

Edgar Acatitla Romero* y Joaquín Urbina Alonso**

El uso de redes complejas en economía: alcances y perspectivas

Resumen | La econometría es la metodología estándar en la economía. Sin embargo, existen fenómenos tales como el desarrollo económico, el cambio tecnológico y su impacto en el crecimiento económico, la estructura industrial, el comportamiento de los mercados, por mencionar algunos, donde, debido a la abundancia de agentes heterogéneos así como a las interacciones dinámicas entre estos, la econometría encuentra sus límites epistemológicos y metodológicos. Por otra parte, existe la creencia generalizada de que la econometría es una metodología para probar teorías en economía en el sentido de Popper. Sin embargo, suele desconocerse entre los economistas la amplia discusión en filosofía de la ciencia acerca de las críticas al método de falsación de Popper, desconociéndose de paso las limitaciones epistémicas de la econometría. Partiendo de este contexto, en el presente artículo se argumenta a favor de la idea de que, ante estas limitaciones de la econometría, la teoría de redes puede ser una alternativa para complementar el análisis y comprensión de fenómenos de la economía.

The use of complex networks in economics: Scope and perspectives

Abstract | Econometrics is the standard methodology in economics. However, there are phenomena such as economic development, technological change and its impact on economic growth, industrial structure, market behavior, among others, due to the abundance of heterogeneous agents as well as dynamic interactions, the econometrics finds its epistemological and methodological limits. On the other hand, there is a widespread belief that econometrics is a methodology for proving economics theories in the Popper sense. However, it is often unknown among economists that Popper criticizes Popper's method of falsification, and the epistemic limitations of econometrics are unknown. In this context, the present article argues in favor of the idea that, given these limitations of econo-

Recibido: 23 de mayo de 2017. Aceptado: 21 de junio de 2017.

* Doctor en estudios sociales, línea de estudios en economía social, UAM-I. Profesor titular en la Facultad de Contaduría y Administración, UNAM y miembro del Comité Académico del Seminario de Complejidad y Economía, CEIICH-UNAM.

** Maestría en dinámica no lineal y sistemas complejos, UACM. Profesor en el Instituto de Enseñanza Medio-Superior de la Ciudad de México y miembro del Comité Académico del Seminario de Complejidad y Economía, CEIICH-UNAM.

Correos-e: eacatitla@yahoo.com | complejidadyeconomia@gmail.com

metrics, the theory of networks can be an alternative to complement the analysis and understanding of economic phenomena.

Palabras clave | econometría, redes complejas, epistemología, metodología, falsación

Key Words | econometrics, complex networks, epistemology, methodology, falsification

Introducción

El propósito del presente artículo es mostrar algunas ventajas que tiene el uso de la teoría de redes en el estudio de fenómenos de la economía que se caracterizan por las interacciones dinámicas entre sus componentes, tales como el desarrollo económico, la innovación tecnológica y el comportamiento de los mercados. Ante el comportamiento de estos fenómenos, la econometría encuentra sus límites epistemológicos y metodológicos. En primer lugar, existe la creencia generalizada de que la econometría es una metodología para probar teorías en economía en el sentido de Popper. Sin embargo, suele desconocerse la amplia discusión en filosofía de la ciencia acerca de las críticas al método de falsación de Popper, desconociéndose también las limitaciones epistémicas de la econometría. En segundo lugar, no se ha reflexionado mucho acerca de sus limitaciones metodológicas. Partiendo de este contexto, argumentamos a favor de la idea de que, ante las limitaciones epistemológicas y metodológicas de la econometría, la teoría de redes puede ser una alternativa para complementar el análisis y comprensión de fenómenos de la economía con características como los mencionados. Cabe señalar, que los estudios económicos basados en redes son cada vez más y se ha logrado caracterizar el tipo de redes presentes en la economía: *mundo pequeño*, *centro-periferia* y *libres de escala*.

Así, el presente artículo incluye, aparte de la presente introducción, dos apartados: en el primero, se exponen algunas limitaciones epistemológicas y metodológicas de la econometría; y, en el segundo, se caracteriza la metodología de redes y se presentan algunas aplicaciones a la economía para mostrar su potencial en el estudio de fenómenos económicos; por último, se plantean algunas conclusiones.

La metodología estándar en economía: alcances y limitaciones

En general se reconoce, entre los miembros de las comunidades científicas y en filosofía de la ciencia, que la distinción central entre el conocimiento científico y cualquier otra forma de conocimiento (por ejemplo, el que procede de la religión o el arte) es el uso del *método científico*. No obstante, en cada una de las fases por

las que atraviesa la investigación en una disciplina, desde la construcción de una teoría hasta los intentos por contrastarla con la evidencia empírica, así como los caminos de ida y vuelta entre ambas, implica el uso de distintos métodos. Particularmente, en cada disciplina se proponen y elaboran distintos métodos específicos para llevar a cabo este propósito (Bunge 2004).

Ahora bien, hoy en día en economía, es un reconocimiento común considerar a la econometría como la metodología adecuada para someter a prueba las distintas teorías económicas. Así, en algunos textos de econometría, esta se define como: "...una amalgama de teoría económica, economía matemática, estadística económica y estadística matemática" (Gujarati y Porter 2009, 2) o como "...el desarrollo de métodos estadísticos que se utilizan para estimar relaciones económicas, probar teorías económicas y evaluar e implementar políticas públicas y de negocios" (Wooldridge 2010, 1). Ambas definiciones son, de alguna forma, complementarias. La primera hace referencia a las distintas áreas que componen la econometría y, simultáneamente, la define como una disciplina independiente de dichas áreas; la segunda hace referencia al objeto de estudio de la econometría, el cual no se reduce solo a probar teorías económicas sino también a la evaluación e implementación de políticas, tanto públicas como privadas.

Ahora bien, sin omitir la importancia reconocida de la econometría, se requiere acotar sus alcances y límites tanto epistémicos como prácticos, no solo por las críticas que ha recibido en distintos momentos sino también por el uso consciente de estos métodos. En primer lugar ¿qué se entiende por "probar teorías"? Este término se acuñó en el siglo xx en el área de filosofía de la ciencia y bajo el contexto de las discusiones entre los empiristas lógicos y sus críticos. Ante las deficiencias del *principio de verificación* del empirismo lógico (Popper 1980), resalta el método de falsación de Karl Popper. El método consiste *grosso modo* en lo siguiente: toda teoría científica debe someterse a una estricta revisión tanto teórica como empírica. En sentido teórico, se evalúa su estructura lógica y el progreso respecto de otras teorías. En sentido empírico, las teorías se contrastan con los datos empíricos a través de hipótesis particulares que se deducen de ellas. De esta forma, si las hipótesis particulares son falseadas, es decir, hay evidencia empírica que las contradice, entonces la teoría en su conjunto es falsa y debe ser desechada (Popper 1980). Se trata de un procedimiento deductivo.

La pertinencia del método de falsación se ha discutido ampliamente en el ámbito de la filosofía de la ciencia y, como señala Deborah Redman (1995), existen motivos por los cuales resulta un fracaso. Así, se pueden destacar los siguientes: i) las teorías científicas no se componen solo de enunciados aislados sino de entramados de supuestos, por lo que no es posible identificar aquél supuesto que "causa" dificultades en alguna teoría. Por este motivo, las teorías no pueden ser falseadas en forma definitiva; ii) una teoría es "confiable" si ha pasa-

do por muchas pruebas. Pero este razonamiento es inductivo, lo que contradice la propuesta de razonamiento deductivo de Popper; iii) la historia de la ciencia muestra que en el proceso de construcción de una teoría, esta no se rechaza si se contradice con los datos. La historia de la ciencia contradice la propuesta de Popper; iv) en la propuesta de Popper, se sobrestima la disposición que tienen los científicos para revisar y criticar sus propias teorías y, por último, v) no son confiables los enunciados de percepción (Redman 1995). Cabe señalar, que estas críticas al método de Popper incluyen su aplicación tanto en las ciencias naturales como en las sociales: “Así, también ancló su filosofía de las ciencias sociales en la falsación y redujo las teorías sociales a enunciados universales” (Redman 1995, 127).

Cabe recordar que la economía era para Popper su ciencia social predilecta y pensaba que era posible hablar de “leyes” en el mismo sentido que en física. Por este motivo, sugirió a los economistas utilizar su método de falsación para probar teorías (Redman 1995). De esta forma, los economistas desarrollaron métodos estadísticos bajo la notable influencia del método de Popper, es decir, bajo la idea de que: “...la evidencia empírica es el árbitro *absoluto* de la verdad en economía” (Redman 1995, 131). Así, los pioneros de la econometría, autores como Jacob Marschak, Jan Tinbergen y, posteriormente, Tjalling Koopmans, iniciaron el desarrollo de este método bajo la influencia de Popper (Redman 1995). Sin embargo, las críticas a la econometría llegaron relativamente pronto. Autores como Leamer (1983) y Hendry (1988) dirigieron sus críticas a la econometría en el sentido de que sus métodos no bastan para contrastar empíricamente las teorías económicas y decidir cuál se aproxima más a la verdad. Sin embargo, este desencanto por la econometría, como un método adecuado para contrastar teorías con la “evidencia” empírica en el sentido de Popper que, por cierto, reconocieron los pioneros de la econometría, parece no haber afectado a las siguientes generaciones, las cuales, han asumido esta creencia bajo el desconocimiento de este contexto (Redman 1995). Por otra parte, es cierto que estas críticas motivaron a estadísticos y econometristas a mejorar las técnicas que garanticen la obtención de correlaciones no espurias, así como a desarrollar pruebas para identificar causalidad estadística entre variables.

A pesar de la imposibilidad de probar teorías económicas en el sentido de Popper, la econometría continúa siendo la forma estándar reconocida en el mundo de la economía para acercarse a los datos en forma sistemática y buscar cierta conexión con alguna hipótesis teórica. Esto es un indicio de que la idea errónea de que la econometría es un método para probar teorías ha quedado impregnada entre los economistas. Sin embargo, cabe rescatar el intento de vincular la teoría con los datos, lo cual, no es tarea fácil, pues se requiere no solo del conocimiento especializado de técnicas estadísticas y de probabilidad sino,

también, de una amplia experiencia y cierta habilidad. En este sentido, la econometría ha contribuido al análisis y comprensión de los fenómenos económicos. Por estos motivos, quizás, la econometría constituye una subárea especializada dentro de la economía y guarda independencia respecto de otras subáreas tales como la economía matemática.

A esta crítica de carácter epistemológico, se pueden agregar otras observaciones en sentido metodológico. Si bien es cierto que los tipos de modelos econométricos se han ampliado a partir de las críticas a los supuestos de los modelos bajo el enfoque tradicional, es decir, aquellos que se apegaban estrictamente a los supuestos de mínimos cuadrados ordinarios (MCO), la perspectiva de análisis del comportamiento de los datos sigue siendo estática. Por ejemplo, la gama de modelos econométricos que abordan el análisis del comportamiento no lineal de los datos han superado el supuesto de normalidad característico en el enfoque tradicional de MCO, pero el análisis continúa siendo estático, es decir, como una fotografía de un fenómeno económico en un momento del tiempo. La econometría se vuelve una limitación cuando se busca comprender fenómenos de la economía, que pueden resultar de las interacciones dinámicas de sus componentes. Por ejemplo, el desarrollo económico, los craks financieros, la innovación tecnológica, por mencionar algunos. En estos casos, los economistas suelen buscar otras técnicas que complementen sus análisis econométricos y que puedan dar luz a la comprensión de los fenómenos estudiados. Una de estas técnicas es la teoría de redes. A continuación, se ofrece un panorama de la teoría de redes y algunas de sus aplicaciones en economía con el propósito de ofrecer una alternativa metodológica que sea complementaria al análisis econométrico y que permita comprender mejor la naturaleza de los fenómenos de la economía.

Redes complejas y economía

Antecedentes

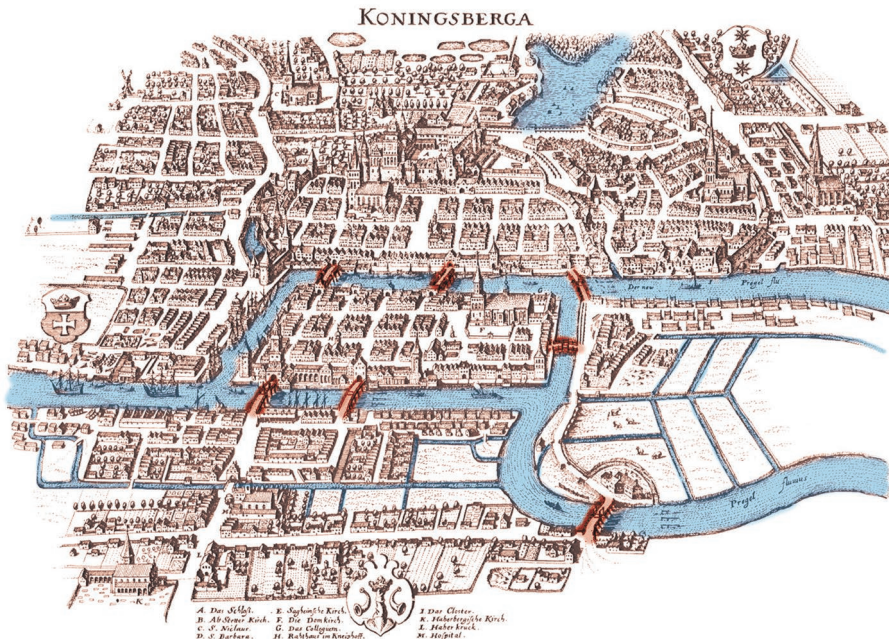
La teoría de redes constituye una perspectiva y una metodología. Pone énfasis en el estudio de las formas en cómo se hallan conectados los componentes de un sistema. De acuerdo con esta perspectiva, las redes están presentes en todos los aspectos de nuestra vida (Solé), por ejemplo, el mundo tecnológico que nos rodea está lleno de redes. Las redes de comunicación formadas por los teléfonos celulares, las redes de energía eléctrica, las redes de computadoras, las redes sociales y, en particular, la world wide web (www), son parte importante de nuestra vida cotidiana. La sociedad también está interconectada en forma de red. La red de amistades entre individuos, las relaciones de trabajo y la red de relacio-

nes de negocios entre personas y empresas son ejemplos de redes socioeconómicas. Ciudades y países están conectados por redes de carreteras y aerolíneas, entre otras. En fin, la sociedad y en particular el mundo de la economía se caracterizan por la abundancia de redes.

Como una metodología, la teoría de redes tiene como propósito describir las propiedades matemáticas de las redes, para lo cual, ha desarrollado la teoría de grafos. Los grafos son modelos que representan las propiedades topológicas esenciales de una red mediante una descripción en términos de conjuntos de nodos y aristas. Por ejemplo, en la red de computadoras conocida como Internet, las computadoras pueden ser representadas por nodos y los cables que las conectan se representan mediante aristas. Este es un simple pero poderoso concepto que, gracias a su sencillez, puede ayudarnos a explicar propiedades de diferentes sistemas como los mencionados anteriormente.

Los inicios de la teoría de grafos se remontan al siglo XVII con los trabajos del gran matemático y físico suizo Leonhard Euler (1707–1783), conocido como el padre de esta teoría y de otros campos de la matemática. La teoría de grafos inició con el estudio del famoso problema de los puentes de Königsberg. El problema consistía en la posibilidad de cruzar una sola vez los siete puentes que conectan las distintas partes de esta ciudad, tal como se observa en la figura 1.

Figura 1. Los puentes de Königsberg.



Euler pensó que el único factor importante en este problema es la estructura topológica de la red y, por lo tanto, que el problema podía simplificarse en un problema de recorrido en un grafo (gráfica) que contiene nodos (partes de la ciudad) y enlaces (los puentes). Así, la solución del problema implica que todo nodo en la gráfica, excepto posiblemente el primero y el último visitado, deben estar conectados con un número par de puentes (considerando que se entra y sale el mismo número de veces). En Königsberg más de dos nodos tienen un número impar de enlaces y, por lo tanto, los puentes no pueden ser atravesados por tal trayectoria (conocida como *camino euleriano*).

Este simple, pero poderoso argumento, muestra el alcance de la teoría de grafos, permitiéndonos deducir propiedades de sistemas del mundo real usando la simplificación con el propósito de construir un modelo muy básico. En la vida real, los grafos requeridos para comprender fenómenos, como los mencionados al inicio del presente apartado, son más difíciles de analizar porque cambian con el tiempo. Por ejemplo, las relaciones sociales se crean y se rompen, las redes tecnológicas cambian diariamente por la adición de nuevos nodos y nuevos enlaces y las redes biológicas cambian a través de procesos evolutivos y ambientales.

En los años sesenta del siglo veinte, Paul Erdős (1913–1996) y Alfred Rényi (1921–1970) introdujeron un nuevo concepto que ha permitido el estudio de tales redes: la teoría de grafos aleatorios.¹ Su aportación fue combinar los conceptos de teoría de grafos con herramientas de la teoría de probabilidad y considerar familias de grafos en lugar de grafos específicos. La teoría de grafos aleatorios es a la teoría de grafos lo que la mecánica estadística es a la física newtoniana. Es decir, a nivel microscópico subyace la conducta en pequeña escala, pero cuando se considera el comportamiento a un nivel mayor, emergen nuevas conductas y conceptos estadísticos.

Ahora bien, considerando que la física estadística estudia sistemas donde interactúan un gran número de átomos y moléculas, es natural suponer que sus métodos son útiles en el estudio de redes. En efecto, conceptos tales como los de *percolación*, *escalamiento*, *parámetros de orden*, *renormalización*, *autosimilaridad* y *transición de fase*, provienen de la física estadística y están presentes en el campo de los grafos aleatorios y se emplean para estudiar estas redes.

A finales del siglo veinte, con la llegada de las computadoras, la disponibilidad de grandes cantidades de datos y las herramientas para analizarlos, quedó claro que la teoría clásica de redes aleatorias falla en la descripción de muchos fenómenos del mundo real. Con los trabajos de Barabasi y Albert (1999) sobre

¹ Consultar: P. Erdős y A. Rényi (1959). *On random graphs*. Publications Mathematica.

Internet² y de M. Faloutsos *et al.* (1999)³ sobre la red de *routers* en Internet se estableció que la distribución de enlaces de estas redes y otras muchas no son completamente aleatorias y no pueden ser descritas por grafos con el modelo Erdős–Renyi. Este y otros hallazgos han dado paso a una nueva forma de teoría de grafos que toma en cuenta correlaciones menos triviales que se han encontrado en las redes del mundo real. Estos resultados explican, por ejemplo, por qué los virus y los gusanos son capaces de sobrevivir en Internet por largos periodos de tiempo.

Cuadro 1. Conceptos básicos sobre redes.

Término	Formulación matemática	Descripción
Grafo (Red)	$G(V, E)$	Conjunto de vértices (nodos) y enlaces (aristas) que conectan esos nodos.
Vértice (nodo, actor)	$v \in V$	Cada una de las partes (actores) que integran la red.
Arista (enlace)	$e \in E : E \subseteq V \times V$	Cada relación (conexión) que se establece entre los vértices (nodos).
Vértices vecinos	$\exists e : e(u, v) \in E \Leftrightarrow \forall u, v \in V g_{u,v} \in \{0, 1\} \wedge g_{u,v} = 1$	El <i>nodo</i> <i>u</i> se llama <i>vecino</i> del <i>nodo</i> <i>v</i> si y sólo si existe una arista <i>e</i> que los conecte.
Caminata (<i>w</i>)	$w = (v_1, e_1, v_2, e_2, \dots, v_{n-1}, e_{n-1}, v_n) : \forall i, n \{v_i, v_{i+1}\} = e_i$	Una lista de vértices y aristas conectados secuencialmente y que forman una ruta continua en una red.
Sendero (<i>t</i>)	$t = (v_1, e_1, v_2, e_2, \dots, v_{n-1}, e_{n-1}, v_n) : \forall i, j, n \{v_i, v_{i+1}\} = e_i \wedge e_i \neq e_j$	Caso particular de una caminata donde todas las aristas son distintas (no se recorren más de una vez).
Camino (<i>p</i>)	$p = (v_1, e_1, v_2, e_2, \dots, v_{n-1}, e_{n-1}, v_n) : \forall i, j, n \{v_i, v_{i+1}\} = e_i \wedge v_i \neq v_j$	Caso particular de una caminata donde los vértices no se recorren más de una vez (todos son distintos).
Ciclo	$c = (v_1, e_1, v_2, e_2, \dots, v_{n-1}, e_{n-1}, v_n) : \forall i, j, n \{v_i, v_{i+1}\} = e_i \wedge \forall 2 k, n-1 v_k \neq v_j \wedge v_1 = v_n$	Caso particular de una caminata que inicia y termina en el mismo nodo visitando los demás nodos una vez.
Distancia	$d(u, v) = \min \left\{ \sum_{p_i \in P} e(u, v) \right\}$	Longitud del camino más corto entre dos vértices de la red. Cuando no hay conexión entre dos vértices la distancia se considera ∞ .
Diámetro	$diam(G) = \max \{d(u, v) \forall u, v \in V\}$	Es la mayor distancia de todas entre los caminos que llegan de un vértice a otro en la Red.

Fuente: Elaboración propia con base en Gräbner *et al.* (2017) y Samaya (2015).

2 Consultar: A. L. Barabási y R. Albert (1999). “Emergence of scaling in random networks”. *Science*, 286: 509-512

3 Consultar: M. Faloutsos, P. Faloutsos y C. Faloutsos (1999). “On power-law relationship of the internet topology”. *Computer Communication Review*, 29: 251.

Los conceptos enlistados pueden visualizarse con sus respectivos grafos en dos dimensiones. Aunque para algunos casos resulta adecuada esta representación, se consideran otros conceptos para el estudio de redes con una gran cantidad de nodos. En el cuadro 2 se presentan algunos de estos conceptos adicionales.

Una vez revisados los conceptos básicos y adicionales sobre redes, en el siguiente apartado se hará un breve recorrido del uso de la teoría de redes en economía.

Uso de redes en economía

De acuerdo con Gräbner *et al.* (2017) la teoría de redes entró a la economía mediante el estudio de las interacciones no lineales de conceptos agregados tales como las industrias en cadenas de suministro. Este enfoque pronto se conjuntó con otros enfoques de la literatura científica que investigaban el papel de las redes sociales en la economía, así como de las distintas estructuras a nivel micro sobre las interacciones económicas entre empresas y agentes de todo tipo. En efecto, como se mencionó al final del primer apartado, el estudio de algunos fenómenos específicos de la economía que se caracterizan por las interacciones entre los agentes y su dinámica a través del tiempo han requerido del uso de

Cuadro 2. Conceptos adicionales sobre redes.

Término	Formulación matemática	Descripción
Matriz de adyacencia	$\forall m \in \{M_{n,n} : N \times N \rightarrow \{0, 1\}\} \wedge G(V, E) \exists m$ $: \forall 1 \leq i, j \leq n, n \in N \quad a_{ij} \in m \subseteq V \times V \subset M_{n,n}$ $a_{ij} \left\{ \begin{array}{l} 0, \text{ si } i = j \\ 1, \text{ si } v_i \text{ está conectado con } v_j \text{ en } G \end{array} \right\}$	Una matriz cuyos renglones y columnas son los nodos de la red, además, el <i>i</i> -ésimo renglón con la <i>j</i> -ésima columna forman la entrada <i>a_{ij}</i> y su valor es 1 si el nodo <i>i</i> es vecino del <i>j</i> , o cero en caso contrario.
Lista de adyacencia	$\forall m \in \{M_{n,n} : N \times N \rightarrow \{0, 1\}\} \exists \hat{m} \wedge G(V, E)$ $: \forall 1 \leq i, j \leq n, n \in N \quad b_{ij} \subseteq a_{ij} \in \hat{m} \subseteq V \times V \subset M_{n,n}$ $b_{ij} = \{i\} \times \{v_j, \text{ si } v_i \text{ está conectado con } v_j \text{ en } G\}$	Una tabla cuyos renglones son el listado de vecinos adyacentes al nodo <i>i</i> .
Grado de un vértice	$\delta(v_i) = \sum_{j=1, n} e_{ij}$	La suma de las aristas conectadas al vértice <i>v</i> .
Clustering	$C(i) = \frac{\# \text{ Triángulos}}{\# \text{ Triadas}}$	Un triángulo es un conjunto de tres vértices diferentes conectados entre ellos. Una triada es un conjunto de dos vértices que comparten una arista en común.

Fuente: Elaboración propia con base en Gräbner *et al.* (2017) y Samaya (2015).

otros métodos de análisis distintos a la econometría. Así, en el contexto de las teorías del desarrollo, destaca el análisis estructural de la economía basado en la información que proporcionan las matrices de insumo-producto. El análisis estructural basado en esta metodología, pone énfasis en las relaciones intersectoriales y cómo éstas cambian a través del tiempo en una industria, país, región o conjunto de países. Por ejemplo, el pensamiento cepalino en América Latina se ha caracterizado, desde su fundación en 1949, por su enfoque estructural y dinámico de la economía para analizar las causas del rezago económico de los países de la región. Su principal instrumento de análisis ha sido insumo-producto, pero recientemente, sus investigaciones tienden a usar la metodología de redes. Por otro lado, el uso de la teoría de redes tiende a aumentar en los estudios sobre cambio tecnológico en el marco, principalmente, de la teoría evolucionista. La configuración y funcionamiento de los sistemas tecnológicos, sistemas nacionales de innovación y sistemas internacionales de innovación tienden a estudiarse con la metodología de redes para describir la estructura de las relaciones entre los agentes, organizaciones e instituciones que participan en los procesos de innovación y, al parecer, la tendencia seguirá aumentando los próximos años.

No obstante que algunas teorías no toman en cuenta el enfoque metodológico de la teoría de redes, no significa que sus modelos no estuvieran sujetos a las propiedades de las redes subyacentes implícitas a ellos. La teoría del equilibrio general, por ejemplo, emplea las redes estrella (las que tienen un hipotético subastador en el centro) o las gráficas completas (que suponen una completa homogeneidad en un hipotético mercado global sin costos de transacción u otro obstáculo). Esto muestra el potencial de la teoría de redes y su posible utilización en la economía. En el siguiente apartado, se describen algunas características de la estructura y dinámica de las redes en economía.

Estructura y dinámica de redes en sistemas económicos

Gräbner *et al.* (2017) ponen énfasis en las siguientes características de las redes económicas:

- i) diámetro de la red;
- ii) grado de distribución de la red;
- iii) grado de *clustering* (qué tan densamente conectados están los nodos de la red).

Para consultar un resumen de los detalles técnicos se pueden consultar los cuadros de conceptos, y para una explicación más detallada se puede consultar Samaya (2015).

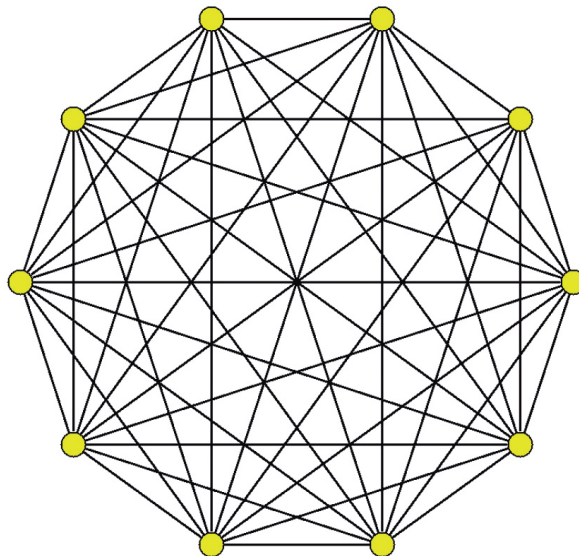
Una característica que distingue a las redes “sociales” de las que no lo son es su alta densidad de conexión (*clustering*) (figura 2). La interpretación de este parámetro dependerá de la definición de las aristas de la red; en una red de innovación, por ejemplo, una arista conecta a dos empresas que tienen colaboración científica cercana sin importar su distancia geográfica. Hay entonces una interpretación funcional para los arreglos de nodos (*clusters*).

Propiedad de mundo pequeño

Las redes “sociales” no solamente están altamente conectadas, también se caracterizan por una baja distancia promedio entre nodos. A las redes con altos coeficientes de conexión (*clustering*) y pequeño diámetro se les conoce como *redes de mundo pequeño*.

Flemming (2007) se refiere a estas redes de mundo pequeño en el contexto económico. En su artículo investiga los efectos de la colaboración en una red de innovación. Adicionalmente, investiga el desarrollo y explotación de una novedosa base de datos sobre patentes de coautores usando modelos estadísticos. Con su estudio concluye: 1) que la existencia de estructuras regionales del tipo mundo–pequeño mejora la productividad innovadora dentro de sectores geográficos, y, 2) las distancias más cortas entre nodos y la mayor conectividad entre los componentes se correlaciona con la innovación.

Figura 2. Red altamente conectada.



Fuente: Elaboración propia.

Escalamiento y colas

Otra sorprendente propiedad de las redes del mundo real es que el grado de distribución es altamente asimétrico comparado con el número de vecinos. En este caso, la distribución resultante se conoce como “libre de escala” y se le llama así porque la forma de esta permanece invariante bajo cualquier escala de agregación que se tome.

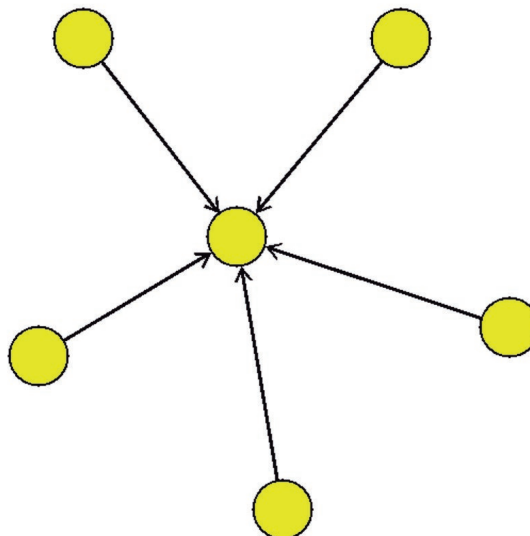
Sobre este tema, el trabajo de Barabási (1999) contiene un resultado muy importante, muestra como una propiedad de las grandes redes complejas el que la conectividad de los vértices sigue una distribución en forma libre de escala. Encuentra que: i) las redes se expanden continuamente mediante la adición de nuevos vértices, y, ii) el desarrollo de grandes redes es gobernado por fenómenos de autorganización robustos.

Estructuras tipo centro–periferia

Muchas redes relevantes, como las redes de préstamos bancarios y las de comercio entre países pueden caracterizarse como redes tipo centro–periferia.

La idea central es que esta red se encuentra formada por un centro “denso y cohesivo” (grupo de nodos) y, finalmente, por una “dispersa y desconectada” periferia de nodos. De aquí se tiene que el centro lo ocupan los nodos dominantes, en contraste con la periferia integrada por nodos subordinados (figura 3).

Figura 3. Red centro–periferia.



Fuente: Elaboración propia.

Barabási (2007) caracterizó la adopción de nuevos productos bajo esta estructura empleando métodos empíricos, el principal resultado es que los productos más sofisticados están en un “centro” altamente conectado y denso, mientras que los productos menos sofisticados están en una periferia menos conectada.

Este breve recorrido sobre el uso de la metodología de redes muestra su potencial como un enfoque y herramienta de análisis empírico que puede complementar los análisis econométricos y mejorar la comprensión de los fenómenos económicos.

Conclusión

Si bien entre los economistas se reconoce a la econometría como la metodología estándar para probar las distintas teorías de la economía (en el sentido de Popper) y en la toma de decisiones de políticas públicas y privadas se desconoce, en general, la amplia discusión en filosofía de la ciencia acerca del método de falsación propuesto por Popper y, en consecuencia, se desconocen también los alcances y límites epistémicos de la econometría: no es una metodología para probar teorías en el sentido de Popper, ya que la propuesta de Popper no es consistente con la naturaleza de las teorías científicas, ni con la evidencia que muestra la historia de la ciencia. La econometría no es una metodología para probar teorías en el sentido de Popper. Sin embargo, es una metodología útil para acercarse al conocimiento empírico de los fenómenos de la economía y para intentar conectar el comportamiento de los datos con alguna hipótesis derivada de alguna teoría. En este sentido, resulta útil en el camino de ida y vuelta entre las teorías y la evidencia empírica. Además, no obstante los indudables avances de las técnicas econométricas para el análisis de los datos, este se inscribe dentro de una perspectiva estática y no logra captar las interacciones dinámicas que caracterizan una gran cantidad de sistemas que funcionan en la economía, tales como los fenómenos de desarrollo económico, innovación tecnológica, sistemas financieros, entre otros.

Ante estas deficiencias, se observa una tendencia creciente en el uso de otras metodologías que puedan complementar los análisis econométricos. Una de estas metodologías es la teoría de redes. Así, en el presente artículo, se caracterizó la metodología de redes a través de algunos conceptos básicos y se presentaron algunos ejemplos de su uso en la economía. Redes de mundo pequeño, centro–periferia y redes libres de escala son algunos ejemplos del tipo de redes presentes en los fenómenos de la economía y esta metodología puede resultar muy útil en el estudio del comportamiento de estos fenómenos y complementar los análisis econométricos. ■

Referencias

- Arthur, B. «Competing technologies, increasing returns and lock in by historical events.» *Economic Journal*, 99(394), 1989, 116-31.
- Barabási, A. «Emergence of scaling in random networks.» *Science*, 286(5439), 1999, 509-12.
- . «The product space conditions the development of nations.» *Science*, 17(5837), 2007, 482-87.
- y R. Albert. «Emergence of scaling in random networks.» *Science*, 286, 1999.
- Bunge, M. *La investigación científica*. México: Siglo XXI Editores, 2004.
- Erdős, P. y A. Rényi. *On random graphs*. Publications Mathematica, 1959.
- Faltousos, M. P. Faltousos y C. Faltousos. «On power-law relationship of Internet topology.» *Computer Communication Review*, 29, 1999, 251.
- Flemming, L. «Small worlds and regional innovation.» *Organization Science*, 18(6), 2007, 938-54.
- Gräbner, C., Torsten, H. y Muhamed, K. «Network theory and social economics — a promising conjunction?» MPRA Paper, 20 de enero, 2017. <https://mpra.ub.unimuenchen.de/76423/>.
- Gujarati, D. y Porter, D. *Econometría*. México: McGraw Hill, 2009.
- Popper, K. (1980). *La lógica de la investigación científica*. Madrid: Técnos, 1980.
- Redman, D. «La teoría de la ciencia de Karl Popper y la econometría.» *Cuadernos de Economía*, 23, semestre II, 1995, 117-149.
- Samaya, H. *Introduction to the modeling and analysis of complex systems*. Open SUNY Textbooks, Milne Library. State University of New York at Geneseo, 2015.
- Wooldridge, J. *Introducción a la econometría. Un enfoque moderno*, 4a ed. CENGAGE Learning, 2010.