



UNIVERSIDAD DEL ROSARIO

La gran recesión analizada desde las principales
medidas de las redes financieras

Presentado por:

Paula Andrea Ortiz Muñoz

Director de tesis:

Cagatay Kayi

Presentado a:

Facultad de

Economía

Bogotá, Colombia

Noviembre de 2019

La gran recesión analizada desde las principales medidas de las redes financieras

Paula Andrea Ortiz Muñoz

Tesis de pregrado de economía

Asesor: Cagatay Kayi

Resumen

El inicio de la crisis financiera y la coyuntura económica crítica generó un interés cada vez mayor por realizar análisis de las estructuras de red formadas por pasivos interbancarios. De allí, que esta investigación se base en una red de pasivos del sistema bancario. Para esta investigación, en primera instancia se buscó encontrar las causas y el contexto de esta crisis desde las políticas económicas implementadas desde el siglo XX. Después, se presentaron las principales medidas topológicas de redes financieras de diferentes países para entender cómo la estructura de una red financiera permite generar soluciones de política económica a través de medidas de centralidad y distribución de grado.

Palabras claves: Topología de red, Pasivos Interbancarios, Crisis, medidas de centralidad, distribución de grado

Abstract

The beginning of the financial crisis and the critical economic situation generated a growing interest in analyzing the network structures formed by interbank liabilities. Hence, this investigation is focuses on a network of liabilities of the banking system. In the first instance, it was sought to find the causes and context of this crisis from the economic policies implemented since the 20th century. Then, the main topological measures of financial networks from different countries were presented to understand how the structure of a financial network allows generating economic policy solutions through centrality and grade distribution measures.

Keywords: Network Topology, Interbank Liabilities, Crisis, centrality measures., grade distribution

TABLA DE CONTENIDO

1. Introducción	4
2. Redes financieras y gran recesión.....	7
2.1 Breve historia de la teoría de redes.....	7
2.2 La gran recesión analizada desde la teoría de redes.....	12
3. Principales medidas de la red financiera.....	15
3.1. Indicadores de red.....	16
Distribución de grado de la red financiera	17
Medidas de centralidad de la red financiera	17
Centralidad de Bonacich.....	17
Centralidad a través de vectores propios.....	18
Centralidad de Katz	18
4. Análisis de medidas de red.....	19
4.1. Análisis de medidas de red a través de la literatura económica sobre la gran recesión	19
4.2. Ventajas y desventajas del análisis de redes financieras complejas a través de indicadores de red.....	24
5. Conclusión.....	26
6. Bibliografía.....	28

1. Introducción

La caracterización de las redes económicas y financieras está cobrando cada vez más importancia pues con las circunstancias económicas actuales se reveló que había poca comprensión de la relación entre interconexión y estabilidad financiera. Es por eso, que durante la última década ha surgido un gran interés en encontrar los aspectos en los que fallo el sistema financiero para propiciar la gran recesión. Sin duda alguna, el libre mercado y la desregularización que limitaba la intervención del Estado respaldado por el neoliberalismo, fueron factores determinantes para gestionar la crisis del 2007-2008.

Además, la globalización junto a políticas neoliberales aumentaron el carácter pro cíclico de las corrientes de capital de corto plazo en las economías de Asia y América Latina durante la década de 1990. Lo que se vio reflejado en 1997-1998 en Wall Street, cuando algunos mercados emergentes tuvieron reportes negativos debido a los efectos de la crisis del tequila de 1994-95 en México y La caída de Japón en 1990. De esta manera, Krugman (2008) asegura que estas crisis permiten entender la gran recesión dado que fueron situaciones con un excedente de producción y desempleo de recursos.

No obstante, los países desarrollados no se vieron afectados en la década de los 90, por lo que los mercados aumentaron la confianza en la capacidad de las economías para crecer y conservar al mismo tiempo elevados niveles de estabilidad. La combinación de una política monetaria antiinflacionista activa y un fuerte crecimiento del ahorro impulso a que los tipos de interés reales a corto y largo plazo se mantuvieron muy bajos, lo que incentivo a las instituciones financieras a realizar inversiones con niveles de riesgo elevados.

Aquellos eventos, provocaron la aparición de fondos de cobertura dentro del sistema bancario en la sombra (Krugman, 2008). También, la agresiva política monetaria llevada a cabo por la Reserva Federal en los primeros años de esta década por Alan Greenspan y la administración de Reagan contribuyeron a que las instituciones bancarias "en la sombra" crecieran como entidades que operaban prácticamente sin regulación. En este aspecto, la capacidad del gobierno para promover la estabilidad del mercado toma una gran relevancia ya que sin garantías de que haya igualdad de condiciones a través de alguna regulación gubernamental, existe una amenaza constante de crisis.

Sólo en Estados Unidos, el Gobierno Federal ha formalizado ayudas y garantías al sector financiero que se pueden calcular en billones de dólares. Es por esto, que Stiglitz (2010) responsabiliza a la Reserva Federal, al sistema bancario estadounidense y al gobierno como tolerante de las malas prácticas financieras y de actuaciones incorrectas en los mercados. Por ejemplo, para el año de 1999 se deroga la ley "*Glass-Steagall*" que tenía por objeto separar las entidades de depósito de los bancos de inversión bajo una estricta regulación. Esta ley habilitaba a las entidades de depósito exclusivamente a otorgar créditos comerciales y únicamente a los bancos de inversión a obtener fondos del mercado de capitales. De esta forma, en 1999 bajo el gobierno Bill Clinton se aprobó la ley "*Financial Service Modernization Act*", por la cual las entidades financieras eran libres de las regulaciones a las que habían estado sometidas anteriormente por la ley "*Glass-Steagall*".

Es así, como con esta nueva ley tanto entidades de depósito como bancos de inversión podían obtener recursos en los mercados de capitales y hacer inversiones sin restricciones de plazos y de sectores.

De allí, que las entidades financieras transformaran los préstamos hipotecarios y créditos al consumo en valores comercializables a través de la creación de un nuevo activo denominado derivado, cuyo valor depende de los otros activos con los que se fusionan, ya fuesen acciones, obligaciones de empresas, deuda pública, o de la cotización de determinadas divisas. Además, con la titulación se logró juntar un grupo de hipotecas de similar calidad en un paquete. Basados en el principio de diversificación de riesgo, se crearon paquetes que contenían hipotecas triple A con hipotecas triple B (*subprime*) y las empresas clasificadoras de riesgo los clasificaron como AAA. El mismo mecanismo fue utilizado para crear los CDO (*collateralized debt obligations*) que son paquetes que contienen un porcentaje menor de hipotecas triple A comparado con las hipotecas subprime y otro tipo de obligaciones crediticias de largo plazo.

Para dar mayor solvencia a estas emisiones de bonos se crean nuevos tipos de seguros a través de pólizas que garantizan el pago total o parcial de los intereses lo que genera una mayor seguridad al comprador. Por esta razón, la venta de títulos aumento de forma acelerada. Además, estos títulos recibieron un gran apoyo del sistema financiero porque se consideraban como instrumentos que ayudaban a reducir y distribuir riesgos. De tal forma, que se consideraba que generaban una reasignación de Pareto del riesgo porque el riesgo fluiría hacia aquellos que mejor pudieran soportarlo y al ser compartido, los efectos negativos se creían que afectarían en menor proporción (Haldane, 2009).

Además, las mejores calificaciones junto a las garantías con las que contaron estos títulos, generaron una gran cantidad de inversiones de instituciones de Europa y Asia con exceso de liquidez. Una de las causas por las que los bancos europeos no se percataron del riesgo de los bonos, radica en la diferencia que existen en la legislación estadounidense y la europea. Mientras que en Estados Unidos bastaba con devolver una propiedad para saldar un crédito hipotecario; en Europa la deuda no se cancela hasta que se pague totalmente aún si la propiedad es rematada.

Por otro lado, después del estallido de la burbuja tecnológica en el 2001, el precio del dinero empezó a caer rápidamente, en consecuencia esto estimuló una fuerte demanda de crédito de empresas y familias hacia el sector inmobiliario. En respuesta, el sector financiero amplió los préstamos hipotecarios y los comerciales sin una adecuada valoración de los riesgos y en ocasiones sin las debidas garantías. Los costos bajos y la facilidad para contratar hipotecas en todos los segmentos del mercado motivaron la sobre-extensión de crédito. De esta forma se dio un aumento en la oferta de hipotecas de alto riesgo o denominadas "*subprime*" con las cuales se generaba una alta rentabilidad. Además, la concesión de créditos hipotecarios se salió de control pues se otorgaron estos créditos sin importar el nivel de solvencia del agente.

El creciente desequilibrio de la balanza de pagos americana obligo al sistema financiero a encontrar el equilibrio a través de los créditos otorgados con grandes beneficios en la tasa

de interés. Los bancos y las compañías hipotecarias asumieron riesgos que impulsaron el precio de la vivienda al alza, con un aumento significativo entre 2000 y 2005. Y en el 2006 cuando se incrementaron las tasas de interés, las hipotecas se encarecieron y empezó a aumentar la morosidad, particularmente en el segmento "subprime". En consecuencia, durante el 2007 el valor de los títulos con respaldo hipotecario empezó a caer junto con los precios de la vivienda. Ambos eventos fueron manifestaciones del comportamiento bajo estrés de una red compleja y adaptativa en donde los agentes en esta red fueron impulsados por interacciones óptimas, pero confusas.

Es así, que con un panorama desolador en los mercados financieros, los principales bancos comerciales del mundo anunciaron la adopción de medidas coordinadas para hacer frente a la falta de liquidez de los mercados financieros. También, una de las estrategias que el Banco Central Europeo, el Departamento del Tesoro y la Reserva Federal implementaron fue una serie de inyecciones de liquidez a los bancos que podrían llegar a ser demasiado importantes en la dinámica de red. No obstante, esta medida no fue suficiente para mitigar los efectos de la crisis y con frecuencia, aumentaron la angustia en el mercado. En la medida, que estos rescates distorsionaron los incentivos e intensificaron el problema de riesgo moral. Además, no fueron efectivos porque 124 bancos quebraron para 2009.

En este sentido, la economía europea también estuvo afectada por problemas de liquidez. Es así, que se presentaron situaciones críticas en los balances de entidades financieras como *Fortis*, *ING*, *Hypo Real State*, *Dexia*, *Bradford & Bingley*, *Sachsen LB*, *Household Finance Corporation* (filial del banco británico *HSBC*), *USB* (*Union de Banque Suisses*), *IKB* (Banco de Industria Alemán) y *BNP Paribas*. Por lo cual, los gobiernos europeos se vieron obligados a diseñar medidas de urgencia para evitar la quiebra de estas importantes entidades. Sus estrategias se basaron principalmente en el déficit, sin tener en cuenta la falta de crecimiento y de empleo; y sus políticas para salir de la crisis se han centrado en la austeridad fiscal y del gasto público. Sin embargo, estas políticas ya han demostrado que no son eficaces en países como España, donde la crisis se ha intensificado.

En este sentido, la crisis expuso el hecho de que los reguladores y los participantes del mercado tenían información limitada sobre la red de obligaciones entre instituciones financieras. Efectivamente, la gran depresión económica ha generado conciencia de que el sistema financiero debe ser considerado como una red compleja cuyos nodos son instituciones financieras y los enlaces son dependencias financieras. En esta perspectiva, durante este documento nos interesamos en como el incumplimiento de una gran parte del sistema financiero puede afectar a la red de sistema de pagos. Además, indicamos como se puede cuantificar y medir estos eventos a partir del análisis de la evolución dinámica de los nodos y de la estructura de la red.

Por lo cual, el objetivo de este trabajo es mostrar cómo la ciencia de redes puede contribuir a una evaluación cuantitativa del sistema financiero y su estabilidad. Sin duda, el incremento de derivados y de la titulación, aumento la incertidumbre de los bancos sobre la condición de otras entidades financieras durante la crisis. De allí, que la cuestión clave sea cómo la red de obligaciones puede afectar la estabilidad. En este sentido, las conexiones de red pueden tener un efecto positivo al diversificar el riesgo exposiciones para bancos individuales, pero pueden también tener un efecto negativo al crear canales a través del cual

se pueden extender los choques. A continuación, se explicara la estructura del documento.

En la sección 2, proporcionamos un contexto con respecto a la teoría de redes e intentamos recordar eventos clave en la crisis financiera de 2007-2008. Por eso, durante esta discusión se hace hincapié en la multifacética naturaleza de la red financiera moderna y la variedad de formas en que se puede afectar la estabilidad del sistema desde una discusión teórica de la literatura. En particular, el fracaso de Lehman Brothers destaca la heterogeneidad de las redes financieras. En lo que sigue, examinaremos una variedad de modelos de diferentes autores que abordan este objetivo sobre la importancia de las interconexiones en el sistema de obligaciones de la red. También, encontramos que hay una metodología común en muchos de estos modelos.

Durante la sección 3, se aborda todo lo que se refiere a la determinación instituciones financieras importantes. Desde una perspectiva de ciencia de red, esta cuestión está relacionada con el concepto de medidas de centralidad recursiva, como la centralidad de vector propio y centralidad de Katz. También está relacionado con el problema más general de la capacidad de control de una red compleja por lo que se investigó sobre la distribución de grado y se encontró que al igual que otras redes complejas, las redes financieras de diferentes países exhiben que un número de contrapartes por banco (grado) sigue una cola gruesa distribución, con la mayoría de los bancos con pocas contrapartes y un pequeño número con muchas. Por lo cual, la mayoría de autores las catalogan como redes sin escala y de mundo pequeño. Sin embargo, hay diferentes discusiones sobre si la distribución de grados no está necesariamente mejor representada por una distribución de ley de poder.

Usando medidas específicas de la red y análisis de diferentes autores, mostramos información sobre la bifurcación de los bancos pequeños y los bancos grandes del sistema financiero, mediante el cual los bancos pequeños generalmente prestan fondos a bancos más grandes. Además, indicamos que revelar los centros de la red, mostrar los enlaces críticos y observar la distribución de grados es una herramienta muy útil a la hora de identificar los bancos potencialmente importantes sistémicamente. Así, la comprensión más profunda la topología de red puede servir como guía para entender problemas de estabilidad financiera como la insolvencia bancaria.

2. Redes financieras y gran recesión

2.1. Breve historia de la teoría de redes

La teoría de redes se centra en una visión de la estructura social como un conjunto de vínculos que unen tanto a miembros individuales como a colectivos de la sociedad (Requena, 2003). A través del desarrollo de conceptos, métodos y técnicas esta teoría presenta una perspectiva innovadora que busca realizar análisis desde un racionamiento relacional. Para ello, ha recibido influencia de la sociometría, la teoría de grafos, la psicología social y la antropología con énfasis en el estudio de cómo se hallan conectados los componentes de un sistema. Durante este apartado, se busca presentar los principales

aportes de cada rama del conocimiento al analizar las estructuras que surgen de la presencia de relaciones de toda índole o de la ocurrencia de determinados eventos.

La primera aproximación a la descripción de propiedades matemáticas de una estructura relacional inicia con el trabajo de Leonhard Euler en 1736, sobre el problema de los puentes de *Königsberg*. El problema consistía en comenzar en un punto y cruzar una sola vez los siete puentes que conectan las distintas partes de esta ciudad para volver al punto de partida (Acatitla y Urbina, 2017). Para entender este problema, Euler decidió realizar un grafo o imagen que mostrara los nodos o puntos en los que se dividía esta ciudad. A través de una línea o de una arista decidió representar los puentes que unen las partes de la ciudad, como se observa en la imagen que se encuentra a continuación. A partir, de la identificación del número de aristas que tiene cada nodo, Euler propone que no es posible dar solución a este problema porque hay más de dos nodos con un número impar de aristas. La importancia de que cada nodo tenga un número par de aristas consiste en que si uno llega a un nodo (zona de la ciudad) a través de una arista (puente) debe salir de él por una arista distinta.

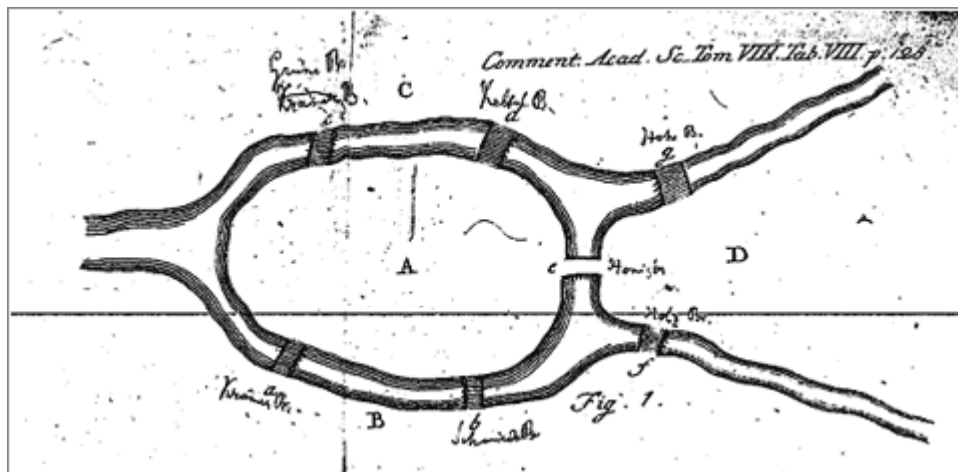


Figura 1. Grafo del río Pregel en Königsberg construido por Leonhard Euler, que muestra la ubicación y relación de los siete puentes. (Euler, 1736)

De este planteamiento, surgieron importantes conceptos matemáticos como el de grafo, nodo y aristas que fueron la base para estructurar la teoría actual. Además, en 1857 Arthur Cayley realiza un análisis sobre el problema de la enumeración de isómeros que no dista mucho del de Euler, donde logra poner en evidencia que existen diferentes tipos de redes y que no todas se pueden analizar de la misma manera (Stladder, 2014). Estos resultados fueron cruciales para que se adoptará este tipo de análisis en estudios científicos. No obstante, hasta este momento, los análisis no se habían enfocado en las estructuras sociales. Sin embargo, esto cambiaría cuando en 1934 Jacob L. Moreno desarrolla la sociometría. Este método, utiliza recursos metodológicos cuantitativos para medir las interacciones entre componentes de diferentes grupos y estructuras sociales (Requena, 2003).

En estos tipos de análisis se busca describir los procesos bilaterales o multilaterales que surgen cuando organizaciones o individuos interactúan, de esta manera se forma una estructura denominada red social. Las redes sociales se caracterizan por clasificar en conjuntos las relaciones sociales o interpersonales que ligan a individuos y organizaciones (Sanz, 2003). Al identificar las formas en que los individuos u organizaciones se conectan y su posición dentro de la red, es posible para un investigador identificar el impacto que puede tener el comportamiento de los actores dentro de los flujos de conocimiento y comunicación. Una de las herramientas que ha sido ampliamente usada en estos estudios es el álgebra matricial con conceptos como los nodos vecinos, la matriz de adyacencia y los grados de un nodo, los cuales se utilizarán en la sección 2.2.

Otro aspecto relevante dentro de la teoría de redes fue la comunicación. Principalmente, este aspecto fue desarrollado por psicólogos los cuales analizaron la forma en que la información se dispersa entre un grupo de personas. Con este creciente interés en 1956 se desarrolló la teoría de equilibrio y la transitividad en el análisis de triadas que consiste en establecer una relación entre los tipos de tríos de actores y la forma en que se crean vínculos entre estos. De allí, que se formularan modelos para analizar redes a través de investigaciones empíricas, como los de James Coleman, Elihu Katz y Herbert Menzel en 1957, sobre la difusión del conocimiento de nuevos fármacos entre un grupo de médicos en una ciudad americana; y el de Dorwin Cartwright y Frank Harary que analiza la reciprocidad de los individuos (Wasserman, 2013). Estas preocupaciones, con respecto al flujo de la comunicación se han incorporado en la teoría de redes a través de la creación de conceptos de centralidad de un grafo, es por eso que en la sección 3 se abordará este tema.

Con el desarrollo de las teorías de la probabilidad y la estadística en 1970 se impulsa el planteamiento de análisis relacionales. Es así, que surgen importantes herramientas que serían cruciales para la construcción de una nueva teoría que proporciona un alcance innovador a la solución de problemas a través de grafos. Esta forma de abordar problemas, se basa en la construcción de modelos básicos permitiéndonos deducir propiedades de sistemas del mundo real. Además, nos ofrece herramientas matemáticas para temas que no se habían podido analizar y medir con anterioridad, así como deducir y someter a test determinados enunciados. Desde estas teorías se estudiaron por primera vez las propiedades de grafos arbitrariamente grandes. Uno de los mayores aportes fue la definición de grafo aleatorio o grafo de Erdős y Renyi, el cual es generado por un proceso estocástico donde en cada paso, dos nodos cualesquiera se conectan con cierta probabilidad p .

Fue hasta la década de los noventa que fue posible desarrollar grafos reales para grandes estructuras de datos gracias a los computadores. De allí, que por primera vez se pudieran realizar grafos de redes biológicas y sociales grandes, además de identificar sus características a través del cálculo de estadísticas. Sin embargo, este tipo de grafos eran mucho más complejos que lo que Erdős y Renyi habían establecido. De este modo, se crea la teoría de redes complejas, que busca establecer las propiedades y características para redes con un alto número de nodos. Uno de los descubrimientos más significativos fue efecto de mundo pequeño y la característica de libre de escala que está presente en la mayoría de las redes complejas.

En 1998, Duncan J. Watts and Steven Strogatz introdujeron el concepto de red de mundo

pequeño con el fin de analizar las situaciones en donde un individuo puede tener amigos en común aún con una persona desconocida. Esta situación, ya se había analizado a finales de 1960 por el psicólogo social Milgram que concluyó que el número de intermediarios promedio o el camino medio de la red americana era de seis grados de separación. No obstante Watts y Strogatz lograron tomar propiedades de la red regular y de la red aleatoria y hacer una transición. Hasta este momento se habían creído que estas redes eran antagónicas, porque la red regular se caracterizaba por tener un alto *clustering* como en las redes sociales, pero el camino medio aumenta a medida que aumenta el tamaño del sistema. Mientras que el camino medio de la red aleatoria es bajo porque aumenta logarítmicamente con el número de nodos como en las redes sociales, pero su *clustering* extremadamente bajo y tiende a cero al aumentar el tamaño del sistema (Barabási, 2003).

De allí, que el modelo de Watts-Strogatz comienza con una red regular y a través de un proceso llamado *rewiring*, se crean atajos entre pares de nodos, lo que hace disminuir el camino medio de la red y el *clustering*, aunque esa reducción es relativamente más lenta que la del camino medio. El *rewiring* consiste en escoger dos nodos al azar con cierta probabilidad p de esta red y se conectan. Este proceso se repite, de tal forma que el número total de enlaces de la red se conserve, es decir, si un nodo sufre *rewiring* pierde su enlace anterior y gana uno nuevo. Además, para valores de p bajos este efecto es irrelevante, mientras que si p es muy grande la red original queda aleatorizada (Watts y Strogatz, 1998).

Otro descubrimiento fundamental en el ámbito de las redes complejas, se dio en 1999 con la investigación de Barabási al mostrar que muchas redes son libres de escala, es decir, la función de distribución de grados sigue una ley de potencias, que es independiente de la escala de la red. Además una red libre de escala es no homogénea porque los nodos no se agrupan alrededor de un valor medio característico, o en otras palabras, existen muchos nodos con muy pocas conexiones y solo pocos nodos tienen muchas conexiones. De allí, que exista una jerarquía entre los nodos, en donde los nodos más conectados se denominan *hubs*. Este mecanismo es llamado *preferential attachment*, postulado por Barabási y Albert en 1999, se caracteriza por ser un proceso multiplicativo y a estos tipos de enlaces se les llaman preferenciales. Indudablemente, los *hubs* tienen relevancia dentro de una red y a través de ellos es posible divulgar información de manera rápida o que deje de ocurrir un evento.

De igual forma, un estudio valioso ha sido la comparación a través de algoritmos de redes aleatorias, sin escala o de mundo pequeño con redes reales. De esta comparación de estructuras de red de diferentes disciplinas, sugiere que las redes económicas también pueden reflejar una universalidad similar. Es así que, en el último siglo se han venido estudiando las redes económicas desde dos perspectivas que pertenecen a dos ramas del conocimiento: la sociología y la teoría de grafos. En los dos casos, se busca representar a los diferentes agentes (empresas, bancos o países) a través de nodos y sus interacciones como comercio, propiedad, I + D, alianzas o relaciones crédito-deuda por enlaces entre los nodos (Schweitzer, Fagiolo, Sornette, Vega-Redondo, Vespignani y White, 2009). De allí, que sea posible identificar indicadores de la cantidad y calidad de la información que perciben y del nivel de confianza que se establece entre los nodos. Por lo tanto, los enlaces entre los agentes se convierten en una variable fundamental ya que permite establecer que tan expuestos están a los flujos de información.

En este sentido, los agentes pueden tener diferentes comportamientos bajo las mismas condiciones, además se pueden interesar por formar interacciones estratégicas. Estas interacciones dentro de la red están ligadas al espacio y tiempo, es por eso, que las redes están en constante cambio. Además, se puede analizar el comportamiento estratégico desde dos puntos de vista: uno micro y uno macro, claro está se debe tener en cuenta las ventajas y desventajas que ofrece cada análisis. Desde la perspectiva micro el análisis se basa en el individuo, es por eso que el interés principal es definir los elementos de una red de relaciones. En contraste, el enfoque macro, generalmente utilizado para grandes bases de datos, busca encontrar las regularidades estadísticas de la red en su conjunto.

Desde la perspectiva micro, se han realizado diferentes trabajos en donde se crean supuestos que simplifican demasiado la estructura de la red y el comportamiento de los agentes que compiten y cooperan. En algunos casos, los agentes pueden ser empresas que realizan proyectos conjuntos de I + D, dentro de los análisis sus enlaces son añadidos o eliminados según las decisiones que tome cada empresa para maximizar sus beneficios (Schweitzer et al, 2009). En este contexto, los agentes deben ser capaces de anticipar lo que otros pueden hacer, aun cuando la información es limitada y asimétrica con un tiempo delimitado. De allí, que los agentes deban elegir entre un número grande de opciones.

Los economistas han resuelto como elegir la mejor opción dentro de este gran número de posibilidades a través de los equilibrios de Nash. Vale la pena recordar que estos son situaciones estratégicamente estables en el sentido de que ningún agente tiene un incentivo a desviarse. Actualmente es posible hallar estos equilibrios a través de un algoritmo, en donde se optimiza el número de nodos y los posibles enlaces. Sin embargo, se ha demostrado que los enfoques clásicos se quedan cortos a la hora de resolver este problema porque existe un conflicto entre los incentivos individuales y el bienestar agregado.

Además, existen dificultades para medir la eficiencia general de la red desde la teoría de juegos porque los incentivos son endógenos e inducidos. De allí, que una de las mayores falencias sea no integrar esta teoría con los enfoques macro. También, en la mayoría de las situaciones del mundo real los agentes están fuera de equilibrio. Es por eso que, a pesar de los esfuerzos continuos para aplicar la teoría clásica, el resultado de estas situaciones de la vida real afecta drásticamente el modelo. Por eso, una de las soluciones para lograr regularidades estadísticas es incorporar en el análisis las redes complejas. Es así, que en lugar de centrarse en el comportamiento endógeno de agentes individuales, el enfoque de sistemas complejos se centra en comprender cómo las reglas de formación de red afectan sistemáticamente a la estructura de enlace emergente. Una de las ventajas primordiales que ofrece este método es que pueden proporcionar predicciones para redes de gran escala a partir de la prueba de reglas estocásticas que afectan la formación de enlaces (Kleinberg, 2007).

Desde cualquier perspectiva el análisis de redes busca establecer las pautas regulares de los individuos que conforman una estructura social. De tal forma, se analiza como los individuos actúan según los vínculos o relaciones que establecen con otros. Es por ello, que se considera que los individuos son interdependientes. Y es a través, de las relaciones que

se da un flujo o transferencia de recursos sociales, económicos, políticos y una difusión social.

De este modo, la propagación social se puede entender cuando se analiza cómo el comportamiento estratégico de un agente es influenciado por las interacciones dentro de la red, específicamente por un agente clave. Es así, que cada vez son más utilizados análisis que parten de una red en la que un "*hub*" central canaliza toda la comunicación entre agentes (Kleinberg, 2007). Un ejemplo de esta situación fue la gran recesión donde la quiebra de un agente clave como lo es Lehman Brothers, produjo un cambio en el comportamiento que se fue propagando rápidamente dentro de la red financiera.

2.2. La gran recesión analizada desde la teoría de redes

Desde el 2001, cuando la burbuja tecnológica explotó y se creó una crisis de deuda, la Reserva Federal ideó una serie de estrategias para aumentar la liquidez del mercado y promover el buen funcionamiento de la economía estadounidense. Una de las medidas más importantes fue la reducción del tipo de interés de los fondos federales del 3,5 por ciento en agosto de 2001 a tan sólo el 1% a mediados de 2003. En consecuencia, esta medida generó una expansión monetaria que facilitó el endeudamiento con bajos precios de hipotecas y redujo los costos en toda la economía. Además, Wall Street comenzó a generar bonos de máxima calidad crediticia AAA con garantías hipotecarias. (Martín-Aceña, 2011).

En 2006 los precios de las viviendas subieron tanto que dejaron de ser accesibles para los trabajadores con lo cual las ventas de casas cayeron. Cada vez era más difícil para los trabajadores pagar las grandes deudas que adquirieron por lo que la morosidad comenzó a subir y los precios de los bonos con garantía hipotecaria empezaron a caer. Es así, como en 2007 comienza la crisis de los subprime o crisis inmobiliaria en los Estados Unidos. Sin embargo, sus efectos más perjudiciales se dieron hasta el 2008, cuando se produjo la quiebra de grandes bancos que desencadenó pánico en sus principales socios, especialmente por la incertidumbre ante la existencia de cuentas contagiosas. Por lo cual, estos cambiaron su comportamiento en los mercados financieros, deteniendo el flujo de masa monetaria.

En Nueva York, el 29 de septiembre de 2008 el Índice Dow Jones sufrió una caída de 777 puntos como reflejo de los temores del sistema financiero, la mayor que le haya ocurrido en un solo día (Martín-Aceña, 2011). Estos temores impulsaron a los bancos a acumular liquidez para evitar a otorgar préstamos a los bancos infectados, lo que causó un estancamiento en los mercados monetarios. Esta situación acentuó el hecho que Estados Unidos había entrado en recesión, por lo cual las interconexiones que el mundo entero tenía con este país se expandieron a sus economías, lo que se reflejó en la caída del 0,1 por ciento del producto interno bruto global en el 2009.

De esta forma, el inicio de la crisis financiera y la coyuntura económica crítica generaron un interés cada vez mayor por realizar análisis de las estructuras de red formadas por pasivos

interbancarios. A menudo, estos análisis consideran las conexiones de los flujos de crédito de los bancos para crear un mapa de la red de crédito. Es así, como la literatura ha comenzado a construir redes financieras basadas en datos empíricos de las autoridades de supervisión o estructuras de red hipotéticas para investigar los efectos que tiene la falla de un banco en otros bancos debido a las interrupciones del sistema como la insolvencia.

Por lo cual, partiremos del concepto de red, que se ha que se definido como un conjunto de enlaces y pares de nodos conectados; para aplicarlo al sistema financiero donde los actores que integran la red financiera son los bancos que se denominan nodos y la relación que existe entre los bancos son los enlaces. En esta red, el enlace que va del nodo i al nodo j representa que el banco i tiene una obligación de pago con el banco j . Además, un banco i es vecino del banco j , si y sólo si, existe un enlace que los conecte. En este sentido, la matriz de adyacencia se define como B , donde las filas y las columnas son los bancos de la red y la i -ésima fila con la j -ésima columna forman la entrada B_{ij} y su valor es uno si el nodo i es vecino del j , o cero en caso contrario (Glasserman y Young, 2016).

Las redes se pueden clasificar como dirigidas cuando existe un i, j tal que $B_{ij} \neq B_{ji}$ o como no dirigida cuando $B_{ij} = B_{ji}$. Un grafo no dirigido permite el flujo en ambas direcciones, es decir desde el nodo i al nodo j o viceversa. A continuación, se presenta el ejemplo de un grafo no dirigido de la red interbancaria brasileña en diciembre de 2007 que muestra que todas sus aristas son no dirigidas. En contraste, en un grafo dirigido es importante el orden del par de nodos que definen cada arista, mientras que en un grafo no dirigido, el orden carece de importancia.

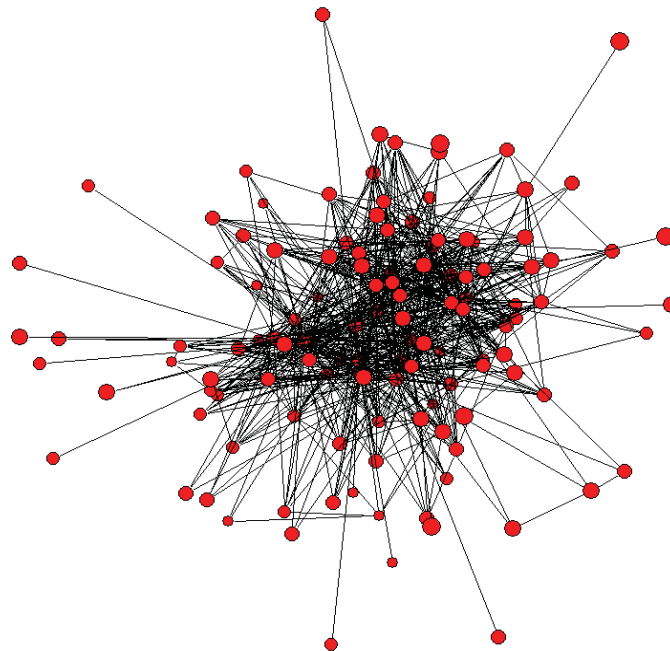


Figura 2. Red interbancaria brasileña en diciembre de 2007 con 125 conglomerados financieros. (Cont, Moussa y Santos, 2013)

Es importante resaltar que un banco i , así como tienen activos externos con entidades no financieras como hipotecas y préstamos, también tienen activos dentro de la red que son reclamaciones en otros bancos como préstamos interbancarios y exposiciones a través de derivados. De igual forma, basados en el modelo de Glasserman y Young (2016) se puede clasificar los pasivos de un banco i en pasivos que se tienen con entidades no financieras y con entidades financieras. Si existe interés en conocer la cantidad de dinero que debe el banco i al banco j , se puede denotar por \bar{p}_{ij} con $ij \geq 0$, si se quiere hacer con todos los pasivos de la red creamos la matriz $\bar{P} = [\bar{p}_{ij}]$. Esta matriz \bar{P} representará todos los pasivos que existen dentro de la red financiera y al igual que la matriz de adyacencia B tienen ceros en sus diagonales.

Dado que el sistema financiero y particularmente los bancos se ven afectados por las medidas de política económica gubernamentales, es importante exponer varios episodios que permiten mostrar la importancia del papel de las interconexiones entre instituciones financieras en períodos de estrés crítico. Esta información proporcionará contexto y destacará la heterogeneidad que caracteriza a las redes financieras. Además, permitirá comprender mejor como se crearon las situaciones que llevaron a los agentes de la red a adoptar ciertos tipos de comportamiento que gestionaron una de las crisis más importantes de la historia.

Comenzaremos, exponiendo que Estados Unidos enfrentó las elecciones presidenciales junto a la desaceleración económica en el 2007-2008. A pesar, de que públicamente el presidente Bush no aceptó la situación precaria de la economía estadounidense. En el 2008, el sistema financiero comenzó a caer en picada cuando Lehman Brothers, el cuarto banco de inversión más importante de Wall Street enfrentó las consecuencias de sus inversiones en fondos de cobertura con posibles agujeros patrimoniales y en bonos *subprimes*. Por temor de favorecer actitudes de riesgo moral ni La Reserva Federal, ni el Tesoro americano quisieron crear un proyecto para salvarlo. Sin embargo, dejar que este banco se declarara en bancarrota el 15 de septiembre de 2008, envió el mensaje de que aún los bancos más importantes no eran capaces de pagar sus deudas lo que desató el pánico entre los inversores en todo el mundo.

El banco Lehman Brothers tenía grandes exposiciones de contraparte de CDS en relación con su balance. Cuando este banco quebró, otras entidades financieras que se encontraban en una situación similar comenzaron a temer, no tanto el riesgo directo de contraparte, sino por los riesgos indirectos de contraparte que proceden de otras partes de la red. De esta forma, cabe resaltar que la red financiera esta organizada como una cadena de reclamos, es decir, si el banco A está buscando seguro del banco B contra la quiebra de la entidad C. El banco A se enfrentará al riesgo de contraparte del banco B. En consecuencia, el banco A también se enfrenta al riesgo de las n contrapartes del banco B, y así mismo, al riesgo de las n contrapartes de cada una de estas contrapartes. De allí, que para los bancos sea difícil conocer el riesgo de su contraparte final y esto les genere una gran incertidumbre sobre la verdadera estructura de la red cuando sucede el incumplimiento del banco B. (Haldane, 2019)

A través del impacto en la incertidumbre de la contraparte, las redes tienen consecuencias importantes para dinámica y fijación de precios en los mercados financieros. Para ilustrar esta situación, Haldane (2019) considera el caso de la fijación de precios en el mercado de CDS. Este autor muestra que un mayor número de contrapartes es marginalmente beneficioso hasta determinado punto por ley de grandes números. No obstante, cuando el autor simula un mundo en crisis y tiene en cuenta que, la dimensionalidad de la red de este mercado de CDS es considerablemente grande, este evento le muestra que cuanto mayor sea la dimensionalidad de la red, mayor es la incertidumbre. Además, esta situación provoca que exista una distorsión en los precios, por lo cual para el autor existe una ley de grandes números de costo con relación a un mayor número de contraparte, es decir, ese costo de incertidumbre o distorsión es aproximadamente proporcional a la dimensión de la red.

Además, estas cadenas de reclamos de las redes financieras pueden amplificar las incertidumbres sobre la verdadera exposición de la contraparte. Un ejemplo importante de este comportamiento se puede evidenciar cuando los acreedores de Bear Stearns en febrero de 2008 comenzaron a reclamar sus deudas a causa de los rumores sobre la falta de liquidez de sus filiales. Bear Stearns no pudo hacer frente a sus obligaciones debido a que varios de sus fondos de cobertura eran insolventes y el 14 de marzo de 2008 se declaró en bancarota. Como se trataba de uno de los bancos más importantes de inversión, J.P. Morgan impulsado por la Reserva Federal compró las acciones de este banco a un precio tan bajo de dos dólares. Casos similares ocurrieron durante el 2008 con el banco hipotecario más importante de los Estados Unidos, el InddyMac o con los dos grandes hipotecarios la Federal National Mortgage Association y la Federal Home Loan Mortgage Corporation; donde el Gobierno tuvo que intervenirlas para garantizar que no hubiera un desplome dentro de los mercados financieros (Stiglitz, 2010).

3. Principales medidas de la red financiera

Uno de los principales aportes de la teoría de redes a las finanzas es que la topología de una red es importante por su estabilidad, en este sentido, la comprensión de la estructura y el funcionamiento de las redes complejas como la interbancaria se ha vuelto una prioridad. Por tal razón, es importante analizar como las regulaciones menos estrictas y el fuerte deseo por la diversificación impulsaron a las entidades financieras para innovar en sus instrumentos y técnicas operativas. De igual forma, es relevante estudiar los aspectos que propiciaron la implementación de estrategias de gestión de riesgo similares en el sistema financiero.

Una de las estrategias más populares fue la diversificación de las líneas de negocio que consistía en la migración de las empresas a actividades donde los retornos parecían más grandes. Desde una perspectiva de una firma individual, estas estrategias realmente parecían sensatas al intentar evitar el riesgo a través de la diversificación. Sin embargo, desde un enfoque de red, hacer inversiones en diferentes tipos de negocios contribuyo a que la red financiera aumentara su fragilidad y el nivel de pérdidas. En consecuencia, la red genero mayor incertidumbre en todo el sistema haciendo que esta fuera menos resistente a

las perturbaciones.

Además, los títulos respaldados por hipotecas y obligaciones de deuda se convirtieron en los instrumentos más importantes del mercado pues ayudaban a reducir y distribuir riesgos. Por lo cual, el riesgo se convirtió en una mercancía y se vendió en el mercado a través de la titulación. Los bancos dividían los paquetes de hipotecas en segmentos con diferentes grados de seguridad y rendimiento. De tal forma, que estos títulos se distribuían rápidamente entre inversores institucionales como fondos de pensiones, compañías de seguros, fondos y bancos de inversión, y también entre particulares. Así pues, los títulos fueron comprados tanto por agentes adversos al riesgo, como por los amantes del riesgo.

Otro de los instrumentos financieros que crearon los mayores desajustes dentro del sistema fueron los fondos de cobertura. Estos se caracterizan por ser un vehículo de inversión alternativa o fondo de alto riesgo en el que los gestores toman decisiones de inversión con menos limitaciones legales. El objetivo de los fondos de cobertura es obtener rendimientos superiores con respecto a los fondos de inversión tradicionales a través de grandes importes y riesgos. La importancia de estos instrumentos se puede ilustrar con Long-Term Capital (LTCM), el fondo de cobertura que más ha puesto a tambalear al sistema financiero en Estados Unidos.

El Long-Term Capital se creó en 1994 con domicilio fiscal en las Islas Caimán. Según un Informe que elaboró conjuntamente la SEC, la Reserva Federal, el departamento del Tesoro de Estados Unidos y la Comisión de Futuros en el mes de agosto de 1998, el balance del fondo Long-Term Capital tenía 125.000 millones de dólares en activos. Sin embargo, con la declaración de la moratoria rusa del 17 de agosto de 1998, el fondo LTCM sufrió pérdidas por un importe de 1.800 millones de dólares, lo que impulsó a la Reserva Federal a tomar medidas de forma inmediata para mantener la estabilidad de la economía Norteamérica. El Banco de la Reserva Federal consiguió que dieciséis bancos tomaran el control del fondo aportando capital por un importe de 4.025 millones de dólares (Vilariño, 2000).

De allí, que el objetivo de esta sección será identificar funciones de red simples que describen la vulnerabilidad de una red o parte de una red a través de obligaciones de pago. Cabe resaltar, que los modelos de la literatura revisada varían de manera sustancial tanto en su metodología como en los datos que utilizan, no obstante, los conceptos presentados a continuación están incorporados en todas las líneas de investigación tomada.

3.1. Indicadores de red

A continuación, se presentarán los conceptos básicos que los autores suelen utilizar para explicar cómo funcionan las dinámicas dentro de la red del sistema financiero.

Distribución de grado de la red financiera

Se han incorporado redes financieras dirigidas en modelos económicos, donde principalmente se analiza el tipo de grado. En este sentido, el grado de un banco “*in degree*” en este tipo de redes es el número de enlaces dirigidos a ese banco i mientras que el grado de un banco “*out degree*” es el número de enlaces dirigidos desde el banco i . Los enlaces reflejan el número de pasivos (“*out degree*”) o activos (“*in degree*”). A continuación, se muestra como matemáticamente estos se obtienen respectivamente por las sumas de columnas y sumas de filas de la matriz de adyacencia \mathbf{B} (Glasserman y Young, 2016).

$$g_{in} = \sum_i^N B_{ij}, \quad g_{out} = \sum_j^N B_{ij}$$

En general la distribución de grado se nota como p_k y se interpreta como la fracción de bancos en la red con un cierto grado k . De forma más explícita, si se sabe que la red bancaria posee una cantidad de n bancos en total, entonces la distribución de grado de la red nos dirá cuántos de estos bancos están repartidos en cada grado k . De esta forma, un alto grado de distribución indica que una institución es muy activa en el mercado interbancario. Por ello, entre más grande sea el grado de un banco “*in degree*”, mayor será el número de bancos que procuraran tener enlaces directos a ellos. Por su parte, entre más grande sea el grado de un banco “*out degree*”, mayor será la capacidad que tienen para intercambiar o transferir información rápidamente a muchos otros. Es por eso, que los bancos con un alto grado “*out degree*” se consideran influyentes.

Medidas de centralidad de la red financiera

Las medidas de centralidad buscan identificar la importancia de un banco dentro de la red del sistema financiero. En ese sentido, un banco se considera central en la red si tiene fuertes vínculos con otros bancos que tienen posición central. En consecuencia, un banco se vuelve más central si los vínculos con otros bancos que tienen una alta centralidad son más fuertes, es decir tienen un mayor peso.

Centralidad de Bonacich

Una de las medidas recursivas de centralidad que se han implementado es la centralidad del vector propio y rango. La centralidad del vector propio de Bonacich v_j satisface

$$\lambda v_j = \sum_{j=1}^N v_i B_{ij}$$

Donde B es la matriz de adyacencia y λ es un valor propio de B . En esta expresión, los posibles valores pueden ser interpretados como el peso que se coloca en la centralidad del banco vecino. El valor más alto de centralidad de Bonacich indica que el banco es el más central en la red. Entonces un banco con una alta centralidad es un importante multiplicador de choques en caso de requerir asistencia. Cuando es cero, entonces Bonacich se convierte en una medida de centralidad que pone un peso neutral en la centralidad de los vecinos y es equivalente a una medida ponderada de los enlaces directos a los que el nodo está expuesto.

En el caso de una red dirigida, la expresión dice que la centralidad de j depende de la centralidad de los nodos con enlaces apuntando a j . Por eso, es una medida que se relaciona con la calidad de los flujos de información. Además, los nodos ubicados en el centro tienen más probabilidades de transmitir información a otros nodos, en consecuencia, se coloca el mayor peso sobre la centralidad de los vecinos cercanos de un nodo central. Es así, que la importancia de la centralidad de Bonacich de un nodo se debe a que permite predecir el poder de negociación en las redes de intercambio.

Centralidad a través de vectores propios

A través de la matriz de pasivos $[\bar{p}_{ij}]$ se puede llegar a otra medida de centralidad que son los vectores propios que se presentan a continuación:

$$\lambda v_j = \sum_{i=1}^N v_i \bar{p}_{ij} \quad , \quad \lambda u_j = \sum_{i=1}^N \bar{p}_{ij} u_i$$

El vector propio izquierdo se enfatiza en la centralidad de financiación, por lo cual asigna mayor centralidad a nodos que tienen reclamos sobre nodos con mayor centralidad. El vector propio derecho busca encontrar la centralidad de endeudamiento, por lo cual asigna mayor centralidad a los nodos que tienen obligaciones a los nodos con mayor centralidad. La falla de un nodo con alta centralidad de endeudamiento resultaría en incumplimiento de grandes obligaciones y el fracaso de un nodo con alta centralidad de financiación podría crear un shock de liquidez en otros nodos a través de la retirada de fondos. (Glasserman y Young, 2016).

Centralidad de Katz

La centralidad de Katz describe la importancia de un banco al relacionarlo con la importancia de otros bancos de los cuales toma prestado. Así, los bancos a los que se otorgan muchos grandes préstamos tienen una mayor centralidad de Katz y tienden a causar un mayor daño en la red cuando ocurre un incumplimiento. Con respecto al método, este es autorreferencial y tiene en cuenta el monto del préstamo. Cuando los nodos no tienen enlaces entrantes, quiere decir que no tienen poder para causar contagio, por lo tanto, su centralidad debe ser cero. Sin embargo, cuando los bancos tienen solo enlaces entrantes, la centralidad de Katz, indica que estos tienen poder para causar contagio. Esta

centralidad se define por medio de la matriz de adyacencia B y el factor de atenuación β .

$$c_i = \sum_{k=1}^{\infty} \sum_{j=1}^{\infty} \beta^k (B^k)_{ji}$$

4. Análisis de medidas de red.

4.1. Análisis de medidas de red a través de la literatura económica sobre la gran recesión

Los bancos están altamente conectados a través de exposiciones interbancarias. De esta forma, un choque puede desencadenar en el incumplimiento de ciertas instituciones financieras dado que el riesgo crediticio de sus prestatarios no bancarios está correlacionado. Uno de los casos que más resonó durante el 2008, fue el del Citigroup que admitió tener elevadas pérdidas. Como era de esperarse sus inversiones en derivados y en hipotecas tuvieron un gran impacto sobre el balance de esta entidad. Sin embargo, lo que más afectó a este grupo fueron los préstamos que otorgó a empresas que fueron incapaces de pagarle dada la situación de la crisis, además de un gran monto en tarjetas de crédito impagas.

Esta situación se volvió recurrente con la crisis económica, pues cada vez era mayor el número de bancos que no podían pagar sus obligaciones. Con lo cual las economías en diferentes partes del mundo comenzaron a sentir que su estabilidad estaba en juego y con ello la prosperidad de su país. De esta forma, con el fin de entender este efecto dentro del sistema financiero, se incorporaron redes financieras dirigidas en modelos económicos, donde principalmente se analiza el tipo de grado. Así, esta medida es a menudo considerada como una de las características determinantes para la clasificación de un tipo de red. Por ejemplo, las distribuciones de grados más populares son las de cola gruesa en donde la mayoría de los nodos tienen un grado muy pequeño, pero la cola contiene nodos con grados más grandes.

Esta característica se encuentra presente en las redes sin escala, en donde la fracción de nodos con grado k es proporcional a $k^{-\alpha}$, donde α es un parámetro escalonado, es decir, la función de distribución de grados sigue una ley de potencias que es independiente de la escala de la red. Es por esta razón, que con frecuencia se les describe como redes robustas porque indican que las perturbaciones aleatorias se absorben fácilmente. Sin embargo, estas redes también son frágiles, lo que implica la existencia de leyes de poder que con ataques dirigidos a los bancos más centrales pueden conducir a un impacto dramático de la estabilidad de toda la red financiera.

Uno de los principales hallazgos de estudios como Boss, Eisinger, Summer y Thurner (2004), Haldane (2009), Cont, Moussa y Santos (2013) y Martínez Jaramillo, Alexandrova Kabadjova, Bravo Benitez y Solórzano Margain (2014) es que la estructura de red del sistema financiero analizado a través de bases de datos de diferentes países es libre de escala y que muestra leyes de poder en la distribución de títulos. En general, en las redes financieras existe una cantidad relativamente pequeña de bancos que están muy conectados, lo que se ve reflejada en el alto grado que tienen dentro de la red de exposición interbancaria, por lo que se les denomina "*hubs*". No obstante, la gran mayoría de bancos tienen pocas conexiones dentro del sistema financiero, por lo que actualmente la mayoría de los bancos no prestan a otros directamente sino a través de los bancos *hubs* que actúan como intermediarios.

Con respecto a lo planteado anteriormente, Boss et al. (2004) realizan un análisis de la red de préstamos interbancarios austriacos, del cual concluyen que las consecuencias de las leyes de poder de distribución de grado se ven reflejados en la estabilidad de la red cuando se elimina aleatoriamente un nodo, recalcan lo desastroso que puede ser cuando se elimina un *hub*. De igual forma para Pühr, Seliger, y Sigmund. (2012) reiteran que el sistema bancario austriaco tiene estructura escalonada y que es importante analizar esos bancos prestamistas que tienen gran importancia en la red. En este mismo camino, Haldane (2009) propone que al ser el sistema financiero una red robusta pero frágil es susceptible a que una pérdida de confianza de los principales centros financieros facilite la rápida transmisión de perturbaciones internacionales. Por lo cual, un choque económico a los ingresos bancarios tendrán un gran impacto en la estabilidad de todo sistema bancario a causa de las leyes de poder de la red.

Una propiedad a menudo discutida en varias redes es la propiedad del mundo pequeño donde la distancia entre dos nodos es muy pequeña en comparación con el tamaño de la red. Boss et al. (2004) muestran que la red interbancaria austriaca es un mundo pequeño con tan solo 2 grados de separación entre dos nodos en el sistema. Sin embargo, Cont, Moussa y Santos (2013) cuestionan esta afirmación, pues las instituciones financieras con pocas conexiones, caracterizadas por tener un pequeño grado, tienen contrapartes que están muy conectadas entre sí, mientras que las instituciones financieras con muchas conexiones tienen contrapartes con vecinos escasamente conectados. Por lo cual, aunque la red financiera brasileña es similar en los grados de separación a la austriaca, Cont, Moussa y Santos (2013) consideran que la red interbancaria brasileña no es un mundo pequeño.

Por otro lado, Cont, Moussa y Santos (2013) a través de su análisis de la distribución de grados de los nodos, sugiere que la red interbancaria Brasileña presenta colas pesadas de Pareto. Esta situación se caracteriza porque la probabilidad de que un evento extremo ocurra es muy baja, pero cuando este evento sucede, causa grandes pérdidas. Además, examinan si la estructura a gran escala de la red es estacionaria, es decir, si puede considerarse como independiente del tiempo. Y obtienen como resultado regularidades estadísticas en las distribuciones de grados de entrada y salida a gran escala de la red, en consecuencia determinan que la exposición entre las instituciones es estable en el tiempo.

Igualmente, la ley de potencia de distribución de grado se evidencia en los sistemas de pago japoneses y estadounidenses por Inaoka, Ninomiya, Taniguchi, Shimizu y Takayasu (2004) y Soramaki, Bech, Arnold, Glass y Beyeler (2007) respectivamente. Estos estudios encuentran que las redes sin escala son robustas a fallas aleatorias, pero vulnerables a ataques dirigidos. Así, los bancos que tienen un bajo grado de distribución, son más vulnerables a las perturbaciones que otros bancos, ya que la eliminación de un enlace limitará severamente la cantidad de fondos entrantes. Por el contrario, los bancos con alto grado tienen *ceteris paribus* con respecto al potencial de afectar a más contrapartes si se interrumpe su procesamiento de pagos. Por eso, Soramaki et al. (2007) encuentran que las propiedades de la red cambiaron considerablemente inmediatamente después de los eventos de 11 de septiembre de 2001.

De esta forma, Inaoka et al. (2004) y Soramaki et al. (2007) observan que a través de los exponentes de las distribuciones de leyes de poder se puede clasificar una red en centralizada o descentralizada. En este sentido, estos estudios proponen que para comprender la dinámica de los flujos de liquidez en el caso de un sistema de pago es esencial evaluar la robustez de la red. Por lo cual, una red descentralizada es el resultado de la estabilidad maximizada, en consecuencia tiende a tener un exponente de infinito y la red centralizada, que muestra una economía maximizada, tiende a tener un exponente de cero.

A menudo muchos de estos estudios realizan un ajuste del exponente de la ley de potencias de modo que la relación se mantenga en la red del sistema financiero. Sin embargo, Fricke y Lux (2013) encuentran que los parámetros estimados por las leyes de potencia ajustadas son inestables en el tiempo para el sistema interbancario italiano y concluyen que las distribuciones con una cola exponencial a menudo proporciona un mejor ajuste. Además, Fricke y Lux (2013) analizan la distribución del número de transacciones trimestrales del sistema interbancario italiano que presentan colas gruesas, obteniendo como resultado que la distribución normal de registros supera la ley de poder.

También, recalcan que la distribución de títulos podría ser similar a una ley de poder, sin embargo, es importante realizar un análisis minucioso porque la mayor parte no parece seguir dicha distribución. En general, concluyen que estos hallazgos indican que las redes sin escala no son un modelo apropiado para la estructura de la red interbancaria italiana. Además, cuestionan la forma en la que se están analizando los datos porque las redes contienen un nivel sustancial de asimetría, relacionado con la baja correlación entre los grados in degree y out degree por lo que no existe un vínculo estricto entre el hallazgo de una ley de poder y la distribución de títulos. Y así mismo, no es posible que se relacione la fragilidad de una red bancaria con la clasificación de esta como una red libre de escala.

Con estos análisis, es claro que entre 1997 y 2007 el sistema financiero parecía ser auto regulable y auto reparador a pesar de los choques de precios del petróleo ya que al ser este una red altamente interconectada, dentro de cierto rango las conexiones sirven como amortiguadores. De esta forma, crea un sistema que actúa como un dispositivo de seguro mutuo. Por eso, los bancos centrales convencidos de la eficiencia de los mercados y de la capacidad de las sociedades de crédito para autorregularse abandonaron su función de vigilancia del sistema y se enfocaron únicamente en mantener la inflación objetivo.

Organismos especializados, como el Securities and Exchange Commission en Estados Unidos se encargaron de la solvencia y la liquidez de las entidades de crédito. Pero ni estos organismos, ni los responsables del Tesoro público y de los bancos emisores estuvieron atentos al aumento del precio de los activos en Bolsa que produciría la burbuja inmobiliaria. No obstante, algo que no se tuvo en cuenta es que la conectividad genera robustez y que más allá de cierto rango, las interconexiones sirven como amplificadores de choque, no como amortiguadores, desencadenando pues, la burbuja inmobiliaria y el aumento el precio de los activos en Bolsa.

Además, con esta situación se ha generado una amplia conciencia de que el incumplimiento de una gran parte del sistema financiero se puede cuantificar y medir a partir del análisis de la evolución de la dinámica de los bancos. Por ejemplo, después de la quiebra del banco Lehman Brothers, la aseguradora *AIG (American International Group)* empezó a tener serios problemas para cubrir los servicios que ofrecía. Particularmente, cuando las inversiones de los bancos que estaban aseguradas con AIG empezaron a generar grandes pérdidas por la crisis hipotecaria, la aseguradora tuvo grandes dificultades para responder a estos porque las inversiones que tenía no se podían vender. Dado que el gran tamaño de esta aseguradora podía llegar a afectar toda la economía estadounidense como la de diferentes países en todo el mundo, la Reserva Federal decide rescatar a AIG mediante un préstamo de 85.000 millones de dólares a dos años, catalogado como uno de los más grandes en la historia del sistema financiero (Krugman, 2008).

A causa de, innumerables situaciones similares a la expuesta anteriormente, los responsables de políticas públicas en los gobiernos comenzaron a identificar esos bancos que por sus conexiones se pueden llegar a considerar importantes en caso de quiebra. Es allí, que las medidas de centralidad ofrecen la posibilidad de realizar una prueba de ordenación de acuerdo con la red. En el caso de la red de pasivos interbancarios, la centralidad intermedia proporciona una medida que refleja la cantidad de caminos cortos que contienen solamente nodos centrales.

Estudios como el de Craig, Koetter y Krüger (2014) usan datos del registro alemán del 2001 al 2006 para determinar centralidades bancarias con el fin de explicar variables en regresiones del riesgo de un banco individual. Al incorporar la centralidad de Bonacich, observan que las conexiones mejor capitalizadas y administradas reducen el riesgo propio de los bancos. De la misma manera, indican que una mayor centralidad de red reduce la probabilidad de angustia, basados en que las redes más completas tienden a ser más estables. De allí, que sugieren que la centralidad en la red contribuye a la estabilidad del banco individual y que los bancos más centrales en la red interbancaria, son menos propensos a estar angustiados. Además, concluyen que una mayor centralidad predice una menor probabilidad de incumplimiento.

Dentro de la misma línea investigativa, Martínez-Jaramillo et al. (2014) en su estudio del sistema bancario mexicano analizan la robustez a través de medidas de centralidad sofisticadas e un índice de centralidad compuesto utilizando componentes principales de diferentes medidas de centralidad. Por consiguiente, al contrastar la estructura de sistemas

de pago y de préstamos de redes interbancarias, encuentran que la centralidad no es necesariamente determinada por el tamaño. En tanto, proporcionan evidencia sobre cómo existen bancos que no se considerarían importantes por su tamaño o su rol dentro de la red de exposición interbancaria, pero que son jugadores importantes en la red de sistema de pagos. Por lo cual, concluyen que la importancia sistémica es un concepto que involucra más aspectos que una interconexión sola.

Puhr, Seliger y Sigmund (2012) encuentran que una de las principales ventajas de la centralidad de Katz es que permite evaluar requisitos potenciales de recapitalización para el sistema bancario, además de proporcionar una medida alternativa de importancia sistémica. Comienzan con datos sobre el sistema bancario austriaco y usan esto como una simulación de quiebra bancaria. Recalcan que el contagio es una propensión a derribar a otros, mientras, que la vulnerabilidad es una propensión a ser derribado. De allí, que encuentran que el contagio aumenta con la centralidad, es por eso que los nodos centrales tienden a hacerse más importantes al observar la varianza de centralidad de Katz.

También, Puhr et al. (2012) al observar la varianza de la centralidad ponderada, la interpretan como una ponderación medida de concentración de red. Un resultado, similar al de Boss et al. (2004) que indican que existe un alto coeficiente de agrupamiento en el sistema bancario austriaco. Lo que significa, que dos bancos que tienen conexiones interbancarias con un tercer banco; tienen mayor probabilidad de tener conexiones interbancarias uno con el otro que con cualquier banco elegido al azar de la red. Además, exponen que la existencia de centros representa una fragilidad para el sistema financiero. Por lo cual llegan a la conclusión que la red, después de haber tomado un camino hacia una mayor diversificación, ahora está exhibiendo una tendencia hacia una mayor concentración.

Otros estudios, como los de Alter, Craig y Raupach (2014), Bech y Atalay (2010) y Battiston, Puliga, Kaushik, Tasca y Caldarelli (2012) se han enfocado en llegar a conclusiones de política pública a través de los análisis de la centralidad de determinada red. Por ejemplo, Alter et al. (2014) combinan datos de préstamos del registro de crédito alemán con una red simulación y proponen utilizar la centralidad de un banco para establecer los requisitos de capital. Por su parte, Bech y Atalay (2010) estudian el mercado de fondos de la Fed y encuentran que las medidas de centralidad son predictores útiles de las tasas de interés que se cobran entre sí los bancos por préstamos a un día. Además, Battiston et al. (2012) proponen que es necesario hacer una modificación en la forma en cómo se realizan las mediciones de la centralidad y exponen una propuesta a través del indicador *DebtRank* que fue aplicado a los datos de los préstamos de emergencia hechos por la Reserva Federal en 2008–10.

Sin duda, explorar la topología de red del mercado de fondos federales es importante para distribuir la liquidez en todo el sistema financiero y para la implementación de la política monetaria. Los bancos que prestan mucho dinero o los bancos que prestan a contrapartes con alta actividad crediticia tienen los puntajes más altos de centralidad de Bonacich. Es por eso, que la centralidad Bonacich es útil para explicar parte de la heterogeneidad de precios que se muestra en el mercado de fondos federales. Para ilustrar esto, Bech y Atalay (2010) indican que si el banco prestatario tiene un puntaje de centralidad más alto que el banco

prestamista, podrá extraer una tasa de interés más baja de su contraparte. Por el contrario, si la institución crediticia tiene el puntaje de centralidad más alto, el interés de la tasa del préstamo será mayor.

En este sentido, usando medidas específicas de la red, se puede entender mejor la dicotomía de los bancos pequeños y los bancos grandes del mercado, mediante el cual los bancos pequeños generalmente presta fondos a bancos más grandes. De igual forma, las medidas de centralidad, que determinan la importancia relativa de los bancos en la red, son predictores útiles del interés cobrado entre los bancos. Además, estas medidas de centralidad incorporan la actividad crediticia de un banco, así como la actividad crediticia de sus sucesores. Es así, que bancos que prestan grandes sumas de dinero tendrán, en su mayor parte, grandes puntajes de centralidad.

En definitiva, la crisis financiera mostró que la mayoría de las instituciones tienen un alto nivel de fragilidad, lo que implica que cada banco tenía más probabilidades de incumplimiento por sí solo. Por eso, la propuesta de Alter et al. (2014) de comparar formas alternativas de reasignar requisitos de capital de bancos con baja centralidad a bancos con alta centralidad, es efectivamente una solución para minimizar las pérdidas por bancarrota. Sin embargo, utilizar la centralidad para establecer requisitos de capital plantea en la práctica, un desafío porque los requisitos de cada banco se vuelven dependientes de las acciones de otros bancos.

Teniendo en cuenta, los aportes de los estudios presentados durante esta sección, se evidenció que la reciente crisis en los mercados financieros mundiales recalca la importancia de las medidas de centralidad de una red de préstamos interbancarios. Se encontró que en general en las redes de diferentes países, el más grande los prestatarios estaban interconectados en una red densa. En consecuencia, cada uno de ellos era muy central y podía afectar significativamente a todos los demás nodos en solo uno o dos pasos. Por lo cual, un pequeño shock para el sistema en su conjunto podría amplificarse por los muchos caminos en la red en un defecto sistémico. Las deducciones sugieren que el debate sobre las instituciones demasiado grandes para fracasar debería incluir el problema aún más grave de demasiado central para fallar.

4.2. Ventajas y desventajas del análisis de redes financieras complejas a través de indicadores de red.

El análisis de redes financieras complejas es capaz de incorporar la aleatoriedad, los rasgos característicos de los agentes y su grado de conectividad. Por lo cual, definitivamente es una de las razones para fomentar su uso pues las entidades financieras operan en la actualidad bajo ambientes altamente volátiles. Por ejemplo, las tasas de interés y las tasas de cambio presentan fluctuaciones considerables y de difícil predicción como lo que sucedió durante la gran recesión. Dichas fluctuaciones implican riesgos para las entidades que hacen parte de la red financiera. Por lo cual, una forma para saber cómo administrarlos es a través de la topología de red.

No cabe duda, que la distribución de grado y las medidas de centralidad son de gran ayuda para guiar al creador de política pública a construir procedimientos para identificar, medir y tomar las medidas preventivas que permitan enfrentar situaciones como esta crisis de la mejor manera posible. Las medidas presentadas hasta ahora consideran un sector como importante o central si muestra un número elevado de interrelaciones con el resto de las agentes en la red. A partir de este planteamiento, la centralidad supone poder, es decir, aquellas entidades financieras con más transacciones exhiben mayor poder porque pueden afectar directamente a más agentes con su toma de decisiones. Pero, un nivel o grado de conexiones idéntico, no implica que la importancia de las entidades financieras sea exactamente la misma, por eso, es necesario incorporar indicadores complementarios a las medidas de centralidad y distribución de grado.

Además, en una situación de crisis económica, existe una ausencia de credibilidad de contrapartes debido a que la situación inestable de las entidades se refleja en los balances. En este sentido, los bancos y otras entidades financieras no podrán proporcionar la liquidez necesaria para transacciones comerciales típicas, por lo cual es responsabilidad del gobierno reactivar la economía. En este sentido, la distribución de grado y las medidas de centralidad estudiadas son útiles para clasificar a los bancos en términos del posible riesgo sistémico que representan para la red. Por ejemplo, un banco que se vea imposibilitado para cumplir con sus obligaciones y que tenga una alta centralidad puede provocar problemas de liquidez en sus contrapartes más cercanas que dependan de sus pagos, haciendo que tampoco paguen sus deudas, y así sucesivamente. Es por esto, por lo que es importante reconocer a los bancos con una alta centralidad de intermediación y con un gran número de enlaces entrantes y salientes, pues estos bancos son influyentes y tienen una alta reputación dentro de la red financiera.

En este sentido, la distribución de grado y las medidas de centralidad pueden ayudar a instituciones financieras establecedoras de políticas económicas, por ejemplo, bancos centrales, a decidir si un banco cercano a la quiebra debería ser rescatado o no. Los efectos negativos a causa de las crisis se pueden amortiguar si estas instituciones toman decisiones adecuadas y a tiempo al respecto. La gran recesión debe dejar como enseñanza que se requiere reformular los criterios de bienestar. Además, de la implementación de una regulación más clara y precisa de las innovaciones que se realicen dentro del sector financiero. Particularmente, la mejor manera de enfrentar los fallos del mercado es a través de políticas económicas que se coordinen a nivel global. De tal forma, que todos los países sean capaces de limitar la creación de activos tóxicos como los que gestó la crisis hipotecaria en Estados Unidos. Así, si un país no se regula adecuadamente, las externalidades negativas no se trasladarán a otros países.

Sin embargo, una de las desventajas es que este enfoque de sistemas complejos postula las reglas de manera exógena y no explícitamente, por lo que, aunque las reglas están fundamentadas sobre la base de los incentivos económicos de los agentes, aún se puede lograr incorporar más teoría económica y supuestos que se ajusten a la realidad de forma más adecuada. Pues evidentemente, en situaciones como la de Estados Unidos, las instituciones tienen un rol primordial al identificar problemas como la brecha entre la demanda, la desigualdad y la inestabilidad financiera. También, el hecho que dentro del

sistema financiero los agentes tuvieran incentivos para desviarse de situaciones que producen equilibrios. En el caso del mercado inmobiliario, las grandes primas y beneficios que recibían los banqueros al vender productos financieros fusionados con hipotecas de alto riesgo. Mostró que los agentes pueden tomar riesgos que parecen no racionales o suministrar créditos a individuos que no son lo suficientemente solventes.

Así, con base en la complejidad de las actividades de cada institución, se deben desarrollar modelos internos, los cuales, requieren de sistemas de información apoyados en datos históricos y la topología de red. Es entonces esencial que la institución, además de dar cumplimiento a los requerimientos del Acuerdo de Basilea, reconozca primero qué tan riguroso debe ser el proceso de medición del riesgo de crédito, con base en las políticas internas de la organización y en medidas de centralidad y de distribución de grado. De forma que, así como el Comité de Basilea recomienda metodologías que implican tener sistemas de información que permitan conocer la maduración de activos y pasivos y los flujos generados por éstos con determinada periodicidad, también exija requerimientos de capital en base a la importancia que muestra la topología de la red financiera con respecto a cada institución.

En efecto, el papel del gobierno es fundamental en periodos tan críticos como una crisis, por eso, es una ventaja contar con bases de datos de la topología de la red financiera de cada país para garantizar la estabilidad financiera. En este sentido, el principal objetivo del gobierno debe ser restablecer el crédito e imponer un reparto justo de las pérdidas a través de la información que proporciona la teoría de redes. Esto solo es posible a partir de la creación de leyes que restrinjan la creación de activos tóxicos y malas prácticas en el sector financiero. Además, el gobierno debe supervisar las transacciones de los bancos para evitar los movimientos de alto riesgo que ponen en juego la estabilidad del sector financiero. De igual forma, las regulaciones deben ser capaces de permitir que el mercado funcione dentro de sus dinámicas.

En este orden de ideas, una de las respuesta de política económica más relevantes es regular a las instituciones financieras. Sin duda, es necesario establecer un marco legal que permita al gobierno limitar el tamaño de los bancos y que regule la creación de nuevos productos financieros. De manera que, se cambie la percepción sobre el tamaño de los bancos, pues actualmente, se tiene la creencia de que los bancos son demasiado grandes para reestructurarlos financieramente y gestionarlos. No obstante, si se crea un nuevo marco legal, este debe promover la capacidad de los bancos para responder ante situaciones tan graves como la falta de liquidez y evitar los rescates gubernamentales de bancos que se consideren demasiado importantes dentro del sistema financiero para quebrar pues esto propicia situaciones de riesgo moral.

5. Conclusión

La crisis de la gran recesión, llevo a cuestionar la capacidad de los mercados financieros para autorregularse y la necesidad de reestructuración de los modelos financieros tradicionales. Las economías mundiales utilizaron menos la política monetaria y fiscal

porque creían que el mercado por sí mismo podía garantizar que los recursos se desplegaran completamente. Así, los *swaps* de incumplimiento crediticio y los fondos de cobertura no tuvieron una estricta regulación y no contaron con una garantía real. Por lo tanto, la crisis demostró que estos productos necesitaban de regulación y que las empresas financieras no bancarias no estaban preparadas para diversificar el mercado.

A fin de investigar sobre esta situación, en este documento se presentó a grandes rasgos las principales herramientas de estudios de red que permiten analizar coyunturas económicas como la gran recesión. Es por esto, que este documento pretende rectificar la importancia de incorporar medidas de red tanto en los modelos financieros, así como en las políticas públicas que genere el gobierno. Además, de distinguir que la discusión pública actual sobre las instituciones demasiado grandes para fracasar deberían ampliarse a la teoría de red con la noción de demasiado central para fallar, para dar cuenta de la existencia de núcleos densamente conectados en redes financieras.

También, es fundamental entender la relación entre economía y política, pues los gobiernos tienen un rol fundamental a la hora de mantener la estabilidad económica. De allí, que una forma de prever los efectos negativos de shocks dentro del mercado financiero sea a partir del estudio de la red financiera. Por lo cual, revisando la bibliografía de diferentes autores se intentó presentar diferentes puntos de vista sobre como analizar la red de préstamos interbancarios. De allí, se buscó enunciar de la manera más clara las posibles medidas de red que se han utilizado como la distribución de grados y las medidas de centralidad.

Así, es precisamente en estas situaciones como esta donde la ciencia económica debe crear soluciones y considerar supuestos que se ajusten mejor a la realidad dentro de los modelos. Por lo cual, no cabe duda que solo una combinación de topología de redes financieras y modelos económicos permitiría realizar análisis riguroso que lleven a políticas económicas eficientes, a la creación de bienestar social y a conductas éticas dentro del mercado. Revelar los centros de la red, mostrar los enlaces críticos, observar la distribución de grado, entre otros análisis, deben ayudar a identificar los bancos potencialmente importantes sistémicamente para facilitar la comprensión más profunda de la red financiera.

En este sentido, este documento puede servir como guía para entender problemas de estabilidad financiera como la insolvencia bancaria. Además, de complementar los enfoques tradicionales que son fuertemente enfocados en la supervisión de instituciones individuales. Por lo tanto, un parámetro local recuperado por análisis de red puede proporcionar información global sobre un parámetro de riesgo sistémicamente relevante de los sistemas bancarios.

Por esta razón, las lecciones aprendidas por la gran recesión sobre las fallas en el estudio de la ciencia económica se deben subsanar a través de estudios de red que logren que el gobierno estructure reformas acertadas de regulación en el sistema financiero. De esta forma, la centralidad y distribución de grados el mercado financiero proporciona valiosa información a los gobiernos sobre como regular a los bancos, generando que se disminuyan los incentivos para la creación de activos tóxicos. También, estas reformas basadas en estudios de red tienen la capacidad de limitar el tamaño de los bancos, pues la

quiebra de un banco no puede traducirse en la falta de estabilidad de los mercados.

6. Bibliografía

Acatitla E. y Urbina J. (2017). El uso de redes complejas en economía: alcances y perspectivas. *Interdisciplina* 5, n° 12 (mayo–agosto 2017): 9–22.

Alter A., Craig B. y Raupach P. (2014). Centrality-based capital allocations. *International monetary fund working paper* 14/237.

Barabási, A. (2003). *Linked: How everything is connected to everything else and what it means for business, science, and everyday life*. New York: plume.

Barabási A. y Albert R. (1999), Emergence of scaling in random networks, *science*, vol. 286, no. 5439, pp. 509–512.

Battiston S., Puliga M., Kaushik R., Tasca P. y Caldarelli G (2012). DebtRank: too central to fail? financial networks, the FED and systemic risk. *Scientific reports* 2: 541.

Boss M., Eisinger H., Summer M., y Thurner S. (2004). Network topology of the interbank market. *Quantitative finance* 4 (6): 677–84

Cont R., Moussa A. y Santos E. (2013). Network structure and systemic risk in banking systems en *handbook on systemic risk*, editado por Fouque J. y Langsam J. 327–68. Cambridge and New York: Cambridge UniversityPress.

De la Dehesa, G. (2009). *La primera gran crisis financiera del siglo XXI. Orígenes, detonantes, respuestas y remedios*. Barcelona: Alianza Editorial.

Euler L. (1736). *Solutio problematis ad geometriam situs pertinentis*. *Commentarii Academice Scientarum Imperialis Petropolitane* 8, 128-140.

Fricke D. y Lux T.(2015). Coreperiphery structure in the overnight money market: evidence from the e-MID trading platform. *Computational economics* 45 (3): 359–95

Glasserman P. y Peyton Y. (2016) Contagion in financial networks. *Journal of economic literature*, 54 (3). pp. 779-831. ISSN 0022-0515

Haldane A. (2009). Rethinking the financial network. *The financial student association*, Amsterdam, april, bank of England.

Inaoka H., Ninomiya T., Taniguchi K., Shimizu T. y Takayasu H (2004). Fractal network derived from banking transaction: an analysis of network structures formed by financial

institutions. Bank of Japan working paper 04-E-04.

Kleinberg J. (2007). Cascading behavior in networks: algorithmic and economic issues. Chapter 24 of algorithmic game theory, edited by Noam Nisan, Tim Roughgarden, Eva Tardos, and Vijay Vazirani (Cambridge University Press)

Krugman, Paul (2008): The return of depression economics and the crisis of 2008. New York, W.W. Norton & Co

Laumann E. O., Marsden P.V. y Prensky D. (1989). The boundary specification problem in network analysis. En L.c. Freeman, D.R. White y A. K. Romney (Eds), research methods in social network analysis (pp. 61-87). Fairfax, VA: George Mason University Press.

Lozares, C. (1996). La teoría de redes sociales. Papers. Revista De Sociología, 48, 103-126.

Martín-Aceña P. (2011). La gran recesión: orígenes y desarrollo. Madrid: Universidad de Alcalá.

Martinez-Jaramillo S., AlexandrovaKabadjova B., Bravo-Benitez B. y Solórzano-Margain J. (2014). An empirical study of the Mexican banking system's network and its implications for systemic risk. Journal of economic dynamics and control 40: 242–65

Milgram S. y Travers J. (1969). An experimental study of the small world problem. Sociometry, 32, 425-443.

Puhr C., Reinhardt S. y Sigmund M. (2012). Contagiousness and vulnerability in the austrian interbank market. Oesterreichische nationalbank financial stability report 24.

Requena Santos F. (2003). Análisis de redes sociales: orígenes, teorías y aplicaciones. ISBN: 9788474763478.

Romualdo P. y Vespignani A. (2004). Evolution and structure on the internet, A Statistical Physics Approach, Cambridge University Press.

Sanz Menéndez L. (2003). Análisis de redes sociales: o cómo representar las estructuras sociales subyacentes. Unidad de Políticas Comparadas, Consejo Superior de Investigaciones Científicas C/ Alfonso XII, 18, 28014 Madrid. Apuntes de Ciencia y Tecnología, Nº 7.

Schweitzer F., Fagiolo G, Sornette D, Vega-Redondo F, Vespignani A y White DR. (2009). Economic networks: The new challenges science 325, 422. DOI: 10.1126/science.1173644

Soramaki K., Bech M., Arnold J., Glass R. y Beyeler W. (2007). The topology of interbank payment flows. Physica A: statistical mechanics and its applications 379 (1): 317–33.

Stadler M. (2017) Tras más de un siglo de aventura... ¿un ordenador resuelve el problema? Cuaderno de cultura científica. Publicado el 24 de mayo, 2017 en Matemoción

Stadler M. (2014). Arthur Cayley, la teoría de grafos y los isómeros químicos. Cuaderno de cultura científica. Publicado el 6 de agosto, 2014 en Matemoción.

Stiglitz, Joseph E. (2010). Caída libre. El libre mercado y el hundimiento de la economía mundial. Madrid, Taurus.

Vilariño, Angel (2000). El episodio del Long Term Capital Management, Capítulo 6 de Turbulencias financieras y riesgos de Mercado, Prentice-Hall.

Wasserman S., Faust, K. y Molina, J (2013). Análisis de redes sociales. Métodos y aplicaciones. ISBN: 9788474766318.

Watts D. y Strogatz, S. (1998) Collective dynamics of small-world networks, *Nature*, vol. 393, pp. 440–442.

Williamson, O. (2000) The New Institutional Economics: Taking Stock, Looking Ahead *Journal of Economic Literature* 38, pp. 595