlación espacial negativa
New-G _i	$New-G_i = \frac{\sum_{j=1}^N w_{ij} x_j - W_i \bar{x}(i)}{s(i) \left\{ \left[(N-1) S_{ii} \right] - W_i^2 \right\}^{1/2}} \quad \forall i \neq j$	H0: no asociación espacial	- Valor estandarizado significativo: se rechaza H0 (existe asociación espacial). - z(G _i)>0 : concentración de valores altos - z(G _i) < 0: concentración de valores bajos.
New-G _i [*]	$New-G_i^* = \frac{\sum_{j=1}^N w_{ij} x_j - W_i^* \bar{x}}{s \left\{ \left[(NS_{ii}^*) \right] - W_i^{*2} \right\}^{1/2}} \quad \forall i \neq j$	H0: no asociación espacial	- Valor estandarizado significativo: se rechaza H0 (existe asociación espacial). - z(G _i [*])>0 : concentración de valores altos - z(G _i [*]) < 0: concentración de valores bajos.

Fuente: Elaboración a partir de Anselin (1992), Getis and Ord (1992), Ord and Getis (1995), y Moreno y Vayá (2000).

3. CONCLUSIONES

Existen pocos trabajos que hayan abordado la identificación de redes de ciudades, y lo han hecho usando perspectivas, métodos y datos diferentes. Las redes exigen que, siempre que sea posible se utilicen datos de flujos para su medida. Teniendo en cuenta las características de las redes y las tipologías existentes, a lo largo de este capítulo se han diseñado metodologías para identificar redes de ciudades utilizando datos de flujos, combinados con datos de *stock*.

Si las redes de ciudades contienen un gran número de unidades urbanas y de *links*, el recurso habitual de la interpretación visual sobre mapas no resulta adecuado debido a la complejidad de las estructuras. Por esto deben incorporarse instrumentos que permitan analizar matemáticamente las características de las redes, una vez identificadas.

Se han propuesto dos conjuntos de indicadores. El primero se basa en la teoría de grafos y redes, y permite identificar atributos de las redes y los nodos (tamaño, densidad, centralidad, poder, intermediación, etc.). El segundo deriva de la econometría espacial, y se orienta al explorar de forma univariante la relación entre las redes de ciudades y variables económicas.

Tabla 12. Resumen de los métodos de identificación y análisis de redes de ciudades.

a) Métodos de identificación

Tipo de red	Flujos	Identificación
Redes de ciudades	- Flujos directores brutos - Flujos filtrados por significatividad - Flujos directores brutos + Flujos filtrados por significatividad	Directa a partir de los flujos
Redes verticales y horizontales	- Flujos directores brutos - Flujos filtrados por significatividad - Flujos directores brutos + Flujos filtrados por significatividad	Rangos a partir de población
Redes de sinergia y complementariedad	- Flujos directores brutos - Flujos filtrados por significatividad - Flujos directores brutos + Flujos filtrados por significatividad	Perfil de cada municipio a partir de la metodología cluster k medias
Redes de conocimiento	- Flujos directores brutos - Flujos filtrados por significatividad - Flujos directores brutos + Flujos filtrados por significatividad	Adaptación de la clasificación de la OCDE por actividades y por profesiones

b) Indicadores para el análisis

Origen	Características	Indicadores
Teoría de sistemas	Características de la red y los nodos	<ul style="list-style-type: none"> - Estadísticos descriptivos de la red (nº de nodos; dimensión de la red; densidad de la red; transitividad) - Cohesión (diámetro; flujo máximo) - Centralidad (grado; Bonacich centrality) - Intermediación - Influencia (Hubbell; Katz; Taylor) - Poder
Econometría espacial	Dependencia y asociación espacial	<ul style="list-style-type: none"> - Global: I de Morán; c de Geary; G de Getis and Ord - Local: Local I de Moran; New-G_i; New-G_i*

CAPITULO 5 – IDENTIFICACIÓN Y ANÁLISIS DE LAS REDES DE CIUDADES EN CATALUÑA

0. INTRODUCCIÓN

El objetivo de este capítulo es la identificación de redes de ciudades en Cataluña y la descripción de sus características principales.

La estructura del capítulo es la siguiente: en primer lugar se explica la unidad de análisis, que comprende el ámbito territorial y temporal del estudio, las fuentes de datos, y sus características. Se dedica una atención especial a los datos de flujos, puesto que sirven como base para la identificación de las redes.

En segundo lugar, se identifica la red utilizando tres procedimientos que permiten obtener la estructura total de la red y aislar la estructura principal. A partir de la estructura principal de la red se utilizan los procedimientos explicados en el capítulo 4 para caracterizarla en base a tres tipologías: en función de la jerarquía (redes verticales y horizontales), del tipo de intercambio (complementariedad y sinergia), y de la estructura del conocimiento (redes de conocimiento alto y bajo). Finalmente, se comentan algunas de las características principales de estas redes.

En la tabla 1 se encuentran detalladas las tipologías y las aproximaciones utilizadas. A lo largo del capítulo se muestran y comentan los principales resultados.

Tabla 1. Aplicación de los métodos de identificación de redes de ciudades

Tipo de red	Flujos	Umbral	Identificación	Años
Redes de ciudades	- 4 primeros flujos directores brutos	-	Directa a partir de los flujos	1986, 1991 y 1996
	- 4 primeros flujos directores + umbral mínimo de significatividad	100 c. 50 c.		
	- Flujos totales filtrados por umbral mínimo de significatividad	100 c. 50 c.		
Redes verticales y	- 4 primeros flujos directores +	100 c.	Rangos a partir de	1986,

horizontales	umbral mínimo de significatividad - Flujos totales filtrados por umbral mínimo de significatividad	50 c.	población	1991 y 1996
Redes de sinergia y complementariedad	- Flujos totales filtrados por umbral mínimo de significatividad	100 c. 50 c.	Perfil de cada municipio a partir de la metodología cluster k-medias	1996
Redes de conocimiento	Flujos sectoriales agregados por conocimiento y filtrados por umbral mínimo de significatividad	100 c. 50 c.	Adaptación de la clasificación de la OCDE por actividades y por profesiones	1991 y 1996

1. LA UNIDAD DE ANÁLISIS

1.1. Ámbito de estudio, periodo temporal y fuentes de datos

1.1.1. Ámbito territorial y temporal

El ámbito territorial de estudio lo constituyen los 940-944 **municipios** catalanes durante los años 1986, 1991 y 1996. El municipio es una unidad administrativa básica para la que podemos obtener información suficiente y homogénea para el periodo a estudiar. En términos sistémicos, definimos el conjunto “Cataluña” formado por municipios que actúan como nodos, y los flujos entre estos municipios son los vínculos. Es necesario advertir que en los procedimientos de identificación de redes se excluyen las relaciones directas con otros municipios fuera de Cataluña. Esta imposición viene dada por la disponibilidad de datos.

1.1.2. Fuentes de datos

Las fuentes de datos corresponden en su mayor medida a mediciones censales y padronales (Censos y Padrones de 1986, 1991 y 1996) y a afiliados y autónomos que cotizan a la Seguridad Social (1991-2001).

Los **Censos y Padrones** proporcionan información sobre población, trabajo localizado sectorialmente desagregado (hasta 222 sectores CNAE 93), y movilidad laboral desagregada por sectores (hasta 222 sectores CNAE 93)¹.

La **Seguridad Social** proporciona datos trimestrales de trabajadores asalariados a dos dígitos CNAE 74² entre 1991 y 1995, CNAE 93 a dos dígitos entre 1996 y el

¹ La CNAE 93 es la Clasificación Nacional de Actividades de 1993, y es equivalente a la NACE Rev.

tercer trimestre de 1998, y CNAE 93 a tres dígitos desde el último trimestre de 1998 hasta el último trimestre de 2001. También proporciona datos de trabajadores autónomos desde el último trimestre de 1998 hasta el último trimestre de 2001.

1.1.3. Datos de flujos

Para aproximar la estructura de la red, sería idóneo disponer de datos de flujos de diferentes naturalezas dispuestos en una capa multiplexa: flujos de personas (movilidad laboral y por estudios), flujos telefónicos, relaciones input-output entre empresas, compras de bienes y servicios de consumo, datos de generación y adopción de innovaciones, etc.

La limitación de información disponible, y las características de la misma, nos ha aconsejado utilizar los flujos de **movilidad laboral** (residencia-trabajo) como *proxy* para identificar la estructura de red². Estos datos recogen relaciones sociales, y también ponderan la dotación de infraestructuras, dos elementos determinantes para la identificación de la estructura urbana. Los datos de flujos comerciales deberían ser también muy similares a los flujos de *commuting* y telefónicos⁴. Por su parte, los datos de flujos input-output entre empresas podrían ofrecer una dimensión nueva que permitiera afinar en la identificación de la red, puesto que, aunque seguramente recogen efectos de proximidad, relaciones personales e infraestructuras, y por tanto están correlacionados con los anteriores, presuponemos que el tipo de información que proporcionan puede ser sensiblemente diferente.

El hecho de que en un ámbito regional los flujos de *commuting* son muy parecidos a los flujos telefónicos es confirmado por los trabajos de Casassas y Clusa (1981, p.144)⁵, cuando afirman que el parecido de los flujos telefónicos con los de *commuting* les permiten utilizar los datos de telefonía para generalizar los

² La CNAE 74 es la Clasificación Nacional de Actividades de 1974, y es equivalente, a grandes rasgos, a la NACE 70.

³ También se dispone de datos de movilidad diaria por estudios, pero se considera que estos flujos son menos adecuados, por estar mucho más sesgados debido a la ubicación de centros docentes en base a criterios administrativos. El supuesto básico sobre el que se basan la mayoría de procedimientos es que los datos de movilidad laboral, como *proxy* de flujos de interacción, son capaces de capturar la estructura urbana en un ámbito regional. Las pruebas y discusiones que se llevan a cabo en Boix (2000a) concluyen que resulta apropiado trabajar con estos datos, si bien introducen limitaciones en el análisis, que deberán superarse por otros medios. Alternativamente, existen datos sobre otros tipos de flujos: los de telefonía, que la operadora dominante no quiso ceder, y que a partir de la generalización del teléfono móvil pueden perder parte de su capacidad explicativa; también flujos de mercancías por carretera, pero que son elaborados a partir de encuesta y no muestran suficiente detalle. BOIX, RAFAEL (2000a): Redes de ciudades en la Región Metropolitana de Barcelona. Departament d'Economia Aplicada, Universitat Autònoma de Barcelona.

⁴ Este supuesto se contrasta parcialmente a lo largo del capítulo. No disponemos de datos adecuados de flujos comerciales para la totalidad de Cataluña. Alguna información de este tipo puede extraerse de la encuesta metropolitana, aunque sólo abarca a los municipios de la región metropolitana de Barcelona.

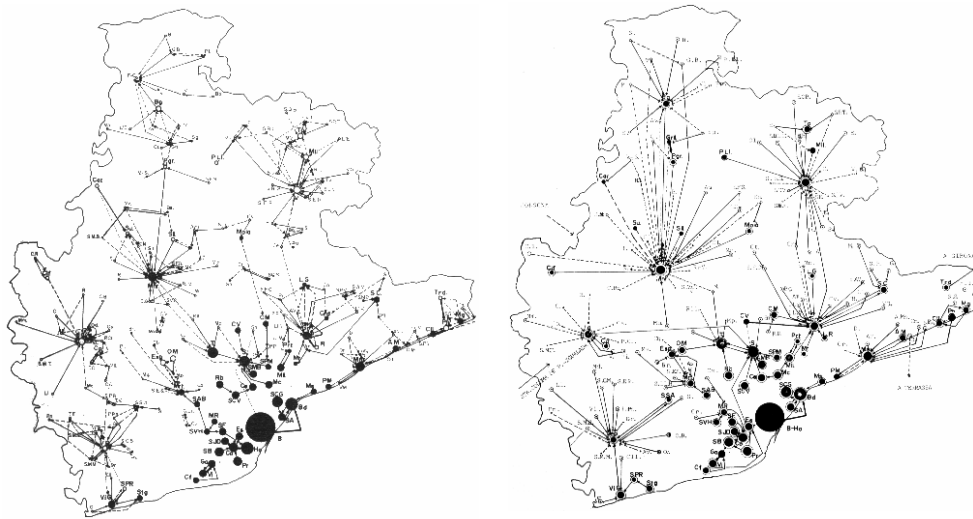
⁵ CASASSAS, LLUÍS i JOAQUIM CLUSA (1981): L'Organització territorial de Catalunya. Publicacions de la Fundació Jaume Bofill, Sant Joan Despí (Barcelona).

resultados al total de Cataluña, y asimilarlos a las relaciones humanas diarias⁶. La figura 1, que excluye las relaciones con Barcelona, permite observar con detalle la elevada correlación entre los dos primeros flujos directores de ambas tipologías de datos⁷. También puede observarse la similitud de los flujos telefónicos para el total de Cataluña en 1981 (figura 6) con los que se muestran a lo largo del capítulo para 1986, 1991 y 1996, elaborados a partir de flujos de *commuting*.

Figura 1. Flujos de *commuting* y flujos telefónicos en la provincia de Barcelona (1981). Dos primeros destinos. Los flujos con Barcelona no se mapeifican

a) Flujos de *commuting*

b) Flujos telefónicos



Fuente: Reproducido de Casassas y Clusa (1981, Op.cit. p. 144 y 149)

En 1986 el total de flujos de *commuting* entre dos municipios (excluyendo las autorrelaciones) era de 24.939, y el número de *commuters* de 528.030. En 1996 las cifras son de 38.364 flujos intermunicipales, y 932.749 *commuters*. Sin embargo, un gran número de los flujos son de bajo volumen, debido tanto a la pequeña dimensión de muchos municipios, como a la existencia de relaciones no significativas para la identificación de la estructura urbana⁸. Por ejemplo, aplicando

⁶ Sin embargo, existen algunas diferencias entre ambos tipos de datos, por ejemplo que los flujos de *commuting* parecen ser más sensibles a la distancia (Casassas y Clusa 1981, Op.cit. p.151).

⁷ Otros trabajos vendrían a confirmar, de forma indirecta esta correlación. Por ejemplo, los de Camagni (1994, Op.cit.) con flujos de telefonía, y el de Boix (2000) con flujos de *commuting*. Ambos trabajos encuentran un elevado ajuste de los respectivos datos a un modelo de gravedad doblemente restringido (forma exponencial), lo que hace pensar que ambos tipos de datos tienen condicionantes parecidos en relación a las redes sociales, las masas de los municipios, y la distancia. De la comparación de ambos trabajos podría desprenderse que, como sugieren Casassas y Clusa, los flujos de *commuting* son más sensibles a la distancia.

⁸ Por ejemplo, un flujo de 1 *commuter* entre dos municipios bien puede indicar un residente de hecho en un municipio, pero que está empadronado en otro, y por tanto no es significativo para la estructura urbana. Sin embargo, es posible detectar flujos debidos a diferencias en el empadronamiento causados por dinámicas residenciales generalizadas, como por ejemplo el empadronamiento en los municipios donde se tiene la segunda residencia, aunque se viva en la primera. A diferencia del primer caso, este

un filtro mínimo de 50 *commuters*, en 1986 se dan 1.228 flujos intermunicipales significativos, que abarcan 429.099 *commuters*, y en 1996 se encuentran 2.200 flujos intermunicipales significativos, que abarcan 752.219 *commuters*. Esto significa que el 80,6% de los *commuters* se mueven en tan solo el 5,7% de las relaciones intermunicipales.

Los flujos de *commuting* fuera del municipio se distribuyen siguiendo una función potencial, tanto para el total de flujos ($y = 1.000.000x^{-1,3476}$, con $R^2=0,98$), como filtrando los flujos por un umbral mínimo (por ejemplo, para un mínimo de 50 *commuters* obtenemos $y = 116.807x^{-0,9924}$, con $R^2=0,98$)⁹.

1.2. La unidad urbana de análisis

La unidad urbana de análisis es el municipio. Este tipo de unidad se define en base a criterios administrativos, y se utiliza para aproximar la unidad urbana básica de referencia.

El uso del municipio como unidad urbana de análisis está sujeto a discusión, y además no está exento de problemas. La elección de trabajar con el municipio, y no con un área agregada (como las áreas metropolitanas o mercados locales de trabajo), se debe a la intención bajar hasta el nivel nodal urbano mínimo del que se disponen datos. El trabajar con áreas metropolitanas o mercados de trabajo significa elegir a priori una metodología de delimitación, además de perder información en la agregación.

Por otra parte, un municipio puede subdividirse a su vez en varias entidades colectivas de población, y cada una de estas en varias entidades singulares de población, que pueden pertenecer a un único o a diversos núcleos urbanos. Eso significa que la unidad urbana puede estar dividida en diversos núcleos de población, de manera que no es espacialmente compacta, y que además puede subdividirse en barrios, distritos y secciones. Finalmente, se añade el problema de que la actividad no tiene por qué hallarse ubicada dentro del núcleo urbano, sino que puede encontrarse en uno o varios polígonos alejados de la entidad de población. Sin embargo, no se dispone de suficiente información a nivel inframunicipal para poder trabajar con estas entidades más desagregadas.

En Cataluña existen 940 municipios en el año 1986, 942 en el año 1991 y 944 en el año 1996. Estos son los tres años para los que se disponen de datos comparables de flujos informatizados. El municipio de mayor dimensión es Barcelona (1.505.325 habitantes de derecho en el año 2001). El resto de municipios mayores de 100.000

patrón no es aleatorio, sino debido a la existencia de una dinámica específica entre los dos municipios, y por lo tanto, se considera como significativo. La aplicación de filtros de significatividad pretende eliminar las relaciones estocásticas y las de escasa significación.

⁹ El ajuste se especificó con varios tipos de funciones: logarítmica, cuadrática, exponencial y potencial, y en diferentes tramos de *commuting*. El ajuste a la función potencial ($y = a \cdot X^{-b}$) era la que ofrecía el mejor ajuste.

habitantes se distribuyen en la aglomeración contigua a Barcelona (L'Hospitalet de Llobregat, Badalona y Santa Coloma), en la región metropolitana de Barcelona (Sabadell, Terrassa y Mataró), además de Tarragona y Lleida. La mayor parte de los municipios catalanes (más del 90%) son municipios de menos de 10.000 habitantes. Sin embargo, los municipios de más de 10.000 habitantes concentran el 80% de la población de Cataluña.

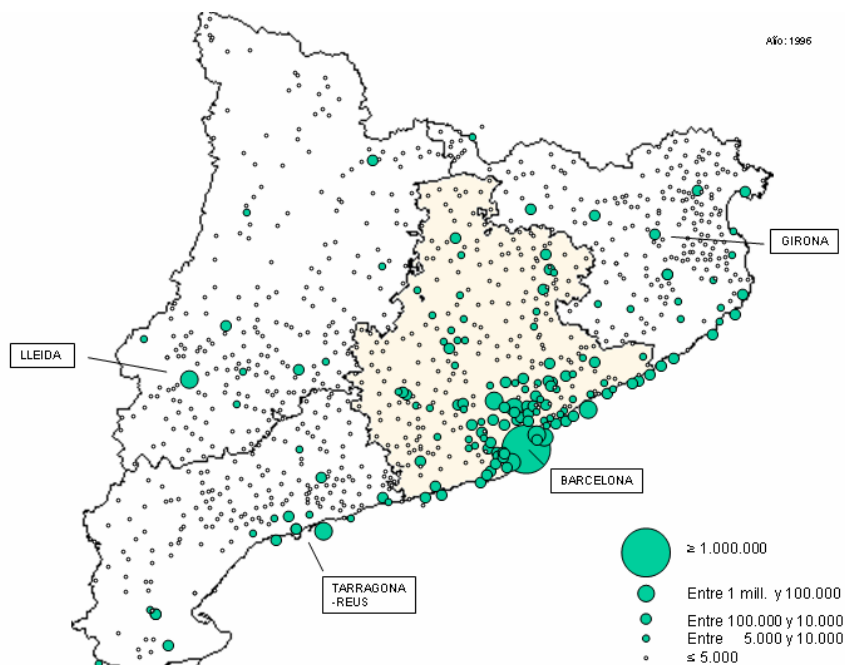
La distribución espacial de la población también es desigual. Los municipios de mayor dimensión se distribuyen mayoritariamente formando conglomerados y líneas a lo largo de los ejes viarios y la costa. La mayor aglomeración de población se concentra en la parte central de la región metropolitana de Barcelona, una región urbana polinucleada formada por Barcelona y los municipios contiguos, y por otros subcentros de antigua tradición industrial, muchos de los cuales ya aparecían como centros especializados en el siglo XVI.

Tabla 2. Municipios por población / año. Cataluña 1986-2001

Año	= 1 millón	Entre 100.000 y 1 millón	Entre 10.000 y 100.000	Entre 5.000 y 10.000	= 5.000	Total
1986	1	8	72	54	805	940
1991	1	8	75	61	797	942
1996	1	8	81	68	786	944
2001	1	8	87	76	774	946

Fuente: Elaboración a partir de Censos y Padrones de Población (IDESCAT/INE)

Figura 2. Población de los municipios catalanes. Distribución espacial por tamaños. Año 1996



Fuente: Elaboración a partir de Censos y Padrones de Población (IDESCAT/INE)

Tabla 3. Número de municipios y distribución de la población por dimensión de municipio

Año	Nº de municipios =10.000	Población municipios =10.000	Población de Cataluña	% sobre la población de Cataluña
1986	81	4.818.559	5.978.638	80,60%
1991	84	4.864.797	6.059.494	80,28%
1996	90	4.948.420	6.090.040	81,25%
2001	96	5.058.090	6.361.365	79,51%

Fuente: Elaboración a partir de Censos y Padrones de Población (IDESCAT/INE)

La distribución de la actividad sigue pautas parecidas a las de la población. El municipio de Barcelona concentra el 30% de la ocupación de Cataluña (657.383 ocupados en 1996). La mayor parte de la ocupación (el 86%) se concentra en municipios de más de 2.000 ocupados. Los municipios con mayor volumen de ocupación se concentran en el núcleo central de la región metropolitana de Barcelona, alrededor de subcentros de antigua tradición industrial, y siguiendo corredores a través de los ejes viarios y de la costa. Estos municipios concentran también la mayor parte del PIB de Cataluña. La identificación y análisis de la estructura de red permitirá conocer, al menos en parte, como se articulan las relaciones entre estos municipios.

Tabla 4. Municipios por ocupación /año. Cataluña 1986-2001

a) Ocupación a partir de Censos y Padrones

Año	= 100.000	Entre 50.000 y 100.000	Entre 10.000 y 50.000	Entre 2.000 y 10.000	= 2.000	Total
1986	1	1	22	86	830	940
1991	1	3	31	88	819	942
1996	1	3	34	94	812	944

b) Ocupación a partir de afiliados al régimen general de la Seguridad Social

Año	= 100.000	Entre 50.000 y 100.000	Entre 10.000 y 50.000	Entre 2.000 y 10.000	= 2.000	Total
1991	1	0	21	75	843	940
1996	1	1	22	76	842	942
2000	1	4	29	93	817	944

c) Ocupación a partir de afiliados al régimen general de la Seguridad Social+autónomos

Año	= 100.000	Entre 50.000 y 100.000	Entre 10.000 y 50.000	Entre 2.000 y 10.000	= 2.000	Total
1996	1	4	27	90	820	942
2000	1	7	32	116	788	944

Fuente: Elaboración a partir de Censos y Padrones (IDESCAT) y Departament de Treball

Tabla 5. Número de municipios y distribución de la ocupación por dimensión de municipio

a) Ocupación a partir de Censos y Padrones

Año	Nº de municipios =2.000	Ocupación municipios =2.000	Ocupación de Cataluña	% sobre la ocupación de Cataluña
1986	110	1.517.767	1.811.861	83,76%
1991	123	1.938.199	2.246.184	86,28%
1996	132	1.896.173	2.194.267	86,41%

b) Ocupación a partir de afiliados al régimen general de la Seguridad Social

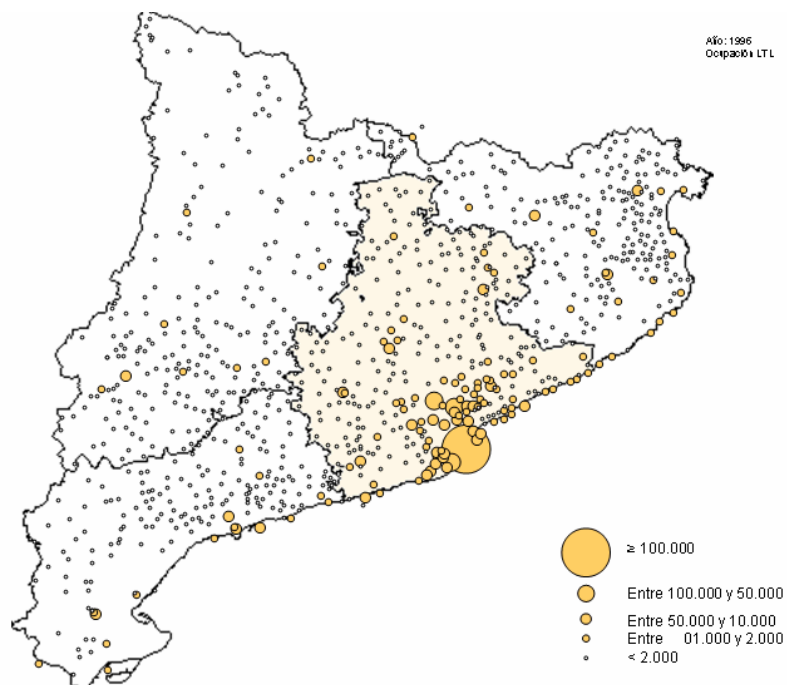
Año	Nº de municipios =2.000	Ocupación municipios =2.000	Ocupación de Cataluña	% sobre la ocupación de Cataluña
1991	99	1.597.486	1.804.920	88,50%
1996	100	1.537.348	1.756.657	87,51%
2001	127	2.043.213	2.284.506	89,43%

c) Ocupación a partir de afiliados al régimen general de la Seguridad Social+autónomos

Año	Nº de municipios =2.000	Ocupación municipios =2.000	Ocupación de Cataluña	% sobre la ocupación de Cataluña
1996	122	1.934.406	2.200.416	87,91%
2001	156	2.483.940	2.757.199	90,08%

Fuente: Elaboración a partir de Censos y Padrones (IDESCAT) y Departament de Treball

Figura 3. Ocupación de los municipios catalanes a partir de información de censos y padrones. Distribución espacial por volumen de ocupación



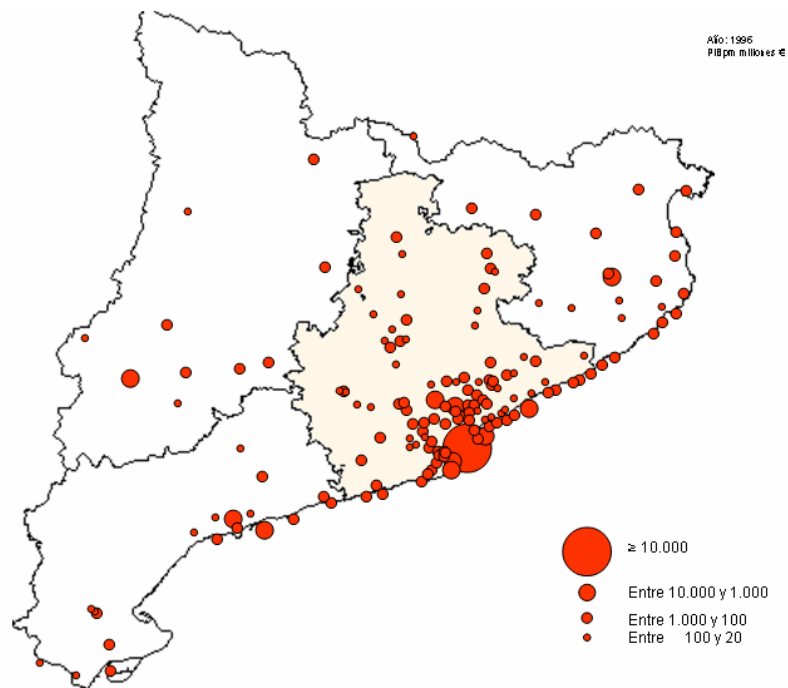
Fuente: Elaboración a partir de Censos y Padrones (IDESCAT)

Tabla 6. Número de municipios y distribución del PIB por dimensión de municipio. PIB_{pm} en millones de euros

Año	Nº de municipios =10.000	PIB _{pm} municipios =10.000	PIB _{pm} de Cataluña	% sobre PIB _{pm} de Cataluña
1991	84	52.197,7		
1996	90	71.593,5		

Fuente: Elaboración a partir de Censos y Padrones de Población (IDESCAT/INE)

Figura 4. PIB_{pm} de los municipios catalanes. Distribución espacial por volumen de PIB_{pm}. Año 1996



Fuente: Elaboración a partir de estimaciones de IDESCAT

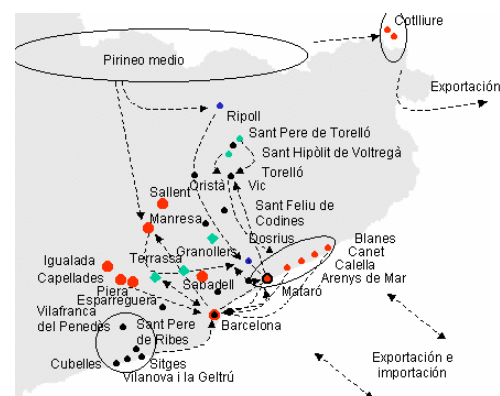
2. IDENTIFICACIÓN DE LAS REDES DE CIUDADES EN CATALUÑA: ANTECEDENTES

2.1. La formación del sistema económico-territorial

La formación del sistema económico-territorial de Barcelona presenta una larga trayectoria histórica. De acuerdo con las investigaciones de García Espuche (1998)¹⁰, alrededor de 1550 la ciudad de Barcelona no era relativamente grande en relación con otras poblaciones del Mediterráneo (35.000 habitantes), pero presentaba dos características importantes que mantendrá a lo largo de los siglos: interpreta un papel muy relevante como centro comercial para una amplia parte del Mediterráneo, posición que ya había alcanzado durante la Edad Media, con una función de intermediario entre los mercados de producción y los de consumo; y además mantiene una relación muy intensa con su *hinterland*, orientando la producción agrícola y manufacturera.

Desde mediados del siglo XVI se han detectado cambios importantes en el territorio catalán que se plasman en la formación de un sistema de ciudades bien estructurado, con la descentralización de procesos industriales básicos desde Barcelona hacia determinadas ciudades de su entorno, al tiempo que algunos de estos procesos (textil) y otras nuevas producciones se concentran en algunas de estas ciudades que se especializan. El resultado es la formación de un *sistema de ciudades especializado*, donde destaca la complementariedad a nivel del sistema urbano, entre Barcelona y ciudades como Sabadell, Terrassa, Vilafranca del Penedès o Mataró. La especialización productiva de estas ciudades se extiende a actividades como el textil, curtido, vidrio, papel y libros. Como veremos a continuación, parte de estos núcleos especializados se convertirán en los actuales subcentros de la metrópolis de Barcelona. Se trata de procesos productivos proto-industriales, pero con un grado de especialización relevante.

Figura 5. Redes de ciudades a partir de flujos comerciales y transmisión de conocimientos según García Espuche



Fuente: Elaboración propia a partir de García Espuche (1998)

¹⁰ GARCÍA ESPUCHE, ALBERT (1998): Un siglo decisivo. Barcelona y Catalunya 1550-1640. Alianza Editorial, Madrid.

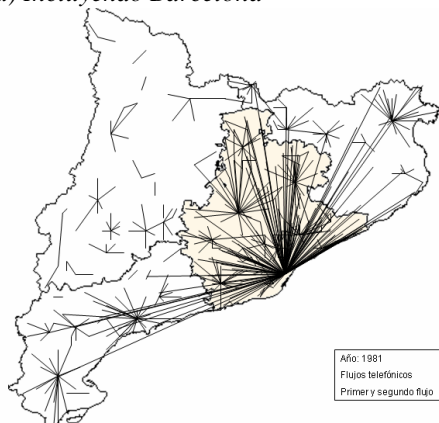
2.2. La organización territorial de Cataluña a principios de los años 80

Casassas y Clusa (1981)¹¹ proponen la identificación del sistema urbano catalán a partir de la utilización de datos de flujos. Este trabajo se orienta por las teorías de lugar central, y busca la división en ramas jerárquicas con el objetivo de dividir el sistema urbano catalán en regiones nodales. Los datos utilizados son flujos telefónicos y flujos de residencia-trabajo (*commuting*), y se analizan siguiendo técnicas estadísticas y descriptivas. La técnica descriptiva se basa en la utilización de la teoría de grafos, a partir del sentido de los primeros y segundos flujos por volumen de emisión (Casassas y Clusa 1981, Op.cit. p.133). La utilización de los datos responde al objetivo de los autores de recoger las relaciones diarias como base para identificar la organización (en términos jerárquicos) del sistema urbano catalán.

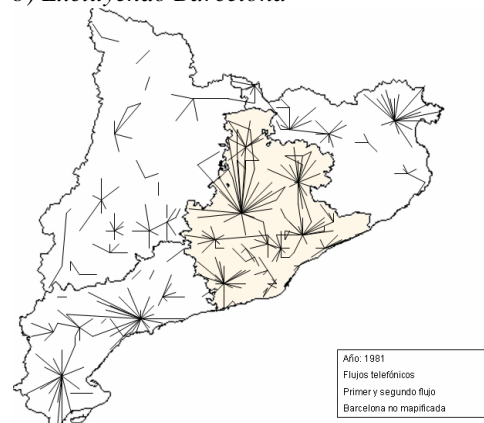
Los flujos telefónicos se obtienen por centrales telefónicas a partir de datos de la CTNE¹². Se trata de 450 centrales existentes en Cataluña y las llamadas telefónicas entre todas ellas, lo que solo permite aproximar la estructura, puesto que el estudio considera 933 municipios, y la ubicación de las centrales “no obedece estrictamente a criterios funcionales y geográficos” (Casassas y Clusa 1981, Op.cit. p.137). Para la provincia de Barcelona, existen datos de *commuting*¹³, que son comparados con los datos de telefonía. La elevada correlación entre ambos decide a los autores trabajar con los datos de telefonía, que les permiten asimilar las relaciones humanas diarias (Casassas y Clusa 1981, Op.cit. p.144). El resultado final es la aproximación de la estructura del sistema de ciudades de Cataluña en términos de flujos nodales.

Figura 6. Dos primeros flujos telefónicos por destino. Cataluña 1981

a) Incluyendo Barcelona



b) Excluyendo Barcelona



Fuente: Elaboración a partir de los mapas y gráficos provinciales de Casassas y Clusa (1981, Op.cit. p. 144-148).

¹¹ CASASSAS, LLUÍS y JOAQUIM CLUSA (1981): L'Organització territorial de Catalunya. Publicacions de la Fundació Jaume Bofill, Sant Joan Despí (Barcelona).

¹² Siglas de la “Compañía Telefónica Nacional de España”, actual “Telefónica”. Los datos se obtienen de CTNE (1976/1980): “Tráfico de Salidas” (no publicado).

¹³ La fuente es Generalitat de Catalunya: “Desplaçaments per motiu de treball i d'estudi a les comarques catalanes”. Direcció General de Transports (mimeo).

3. REDES DE CIUDADES

3.1. Flujos directores brutos

La primera aproximación a la estructura del sistema de ciudades se realiza utilizando el método de **flujos directores**, a partir de datos de movilidad laboral. Para este propósito se ordenan de mayor a menor los flujos de salida de cada municipio, y se consideran como más importantes los cuatro primeros destinos.

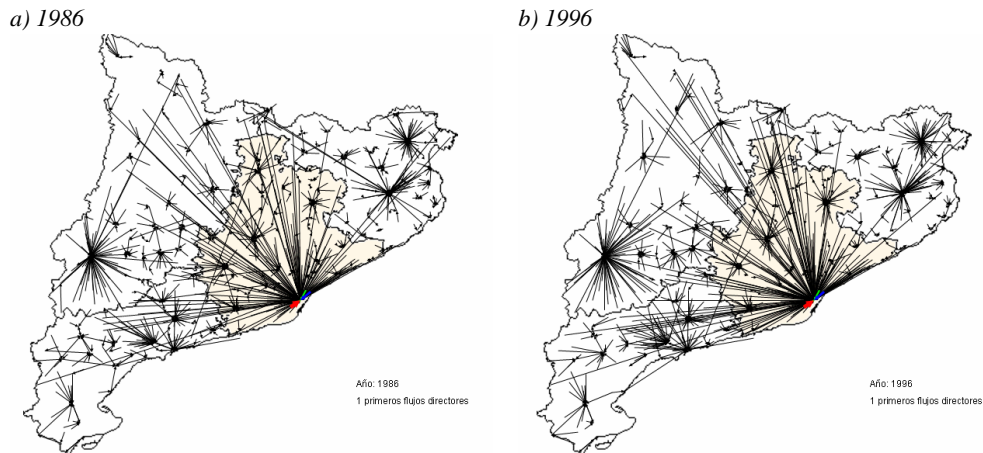
La decisión del número de flujos directores relevantes no está exenta de un cierto grado de arbitrariedad. Las pruebas que se realizaron mostraban que la armadura urbana básica se configuraba, a grandes rasgos, alrededor de estos cuatro primeros flujos, lo que no significa que la regla deba aplicarse por igual a todos los municipios. Sin embargo, la sencillez del procedimiento y los buenos resultados de su aplicación aconsejan su uso, sin menosprecio de otras técnicas matemáticamente más robustas, pero que sin embargo adolecen de otros problemas¹⁴.

3.1.1. Identificación de la red

El sistema de ciudades de Cataluña muestra la forma de una tela de araña, cuyo centro principal es la ciudad de Barcelona. Si eliminamos del mapa las relaciones con Barcelona, conseguimos observar con claridad el resto de subcentros de la red de ciudades. En total aparecen unos 60 centros, con diferente grado de centralidad, entre los cuales destacan Lleida, Tarragona-Valls-Reus, Tortosa, Girona, Figueres, Igualada, Manresa, Vic y los subcentros de la región metropolitana de Barcelona. Los primeros destinos son los que suelen marcar estos subcentros (figura 7), ofreciendo imágenes en forma de estrellas, mientras que los segundos, terceros y cuartos flujos dibujan la imagen característica de retícula (figura 8).

Llama la atención el largo radio de alcance de Barcelona y algunos municipios metropolitanos. En situaciones extremas, significarían movimientos pendulares diarios de ocho horas, contando ida y vuelta. Obviamente, los datos están recogiendo algo más que movilidad diaria. En algunos casos recogen también movilidad semanal, y en otros relaciones de base de empadronamiento en segundas residencias. Sin embargo, estos comportamientos no se consideran un problema para el análisis de la estructura urbana, puesto que en el fondo están recogiendo relaciones económicas entre dos nodos del sistema. En los siguientes epígrafes podremos comprobar la evolución de estos comportamientos al someterlos a hipótesis restrictivas.

¹⁴ Véase el capítulo 4 para los detalles del método y la discusión sobre el mismo.

Figura 7. Primer flujo de movilidad laboral origen-destino. Cataluña

Fuente: Elaboración a partir de censos y padrones (IDESCAT)

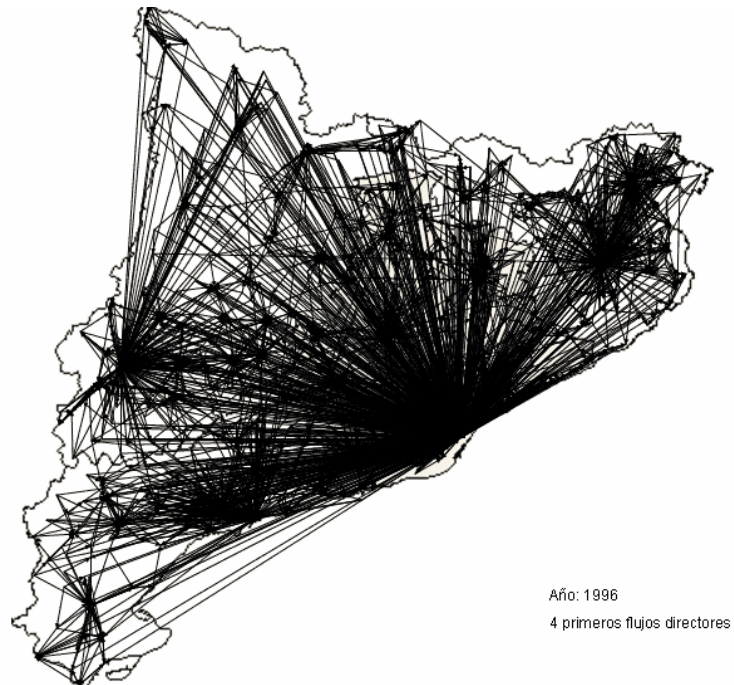
3.1.2. Evolución temporal

Lo primero que llama la atención al comparar la evolución temporal de la estructura urbana en base a los cuatro primeros flujos directores es la estabilidad de la misma. En efecto, es de esperar que los cambios en un período corto como el del análisis sean graduales, puesto que la estructura urbana tiende a cambiar con lentitud. Este hecho refuerza la hipótesis de que los flujos de movilidad laboral, convenientemente utilizados, nos están ofreciendo una buena aproximación de la estructura urbana.

Sin embargo, aunque sea estable no es inmutable, y podemos apreciar como entre 1986 y 1996 la red se va haciendo más densa y cambia ligeramente de forma. Ambos hechos se relacionan con el incremento de la interacción entre municipios, y se traduce tanto en un reforzamiento de las relaciones con las polaridades, más relacionada con la jerarquía, como con el incremento en los flujos laterales, relacionado con relaciones no jerárquicas.

Figura 8. Cuatro primeros flujos directores 1996

a) Mapas incluyendo Barcelona



b) Mapas excluyendo Barcelona



Fuente: Elaboración a partir de censos y padrones (IDESCAT)

3.1.3. Características de la red

En el año 1996, la red está formada por 944 municipios y 3.771 vínculos (pares de municipios conectados), de los 891.136 posibles. Esto resulta en una **densidad de red** del 0,42%, señalando que el número de relaciones efectivas sobre el total de relaciones posibles es bajo¹⁵. No obstante, si tenemos en cuenta que se ha restringido el número de flujos de destino por cada origen, el máximo que puede alcanzarse es de 3.776, lo que muestra una densidad sobre el máximo posible del 99,87%.

Utilizamos el número de tríadas para controlar las características de **transitividad** de la red (relaciones $A \rightarrow B \rightarrow C$). El número total de tríadas efectivas es de 4.986. El porcentaje de tríadas transitivas, donde la conexión entre el primer y tercer municipio es indirecta, es del 34,46%¹⁶.

Los indicadores de **cohesión** informan sobre las distancias de intercambio que podemos encontrar en la red. La distancia geodésica media entre cada par de municipios del sistema, calculada a partir de la matriz de adyacencia, es de 8,55 pasos¹⁷. Esta distancia nos aproxima, por ejemplo, cuanto tardaría en promedio una innovación generada en un municipio en llegar a otro cualquiera, medido en número de municipios por los que debería pasar. El diámetro de la red es de 35, y nos indica cual sería la menor distancia entre dos municipios de la red (cuantos municipios tendríamos que atravesar) para conectar los dos municipios más alejados de la red¹⁸.

Los indicadores de centralidad, intermediación, influencia y poder, proporcionan información sobre diferentes aspectos en relación con la jerarquización de la red y la situación relativa de los municipios. Los indicadores de **centralidad** (grado, centralización por autovalores) miden el grado de centralización de la red, y la cantidad de centralidad que acumulan algunos nodos. En este caso, los indicadores de grado (*indegree*)¹⁹ y centralización por autovalores muestran una centralidad relativa muy elevada, entre el 65 y el 92%. Para el indicador de grado, los municipios más centrales son Barcelona, Lleida, Girona, Tarragona, Figueres, Reus, Manresa, Vic, Valls y Cervera. Para el indicador por autovalores, los municipios más centrales son Barcelona, Lleida, Tarragona, Girona, Reus, Manresa, Cervera, L'Hospitalet de Llobregat, Vic e Igualada.

La **intermediación** (*betweenness centrality*) intenta revelar si una ciudad tiene una posición favorable en la red, debido a que interviene muchas veces en los geodésicos que unen pares de nodos. El valor promedio de la red (88%) muestra un

¹⁵ La "densidad de red" se define como el número de relaciones efectivas (tamaño de la red) dividido por el número de relaciones posibles excluyendo las autorrelaciones

¹⁶ Las "tríadas" son conjuntos de tres nodos y las relaciones efectivas entre ellos.

¹⁷ La "distancia geodésica" es la suma del número de pasos del camino mínimo para conectar dos nodos

¹⁸ El "diámetro de una red" es el valor del geodésico más largo del sistema conectado, donde un geodésico es el camino mínimo (más corto) para conectar pares de nodos.

¹⁹ Como los flujos son de origen-destino, y el número de flujos por origen está limitado a cuatro por nodo, el tipo de grado que tiene sentido calcular es el de salida (*indegree*).

elevado grado de intermediación. Los municipios con mayor capacidad de intermediación son Barcelona, Girona, Lleida, Tarragona, Reus, Vic, Tortosa, Castelló d'Empuries, Manresa y Manlleu.

La **influencia** (método de Taylor) mide la capacidad de una ciudad de afectar a otras. Los municipios más influyentes son Barcelona, Lleida, Girona, Tarragona, Figueres, Reus, Manresa, Vic, Valls y Cervera.

El poder se ha medido con el **índice de Bonacich**, utilizando una ponderación $\beta=0$, que significa que la centralidad es proporcional al grado de cada vértice²⁰. Los municipios más poderosos son Barcelona, Lleida, Tarragona, Girona, Reus, Vic, Manresa, Valls e Igualada.

Para aproximar el grado de **dependencia y asociación** entre los municipios de la red se han utilizado indicadores globales y locales univariantes derivados de la econometría espacial. Se han utilizado tres rezagos espaciales, desde orden uno a orden tres. Como variables se han utilizado el empleo total en 1996, la variación absoluta de la ocupación entre 1991-1996 y 1996-2001, la tasa de crecimiento de la ocupación entre 1991-1996 y 1996 y 2001, el número de sectores especializados del municipio, la diversidad global del municipio, la dimensión media de empresa y el número de empresas.

En referencia a la **correlación global**, se han utilizado los indicadores de I de Moran y C de Geary²¹. Existe evidencia de correlación espacial negativa de primer orden para el empleo total, la variación absoluta del empleo y el número de empresas. Esta correlación se mantiene con la matriz de segundo orden, y se añade correlación positiva con la diversidad y la dimensión de empresa. Se encuentran evidencias de correlación espacial positiva de tercer orden para el empleo total, la variación absoluta del empleo total y el número de empresas, y negativa para el número de especializaciones y la diversidad.

Los resultados más destacados de los **indicadores locales** en los municipios de más de 20.000 ocupados muestran evidencia de correlación espacial positiva (Local Moran) especialmente intensa en Badalona, para las variables de ocupación en el año 1996 y variación absoluta de la ocupación (correlación de primer orden). Barcelona muestra fuerte correlación negativa de primer orden también en la ocupación y el número de empresas en el año 1996, y en la variación absoluta de la ocupación 1991-1996, que se extiende también a segundo orden para la variación absoluta de la ocupación 1996-2001.

Existen también evidencias de fuerte asociación espacial positiva (New Gi, New Gi*) para Terrassa en número de especializaciones y diversidad (primer orden), para Lleida en diversidad (segundo orden), y Barcelona en variación absoluta de la ocupación 1991-1996.

²⁰ Cuando se utilizan ponderaciones diferentes de cero, el indicador tiende a sobreponderar el poder de municipios muy pequeños.

²¹ El estadístico global G de Getis y Ord no se ha calculado porque algunas de las variables presentan valores negativos.

3.2. Flujos directores filtrados por umbral mínimo de significatividad

3.2.1. Identificación de la red

La virtud principal del método de flujos directores es que permite aproximar con relativa exactitud la estructura urbana del sistema de ciudades de Cataluña. Sin embargo, algunas de estas interacciones son de muy bajo nivel, especialmente cuando los municipios emisores son de dimensión muy reducida. Por este motivo, se añade un filtro adicional que sólo considera significativos aquellos cuatro primeros flujos directores superiores a 100 *commuters*. Este procedimiento es una aproximación a la estructura principal de la red, donde la direccionalidad es más fuerte y la intensidad de los flujos es mayor.

Los resultados muestran una red con un núcleo denso formado por Barcelona y su región metropolitana. Encontramos figuras en forma de estrella alrededor de Girona, Igualada, Manresa, Vic, Lleida, Vilafranca del Penedès, y Granollers²². Cuando estas estrellas se unen con Barcelona, se observan figuras en forma de árbol. Otras partes de la red muestran formas más reticulares, como la subred alrededor de Sabadell y Terrassa, el corredor del Llobregat, el corredor desde Sant Adrià de Besòs hasta Blanes, y la subred de Tarragona-Reus-Valls²³.

Al eliminar del mapa los flujos con Barcelona observamos también que las distintas subredes aparecen separadas las unas de las otras. El grafo adopta características de grafo no conexo, y pone de manifiesto la dependencia que el sistema tiene de Barcelona para su cohesión²⁴.

Rebajando el filtro hasta 50 *commuters*, podemos observar con más claridad el comportamiento de la estructura principal de la red de ciudades. En especial, destaca el fortalecimiento de los ejes radiales con centro en Barcelona, y el crecimiento de la interacción a lo largo de los ejes viarios que tiende a conectar unas redes con otras y a unir municipios del mismo rango. Se configura un doble corredor en la región metropolitana de Barcelona que, paralelamente desde el interior y desde la costa, se prolonga por el sur hasta la retícula de Tarragona-Reus-Valls, y por el norte busca Girona. Igualada, Manresa y Vic tienden a ampliar su red principal, en forma alargada buscando la región metropolitana de Barcelona, aunque estos tres subcentros tienden a permanecer aislados entre ellos. También una parte de la red de Lleida, la más independiente de la ciudad de Lleida, se expande buscando Igualada, Manresa y la región metropolitana de Barcelona.

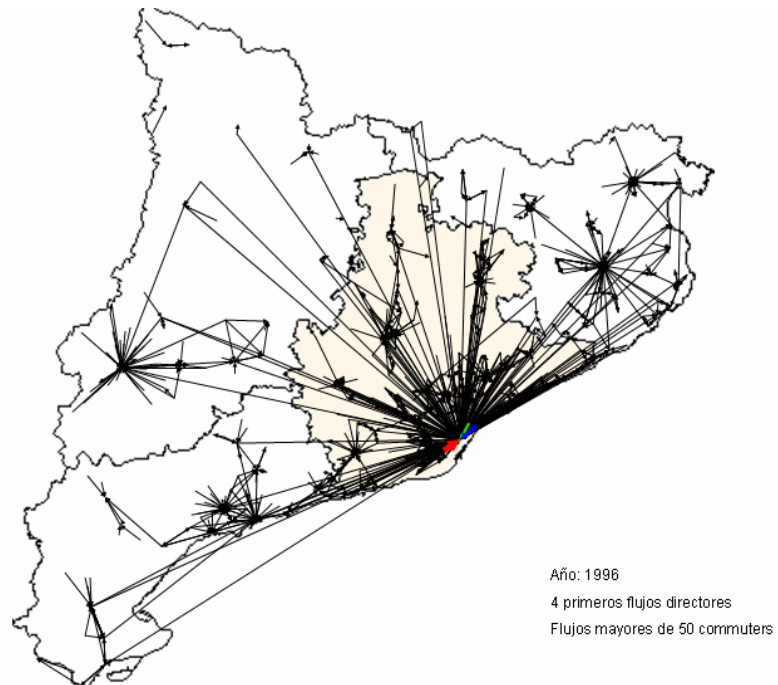
²² Cuando nos referimos a figuras en forma de estrella, se trata de un centro del que emergen radios. Este tipo de figuras se relacionan con comportamientos jerárquicos.

²³ Se define la "subred" como una parte de la red. El término es similar al de "cliqué", descrito en el anexo 2.

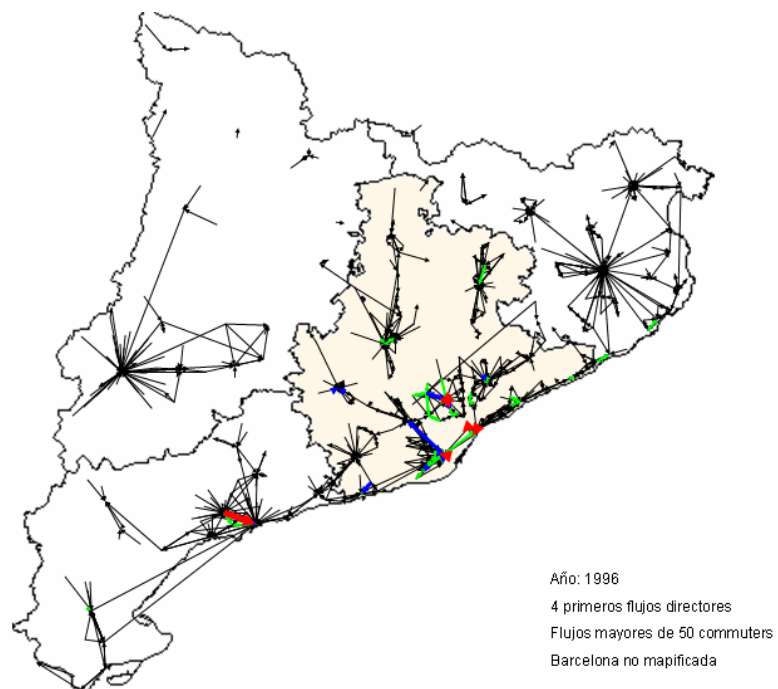
²⁴ En realidad, en la figura 11.a puede observarse como quedan algunos municipios desconectados del grafo principal, sin embargo, las principales subredes se integran en un único grafo.

Figura 9. Cuatro primeros flujos de directores 1996. Filtro mínimo de 50 commuters

a) Mapas incluyendo Barcelona



b) Mapas excluyendo Barcelona



Fuente: Elaboración a partir de censos y padrones (IDESCAT)

3.2.2. Evolución temporal

El esqueleto principal de la red muestra en 1986 un núcleo denso formado por la ciudad de Barcelona y las mayores ciudades de la región metropolitana de Barcelona. Se observan otras pequeñas redes en forma de estrella alrededor de Igualada, Manresa, Vic, Berga, Lleida, Girona y Olot. Se observan estructuras más reticulares en la región metropolitana de Barcelona y en Tarragona-Reus. Barcelona actúa como núcleo cohesionador con la mayoría de subcentros de Cataluña, que muestran poca relación entre ellos. Es decir, aunque observamos morfologías reticulares locales, la estructura principal de la red de ciudades muestra, parcialmente, forma de árbol.

En 1996 se ha consolidado este esqueleto principal, debido al incremento de la interacción. Aunque a nivel global parece reforzarse la estructura en forma de árbol, si eliminamos del mapa los flujos con Barcelona podemos observar como las subredes locales se van ampliando y expandiendo, tendiendo a conectarse unas con otras. De esta manera, y sobre la base de los subcentros ya existentes, se refuerza una subestructura no jerárquica paralela a la estructura jerárquica.

3.3. Flujos totales filtrados por umbral mínimo de significatividad

3.3.1. Identificación de la red

Una vez revelado el esqueleto principal de la red de municipios, utilizando un filtro de significatividad sobre los flujos totales, obtenemos la parte de la red donde la interacción es más intensa. A diferencia del epígrafe anterior, el filtro se aplica sobre el total de flujos, y no sólo sobre los cuatro primeros flujos directores. El objetivo ahora no es revelar la estructura del sistema urbano, sino aquellas interacciones más intensas dentro de la red de ciudades.

El mapa resultante (figura 10, filtro mínimo de 100 *commuters*) se parece al que se obtiene con los cuatro primeros flujos filtrados por significatividad, solo que el número de relaciones es mayor al no restringir la direccionalidad. La forma del mapa es la de una red con un centro especialmente denso en la región metropolitana de Barcelona, y ramificaciones que conectan con otros subsistemas locales, como los de Tarragona, Lleida, Igualada, Manresa, Vic y Girona. Algunos de estos subsistemas muestran forma de estrella (Lleida, Igualada, Manresa, Vic, Girona), y el grafo sigue mostrando patrones de comportamiento jerárquico.

Al eliminar Barcelona del mapa, la red se hace menos densa en su conjunto. Sin embargo, continúa observándose una gran densidad de relaciones en el núcleo central de la región metropolitana de Barcelona (Mataró, Granollers, Sabadell, Terrassa, Martorell, Gavà). Algunos de estos municipios metropolitanos conservan vínculos con otras subredes externas, conectando la parte central de la región metropolitana con Vilanova i la Geltrú, Vilafranca del Penedès, Tarragona, Lleida, Manresa y Girona. Igualada y Vic vuelven a quedarse fuera del grafo principal. De

nuevo se observa como la conexión entre estas subredes tiende a realizarse de forma indirecta utilizando Barcelona o los municipios de la región metropolitana.

Al rebajar el flujo mínimo hasta 50 *commuters*, los patrones de la estructura urbana se completan y muestran formaciones sumamente interesantes. En primer lugar, destaca la capacidad atractora de Barcelona. Sin embargo, al eliminar Barcelona del mapa se observa una intensa red paralela de relaciones entre municipios. La densidad en el núcleo central de la región metropolitana es extrema. Este hecho no es de extrañar, puesto que se trata de ciudades medias y pequeñas situadas en un espacio geográfico reducido, lo que facilita la multidireccionalidad de la interacción, al incurrir en unos costes de transacción relativamente bajos. Destaca también la tendencia de las subredes externas a este núcleo central, algunas con un centro definido, a alargarse a través de los ejes de infraestructuras viarias buscando conectarse entre ellas. Este hecho es patente en el corredor de la costa entre Tarragona y Barcelona, en los dos corredores que se prolongan desde el núcleo de la región metropolitana buscando la conexión con Girona, y en como las subredes de Igualada, Manresa y Vic se alargan buscando el núcleo de la región metropolitana.

3.3.2. Evolución temporal

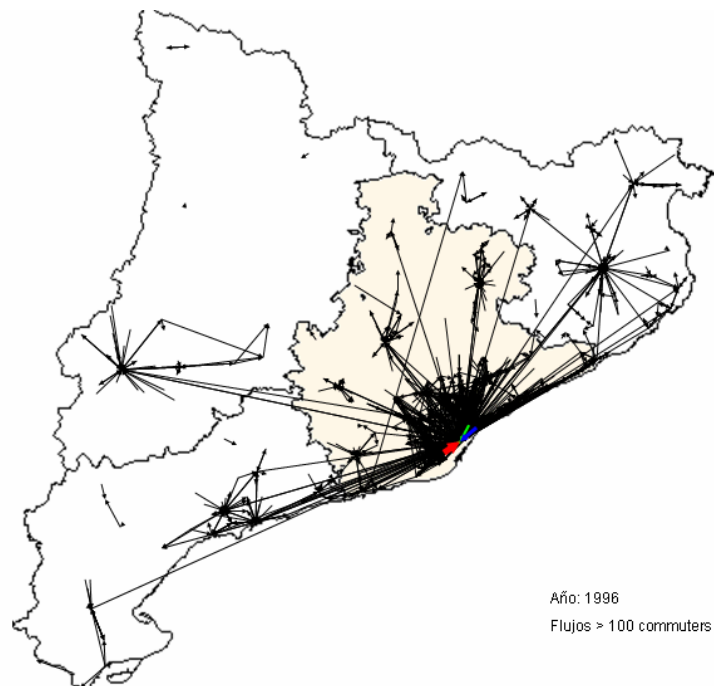
Sobre un primero filtro mínimo de 100 *commuters*, observamos como se mantiene el dibujo en forma de árbol de una parte de la estructura, y que la red se hace más densa entre 1986 y 1996. Eliminando los flujos con Barcelona, se observa que la principal diferencia respecto a los grafos de flujos directores se encuentra en la región metropolitana de Barcelona. En relación al conjunto del sistema, los municipios metropolitanos tienen muchos más flujos significativos que directores, y se entreteje una red de gran complejidad en un reducido ámbito geográfico. Este ámbito comprende una figura con vértices en Mataró, Granollers, Sabadell, Terrassa, Martorell y Gavà-El Prat de Llobregat.

Otra diferencia interesante es que en 1986, al eliminar los flujos con Barcelona la red se subdivide en un conjunto de cliques²⁵ inconexos entre ellos. En cambio, en 1996 la mayor parte de la red se mantiene unida al eliminar los flujos con Barcelona (excepto Igualada, Berga, Vic y el delta del Ebro).

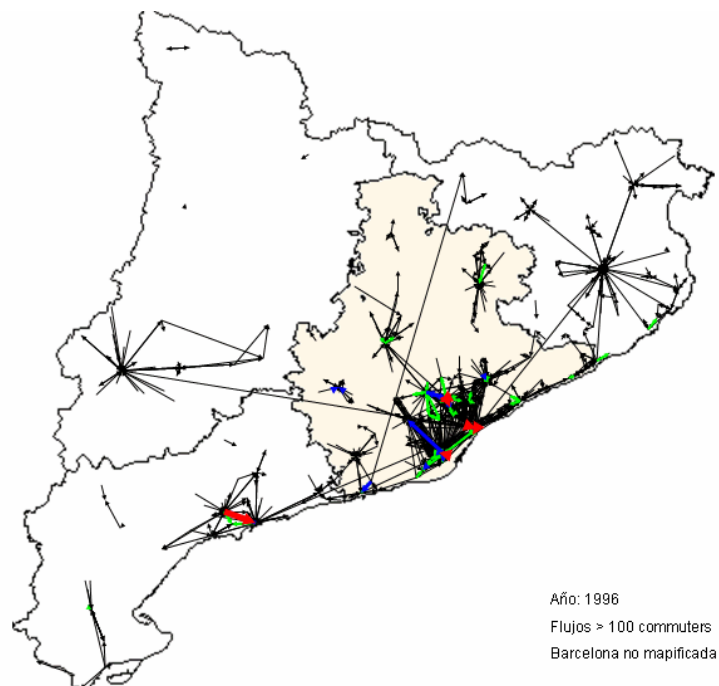
²⁵ Un “clique” es una parte de la red que tiene entidad por sí misma al disminuir alguna de las relaciones con el resto de la red. Véase el anexo 2 para mayor detalle.

Figura 10. Flujos significativos 1996. Filtro mínimo de 100 commuters.

a) Mapas incluyendo Barcelona



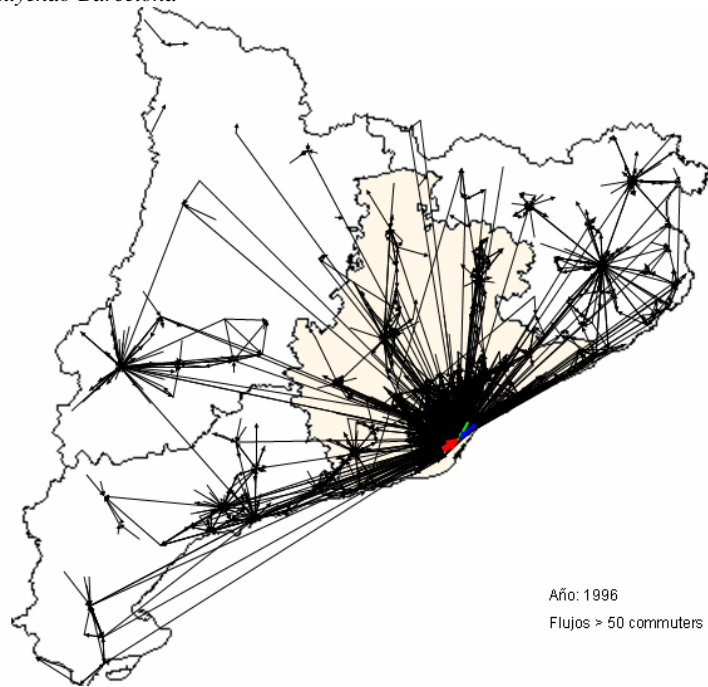
b) Mapas excluyendo Barcelona



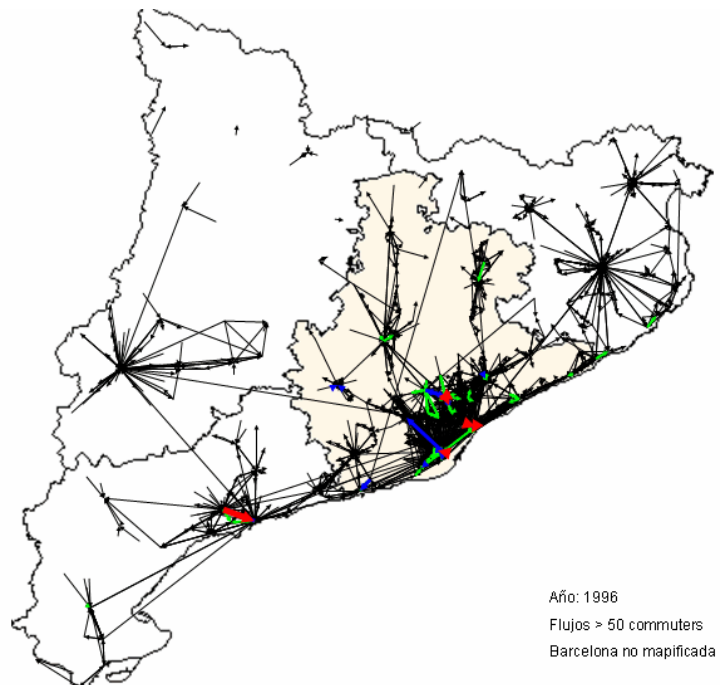
Fuente: Elaboración a partir de censos y padrones (IDESCAT)

Figura 11. Flujos significativos 1996. Filtro mínimo de 50 commuters

a) Mapas incluyendo Barcelona



b) Mapas excluyendo Barcelona



Fuente: Elaboración a partir de censos y padrones (IDESCAT)

3.3.3. Características

En el año 1996, la red de movilidad de flujos significativos está formada por 489 municipios y su tamaño es de 1.454 vínculos (pares de municipios conectados). Esto significa que el 51,8% de los municipios catalanes participarían en la estructura conectiva principal de la red. La densidad de la red (0,14%) es baja, e inferior a la red de flujos directores (0,42%).

El número total de **tríadas** efectivas es de 3.141. El porcentaje de tríadas transitivas, donde la conexión entre el primer y tercer municipio es indirecta, es del 34,68%. Este valor es idéntico al de la red de flujos directores (34,46%).

Los valores de los indicadores de **cohesión** (distancia geodésica media = 3,11; diámetro = 8) son más bajos que en la red de flujos directores (dgm=8,55; d=35). Esto nos indica que en la estructura principal de la red la difusión puede realizarse de forma rápida, y en un reducido número de pasos, lo que afecta positivamente a la calidad de la transmisión y a las posibilidades de supervivencia. En el resto de la red (formada principalmente por municipios pequeños), procesos como la difusión de conocimiento necesitaría un gran número de pasos²⁶.

Los indicadores de **centralidad** (grado de entrada y autovalores) muestran una elevada centralización de la red, entre el 42 y el 50%. Esta centralización es menor que la de la red de flujos directores, situada entre el 65 y el 92%. Según el indicador de grado, los municipios más centrales son Barcelona, Girona, Granollers, Lleida, L'Hospitalet de Llobregat, Tarragona, Badalona, Terrassa, Martorell y Sabadell. Según el indicador por autovalores, los municipios más centrales son Barcelona, L'Hospitalet de Llobregat, Badalona, Santa Coloma de Gramenet, Sabadell, Cornellà de Llobregat, Terrassa, Rubí, Sant Cugat del Vallès y Sant Boi de Llobregat.

El grado de **intermediación** de la red es del 78%, influido sobre todo por Barcelona, seguido a bastante distancia por Lleida, Girona, Figueres, Reus, Tarragona, Vilafranca del Penedès, Olot y Badalona.

El indicador de **influencia** (método de Taylor) muestra fuertes discrepancias en función del parámetro de pérdida de la información. Con un factor $\beta=0,5$, el indicador parece estar otorgando mayor capacidad de influencia a algunos municipios por el hecho de conectarse con otros municipios más importantes²⁷. Con una ponderación de $\beta=0,25$, los municipios más influyentes son Granollers, Barcelona, Mollet del Vallès, Badalona, Mataró, Sabadell, Parets del Vallès, Palau de Plegamans, Girona y Santa Coloma de Gramenet.

²⁶ Siempre que el proceso se realice en la red. Existen otros procedimientos de difusión alternativos, como la difusión en "mancha de aceite" que pueden actuar conjuntamente con el de red, o sustituyéndolo.

²⁷ La utilización de diferentes indicadores intenta prevenir de los problemas que pueden surgir de un comportamiento particular no deseable debido a la disposición de una determinada red.

El **poder** se ha medido con el **índice de Bonacich**, con una ponderación $\beta=0$, para que la centralidad sea proporcional al grado de cada vértice. La centralidad media de la red es de 5,39, y los municipios más poderosos son Barcelona, L'Hospitalet de Llobregat, Badalona, Granollers, Girona, Lleida, Sabadell, Santa Coloma de Gramenet, Terrassa y Cornellà de Llobregat.

En referencia con la **dependencia y asociación** entre los municipios de la red, sobre las mismas variables usadas con los flujos directores totales²⁸, los indicadores globales coinciden en la existencia de correlación espacial negativa de primer orden para el empleo total, la variación absoluta de la ocupación, la dimensión de empresa y el número de empresas. En segundo orden, el empleo, la variación absoluta del empleo, la diversidad y el número de empresas tienen un impacto negativo, mientras que la ratio de crecimiento de la ocupación muestra signo positivo. En tercer orden, muestran un impacto negativo el empleo, la variación absoluta del empleo y la ratio de crecimiento del empleo 1996-2001.

Los indicadores locales muestran un gran número de valores elevados y significativos para los municipios de más de 20.000 ocupados²⁹. En el estadístico Local de Moran destacan el elevado número de correlaciones positivas de primer orden de estos municipios en las variables de ocupación total, variación de la ocupación 1991-2001 (tanto la absoluta como la tasa de crecimiento), y número de empresas. En los estadísticos New-Gi* destaca el número de estos municipios con correlación positiva con la tasa de crecimiento 1996-2001, y negativa con la dimensión de empresa (correlación de primer orden).

²⁸ Empleo total en 1996; variación absoluta del empleo total 1991-1996 y 1996-2001; tasa de crecimiento de la ocupación 1991-1996 y 1996-2001; número de sectores especializados del municipio; diversidad global del municipio; dimensión media de empresa; y número de empresas.

²⁹ En todos los casos, los resultados se calculan sobre el total de municipios de Cataluña.