



Notas Económicas Regionales

Secretaría Ejecutiva del Consejo Monetario Centroamericano

No. 122, junio 2021

ANÁLISIS DE REDES COMPLEJAS Y SU APLICACIÓN EN EL MERCADO DE COLOCACIONES EN DEPÓSITOS INTERBANCARIOS DE PANAMÁ *

Patricio Mosquera[†]

pmosquera@superbancos.gob.pa

Luis Ortiz Cevallos[‡]

lortiz@secmca.org

Introducción.

El enfoque transversal para la medición del riesgo sistémico consiste en entender este riesgo como el resultado de la forma en que se encuentran organizados los mercados financieros, prestando atención en las interconexiones que cada uno de los agentes mantienen con el resto de participantes en un mercado. Así, dadas esas interconexiones, las acciones de una determinada institución financiera tendría el potencial de esparcir sus efectos hacia el resto del sistema.

*Se agradece al Departamento de Mercado Monetario y de Capitales del Fondo Monetario Internacional quien hizo posible la realización del Seminario: "Análisis de Redes Complejas Aplicadas a temas de Estabilidad Financiera", realizado en Tegucigalpa Honduras los días 27, 28 y 29 de mayo 2019. Especial agradecimiento al Dr. Carlos León, quien impartió ese Seminario y cuya cátedra hizo posible la disposición de las habilidades necesarias para escribir la presente nota. Finalmente, se agradece a la Dirección de Estudios Financieros de la Superintendencia de Bancos de Panamá, por haber provisto la información pertinente de los bancos presentados en esta nota. Las ideas y opiniones en la presente nota no corresponden a las de la Superintendencia de Bancos de Panamá o a las del Consejo Monetario Centroamericano (CMCA) o sus miembros. Los errores u omisiones son responsabilidad exclusiva de sus autores.

[†]Gerente de Análisis de Coyuntura, Dirección de Estudios Financieros, Superintendencia de Bancos de Panamá.

[‡]Economista en la Secretaría Ejecutiva del Consejo Monetario Centroamericano.



Notas Económicas Regionales

Secretaría Ejecutiva del Consejo Monetario Centroamericano

No. 122, junio 2021

Disponer de una medida sobre el riesgo sistémico en su enfoque transversal resulta importante por tres razones: primero, porque hace posible evaluar el cumplimiento del objetivo de las políticas macroprudenciales; segundo, porque brinda a dichas políticas la posibilidad de anticipar un evento de crisis financiera, evaluando la resiliencia de cada institución y detectando a instituciones de importancia sistémica; y tercero, porque permite evaluar el riesgo más allá de un país, debido a que existen interconexiones financieras transfronterizas.

En la presente nota se describe el análisis de redes complejas y su utilidad en la medición del riesgo sistémico desde un enfoque transversal; adicionalmente, este análisis es aplicado al mercado de colocaciones en depósitos interbancarios de Panamá, permitiendo disponer de un conjunto de medidas que describan a ese mercado.

Como principal resultado, se aprecia que el mercado de colocaciones en depósitos interbancarios de Panamá cuenta con características análogas a las reportadas por otros autores tras aplicar el análisis de redes complejas a otros mercados o infraestructuras financieras (ver por ejemplo Craig y Von-Peter (2010) y León, Machado y Sarmiento (2018)). En primer lugar, es posible describir ese mercado como una red no homogénea, constituida por pocas instituciones financieras fuertemente conectadas; en segundo lugar, consiste en una red con baja densidad, debido a que el número de enlaces observados es mucho menor que el número de enlaces potenciales; y en tercer lugar, se trata de una red descrita por la literatura como ultra pequeña (Cohen y Havlin (2003)), donde el número mínimo promedio de enlaces necesarios para conectar cualquier par de instituciones es bajo.

La aplicación del análisis de redes complejas a un mercado o infraestructura financiera resulta novedoso para la región conformada por los países de Centroamérica y República Dominicana. Hasta la fecha, ningún país ha mostrado, públicamente, la aplicación de esa metodología en sus respectivos Informes de Estabilidad Financiera o de Vigilancia de Sistema de Pagos. Adicionalmente, el ejercicio mostrado en esta nota podría ser un primer



Notas Económicas Regionales

Secretaría Ejecutiva del Consejo Monetario Centroamericano

No. 122, junio 2021

paso para la elaboración de test de estrés a partir de la simulación de la desaparición de un participante de importancia sistémica dentro de la red.

La presente nota se organiza en dos secciones adicionales a esta introducción. En la siguiente se describe el análisis de redes complejas y se realiza una breve revisión de la literatura relacionada con su aplicación en el área de Estabilidad Financiera, ilustrando su aplicación con el mercado de colocaciones en depósitos interbancarios de Panamá; finalmente, son presentadas las conclusiones.

Descripción del análisis de redes complejas en el área de Estabilidad Financiera y su aplicación en el mercado de colocaciones en depósitos interbancarios de Panamá.

Una red es un modelo en el que cada uno de los agentes que participan en ella exhiben las conexiones que mantienen, en un determinado momento de tiempo, con el resto de participantes.

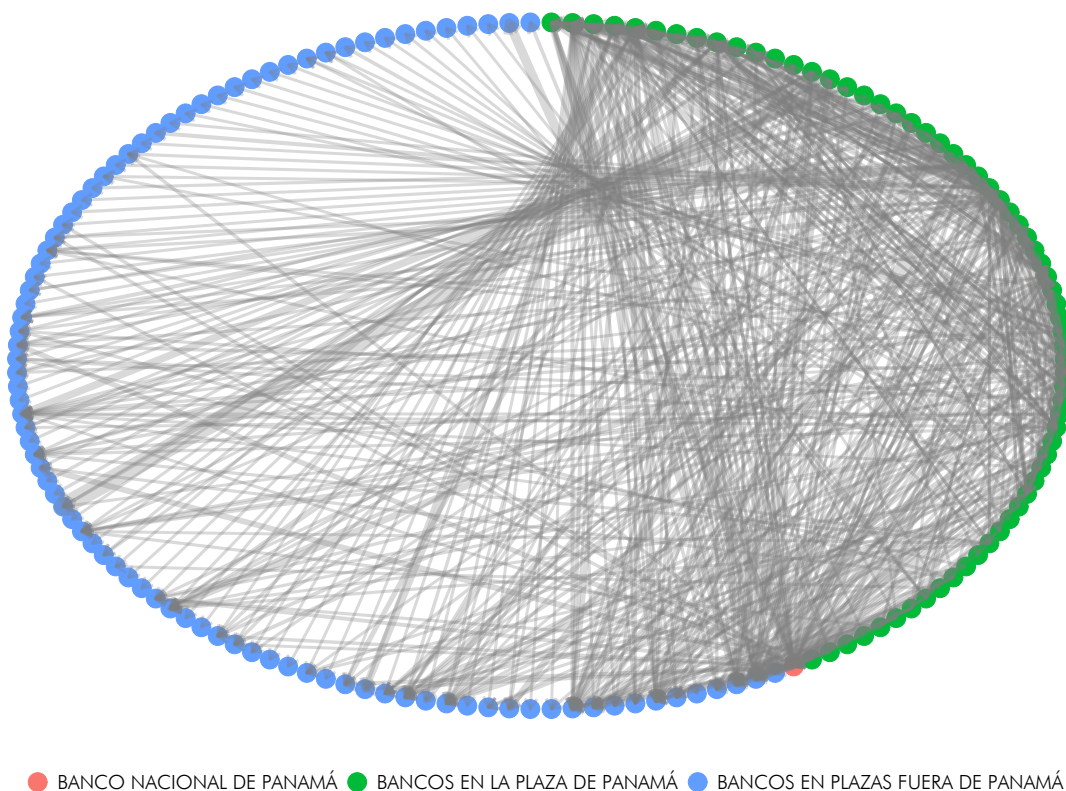
Las redes pueden ser de diversos tipos, una red social como twitter o una relacionada a una infraestructura financiera, como serían los casos del mercado de colocaciones en depósitos interbancarios o el de Liquidación Bruta en Tiempo Real (LBTR).

Entre los tipos de redes que son de interés para la estabilidad financiera se encuentran aquellas que muestran dos cualidades. La primera que la conexión posea dirección, por lo que en la red existirían tres clases de agentes: los que son exclusivamente originarios, exclusivamente destinatarios y los que son tanto originarios como destinatarios. La segunda, que las conexiones posean un atributo dado por el valor de la transacción o exposición financiera.

Es así que la red constituida por el mercado de colocaciones en depósitos interbancarios

de Panamá posee esas cualidades. La Figura 1, ilustra esa red a diciembre 2019, siendo cada uno de los vértices una institución financiera, el de color rojo representa el Banco Nacional de Panamá el cual, de manera similar a un banco central, ofrece en ese mercado el servicio de liquidación de pagos de alto valor; los de color verde representan el resto de los bancos que operan en Panamá y los de azul a las instituciones financieras en el exterior.

Figura 1: Red del mercado de colocaciones en depósitos interbancarios de Panamá (diciembre 2019).



Nota: En esta red las interconexiones son dirigidas y el grosor de cada una de éstas representan la magnitud en valor de la exposición que por concepto de colocación en depósito cada institución de origen tiene con otra de destino.

Fuente: Elaboración propia con base en la matriz de incidencia del mercado de colocaciones en depósitos interbancarios de Panamá a diciembre 2019, provista por la Dirección de Estudios Financieros de la Superintendencia de Bancos de Panamá.



Notas Económicas Regionales

Secretaría Ejecutiva del Consejo Monetario Centroamericano

No. 122, junio 2021

Con base en la Figura 1, es posible apreciar algunos hechos estilizados de la red del mercado de colocaciones en depósitos interbancarios de Panamá; en primer lugar, se observa que los bancos que operan dentro de la plaza panameña mantienen entre ellos mayor cantidad de conexiones, aunque también, es posible advertir algunas instituciones extranjeras altamente conectadas con bancos panameños; y en segundo lugar, el Banco Nacional de Panamá se muestra con muchas conexiones¹, debido al rol que éste juega en la liquidación de alto valor.

A las redes como las del mercado de colocaciones en depósitos interbancarios se conocen como dirigidas y ponderadas y de acuerdo a Barabási (2003) el estudio de su estructura y evolución es importante para entender los procesos macroeconómicos.

En efecto, gracias al estudio de este tipo de redes, y en particular para diferentes infraestructuras financieras (véase por ejemplo León, Machado y Sarmiento (2018), León, Pérez y Renneboog (2014a) y Martínez-Jaramillo et al. (2012)), se ha podido comprobar que éstas poseen una característica con importantes implicaciones para la estabilidad financiera. Esa característica consiste en que la mayoría de instituciones financieras que participan en una red de ese tipo se encuentran con pocas conexiones; no así una minoría de instituciones, las cuales se hallan altamente conectadas.

El hecho anterior, implica que el número de conexiones que contiene cada institución financiera en la red sigue una distribución de ley potencial, siendo una de las propiedades de ese tipo de distribución el ser invariante de escala, es decir, que las transacciones financieras de valores grandes a la que están expuestas esas instituciones no deben cambiar, por término medio, ni más aprisa ni más despacio que las transacciones de valores pequeños (Krugman (1996)). De allí que a ese tipo de redes son conocidas como libres de escala.

Para comprender las implicaciones de una red libre de escala sobre la estabilidad financiera,

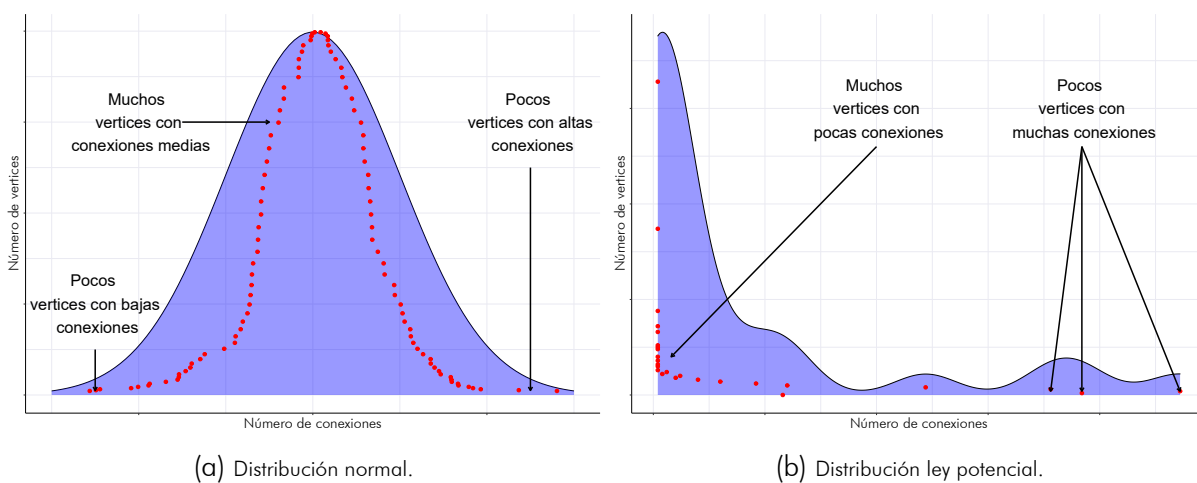
¹Ello se nota por como las conexiones tapan casi en su totalidad el vértice que representa dicho banco (color rojo en la Figura).

en la Figura 2 son contrastadas dos tipos de distribuciones, la normal (panel a) y la de ley potencial (panel b), esta última obtenida de una red libre de escala.

Con base en una distribución normal, la mayoría de instituciones financieras tenderían a mostrar un número de conexiones en torno a un número medio y pocas tendrían un número de conexiones extremadamente bajas o altas; por ende al suponer de forma aleatoria que una de esas instituciones falla se esperaría un impacto intermedio sobre la estabilidad financiera. En tanto, en el caso de una red libre de escala, la selección aleatoria de una de las instituciones para que ésta falle se esperaría que tuviese un efecto ínfimo en la estabilidad financiera.

Sin embargo, en el caso de la red libre de escala, al suponer de forma selectiva la falla de una institución altamente conectada, el efecto sobre la estabilidad financiera sería sustancialmente mayor con relación al escenario donde la selección de una institución es aleatoria, lo que implicaría un riesgo sistémico. Mientras en una red con distribución normal, la falla selectiva tendría un impacto no tan mayor con respecto al escenario contrafactual, el de selección aleatoria.

Figura 2: Distribución de los vértices según su número de conexiones.



Fuente: Elaboración propia.



Notas Económicas Regionales

Secretaría Ejecutiva del Consejo Monetario Centroamericano

No. 122, junio 2021

Esa característica de la red libre de escala, de mostrarse robusta ante la falla de una institución cuando ésta se da de forma aleatoria y observarse extremadamente dañada ante la falla selectiva de una institución, suele definirse en la literatura económica como una red robusta y a la vez frágil (véase por ejemplo Haldane (2009), León, Machado y Sarmiento (2018) y León, Pérez y Renneboog (2014a)).

Para poder definir cierta infraestructura financiera como robusta y a la vez frágil, se recurre al análisis de redes complejas y en particular a la obtención de ciertas medidas como lo son: los momentos estadísticos de la distribución (media, desviación estándar, sesgo y curtosis) y el valor del exponente de su ley potencial tanto para el grado y la fuerza de los vértices en una red, la densidad y distancia geodésica media.

En el caso de una red dirigida y ponderada, se entiende por grado de origen (destino) de una institución financiera, a la cantidad de conexiones que una determinada institución inicia (recibe) dentro de la red. Y por fuerza de origen (destino) de una institución, a la cantidad de conexiones ponderadas por el valor de la transacción o exposición financiera que sale (entra) de cada institución que participa en la red.

En efecto, tras aplicar el análisis de redes al mercado de colocaciones en depósitos interbancarios de Panamá, es posible obtener un conjunto de medidas, las cuales son mostradas en el Cuadro 1, en el cual se hace la consideración de analizar dos redes, una incluyendo todos los bancos y otra excluyendo al Banco Nacional de Panamá, ello debido al importante rol que esta institución juega en la liquidación de alto valor.

De acuerdo al Cuadro 1, los momentos de la distribución obtenida a partir de los grados de origen que exhiben todas las instituciones en la red, muestran la dispersión (dado por la desviación estándar), la asimetría (dado por el sesgo) y la concentración en los datos en torno a la media (dado por la curtosis) descritos por cierta distribución dada por una ley potencial. De hecho, el coeficiente del exponente para esa ley potencial es estimado en



Notas Económicas Regionales

Secretaría Ejecutiva del Consejo Monetario Centroamericano

No. 122, junio 2021

2.14² señalando que, según el origen de las conexiones, existe una minoría de instituciones con colocaciones en depósitos hacia muchas otras, revelando desde ese enfoque una fragilidad en el sentido de Haldane (2009). Un resultado similar se obtiene cuando no se considera en la red al Banco Nacional de Panamá.

Cuadro 1: Estadísticas estándar para la red del mercado de colocaciones en depósitos interbancarios de Panamá (diciembre 2019).

Conceptos	Con Banco Nacional de Panamá			Sin Banco Nacional de Panamá		
	Generales			Generales		
Participantes	156	—	—	155	—	—
Densidad	0.03	—	—	0.02	—	—
Distancia geodésica media	2.6	—	—	2.5	—	—
GRADO		Origen	Destino		Origen	Destino
Media	—	4.1	4.1	—	3.6	3.6
Desviación estándar	—	6.91	6.64	—	5.68	6.12
Sesgo	—	3.58	1.83	—	2.88	1.98
Curtosis	—	16.35	2.78	—	9.62	3.5
Exponente ley potencial ¹	—	2.14	12.90	—	1.72	2.62
FUERZA		Origen	Destino		Origen	Destino
Media ²	—	99.43	99.43	—	76.51	76.51
Desviación estándar ²	—	258.71	323.95	—	217.9	240.56
Sesgo ²	—	4.06	6.0	—	4.47	6.48
Curtosis	—	17.9	41.09	—	21.34	53.06
Exponente ley potencial ¹	—	1.58	1.63	—	1.52	2.87

Notas:

¹ La estimación del coeficiente del exponente de la ley potencial se hizo con el método de máxima verosimilitud.

² Los valores de la red se encuentran en millones de dólares norteamericanos.

Fuente: Elaboración propia con base en la matriz de incidencia del mercado de colocaciones en depósitos interbancarios de Panamá a diciembre 2019, provista por la Dirección de Estudios Financieros de la Superintendencia de Bancos de Panamá.

²La estimación del coeficiente del exponente de la ley potencial se hace con el método de máxima verosimilitud propuesto en Clauset, Shalizi y Newman (2009).



Notas Económicas Regionales

Secretaría Ejecutiva del Consejo Monetario Centroamericano

No. 122, junio 2021

Por otro lado, los valores del exponente de la ley potencial estimados para la distribución del grado de destino, según corresponda a la red con o sin la inclusión del Banco Nacional de Panamá, muestran considerables diferencias; evidenciando la fuerte influencia que dicha institución tiene como destino de las colocaciones en depósitos, haciendo que tras su exclusión resulte una red más frágil, debido al aumento en la diferencia entre el número de instituciones altamente conectadas con respecto al resto.

Al estudiar la distribución de la fuerza de origen para cada institución según sea la red con o sin la inclusión del Banco Nacional de Panamá, se observa, al igual que en el análisis del grado de origen, poca diferencia entre los exponentes de la ley potencial estimados; respaldando el hecho que, en función del origen, el Banco Nacional de Panamá tiene poca incidencia en la red, pues esa institución no origina tantas colocaciones en depósitos ni un alto valor en su exposición hacia otras.

Con respecto a como se encuentra distribuida la fuerza según destino de las conexiones entre los participantes en la red, éstas son diferentes al incluirse o no el Banco Nacional de Panamá. Sin embargo, en oposición con lo encontrado tras comparar las distribuciones del grado de destino entre ambas redes, en el caso de la fuerza, la red que incluye al Banco Nacional de Panamá se muestra más frágil en relación a la red donde esa institución se omite. Ello evidencia el importante rol que juega como institución de destino de las colocaciones en depósitos dicho banco, no por el número de conexiones, el cual es comparable con un pequeño número de otras instituciones, sino por el valor que representan cada una de esas conexiones.

Estos resultados, en especial los concernientes a la fuerza en destino, otorgan evidencia de que el mercado de colocaciones en depósitos interbancarios en Panamá es una infraestructura financiera robusta; en el sentido de que al fallar de manera aleatoria una de las instituciones participantes, con alta probabilidad la estabilidad financiera se mantendría sólida. Al mismo tiempo, es una infraestructura frágil, ya que al fallar una entre las pocas instituciones más altamente conectadas, y en especial el Banco Nacional



Notas Económicas Regionales

Secretaría Ejecutiva del Consejo Monetario Centroamericano

No. 122, junio 2021

de Panamá, provocaría un considerable efecto en la estabilidad financiera.

Por su parte, la densidad de una red, mide el patrón de conectividad o el grado de cohesión que posee la red. Esta medida corresponde a las conexiones observadas como porcentaje del número total de enlaces posibles en la red; de acuerdo a una revisión de la literatura económica las infraestructuras financieras son descritas como de baja densidad, hecho que se constata para el mercado de colocaciones en depósitos de Panamá, pues su densidad representa el 3.0% y 2.0% del número total de enlaces posibles en la red, con o sin incluir el Banco Nacional de Panamá, respectivamente.

En cuanto a la distancia geodésica media de la red, definida como el promedio entre los números de enlaces mínimos requeridos para conectar cualquier par de instituciones financieras, cuando ésta es menor al número de instituciones que participan en la red, la literatura económica la describe como una infraestructura financiera ultra pequeña (Cohen y Havlin (2003)).

Para el mercado de colocaciones en depósitos interbancarios de Panamá se obtiene una distancia geodésica media en torno al 2.5, independientemente si se incluye o no al Banco Nacional de Panamá, cantidad que es mucho menor al número de instituciones que participan en ese mercado.

Conclusiones.

El enfoque transversal en la medición del riesgo sistémico presta especial atención a las interconexiones que cada una de las instituciones financieras mantienen con otras dentro de los diferentes mercados o infraestructuras. El análisis de redes complejas ofrece un recurso para modelar estos mercados, como una organización entre agentes vinculados a través de sus conexiones financieras. Con dicho recurso se puede extraer un conjunto de mediciones que permiten deducir conclusiones sobre el mercado o sobre algún participante en particular. Conclusiones que resultan de especial interés para la estabilidad financiera



Notas Económicas Regionales

Secretaría Ejecutiva del Consejo Monetario Centroamericano

No. 122, junio 2021

nacional y regional.

Una de las principales conclusiones en materia de estabilidad financiera que el análisis de redes ha permitido deducir tras su aplicación en diferentes mercados o infraestructuras financieras, es el de encontrar una poca cantidad de instituciones altamente conectadas, por lo que la falla de una de éstas, ocasionaría graves efectos sobre la estabilidad financiera. De este modo, al evaluar de manera conjunta posibles riesgos de contagio y vulnerabilidades específicas de cada institución, la metodología permite generar indicadores para medir la importancia sistémica de las entidades financieras en cada país.

En el estudio del mercado de colocaciones en depósitos de Panamá se pudo comprobar la anterior conclusión, particularmente al considerar el número de conexiones ponderado por el valor de ese tipo de exposición; dado que se halla una poca cantidad de instituciones que son receptores de alto valor, por lo que al darse la falla de una de éstas, la estabilidad financiera se encontraría en una situación frágil.

El anterior hallazgo corresponde a una red previo a la crisis por la pandemia, siendo por tanto un punto de referencia para posteriores estudios. En efecto, la magnitud del impacto de la pandemia, podría haber provocado importantes cambios en la exposición por concepto de colocaciones en depósitos en el mercado de Panamá, por lo que sería interesante en futuras investigaciones ahondar en ello.

Dado que se han realizado pocos estudios sobre las diferentes redes financieras en la región de Centroamérica y República Dominicana, la agenda de investigación futura es amplia. En primer lugar, el análisis de redes podría enriquecerse al extenderse con escenarios de estrés, en el que se simule diversos choques teóricos de diferente índole e intensidad, y luego conocer los posibles cambios estructurales que podrían desencadenarse en la red (véase por ejemplo Espinosa-Vega y Solé (2011)).

En segundo lugar, sería interesante analizar otras redes, como el sistema de pago, o las tenencias cruzadas de activos financieros por diferentes agentes locales o en diferentes



Notas Económicas Regionales

Secretaría Ejecutiva del Consejo Monetario Centroamericano

No. 122, junio 2021

jurisdicciones, para evaluar el potencial contagio derivado de fallas en el sistema. En este sentido, podría ser necesario conducir la investigación hacia redes multicapas (multiplex networks), cuya literatura relacionada ha crecido en los últimos años (véase por ejemplo Aldasoro y Alves (2016) y León, Pérez y Renneboog (2014b)).

Finalmente, un análisis dinámico sobre la actividad comercial sucesiva de los bancos y las interacciones repetidas entre pares de ellos juegan un papel esencial en la organización de un sistema dinámico complejo, lo cual podría aportar información valiosa sobre interacciones estratégicas de mercado (véase por ejemplo Kobayashi y Takaguchi (2017)).

Referencias

- Aldasoro, Iñaki e Iván Alves (sep. de 2016). Multiplex interbank networks and systemic importance: an application to European data. Working Paper Series 1962. European Central Bank.
- Barabási, A.-L. (2003). Linked. Plume.
- Clauset, A., C. Shalizi y M. Newman (2009). "Power-Law Distributions in Empirical Data". En: SIAM Review 4.(51), págs. 661-703.
- Cohen, R. y S. Havlin (2003). "Scale-Free Networks are Ultra-Small". En: Physical Review Letters 5.90, págs. 1-4.
- Craig, Ben y Goetz Von-Peter (oct. de 2010). Interbank tiering and money center banks. BIS Working Papers 322. Bank for International Settlements.
- Espinosa-Vega, Marco A. y Juan Solé (2011). "Cross-border financial surveillance: a network perspective". En: Journal of Financial Economic Policy 3.3, págs. 182-205.
- Haldane, Andrew (2009). "Rethinking the Financial Network". Speech Delivered at the Financial Student Association (Amsterdam, Netherlands). URL: <https://www.bis.org/review/r090505e.pdf> (visitado 15-04-2021).



Notas Económicas Regionales

Secretaría Ejecutiva del Consejo Monetario Centroamericano

No. 122, junio 2021

Kobayashi, Teruyoshi y Taro Takaguchi (ago. de 2017). Understanding the fundamental dynamics of interbank networks. Discussion Papers 1717. Graduate School of Economics, Kobe University.

Krugman, Paul (1996). The Self Organizing Economy. Wiley-Blackwell.

León, Carlos, Clara Machado y Miguel Sarmiento (2018). "Identifying central bank liquidity super-spreaders in interbank funds networks". En: Journal of Financial Stability 35.C, págs. 75-92.

León, Carlos, Jhonatan Pérez y Luc Renneboog (ago. de 2014a). A multi-layer network of the sovereign securities market. BORRADORES DE ECONOMIA 012036. BANCO DE LA REPÚBLICA.

– (ago. de 2014b). A multi-layer network of the sovereign securities market. BORRADORES DE ECONOMIA 012036. BANCO DE LA REPÚBLICA.

Martínez-Jaramillo, Serafín et al. (ago. de 2012). An Empirical Study of the Mexican Banking System's Network and its Implications for Systemic Risk. Working Papers 2012-07. Banco de México.