

El análisis de redes sociales aplicado a los estudios socio territoriales

Sebastián Goinheix

Doctor en Ciencias Sociales por la Universidad de Buenos Aires (UBA), Licenciado y Magíster en Sociología por la Universidad de la República (Udelar). Profesor e investigador con dedicación total en el Instituto de Economía, Departamento de Economía de la Facultad de Ciencias Económicas y de Administración (FCEA) de la Udelar, Uruguay.

ORCID: 0000-0002-7911-972X

E-mail: sebastian.goinheix@fcea.edu.uy

Fecha de recepción: 10/11/2021

Aceptación final: 27/04/2022

El artículo expone la relevancia del enfoque relacional para los estudios sobre el territorio y los procesos socio territoriales. El Análisis de Redes Sociales (ARS) constituye una perspectiva especialmente adecuada para los estudios relacionales o de sistemas complejos, en los cuales las interacciones son vitales para entender los resultados a los que llegan tales sistemas. En cambio, las herramientas estadísticas tradicionales resultan poco adecuadas para estudiar las interacciones. En el trabajo se introducen aspectos metodológicos fundamentales para llevar a cabo análisis relacionales bajo la perspectiva del análisis de redes, centrando la atención en las redes completas más que en las redes personales (que se enfocan en los vínculos de cada persona que compone la muestra). De este modo, el artículo pone a disposición de los estudios territoriales, elementos metodológicos y prácticos para la aplicación del análisis de redes, permitiendo dotarlos de mayor rigurosidad y capacidad analítica, con el fin de enfrentar los desafíos de la investigación empírica de los sistemas socioterritoriales complejos. Como conclusión del trabajo, el ARS se revela particularmente adecuado para el abordaje de distintos fenómenos espaciales y socioterritoriales. Para llevar a cabo análisis rigurosos es necesario plantear una discusión acerca de en qué sentido los datos dan cuenta de los fenómenos de interés, especialmente, a través de una correcta representación de los sistemas a estudiar, que permita la aplicación de medidas y técnicas de análisis adecuadas a los objetivos de las investigaciones territoriales más diversas.

Palabras clave: Metodología, análisis de redes sociales, territorio, enfoque relacional.

Social network analysis applied to socioterritorial studies

Abstract

The article discusses the relevance of the relational approach for studies on territory and socio-territorial processes. Social network analysis (SNA) is a particularly appropriate perspective for relational studies, or studies of complex systems, in which interactions are vital for understanding the outcomes of such systems. In contrast, traditional statistical tools are poorly suited to the study of interactions. The article introduces fundamental methodological aspects for carrying out relational analyses under the perspective of network analysis, focusing on complete networks rather than personal networks (which focus on the links of each person in the sample). In this way, the article provides territorial studies with methodological and practical elements for the application of network analysis, allowing them to be endowed with greater rigor and analytical capacity to face the challenges of empirical research on complex socioterritorial systems. As a conclusion of the article, the ARS is particularly suitable for the analysis of different spatial and socioterritorial phenomena. In order to carry out rigorous analyses, it is necessary to carry out an adequate discussion of in what sense the data account for the phenomena to be studied, especially through a correct representation of the systems to be studied, which allows the application of measures and techniques of analysis adequate to the objectives of the most diverse territorial investigations.

Key words: Methodology, social network analysis, territory, relational approach.

1. Introducción

En las últimas décadas han cobrado una gran importancia los análisis territoriales, entendidos como el estudio de los procesos sociales para los cuales el territorio es una variable relevante. Temas como la segregación urbana, las migraciones, la concentración espacial de la actividad productiva, la movilidad diaria, la relación de los distintos niveles administrativos en el diseño y la ejecución de políticas públicas, la desigualdad económica regional, el impacto de la globalización en los territorios y sus dinámicas productivas, la descentralización fiscal, el desarrollo local, solo por nombrar algunos, han concitado una gran atención por parte de investigadores de diversas disciplinas.

Una clave central de todos estos *sitios* de investigación referidos o relacionados al territorio, es el aspecto relacional. Efectivamente, los territorios están constituidos por actores cuyas interacciones forman el nudo de las cuestiones problematizadas por una gran parte de las investigaciones que toman el territorio, ya sea como objeto de indagación o como un aspecto relevante en el análisis. La dimensión relacional se plasma en distintas dinámicas. Así, la segregación urbana involucra la interacción preferencial dentro de determinadas unidades urbanas (con diferentes escalas según la dinámica de la ciudad en cuestión: conjunto de barrios, barrios individuales o unidades sub-barriales) entre personas o familias de similar origen socioeconómico o étnico, con la consecuente exclusión de forasteros como resultado deseado o no deseado. Para un abordaje de la segregación desde el Análisis de Redes

Sociales (ARS) pueden consultarse, por ejemplo: Morales et al. (2019), Tóth et al. (2021) y Xu et al. (2019).

En la literatura de la geografía económica, se ha encontrado que la localización de la actividad productiva se relaciona con las interacciones entre las empresas. Por un lado, la aglomeración empresarial puede ser un importante precedente para la generación de formas de cooperación, y, por otro lado, las interacciones empresariales, más que la proximidad geográfica, pueden explicar el éxito de las regiones (Dempwolf y Lyles, 2012). Algunos investigadores encontraron que la existencia de un tejido empresarial denso de cooperación, así como de vínculos externos, dota a los territorios de una mayor capacidad productiva y de competitividad (Perry, 2012; Hadjimichalis, 2011; Pietrobelli, 2004). Además, las relaciones interorganizacionales mejoran el desempeño innovador de las regiones (Broekel y Hartog, 2011).¹

En este rápido recorrido de algunas aplicaciones del ARS a los procesos socioterritoriales, cabe mencionar la gobernanza de redes, en la cual las políticas públicas forman entramados de funciones, responsabilidades de gestión e implementación de bienes y servicios entre distintas agencias y niveles políticos y administrativos (Lecy et al., 2014). Estos entramados pueden entenderse como sistemas complejos y multinivel de políticas en los cuales es pertinente la inscripción territorial en tanto juega un papel relevante la colaboración entre organizaciones de distintos niveles administrativos y jerárquicos (la mayoría de las veces, relacionados a las escalas geográficas), así como de distintos sectores. En estos sistemas, es notable la colaboración, tanto para movilizar recursos para el territorio como para generar respuestas más integrales y apropiadas a las necesidades de la población (Goinheix, 2022).

Como ponen de manifiesto estos ejemplos, la perspectiva relacional cobra una gran centralidad en los estudios territoriales. La importancia de este enfoque reside en que permite dar cuenta de las relaciones entre los actores que habitan el territorio incluyendo las relaciones extraterritoriales como forma de superar una visión excesivamente localista o autárquica del territorio y sus actores (Goinheix, 2015). El enfoque también permite analizar las relaciones entre los territorios, entendidos como unidades geográficas que se relacionan a través de sus instituciones políticas y administrativas, el comercio, las infraestructuras de comunicación, los flujos de personas, las cadenas de valor que atraviesan la actividad productiva sectorial de diversas regiones, etc.

Por otra parte, los aspectos espaciales son centrales en el ARS. La cuestión del territorio está en el origen mismo de la *teoría de grafos* –la teoría matemática que sustenta la perspectiva de redes– que se formuló para dar una solución general a la cuestión de los recorridos en territorios con restricciones de accesos (Euler, 1741). Es así que, desde su inicio, las nociones como *camino* y *recorrido* son centrales para atravesar estos territorios.

¹ Este último trabajo se vincula con la literatura de la complejidad económica (Hidalgo et al., 2007; Hidalgo et al., 2018; Juhász et al., 2021; Mewes y Broekel, 2020) que ha desarrollado el concepto de *parentesco* (*relatedness*) operacionalizado a través de redes bipartitas cuyas características de se detallan más adelante.

En este sentido, el presente artículo pretende describir los elementos fundamentales del ARS que consisten en un importante conjunto de instrumentos y métodos para el análisis de los aspectos relacionales de los fenómenos. Sobre todo, se introducen aspectos metodológicos básicos para llevar a cabo análisis relacionales bajo la perspectiva del ARS, centrando la atención en las redes completas más que en las redes personales (que se enfocan en los vínculos de cada persona que compone la muestra). Las redes completas son más adecuadas para los análisis territoriales, en tanto permiten dar cuenta de los activos relacionales del territorio estudiado o las conexiones del propio territorio con otros territorios, como entidades geográficas, económicas o sociales diferenciadas. Este nivel, denominado *red completa* (Kilduff y Tsai, 2003) o *sociocéntrico* (Lerner et al., 2014), se refiere a la totalidad de la red en contraposición al nivel de la organización como unidad de análisis. Dicho nivel pone el foco en la estructura y en los procesos de la red total, en lugar de enfatizar en las organizaciones que la componen (Provan, Fish y Sydow, 2007).

De este modo, el trabajo pone a disposición de los estudios territoriales, elementos metodológicos y prácticos para la aplicación del ARS, permitiendo dotarlos de mayor rigurosidad y capacidad analítica. Así, el artículo oficia como introducción a la perspectiva relacional y a las definiciones que permiten una correcta representación de los fenómenos a estudiar con las herramientas del ARS para los estudios socioterritoriales. El artículo no describe las diversas medidas utilizadas por el ARS ni los conceptos en que se basan dichas medidas, sino que se dirige a introducir los aspectos básicos a tener en cuenta para la aplicación de cálculos y técnicas de análisis (las más relevantes para los estudios socioterritoriales serán mencionadas al final del artículo) con el objetivo de guiar una aplicación pertinente de estas.

Además de esta introducción, el artículo se estructura con un segundo capítulo en el que se presentan los fundamentos del ARS y la importancia de la perspectiva relacional. El tercer capítulo presenta la definición de red y sus elementos, así como las diversas operacionalizaciones de una red con sus características. En el cuarto, se hace referencia a la delimitación de la red, aspecto metodológico y vital para lograr una correcta descripción del sistema en cuestión y poder realizar conclusiones relevantes, así como una breve presentación de distintas técnicas de análisis del ARS, pertinentes para los análisis territoriales. Finalmente, se concluye con las oportunidades que presenta el ARS para los estudios territoriales en general, y para la comprensión y modelización de los procesos socioterritoriales en particular.

2. ARS y perspectiva relacional

Según Marin y Wellman (2010), el ARS no es una teoría ni una metodología, sino que se trata de una perspectiva o paradigma ya que provee una forma de mirar los problemas, sin generar predicciones sobre los mismos. Esto no significa que se trate de una metodología, por el contrario, el ARS es más que un conjunto de técnicas y metodologías, en tanto proporciona una perspectiva que permite formular distintos enunciados o teorías que se desprenden directamente de dicha perspectiva (Borgatti, et al., 2014).

Las redes están constituidas por dos objetos básicos: los individuos o elementos (personas, países, etc.) y sus interacciones, que suelen denominarse *vínculos*, *ejes* o simplemente, *líneas*.² Esto lo distingue de los elementos básicos del análisis estadístico tradicional, las unidades y sus características. Al enfocarse en las interacciones, un aspecto crucial del ARS se refiere a las unidades de análisis, en el sentido del nivel de la estructura social en que las redes pueden estudiarse. Es decir, al nivel en que se define la red como constructo. De este modo, es posible identificar distintos niveles que van desde el individual, las díadas, tríadas, etcétera, hasta la red completa (más adelante se profundiza sobre este punto). La principal intuición detrás del interés por lo que ocurre en estas unidades de análisis, es que van más allá del énfasis tradicional en las unidades individuales, captando aspectos de la estructura social, otorgándole un aditamento contextual, de forma similar a las metodologías cualitativas.

Esto se logra debido al interés por las variables extra individuales (o supra individuales) que expresan atributos de pares de individuos, por lo que:

Los vínculos diádicos se enlazan a través de nodos comunes para formar un campo o sistema de interdependencias que llamamos una red. Esto da, a algunas teorías de redes, un sabor holístico o contextualista en el que se buscan explicaciones, no solo en los actores, sino también, en sus entornos de red. (Borgatti et al., 2014, traducción propia)

Un concepto fundamental para el ARS es la noción de *camino*, ya que en él se basan los demás conceptos de red que, en mayor o menor medida, dependen de este concepto (Csárdi, Nepusz, Airoldi, 2016). La noción de *camino* (junto a los conceptos similares de paseo, sendero o ciclo) recalca la importancia de los flujos en la red. La mayoría de las medidas de centralidad que han sido propuestas se basan en supuestos de cómo se producen dichos flujos (Borgatti, 2005).³

Se entiende por *camino*, una secuencia de ejes o arcos, o de pares de actores. Dicha secuencia señala un recorrido, a través del cual un actor puede comunicarse o generar distintos tipos de intercambios o relaciones con otro actor, más allá de que tenga o no un vínculo directo con él o con ella. Entonces, hay un camino toda vez que exista un vínculo, directo o indirecto, es decir, mediado por otro(s), entre dos actores de la red.

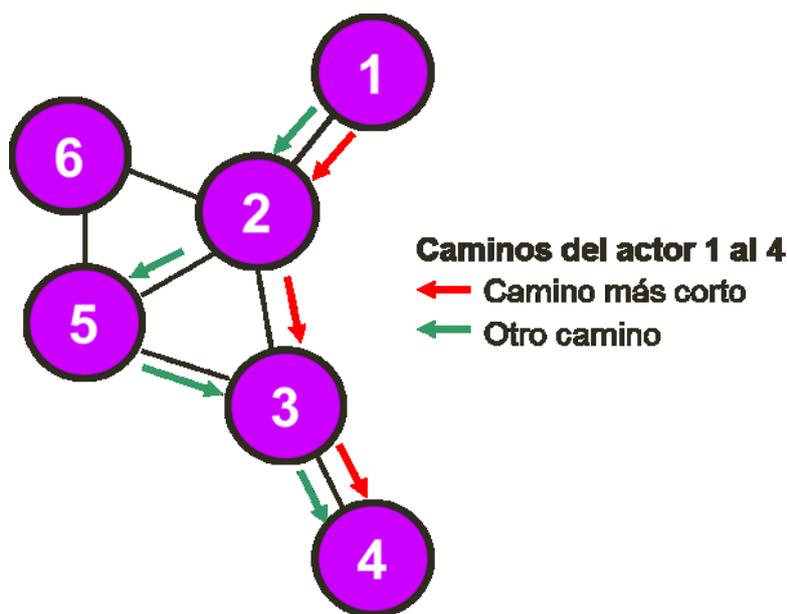
La noción de *camino* permite medir la centralidad de los actores en la red al identificar aquellos que están cercanos tomando en cuenta los caminos por los que pueden comunicarse con otros actores o aquellos que están más cercanos a los demás a través de los caminos más cortos. El camino más corto entre dos actores es aquel que, dentro de todos los caminos que unen a dichos actores, tiene una secuencia menor de ejes. El resto de los caminos entre esos dos actores (si existen), serán de mayor longitud que el más corto. Diversos procesos que ocurran entre

² Estos componentes u objetos de las redes pueden diferenciarse según algunas características que se describen *a posteriori*. Los vínculos se denominan también *líneas* porque se suelen representar como líneas que unen a (algunos de) los elementos que forman la red (ver Figura 1).

³ Así, los flujos permiten pensar la centralidad como los valores en un modelo implícito de participación en los flujos en una red (Borgatti, 2005). Adicionalmente, la noción de caminos aleatorios en la red es importante para diversas técnicas de detección de comunidades, como *Infomap* (Rosvall y Bergstrom, 2008) y *trampa de camino* (Pons y Latapy, 2005).

estos actores, como la comunicación, tardará menos o será más eficiente si se produce a través del camino más corto que une a ambos actores. En el siguiente gráfico pueden identificarse dos caminos que unen un mismo par de actores. El señalado con las flechas rojas es más corto que el indicado con las verdes.

Figura 1: Caminos entre dos actores.



Fuente: Elaboración propia. Los círculos representan los vértices o actores de una red y las líneas negras, los vínculos (ejes del grafo) entre ellos. Las flechas indican dos posibles caminos entre los actores 1 y 4, pasando solo una vez por cada actor.

El tratamiento de los caminos requiere un tipo de herramientas distintas de las tradicionales, basadas en datos referidos exclusivamente a las unidades. Paralelamente, el ARS no requiere de algunos supuestos restrictivos de diversas técnicas estadísticas, sobre todo, del supuesto de la independencia de las observaciones. Por el contrario, las técnicas de análisis del ARS permiten lidiar y, muchas veces, modelar las estructuras relacionales de las unidades observadas.⁴

Dado que se trata de sistemas en los que existe una alta interdependencia de los actores, estas unidades de análisis expresan la estructura de interacciones y, por lo tanto, no son tratadas como independientes unas de otras, sino que, al contrario, se busca entender sus comportamientos teniendo en cuenta las interdependencias, ya sea modelándolas explícitamente o con técnicas que permitan tratarlas de forma adecuada.

⁴ Esto se vincula con las críticas a los supuestos clásicos de individualismo y su consecuente visión atomista de la realidad social, principalmente, de los paradigmas de la economía y de la sociología ortodoxa. Aun así, dentro de estos enfoques, existen aspectos que están cercanos a la perspectiva relacional. Por ejemplo, la elección racional postula juegos iterativos en los que los actores toman decisiones con base en lo que anticipan de las acciones de los otros, lo cual implica modelar los efectos agregados de la interdependencia de las decisiones individuales (Crossley, 2016)

Es así que, las unidades de análisis mínimas que toma el ARS son díadas, no individuos. Las *díadas* son pares de unidades o individuos que constituyen la unidad básica del análisis de redes, aunque no la única posible, como se verá más adelante. El análisis de redes propone que estas relaciones entre los actores explican los resultados del actor y/o de la red de la que forma parte. Por lo tanto, no solo es relevante la información sobre las características de los individuos (como su sexo, edad, clase de pertenencia, si es casada o soltera, etcétera), sino, también, sus relaciones con otras personas. Entonces, asistirá a un acto político si algunas compañeras de estudio también lo hacen, obtendrá un mejor empleo dependiendo de los vínculos que sus amigas y conocidos tengan con otras personas, etcétera.

Sin embargo, el diádico no es el único nivel en el que se pueden analizar las relaciones en una red; se puede estudiar en niveles de mayor agregación o *hiperdiádicos* (Cranmer y Desmarais, 2016), como por ejemplo los niveles triádicos, grupales o, incluso, de la red completa. La elección de la unidad de análisis debe ser coherente con el tipo de pregunta que se desea responder, y tendrá implicaciones en las técnicas de análisis escogidas, ya que no todas se aplican a los mismos niveles.

3. Definición de red y manipulación de los datos de red

En este apartado, se definen conceptos que fundamentan diversas operacionalizaciones y la consecuente transformación de los datos. Así, se introducen aspectos prácticos centrales para la investigación desde la perspectiva relacional abierta por el ARS.

Como se estableció anteriormente, el enfoque del ARS se centra en los individuos y en sus interacciones, que constituyen los elementos básicos de una red o grafo. Aquí se usan los términos *grafo* y *red* de forma intercambiable. Algunos autores definen la *red* como un multigrafo (grafo con más de un tipo de vínculo entre las unidades), pero no hay razones para no considerar como red a aquella formada por un único componente relacional (*uniplex*). Más bien, la diferencia puede ser adjudicada a las tradiciones disciplinares, mientras que la teoría de grafos procede de la matemática, las investigaciones sobre redes proceden más bien de la sociología y la antropología.

Según Barnes y Harary (1983) recién en la década del 50 del siglo XX se produjo un primer análisis de redes utilizando la *teoría de grafos*. Desde entonces, se ha expandido su vinculación, primero, con una lenta acumulación y, luego, de forma más acelerada. Básicamente, la teoría de grafos proporciona un conjunto de definiciones y herramientas analíticas. Sin embargo, diversas teorías (fundamentalmente, sociológicas, antropológicas y de la rama de la comunicación) con foco en las redes, así como la estadística, también han proporcionado diversos instrumentos que forman parte central del ARS.

Las formas más comunes de representar un grafo son el dibujo de grafo y la matriz de adyacencia (en la Figura 2 se presentan ejemplos de ambos).⁵ Mientras que el

⁵ Las matrices de incidencia son de gran interés para los análisis espaciales ya que son equivalentes a las matrices de distancias y de origen-destino. Existen otras formas en las que pueden presentarse los datos. Las más usadas son las matrices de incidencia, matrices de afiliación, lista de ejes o lista de adyacencia.

dibujo representa a los actores, generalmente, como círculos y a las interacciones, como líneas (o flechas), la matriz de adyacencia representa a los actores por filas y columnas, mientras que las interacciones se representan con los valores de las celdas. Entonces, las matrices de adyacencia son matrices cuadradas que contienen los elementos del grafo en las filas y columnas, mientras que en las celdas se encuentra la información relacional de dichos elementos que, en el caso más simple, tendrán valor 1 (uno) indicando la existencia de un vínculo entre dos unidades cualesquiera (una indicada en las filas y otra, en las columnas) y las celdas con valor 0 (cero), indicarán la ausencia de vínculo entre ambas unidades. Puede compararse el dibujo de grafo con las filas y columnas de las matrices, en la Figura 2: los ceros corresponden con los pares de elementos sin líneas incidentales.

Los individuos pueden estar constituidos por diversos tipos -según el problema de interés- desde actores sociales hasta unidades territoriales como ciudades, regiones o países; pueden ser palabras o documentos, páginas de internet, organizaciones, personas, actividades productivas y un largo etcétera. Las relaciones entre estas unidades también se definen en función del interés del investigador, pudiendo representar formas de interacción entre actores sociales, infraestructura de conectividad (carreteras, puertos, ferrocarriles), flujos de comercio, palabras comunes en distintos documentos, cooperación y conflicto entre países, solo por citar algunos ejemplos.

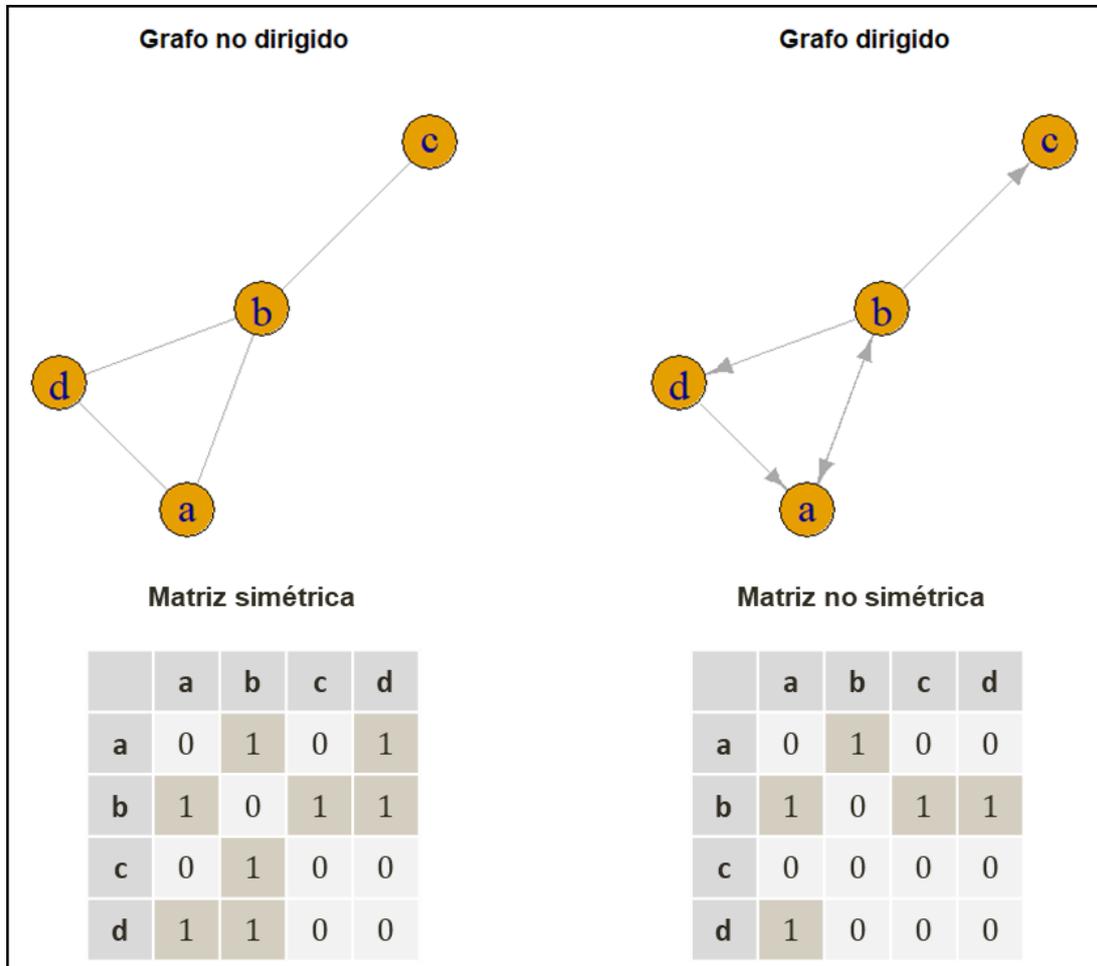
3.1 Redes dirigidas y no dirigidas

En la literatura del ARS las unidades que constituyen las redes suelen denominarse *vértices* o *nodos*, o, simplemente, *organizaciones*, *regiones*, *personas*, *especies*, *autores*, etc. (es decir, los tipos de unidades que representan). Por otro lado, las interacciones entre esas unidades suelen denominarse *aristas* o *ejes*, cuando se trata de interacciones que, simplemente, vinculan dos unidades o arcos cuando se trata de interacciones en donde se produce un flujo desde una unidad hacia otra, pero no, de la segunda a la primera. La diferencia entre los ejes y los arcos es, entonces, que los segundos tienen una determinada dirección, por lo que se requieren dos arcos entre un par de unidades para que se establezca un flujo bidireccional entre ambas unidades. Los grafos descritos con ejes se denominan *grafos no dirigidos*, en tanto los grafos con arcos son *grafos dirigidos*. Los últimos, contienen más información que los primeros al incluir la dirección de los flujos.

En la Figura 2, la diferencia entre ambos grafos puede apreciarse en que, por ejemplo, el elemento *c* en el grafo dirigido (derecha) solo puede recibir aquello que se transmite a través de la red (por ejemplo, información), pero no puede enviarlo a las restantes unidades. Por otro lado, en el grafo no dirigido (izquierda), a diferencia del anterior, el elemento *c* está conectado a los restantes elementos a través de *b*. El grafo no dirigido contiene menos información sobre el mismo sistema (compuesto por las unidades *a*, *b*, *c* y *d*) por lo que solo sabemos que *c* interactúa con *b*, pudiendo, eventualmente, asumirse que esta interacción permitirá el flujo de distintos

recursos, información, confianza, etc. que se produzca en la red, pero, en rigor, se trata de un supuesto.⁶

Figura 2: Red dirigida y red no dirigida (dibujo de grafo y matrices).



Fuente: Elaboración propia. Los datos de los dibujos de grafos concuerdan con las matrices. Ambas representaciones contienen la misma información básica.

En la representación en forma de matriz, los actores son las filas y las columnas. Una matriz asimétrica representa un grafo dirigido, mientras que una simétrica representa un grafo no dirigido (la simetría se identifica al plegar la matriz por su diagonal). Esto se debe a que cada par de actores vinculados se designan con el valor 1 (uno), tanto en filas como en columnas. Para el caso de la red dirigida, las filas expresan vínculos salientes desde el actor de cada fila y las columnas representan los vínculos recibidos por cada actor (columna).

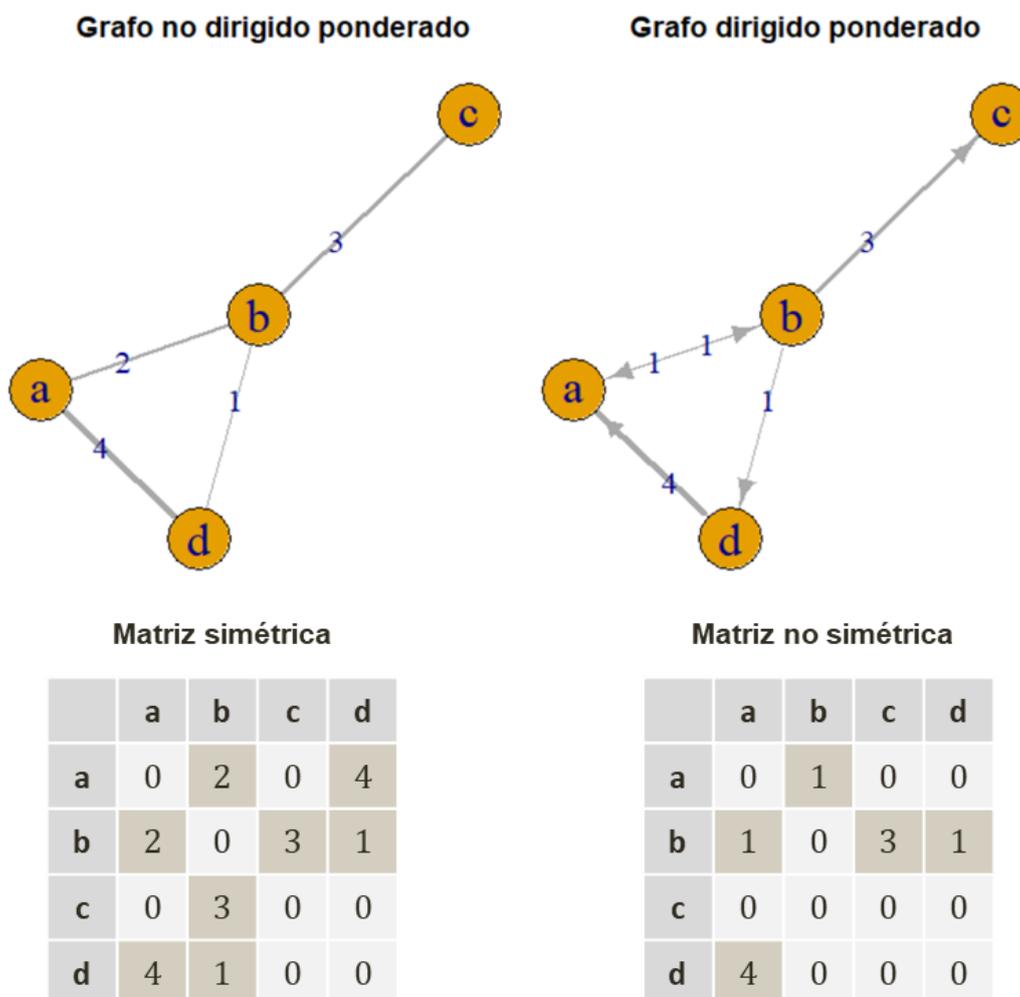
⁶ Como se discutirá, la aplicación del ARS a distintos contextos vuelve necesaria una discusión sobre este tipo de supuestos, de modo de fundar el análisis de forma verosímil, para que no se convierta en un artefacto que sesgue los resultados por aplicar acríticamente un conjunto de técnicas o métodos de análisis.

3.2. Redes ponderadas y no ponderadas

Ambos elementos de los grafos (unidades e interacciones) pueden asumir distintas propiedades. Además de dirección, los ejes pueden tener un determinado peso (por ejemplo, millones de dólares de las exportaciones entre países) que puede interpretarse, entonces, como cantidades o importancia de los flujos entre cada par de unidades conectadas en la red. En el caso de que se trate de distancias o diferencias, la interpretación sería el reverso de la anterior.

Una forma de representar un vínculo ponderado es estableciendo el grosor de las líneas entre las unidades. Este peso podría representar la frecuencia de contacto, la profundidad o importancia del vínculo, la magnitud de los flujos, etc. De este modo, la diferencia de las ponderaciones puede interpretarse como las diferencias en los contenidos relacionales, dando por resultado la Figura 3 para el caso del ejemplo.

Figura 3: Redes ponderadas.



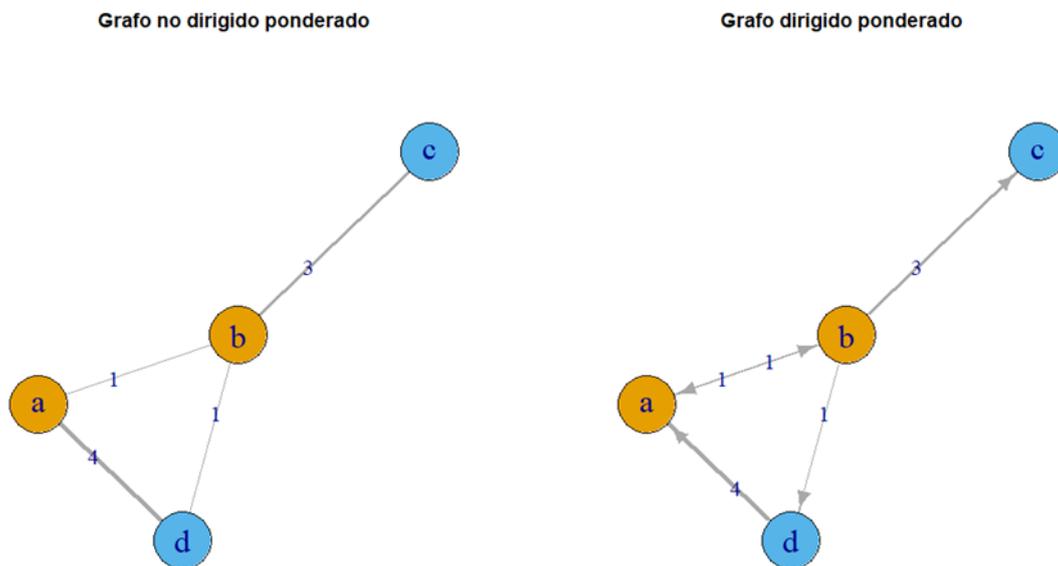
Fuente: Elaboración propia. Las etiquetas y el grosor de las líneas representan el peso de cada vínculo.

3.3 Redes múltiples y multinivel

En este apartado se definen algunas estructuras más complejas de datos de red. Se trata de redes que codifican mayor información, en particular se presentan redes que se refieren a múltiples niveles de los actores (redes multinivel) y redes que incluyen múltiples contenidos relacionales (multigrafos).

Las *redes multinivel* se refieren a redes que incluyen, como características de los actores, la pertenencia a diferentes niveles jerárquicos, estableciendo una diferenciación de los niveles en los que tienen lugar los vínculos (dentro del mismo nivel o inter-niveles). Existen distintas técnicas que permiten modelizar las redes multinivel, como las que pueden consultarse el libro de Lazega y Snijders (2016). Además del nivel, las redes pueden representar otros atributos de los actores, al igual que en las bases de datos tradicionales.

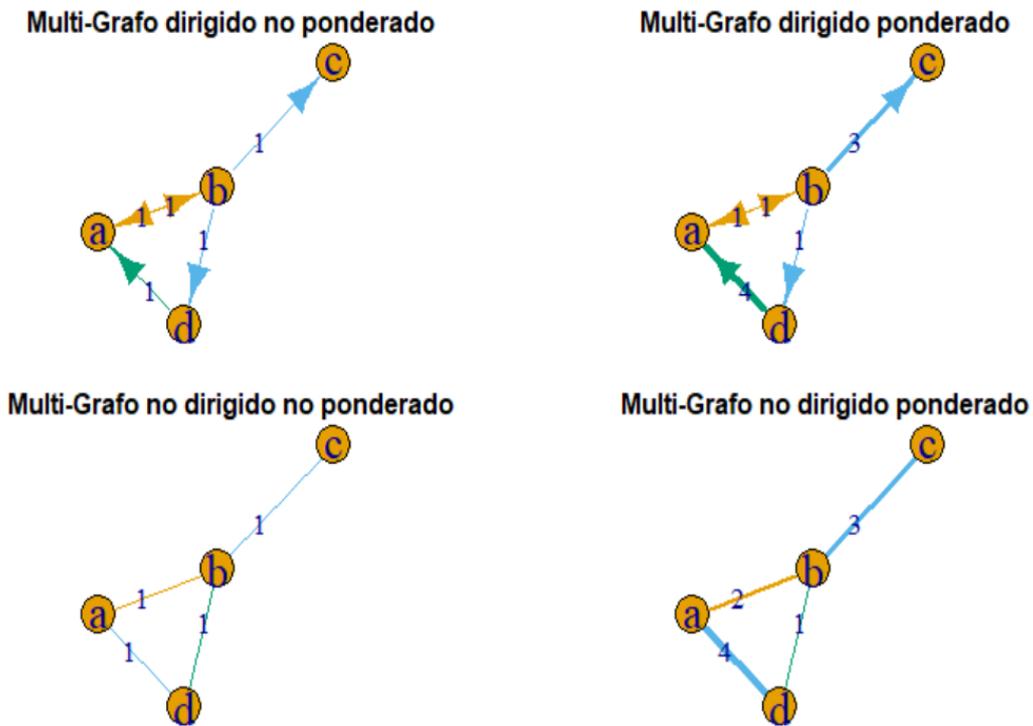
Figura 4: Redes multinivel.



Fuente: Elaboración propia. Los colores de los círculos (actores) representan distintos niveles; los números sobre las líneas refieren al peso de los vínculos.

Mientras que el ejemplo anterior refiere a las características de las unidades, el siguiente se alude a los ejes o arcos. Además del peso, otra propiedad que pueden asumir los ejes es la distinción de varios tipos de enlaces entre los actores, lo que define un multigrafo (en oposición al monografo o grafo tradicional), es decir, un grafo conformado por distintos contenidos relacionales. En este ejemplo, además, las líneas y las flechas (ejes y arcos) asumen distintos colores que pueden codificar contenidos relacionales diferentes.

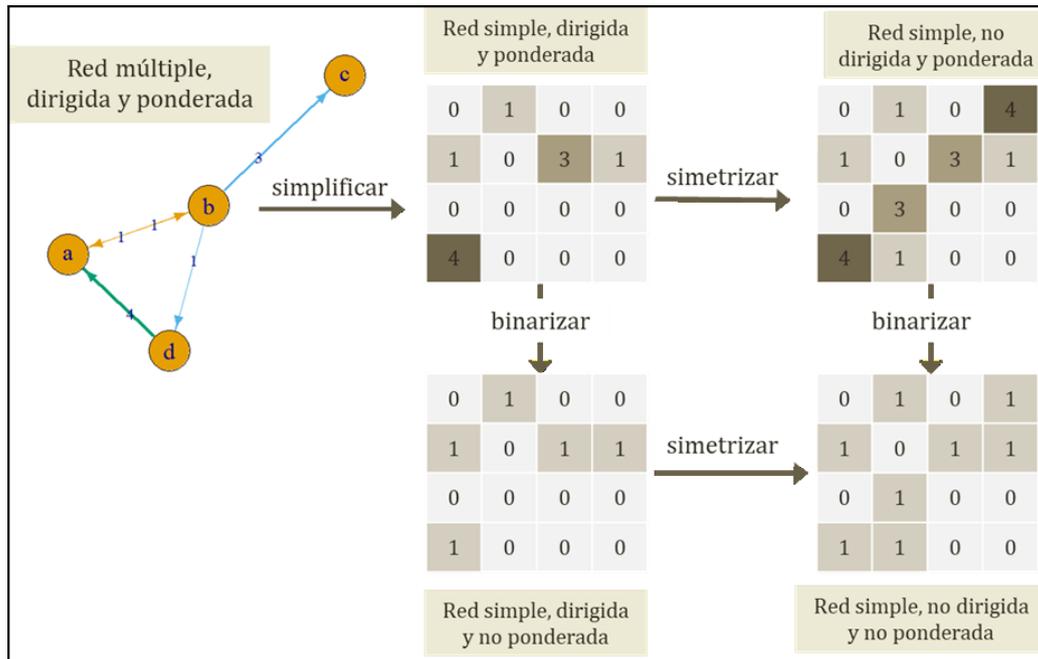
Figura 5: Redes múltiples o multigrafo.



Fuente: Elaboración propia. Los colores de las líneas identifican características de los arcos y ejes; los números sobre las líneas refieren al peso de los vínculos.

Debe notarse que las distintas construcciones de las redes no son fijas ya que pueden transformarse. Existen tres procedimientos que se pueden realizar sobre las matrices de datos: binarización, simetrización y simplificación. En el primer procedimiento, una matriz que asume distintos valores se binariza en ceros y unos, dando lugar a un grafo no ponderado. El segundo procedimiento implica la simetrización de la matriz, pasando de un grafo dirigido a uno no dirigido y originando una matriz simétrica para lo cual se debe elegir un criterio para mantener los vínculos (por ejemplo, mantener todos los vínculos como no dirigidos, o conservar solo en los casos que exista una relación bidireccional). Finalmente, el tercer procedimiento reduce los distintos tipos de vínculos a uno solo y colapsa las distintas matrices del multigrafo en una sola. En la siguiente figura se muestran algunas de estas transformaciones a partir de la red de los ejemplos anteriores.

Figura 6: Transformaciones de las redes.



Fuente: Elaboración propia. La red múltiple se incluye como dibujo porque es más sencillo de representar que un conjunto de matrices apiladas (como representación de un multigrafo).

Entonces, es importante adecuar la representación de los datos al tipo de sistema estudiado, para lo que se requiere manipular los datos utilizando estas reglas de transformación. En los estudios basados en encuestas es usual contar con una matriz no simétrica, en las que las respuestas de algunos actores no coinciden con las de otros.⁷ Sin embargo, esta matriz será asimétrica debido al proceso generador de los datos y no, porque el sistema que representa sea intrínsecamente dirigido. Por ejemplo, si las interacciones representan la negociación de diversos actores en torno al uso del agua en una cuenca, la red debería ser no dirigida ya que la negociación supone una actividad conjunta entre los dos actores y no, un flujo de uno hacia otro. Otro ejemplo, es el comercio mundial en el que las redes dirigidas reflejan importaciones y exportaciones y codifican mayor información que, meramente, los *intercambios comerciales* entre los países.

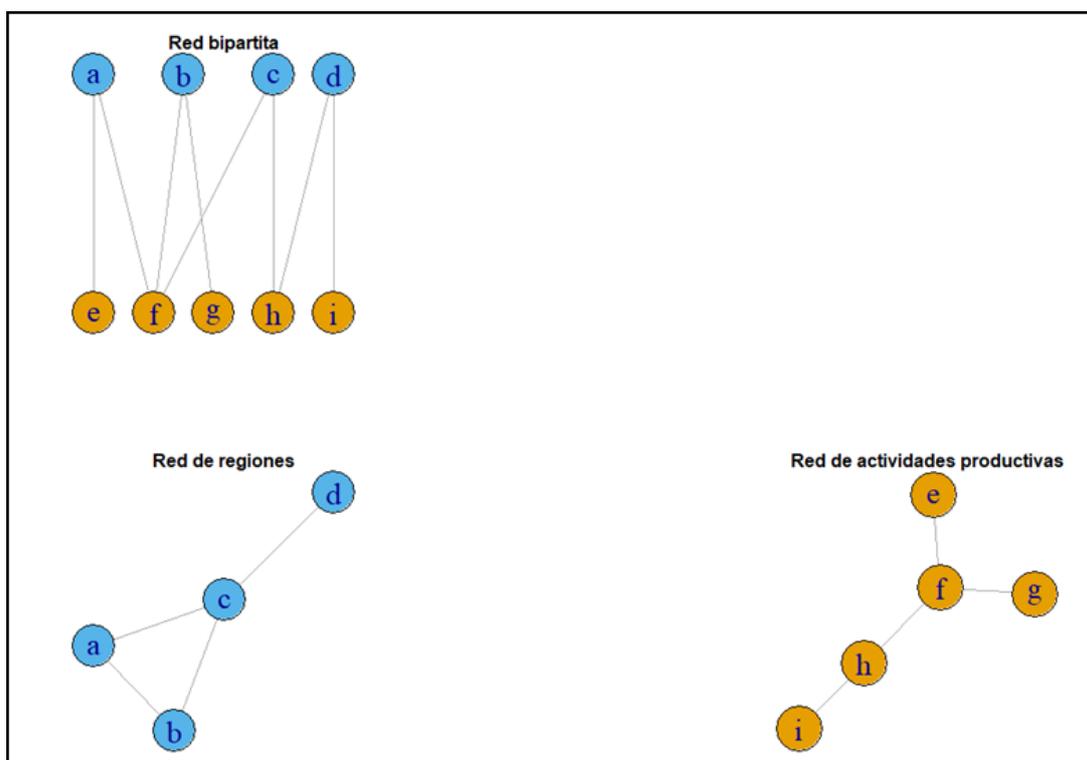
3.4 Redes bipartitas

Para finalizar la descripción de las formas de representación de las redes, están las redes bipartitas o bigrafos, en los cuales existen dos conjuntos independientes de elementos, por ejemplo, regiones y actividades productivas. Los vínculos de las redes bipartitas solo se establecen entre elementos de un subconjunto con el otro, no entre elementos del mismo subconjunto. En el ejemplo, la Figura 6, las regiones no se vinculan entre sí, sino con las actividades económicas que realizan. Los círculos en azul representan las regiones y los círculos en naranja, las actividades

⁷ Esto sucede cuando un entrevistado identifica vínculos que los actores mencionados, cuando son consultados, no identifican (por ejemplo, si lo olvidan o si los consideran de menor relevancia).

productivas que desarrollan. Esta red bipartita de regiones y actividades puede proyectarse en una red de regiones que se *vinculan* entre sí a partir de las similitudes o *parentesco*, según la nomenclatura utilizada por la literatura de complejidad económica (ver Nota 1). Esto significa que las regiones tendrán similitudes según la cantidad de actividades productivas que compartan con otra región. También, es posible proyectar la red de actividades productivas, en la cual, dos actividades tendrán mayor similitud si coexisten en un mayor número de regiones.

Figura 7: Red bipartita y redes proyectadas.



Fuente: Elaboración propia. La red bipartita vincula dos tipos de unidades, en el ejemplo: regiones y actividades productivas. Las redes proyectadas surgen de las similitudes (conexión con los mismos nodos del otro tipo). Así, por ejemplo, las regiones *a*, *b* y *c* comparten la actividad productiva *f*, por eso, en la proyección se dibujan vínculos entre estas tres regiones, así como entre las regiones *c* y *d*, que comparten la actividad *h*. Lo mismo ocurre con la red de actividades productivas.

Otro ejemplo de redes bipartitas, lo constituye la asistencia a eventos en los que, por un lado, están los actores y, por otro, los eventos a los que asisten. De forma similar, las redes bipartitas también pueden representar la participación de los actores en espacios de coordinación para la gobernanza de diversos temas o recursos compartidos y/o disputados, la coocurrencia de palabras en diferentes documentos, etc. De este modo, las redes bipartitas amplían las fuentes de datos para estudiar fenómenos socioterritoriales, en tanto permiten incluir datos atributivos (no directamente relacionales) de las entidades estudiadas.

4. Aspectos metodológicos

Una vez explicados los fundamentos del ARS y las principales definiciones de lo que es una *red*, se expondrán dos aspectos metodológicos relevantes: cómo delimitar la red a estudiar y los diversos métodos y técnicas de análisis disponibles.

La primera cuestión implica la definición de los límites de la red, tanto en los contenidos relacionales como los actores que forman parte de la red. Se trata de un aspecto metodológico central para la validez de los resultados dado que una delimitación más amplia o restrictiva de la red tendrá importantes consecuencias en las medidas y los resultados de los análisis de redes. Por lo anterior, es importante una clara definición del criterio de delimitación de los actores y relaciones que se estudiarán y los que quedarán fuera del análisis. En cuanto a la segunda, dada la orientación introductoria del artículo, se realizará una breve presentación de algunos métodos pertinentes para los análisis territoriales.

4.1 Definición de los contenidos y de los límites de la red

Para llevar a cabo el examen de una red o sistema determinado es importante tener en cuenta la definición de lo que constituye el sistema o red a estudiar, es decir, la definición de los contenidos relacionales y la delimitación de los actores que se incluirán en el análisis. Se trata de un aspecto metodológico central para la validez de los resultados dado que una delimitación más amplia o restrictiva de la red tendrá importantes consecuencias en las medidas y en los resultados de los análisis de redes por lo cual es importante una clara definición del criterio de delimitación de los actores y de las relaciones que se estudiarán y de las que quedarán fuera del análisis (Laumann et al., 1983). En una revisión de la literatura de redes urbanas, Pažitka y Wójcik (2021) afirman que todos los trabajos empíricos estudiados definen claramente los límites de la red, tanto en términos de los actores como de sus vínculos, lo que señala la importancia de este aspecto.

El establecimiento de límites en una red no es una tarea sencilla, ya que, partiendo de un conjunto de actores, es muy probable que estos tengan relaciones (similares a las que tienen entre ellos) con otros actores que están fuera de la red. Esto abre la posibilidad de incluir estas relaciones que son con actores exógenos a los inicialmente incluidos, lo que lleva a ampliar la red incluyendo al nuevo conjunto de actores, es decir, los no incluidos inicialmente. Es fácil percibir que, de seguir este criterio de inclusión de actores, la red continuará creciendo, agregando nuevos actores en sucesivas olas hasta completar a la totalidad de la población (de personas, organizaciones, ciudades o lo que sea que se estudie) que esté conectada directa o indirectamente con la población originalmente identificada.

Este procedimiento se convertiría en un artefacto que causa graves errores de observación al poner la red en sí misma en el centro, en lugar de al fenómeno que se intenta estudiar. Sin una definición y delimitación sustantiva, en virtud de un determinado interés de investigación, la red pierde su vínculo con el problema sustantivo que interesa al investigador. De ahí la relevancia de determinar algún criterio que establezca una delimitación de qué actores y relaciones quedan dentro de la red a estudiar y cuáles se excluyen. Sin embargo, este criterio depende de la

pregunta que se plantee la investigación, la cual debe primar sobre cualquier criterio técnico.

Es así que la definición de la red refiere a la cuestión del establecimiento de los criterios que permitan especificar tanto a los actores que deben incluirse y excluirse de la red, como de los contenidos relacionales de la red (Laumann et al., 1983). Esto corresponde a las preguntas ¿qué actores constituyen las redes? y ¿qué relaciones entre dichos actores se estudiarán? Estos dos aspectos deben decidirse en conjunto puesto que se retroalimentan. Por ejemplo, puede interesar un determinado conjunto de actores para estudiar la colaboración que desarrollan, pero al definir los tipos de colaboración (contenidos relacionales que les vinculan) puede surgir que mantienen con actores externos otras formas de colaboración no tenidas en cuenta inicialmente. Es así que, en el transcurso del acercamiento al problema, una definición más precisa de los contenidos relacionales permitiría identificar un acervo más amplio de actores a tener en cuenta. No incluirlos en la red implicaría perder de vista un conjunto de recursos que dichos actores pueden proporcionar. En términos de las redes, implicaría tomar un subconjunto de elementos y/o relaciones de la red como el conjunto completo de elementos y relaciones.

Laumann, Marsden y Prensky (1983) presentan dos formas de establecer los límites de una red: las definiciones nominalista y realista. En la primera, es la investigadora quien establece cuál es la red y define, previamente, los tipos de actores y de vínculos que piensa relevar. El grupo de actores que integra la red no necesariamente existe como tal, en el sentido de que, no necesariamente, se reconocen como integrantes de un grupo. En este sentido, la red no tiene un estatus ontológico independiente del objetivo del investigador. En la definición realista, la red a estudiar existe como una entidad más allá de la definición de la investigadora.

Los dos criterios se describen como perspectivas metateóricas que se pueden combinar con cuatro focos para la definición que se centran en: 1- las características de los integrantes de las redes; 2- las relaciones; 3- la participación en eventos o actividades; y 4- múltiples focos (Laumann et al., 1983). Los criterios para establecer los límites de la red deben ser consistentes con las preguntas sustantivas que nos hacemos sobre la red, así como con los datos disponibles o los instrumentos que se utilizarán para relevarlos.

4.2 Algunas técnicas para los análisis territoriales

Existe una multiplicidad de herramientas del ARS, por lo cual, aquí se mencionarán algunas de las principales, sobre todo por su utilidad para los análisis socioterritoriales. En primer lugar, se encuentran las medidas más clásicas, relevantes para dar cuenta de los actores más importantes de los territorios, quienes ocupan un rol central o, por el contrario, marginal, la densidad de vínculos entre los actores, la tendencia al establecimiento de vínculos locales o entre vecinos, etc.

Las métricas anteriores, apuntan a dar cuenta de los actores individualmente. Otras herramientas se dirigen a observar la red desde una perspectiva meso, como una estructura que cuenta con diversos componentes o que está formada por diversos grupos de actores/territorios que forman comunidades con mayor cooperación.

Para ello, se suelen utilizar técnicas de agrupamiento (denominadas *detección de comunidades en ARS*). Adicionalmente, es posible identificar grupos de actores/territorios según los roles estructurales de las unidades, es decir, aquellas que están conectadas de forma similar entre ellas y con otras (a través de técnicas como los modelos de bloques), lo que permite describir, por ejemplo, aquellos que ocupan una posición central o periférica.⁸ En la literatura de análisis territoriales, se han utilizado la detección de comunidades en la identificación de zonas diferenciadas de movilidad interurbana (por ejemplo, Lamosa et al., 2021; Louail et al., 2015) o el modelo de bloques para identificar la estructura de centro-periferia en el comercio mundial (Alves et al., 2019; Alves et al., 2021; Kostoska et al., 2020).

Otro tema relevante para los estudios territoriales es la segregación. Bojanowski y Corten (2014) realizaron una amplia comparación de medidas de segregación desde la perspectiva de redes, detectando diez medidas apropiadas para dar cuenta de las tendencias a la vinculación entre similares y la exclusión de extraños. La segregación se puede estudiar a partir de datos de intercambios entre unidades geográficas, por ejemplo, traslados de personas entre dos barrios de la ciudad o a partir de algunas similitudes de los barrios, como las características sociodemográficas de sus residentes. Pero también, se pueden comparar las redes urbanas con las redes sociales, analizando los intercambios de los residentes con otros residentes en la ciudad o la fragmentación de las redes sociales y la desigualdad de ingreso en distintas ciudades (es la perspectiva que siguen, por ejemplo, Tóth et al., 2021).

Un conjunto de técnicas de amplio uso en el ARS consiste en estimaciones estadísticas sobre los vínculos en la red. Dada la importancia de las relaciones entre niveles para el análisis territorial se destacan los modelos de grafos aleatorios exponenciales multinivel (Wang et al., 2013; Lazega y Snijders, 2016). La técnica puede interpretarse como una regresión logística -o como análisis loglineal- sobre la existencia o ausencia de distintas estructuras de red a nivel local, esto es, para conjuntos de 2, 3, 4 o más actores (dependiendo de la estructura que se pruebe), pero no, para la red en su conjunto. Para los análisis territoriales son particularmente interesantes las extensiones *multinivel* que permiten modelizar, por ejemplo, la influencia de los actores de un nivel jerárquico en el establecimiento de vínculos entre los actores del nivel inferior.

5. Conclusiones

El artículo pone a disposición conceptos y herramientas del ARS para su aplicación en los análisis espaciales y socioterritoriales permitiendo analizar un amplio conjunto de fenómenos de interés para los estudios territoriales. El ARS se vuelve una perspectiva adecuada para estudiar los aspectos relacionales de los fenómenos socioterritoriales, como forma de entender las interacciones entre actores o entre

⁸ Si bien ambos grupos de técnicas (detección de comunidades y de modelos de bloques) pueden clasificarse como *técnicas de agrupamiento (clustering)*, tienen importantes diferencias en cuanto a cómo se construyen los grupos. En el primero, como comunidades diferenciadas e internamente cohesivas, en el segundo, como unidades que comparten una forma similar de vincularse con las restantes unidades de la red (los grupos resultantes no necesariamente están densamente conectados, incluso, pueden pertenecer a fragmentos de la red desconectados entre sí). Puede consultarse una discusión reciente en Rossi et al. (2020).

los territorios mismos. Así, el análisis de redes pone a disposición de los estudios territoriales un amplio conjunto de herramientas para describir, representar, analizar y modelizar los sistemas socioterritoriales más diversos.

Se brinda una introducción de los elementos fundamentales, necesarios para poder realizar análisis de información relacional. Además, en el trabajo se destaca la importancia de la noción de *camino*, en referencia a cómo fluyen los contenidos a través de las relaciones. Sin embargo, no todos los procesos sociales tienen las mismas características en cuanto a los flujos. Una estructura de relaciones comerciales entre empresas puede vincular productores de materias primas, empresas de transformación industrial y empresas de comercialización. Sin embargo, se debe tener precaución en cómo se interpretan los flujos en dicha red ya que los flujos de las ventas tienen un sentido unidireccional. Además, no todos los actores pueden tener vínculos directos, por ejemplo, las industrias no pueden vender a los productores de materias primas.

Entonces, aspectos como la dirección de los vínculos, su ponderación, los diferentes contenidos relacionales que asumen, si las unidades en cuestión pueden vincularse entre ellas o si, por el contrario, hay algunas que solo pueden vincularse con otras, son cuestiones metodológicas de enorme relevancia. La representación de los datos relacionales debe captar estos aspectos, de modo que la formalización dé cuenta del fenómeno estudiado correctamente.

El artículo destaca la necesidad de la comprensión sobre los fenómenos estudiados y sus límites para aplicar el ARS de forma acertada. La aplicación de técnicas de análisis sin un conocimiento profundo del sistema estudiado puede dar lugar a errores en la operacionalización de la red, en la delimitación de los actores y los vínculos y/o a interpretaciones sesgadas. De este modo, las distintas opciones metodológicas revisadas en el trabajo no deben interpretarse como cuestiones estandarizadas de aplicación automática, sino que deben leerse a la luz de aspectos sustantivos de las preguntas formuladas por los investigadores.

En este sentido, el artículo brinda los elementos fundamentales para poder realizar análisis de redes aplicados a los procesos socioterritoriales. Así, el trabajo pretende introducir los cimientos para análisis posteriores de los más diversos datos territoriales.

Referencias bibliográficas

Alves, L., Mangioni, G., Cingolani, I., Rodrigues, F., Panzarasa, P., y Moreno, Y. (2019). The nested structural organization of the worldwide trade multi-layer network, *Nature*, 9(2866). <https://doi.org/10.1038/s41598-019-39340-w>

Alves, L., Mangioni, G., Cingolani, I., Rodrigues, F., Panzarasa, P., y Moreno, Y. (2021). The rise and fall of countries in the global value chains, *arXiv preprint* <https://doi.org/10.48550/arXiv.2112.05870>

Barnes, J. y Harary, F. (1983). Graph theory in network analysis, *Social Network*, 5(2), 235-244. [https://doi.org/10.1016/0378-8733\(83\)90026-6](https://doi.org/10.1016/0378-8733(83)90026-6)

- Bojanowski, M. y Corten, R. (2014). Measuring segregation in social networks, *Social Networks*, 39, 14–32. <http://dx.doi.org/10.1016/j.socnet.2014.04.001>
- Borgatti, S. (2005). Centrality and network flow, *Social Networks*, 27(1), 55–71. <https://doi.org/10.1016/j.socnet.2004.11.008>
- Borgatti, S., Brass, D. y Halgin, D. (2014). Social Network Research: Confusions, Criticisms and Controversies. In L. Brass, H. Mehra y S. Borgatti (Eds.), *Research in the Sociology of Organizations* (Vol. 40, pp. 1-29). Emerald Group Publishing Limited. [https://doi.org/10.1108/S0733-558X\(2014\)0000040001](https://doi.org/10.1108/S0733-558X(2014)0000040001)
- Broekel, T., y Hartog, M.(2011). Explaining the Structure of Inter-organizational Networks using Exponential Random Graph Models: Does Proximity Matter, *Industry and innovation*, 20(3). <https://doi.org/10.1080/13662716.2013.791126>
- Cranmer, S. y Desmarais, B. (2016). A Critique of Dyadic Design, *International Studies Quarterly*, 60 (2), 355–362, <https://doi.org/10.1093/isq/sqw007>
- Crossley, N. (2016). Social Networks and Relational Sociology. In *Handbook of Contemporary Sociological Theory*, (pp. 167-183). Springer, Cham. <https://doi.org/10.1007/978-3-319-32250-6>.
- Csárdi, G., Nepusz, T. y Airoldi, Ed. (2016). *Statistical network analysis with igraph*, Berlin: Springer. <https://www.uni-due.de/hummell/sna/igraph/docs/.BookDraft-CsardiNepuszAiroldi2016.pdf>
- Dempwolf, C., Lyles, L. (2012). The Uses of Social Network Analysis in Planning: A Review of the Literature, *Journal of Planning Literature*, 27(1), 3-21. <https://doi.org/10.1177/0885412211411092>
- Euler, L. (1741). Solutio problematis ad geometriam situs pertinentis, *Euler Archive - All Works by Eneström Numbers*, 53. <https://scholarlycommons.pacific.edu/euler-works/53>.
- Goinheix, S. (2015). Intermediarios en una red inter-organizacional: desafíos de la descentralización en un barrio de Montevideo, *Revista Iberoamericana de Estudios Municipales (RIEM)*, 12, 135-162. <https://doi.org/10.32457/riem.vi12.365>
- Goinheix, S. (2022). Integralidad en la implementación de políticas sociales. Análisis de una red inter-organizacional en Uruguay, *Revista Hispana para el Análisis de Redes Sociales (REDES)*, 32(2): 135-157. <http://doi.org/10.5565/rev/redes.951>
- Hadjimichalis, C. (2011). Uneven geographical development and socio-spatial justice and solidarity: European regions after the 2009 financial crisis, *European Urban and Regional Studies*, 18(3), 254-274. <https://doi.org/10.1177/0969776411404873>
- Hidalgo, C., Balland, P.-A., Boschma, R., Delgado, M., Feldman, M., Frenken, K., Glaeser, E., He, C., Kogler, D., Morrison, A., Neffke, F., Rigby, D., Stern, S., Zheng, S. y Zhu, S. (2018). The Principle of Relatedness. En: A. Morales, C. Gershenson, D. Braha, A. Minai e Y. Bar-Yam (Eds.), *Unifying Themes in Complex Systems IX*. ICCS 2018. Springer Proceedings in Complexity. (pp. 451-457). Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-319-96661-8_46

- Hidalgo, C., Klinger, B., Barabási, A.-L. y Hausmann, R. (2007). The product space conditions the development of nations. *Science (New York, N.Y.)*, 317(5837), 482-487. <https://doi.org/10.1126/science.1144581>
- Juhász, S., Broekel, T., y Boschma, R. (2021). Explaining the dynamics of relatedness: The role of co-location and complexity, *Papers in Regional Science*, 100(1): 3-21. <https://doi.org/10.1111/pirs.12567>
- Kilduff, M., y Tsai, W. (2003). *Social Networks and Organizations*. Sage
- Kostoska, O., Mitikj, S., Jovanovski, P. y Kocarev, L. (2020). Core-periphery structure in sectoral international trade networks: A new approach to an old theory, *PLOS ONE*, 15(4). <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0229547>
- Lamosa, J., Tomás, L., Quiles, M., Londe, L., Santos, L. y Macau, E., (2021). Topological indexes and community structure for urban mobility networks: Variations in a business day, *PLOS ONE*, 16(3). <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0248126>
- Laumann, E., Marsden, P. y Prensky, D. (1983). The Boundary Specification Problem in Network Analysis. In R. S. Burt y M. J. Minor (Eds.), *Applied Network Analysis: A Methodological Introduction* (pp. 18-34). Sage.
- Lazega, E. y Snijders, T. (Eds.). (2016). *Multilevel Network Analysis for the Social Sciences. Theory, Methods and Applications*. Springer <https://doi.org/10.1007/978-3-319-24520-1>
- Lecy, J., Mergel, I. y Schmitz, H. P. (2014). Networks in Public Administration: Current scholarship in review, *Public Management Review*, 16 (5), 643-665. <https://doi.org/10.1080/14719037.2012.743577>.
- Lerner, J., Lubbers, M., Molina, J. y Brandes, U. (2014). Social Capital Companion: Capturing Personal Networks as They are Lived, *GRAFO Working Papers*, 3(1), 18-37. <https://doi.org/10.5565/rev/grafowp.11>
- Louail, T., Lenormand, M., Picornell, M., García, O., Herranz, R., Frias-Martinez, E., Ramasco, J. y Barthelemy, M. (2015). Uncovering the spatial structure of mobility networks, *Nature Communications*, 6(6007). <https://doi.org/10.1038/ncomms7007>
- Marin, A. y Wellman, B. (2010). Social Network Analysis: An Introduction. In P. Carrington y J. Scott (Eds.), *Handbook of Social Network Analysis*. Sage. <http://mis.csit.sci.tsu.ac.th/siraya/wp-content/uploads/2015/09/1Social-Network-Analysis-An-Introduction-1.pdf>
- Mewes, L. y Broekel, T. (2020). Technological Complexity and Economic Growth of Regions, *Research Policy*, 51(8). <https://doi.org/10.1016/j.respol.2020.104156>
- Morales, A., Dong, X., Bar-Yam, Y. y Pentland, A. (2019). Segregation and polarization in urban areas, *Royal Society Open Science* 6(10). <http://dx.doi.org/10.1098/rsos.190573>
- Pažitka, V. y Wójcik, D. (2021). The network boundary specification problem in the global and world city research: investigation of the reliability of empirical results

from sampled networks, *Journal of Geographical Systems*, 23, 97–114.
<https://doi.org/10.1007/s10109-020-00340-4>

Perry, M. (2012). *Controversies in Local Economic Development. Stories, strategies, Solutions*. Routledge.

Pietrobelli, C. (2004). Upgrading and technological regimes in industrial clusters in Italy and Taiwan, en C. Pietrobelli y A. Sverrisson (Eds.), *Linking Local and Global Economies: The Ties that Bind*. Routledge.
<https://doi.org/10.4324/9780203987377>

Pons, P., y Latapy, M. (2005). Computing communities in large networks using random walks. *International Symposium on Computer and Information Sciences*, 284–293. Springer. https://doi.org/10.1007/11569596_31

Provan, K., Fish, A. y Sydow, J. (2007). Interorganizational Networks at the Network Level: A Review of the Empirical Literature on Whole Networks, *Journal of Management*, 33(3), 479–516. <https://doi.org/10.1177/0149206307302554>

Rossi, R., Jin, D., Kim, S., Ahmed, N., Koutra, D. y Lee, J. (2020). On Proximity and Structural Role-based Embeddings in Networks: Misconceptions, Techniques, and Applications, *ACM Transactions on Knowledge Discovery from Data*, 14(5): 63, 1-36.
<https://doi.org/10.1145/3397191>

Rosvall, M. y Bergstrom, C. (2008). Maps of information flow reveal community structure in complex networks, *PNAS*, 105(4): 1118-1123.
<http://dx.doi.org/10.1073/pnas.0706851105>

Tóth, G., Wachs, J., Di Clemente, R., Jakobi, Á., Ságvári, B., Kertész, J. y Lengyel, B. (2021). Inequality is rising where social network segregation interacts with urban topology, *Nature Communications*, 12. <https://doi.org/10.1038/s41467-021-21465-0>

Wang, P., Robins, G., Pattison, P. y Lazega, E. (2013). Exponential random graph models for multilevel networks, *Social Networks* 35(1), 96–115.
<http://dx.doi.org/10.1016/j.socnet.2013.01.004>

Xu, Y., Belyi, A., Santi, P. y Ratti, C. (2019). Quantifying segregation in an integrated urban physical-social space. *Journal of the Royal Society Interface* 16(160).
<http://dx.doi.org/10.1098/rsif.2019.0536>