Riesgo de contagio en el sistema financiero boliviano – Análisis a través de redes de pagos interbancarios y del financiamiento de operaciones de crédito a empresas

Jonnathan R. Cáceres Santos*

Trabajo presentado en la XXII Reunión de la Red de Investigadores de Banca Central, efectuada entre el 2 y 3 de noviembre de 2017 en Bogotá, Colombia y en el X Encuentro de Economistas de Bolivia, efectuado entre el 12 y 13 de octubre de 2017 en Santa Cruz, Bolivia.

* Correo electrónico del autor: jcaceres@bcb.gob.bo.

El contenido del presente documento es de responsabilidad del autor y no compromete la opinión del Banco Central de Bolivia.

RESUMEN

El objetivo de este documento de trabajo, es proponer un modelo de contagio financiero que incorpore la red de conexiones entre bancos - empresas y bancos - bancos para el caso del sistema financiero boliviano.

Los resultados hallados con información a agosto de 2016, permitieron evidenciar que los bancos del sistema financiero boliviano contaban con suficientes resguardos de capital primario (Tier 1) para absorber las pérdidas no esperadas.

En el escenario de tensión, los resultados mostraron que la caída de la entidad bancaria más interconectada hubiese producido efectos de tercera vuelta y un contagio financiero que alcanzaría a tres bancos, y una pérdida global de 31,9% del capital primario.

El modelo propuesto permite obtener información relevante para aproximar la importancia sistémica de grupos de empresas y bancos. De igual forma, se constituye en una herramienta de seguimiento para el diseño de políticas macroprudenciales que permitan preservar la estabilidad financiera.

Clasificación JEL: *C15, G21*
Palabras clave: *Riesgo sistémico, sistema de pagos, topología de redes, contagio financiero*

Contagion risk in the Bolivian financial system – Analysis through interbank payment networks and the credit operations financing to firms

Abstract

The aim of this paper is to propose a model of financial contagion that incorporates the connection network between banks-firms and banks-banks in the case of the Bolivian financial system.

The results found with information as of August 2016 showed that the banks of the Bolivian financial system had sufficient primary capital reserves (Tier 1) to absorb the unexpected losses.

In the stress scenario, the results showed that the fall of the most interconnected bank would have produced effects of the third round and a financial contagion that would reach three banks and a global loss of 31,9% of the primary capital.

The proposed model allows obtaining relevant information to approach the systemic importance of groups of companies and banks. Likewise, it constitutes a follow-up tool for the design of macroprudential policies that allow the preservation of financial stability.

JEL Classification: *C15, G21*

Keywords: *Systemic risk, payments system, topology of networks, financial contagion*

I. Introducción

El concepto de riesgo de contagio financiero, hace referencia a la propagación de las dificultades financieras de uno o más bancos hacia otros bancos a través del sistema financiero (Schoenmaker, 1996). Los contagios financieros forman parte esencial del estudio y análisis del riesgo sistémico, pues sus expansiones y alcances son determinantes de la gravedad de una eventual crisis financiera.

Durante la crisis de 2007, el contagio financiero fue propagado por las interconexiones entre entidades financieras; los canales de los sistemas de pago y de liquidación de valores, jugaron un papel crucial para que los activos se disiparan por los diferentes mercados financieros del mundo.

El hecho de comprender que las interconexiones son elementos críticos en el contexto de las crisis financieras modernas, ha permitido que los análisis puedan precisar sobre la magnitud de los impactos y pérdidas que podrían ocurrir en el sistema financiero o en el sector real de la economía (De Castro y Miranda, 2013). Por su parte, los modelos basados en redes permiten mapear los vínculos complejos que se forman por las interconexiones entre instituciones financieras, y a partir de ello obtener elementos inherentes al riesgo de contagio financiero (Summer, 2013).

En la actualidad, el enfoque 'demasiado interconectado para caer' (*too interconnected to fail*) tiene un uso generalizado en el análisis del riesgo sistémico y los contagios financieros que podrían ocurrir en situaciones de crisis. Este enfoque está asociado con el concepto de centralidad de los agentes que conforman una red, es decir, aquellos bancos que podrían ocasionar una fuerte alteración en la estructura del sistema, dado ciertos cambios internos o *shocks* idiosincráticos.

Investigadores y analistas de bancos centrales y de otras instituciones vinculadas con la estabilidad financiera, han llevado adelante una gama de estudios para abordar esta temática en los últimos períodos (Martínez-Jaramillo et al., 2012) (Battiston et al., 2013) (Huang et al., 2013) (León et al., 2015).

Las pruebas de tensión (*stress testing*) por su parte, han cobrado especial relevancia para evaluar la resistencia de las entidades y sistemas

financieros frente a contextos adversos. Para ello, se establecieron marcos metodológicos y escenarios en los cuales se evalúa el riesgo de contagio financiero a través de interconexiones, *shocks* sectoriales, deterioro de la cartera de créditos, entre otros (Čihák, 2007).

Entre las lecciones que dejó la última crisis financiera, se destacan los efectos de "segunda vuelta" que causaron pérdidas en el valor de activos y contracciones de liquidez imprevistas (BIS, 2013). Debido a limitaciones en la información, este elemento no es visible para las entidades bancarias y financieras, no obstante es considerado como un factor altamente crítico que puede amplificar el valor de las pérdidas (Van Den End, 2008).

Por esta razón, y dado que los bancos centrales pueden observar íntegramente las exposiciones del sistema a los riesgos financieros (crédito y liquidez), así como la dinámica de las redes que se conforman en el transcurso del tiempo, han asumido un rol protagónico para el análisis e implementación de medidas relativas a la gestión del riesgo sistémico.

El objetivo de este documento de trabajo es proponer un modelo de contagio financiero que incorpore la red de conexiones entre bancos - empresas y bancos – bancos para el caso del sistema financiero boliviano.

A partir de ello, es posible integrar el análisis del riesgo de crédito del sistema, estimar el impacto en las entidades financieras (disminución de previsiones y capital) frente a deterioros de la cartera crediticia e incumplimientos de créditos interbancarios. Los resultados del modelo también contribuirán a aproximar la importancia sistémica de cada grupo de empresas y entidades financieras.

Después de esta introducción, en la segunda parte de este documento se presenta una revisión teórica, posteriormente una descripción de las redes conformadas por empresas y bancos para el caso boliviano; en la tercera parte se desarrolla la metodología y el modelo de contagio propuesto; en la cuarta parte se presentan los principales resultados; y finalmente las conclusiones y consideraciones de cierre.

II. Revisión teórica

Las relaciones y características del financiamiento de bancos a empresas, permiten comprender la dinámica de corto plazo de los ciclos económicos

y la evolución a largo plazo de las economías (Minsky, 1992). Asimismo, la estructura de mercado y las políticas (públicas y privadas) que rigen en los sistemas financieros, juegan un rol esencial en la asignación de los recursos de financiamiento entre los agentes de una economía.

No obstante, los sistemas financieros han demostrado fragilidades que tienden a afectar la estabilidad macroeconómica (Tymoigne, 2011).[1] Estas fragilidades podrían aumentar como consecuencia de políticas económicas inadecuadas, asimetrías de información, innovación de nuevos instrumentos financieros y marcos de regulación inapropiados.

La crisis financiera de 2007 -resultante de los elementos antes citados- dejó nuevamente en evidencia la fuerte correlación entre los sectores financiero y real de las economías. La permanencia de los efectos ampliados de las recesiones en las economías afectadas, se prolongó durante un mayor período de tiempo, en relación a la crisis en los mercados financieros. Esta persistencia produjo importantes costos sociales para los países, como mayores tasas de desempleo.

Asimismo existe un consenso acerca de que, al igual que en las crisis anteriores, el origen de esta crisis tuvo lugar en la fase expansiva del ciclo económico, la cual es financiada en gran parte por una expansión del crédito y un aumento generalizado de confianza y expectativas sobre una prolongación del período de auge, lo cual a su vez, retroalimenta la oferta y conduce a demanda por más crédito.

Un elemento adicional a tomar en cuenta, es el aumento del crédito que usualmente se da en un contexto de una política monetaria acomodaticia, ya que se potencia durante la fase de expansión, mediante un mayor apalancamiento del sistema financiero, es decir, por el aumento de la relación entre activos y patrimonio (Machinea, 2009).

De acuerdo con estos antecedentes, las recomendaciones técnicas de organismos internacionales, se orientaron principalmente a prevenir quiebras, deterioros patrimoniales de entidades financieras y consecuentemente crisis sistémicas[2]. Asimismo, se destaca la

1 La fragilidad financiera se define como la propensión a generar inestabilidad financiera como resultado de los problemas financieros. Por su parte, la inestabilidad financiera tiende a afectar variables macroeconómicas como el empleo y la estabilidad de precios (Tymoigne, 2011).

2 Véase IMF et al. (2009), International Organization of the Securities Commissions (2011), BIS (2011) y FSB (2011).

importancia de las entidades estrechamente conectadas y el papel central que cumplen estas instituciones para que el sistema financiero funcione normalmente.

En este sentido, la regulación e implementación de políticas prudenciales destinadas a preservar la estabilidad financiera, resultan vitales en el funcionamiento de las economías modernas. Para ello, la aproximación macroprudencial[3] es generalmente aceptada, ya que incorpora entre otros aspectos, las interrelaciones e interdependencias entre entidades bancarias (Borio, 2003; León y Machado, 2011). Este elemento en particular, permite concebir un panorama más integro sobre los niveles de exposición a los riesgos sistémicos, en relación a lo propuesto por la aproximación microprudencial.[4]

El interés por comprender los potenciales efectos del riesgo de crédito y las implicaciones sistémicas que podrían surgir ante contextos adversos, ha motivado en los últimos años, el estudio de las interrelaciones entre bancos-empresas y bancos–bancos. Una gama de metodologías y herramientas, como indicadores de topología de redes y algoritmos, fue utilizada en documentos de trabajo, para aproximar la importancia sistémica de estos agentes, así como para cuantificar los deterioros financieros como producto de contagios financieros. Entre algunos de estos documentos se mencionan los siguientes:

De Masi y Gallegati (2012) presentan un análisis empírico de la red bancos-empresas para el sistema italiano. En este estudio, hallaron evidencia que la red de créditos juega un papel fundamental en la difusión de una posible crisis y de la presencia de segmentos diferenciados de empresas y bancos según su tamaño.

Uno de los indicadores más representativos como medida de impacto sistémico es DebtRank. Introducido por Battiston et al. (2012) sirvió inicialmente para analizar el programa de préstamos de emergencia por USD1,2 billones otorgados por la Reserva Federal de los Estados Unidos a las instituciones financieras, durante el período 2008 a 2010. En este ejercicio, hallaron que durante el pico de la crisis, 22

3 Las políticas macroprudenciales tienen por objeto prevenir la acumulación de riesgos sistémicos, limitando la incidencia sobre la economía real a través de posibles interrupciones en la provisión de servicios financieros (BIS, 2012).

4 La aproximación microprudencial, por su parte, únicamente infiere la situación del sistema financiero a partir de la solvencia individual de cada banco.

instituciones conformaron una red fuertemente conectada, donde cada una de ellas tuvo una importancia sistémica representativa.

Para el caso brasilero, De Castro y Miranda (2013) modelaron una red conjunta de bancos-empresas y bancos-bancos. Con el uso de DebtRank, los autores demostraron que las dificultades financieras procedentes de las empresas, pueden propagarse a través de la red interbancaria, afectando los niveles de liquidez.

La relación prestamista/prestatario entre bancos y empresas, también fue abordada para el caso japonés, a través de una red de créditos bipartitos (Aoyama et al., 2013). Este documento presenta escenarios de tensión, que incluyen: i) dificultades financieras en ciertos bancos, contexto en el cual se halla una relación no lineal entre la importancia y el tamaño, y ii) el deterioro en empresas de algunos sectores industriales, que ocasionó impactos en bancos, y empresas de otros sectores económicos.

Battiston et al. (2016) llevaron a cabo una prueba de tensión para un conjunto de bancos europeos (período 2008 a 2013). En él incluyeron estimaciones de las distribuciones de pérdidas a través de medidas de riesgo, como el valor en riesgo (*Value-at-Risk*) y valor en riesgo condicional (*Conditional-Value-at-Risk*). Asimismo, encontraron evidencia que los efectos de segunda y tercera vuelta fueron más representativos que los de primera vuelta, este elemento sugiere que la mayoría de los marcos actuales de pruebas de tensión, podrían conducir a una grave subestimación del riesgo sistémico.

Para el caso colombiano León et al. (2015) presentan una variante de DebtRank para analizar el riesgo de contagio, el cual esta expresado en términos de la caída sucesiva de los niveles de liquidez de corto plazo en las entidades bancarias. Este estudio, centra su análisis en las operaciones interbancarias; asimismo, presenta evidencia que gran parte del efecto negativo está concentrado en un pequeño grupo de entidades bancarias.

III. Representación de la red

En este documento de trabajo, las conexiones entre bancos–empresas, es modelada a través de una red bipartita (N). Desde un punto de vista matemático, una red es representada como una matriz de adyacencia,

donde los agentes (bancos y empresas) son nodos, y los elementos A_{ij} de la matriz señalan los enlaces y sus respectivas direcciones de origen y destino (donde $i \longrightarrow j \neq j \longleftarrow i$), es decir, se trata de una red dirigida.

De acuerdo con este esquema, los nodos i y j que conforman la red, corresponden a un número finito de agentes prestamistas y prestatarios (donde $i = 1, 2, 3, \ldots, m$ y $j = 1, 2, 3, \ldots, n$).

Las medidas aplicadas para aproximar el nivel de conectividad de cada nodo, son el grado de entrada k_{in} (*in-degree*) y el grado de salida k_{out} (*out-degree*), que representan los flujos de fondos salientes y entrantes de i y j respectivamente. Estos indicadores están definidos como:

$$k_{in} = \sum_{j=1}^{n} A_j \qquad\qquad k_{out} = \sum_{i=1}^{m} A_i$$

donde A_j es la conexión que recibe j de i, en tanto que A_i representa la conexión saliente de i hacia j.

IV. Redes conformadas por bancos y empresas – caso boliviano

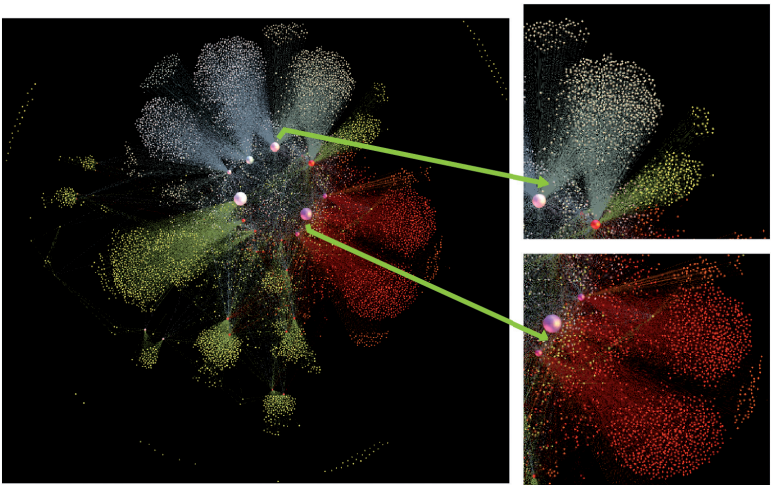
Para el caso boliviano, se analizaron dos fuentes principales de riesgo de crédito asumidas por las entidades bancarias. La primera, relacionada con la otorgación de créditos a empresas, la cual es una actividad propia de la intermediación financiera; y la segunda, por operaciones crediticias canalizadas a través del mercado interbancario (créditos interbancarios).

En el Gráfico 1 se presenta la red completa y dos áreas ampliadas, que muestran las conexiones entre bancos y empresas, a través de operaciones de crédito. En los segmentos de colores (plomo y rojo) se puede identificar exposiciones comunes al riesgo de crédito, ya que una empresa puede estar conectada con más de un banco.

A agosto de 2016, la red bancos–empresas, estuvo conformada por 7.347 agentes (33 bancos y 7.314 empresas). El número de

conexiones alcanzó a 43.342, magnitud que representó la cantidad de operaciones de crédito. El importe de la cartera alcanzó a Bs62.677 millones (USD9.005 millones).

Gráfico 1: RED DE CRÉDITOS BANCOS-EMPRESAS

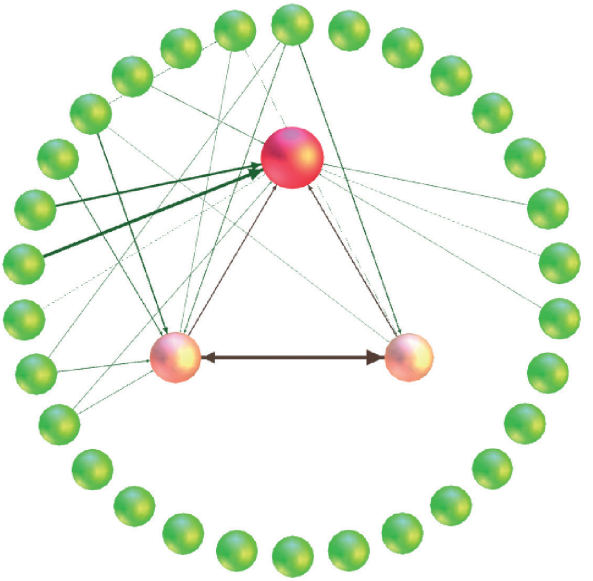


Fuente: Elaboración propia con datos de la Autoridad de Supervisión del Sistema Financiero (ASFI)

En el ámbito del mercado interbancario, las conexiones son conformadas a partir de los créditos que son negociados entre bancos. La red (bancos–bancos) presenta una importante dinámica debido a que las operaciones son de corto plazo, por lo cual las interconexiones pueden variar sustancialmente durante cortos períodos.

Al 31 de agosto de 2016, el número de bancos conectados fue de 10, el volumen de operaciones vigentes 10, y el importe negociado alcanzó a USD494 millones (Gráfico 2).

Gráfico 2: RED DE CRÉDITOS BANCOS-BANCOS



Fuente: Elaboración propia con datos de la ASFI y el BCB

V. Metodología y modelo de contagio financiero

En esta sección se presenta la metodología propuesta para el cálculo del contagio financiero, a partir de la conformación de las redes bancos-empresas y bancos–bancos.

La metodología tiene el propósito central de evaluar la resistencia de los bancos por exposición al riesgo de crédito, a partir de las suficiencias de previsiones y capital primario. Para ello, se efectúa una estimación del impacto en condiciones normales y de tensión.

Red bancos-empresas

La red bancos–empresas es de tipo bipartita. Para este primer caso, únicamente se considera las aristas dirigidas unidireccionalmente, las que representan las operaciones de crédito de las empresas con los bancos, por lo cual el impacto estará dado por el incumplimiento de pago de las empresas con sus respectivas contrapartes.

Para ello, sean i y j un banco y una empresa respectivamente; A_{ij} es el importe individual prestado por i a j, $A_i = \sum A_{ij}$ es el importe total de los créditos otorgados por i a las empresas prestatarias.

Por su parte A_{ij} tiene asociada una probabilidad de incumplimiento (PD - *Probability of Default*) que es determinante para el cálculo de las pérdidas esperadas (EL - *Expected Loss*).

Los niveles de previsiones y de capital primario (*Tier 1*) destinados a cubrir EL y las pérdidas inesperadas (UL - *Unexpected Loss*) son (R_i) y (E_i), respectivamente.

El cálculo de los impactos, viene dado por $W_{ji} = \min\{1, EL_j/R_i\}$ para el caso de las previsiones, y $Z_{ji} = \min\{1, UL_j/E_j\}$ para el capital primario. Por lo cual, las magnitudes mínimas y máximas de los impactos se situarán entre 0 y 1, respectivamente.

Para el cálculo de (EL) se tomó la formula básica del riesgo de crédito:

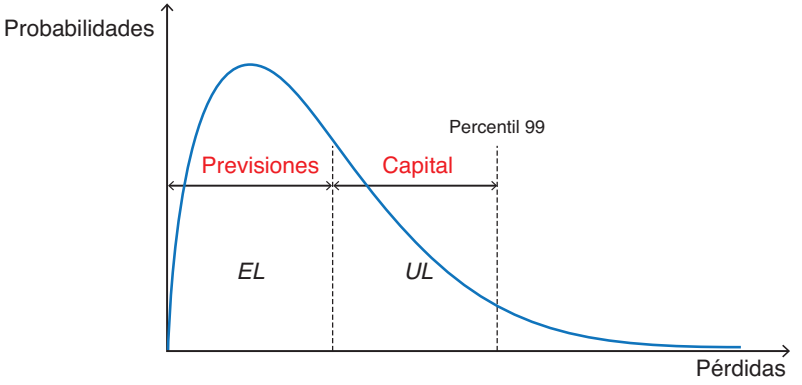
$$EL = PD * LGD * EAD \qquad (1)$$

donde:

EL=*Expected Loss* (Pérdidas Esperadas); PD=*Probability of Default* (probabilidad de incumplimiento); LGD=*Loss Given Default* (pérdida producida dado el incumplimiento - Severidad); EAD=*Exposure at Default* (exposición al incumplimiento).

De manera gráfica:

Diagrama 1: DISTRIBUCIÓN DE PROBABILIDAD DE PÉRDIDAS POR RIESGO DE CRÉDITO



Fuente: Elaboración propia

Se asume que $PD = P(A_{ij})$. Para ello se ajustó las probabilidades de incumplimiento históricas a funciones de distribución de probabilidad.

A través de procesos de simulación de Montecarlo, es posible generar números aleatorios para la estimación de los resultados[5]. Una vez conocida la función de probabilidad de pérdida de la cartera, es factible estimar UL.

Red bancos – bancos

El mercado interbancario funciona como un mecanismo para la asignación de fondos líquidos en las economías. Los recursos provenientes de las operaciones de crédito contribuyen a que los bancos puedan cubrir sus insuficiencias temporales de liquidez.

Las operaciones que se producen en el mercado interbancario también generan una serie de interdependencias entre bancos a raíz de exposiciones al riesgo de crédito.

Inicialmente, los modelos de contagio únicamente incorporaron los efectos de primera vuelta, no obstante, en situaciones reales se pudo observar que los efectos pueden tener un comportamiento recurrente.

5 Para las simulaciones de Montecarlo se utilizó el Software *Risk Simulator 2016 - Real Options Valuation Inc.*

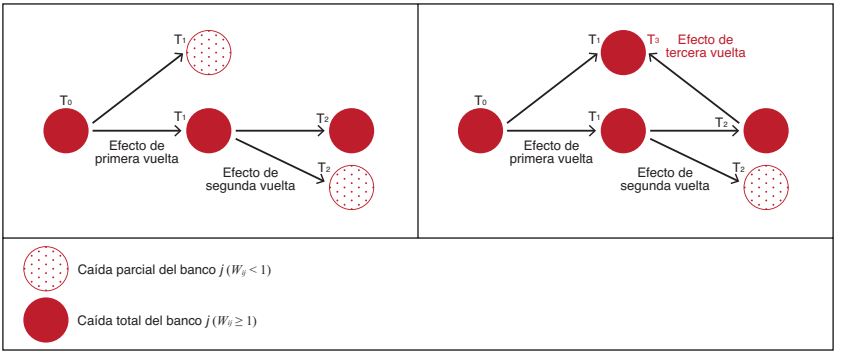
La metodología y el algoritmo propuestos para capturar el efecto de contagio financiero en la red de créditos bancos–bancos se basa en los siguientes elementos:

Sean i y j un banco deudor y acreedor respectivamente; A_{ij} es el importe prestado de i a j a través del mercado interbancario; $A_i = \sum A_{il}$ representa el importe global de los créditos interbancarios otorgados por i.

El evento Z_i representa el incumplimiento de pago de i debido a un *shock* idiosincrático; su probabilidad de ocurrencia $P(Z_i)$ viene determinada de manera exógena. El evento Y_{ij} representa la magnitud del contagio financiero de i a j, donde $P(Y_{ij}) = 1$ cuando $0 < W_{ij} \leq 1$. Por su parte, $W_{ij} = \min\{1, ULI_j/E_j\}$ es el impacto del contagio financiero; (ULI_j) las Pérdidas Inesperadas por el incumplimiento de créditos interbancarios; y E_j el capital primario (*Tier 1*).

Debido a que los bancos que participan en el mercado interbancario, frecuentemente presentan posiciones deudoras y acreedoras en un mismo período de tiempo, pueden producir interdependencias directas además de interdependencias circulares (bucles). Es decir, los efectos de *n*-vueltas pueden retroalimentar el contagio financiero provocado por (*n-j*)-vueltas anteriores.

Diagrama 2: EFECTOS DE n-VUELTAS EN UN EPISODIO DE CONTAGIO FINANCIERO



Fuente: Elaboración propia

Por lo tanto, el cálculo del impacto global por la caída de i, corresponde a la sumatoria de los impactos producidos por *n*-vueltas:

$$W_i = \underbrace{\sum_{j=1}^{n} W_{ij} + \alpha \sum_{j=1}^{n} W_{ij}}_{\text{1ra vuelta}} + \underbrace{\sum_{k=1}^{n} W_{jk}}_{\text{n-1 vueltas}}$$

Debido a que no existe una solución analítica por la existencia de bucles ($i \longrightarrow j \longrightarrow k \longrightarrow i$) la solución es aproximada por un algoritmo recursivo.

El parámetro α[6] por su parte, aproxima la probabilidad de nuevas conexiones de bancos deudores en un contexto de tensión. Este parámetro amplifica el riesgo de contagio ya que toma en cuenta las conexiones probables, con base a las producidas anteriormente.[7]

VI. Aplicación del modelo y análisis de datos

De acuerdo con las características señaladas, el modelo fue aplicado para analizar el riesgo de contagio para el sistema financiero en Bolivia. Se consideró información de operaciones de crédito y contingentes otorgados por bancos a empresas por importes iguales o mayores a USD200.000[8], y créditos interbancarios vigentes al 31 de agosto de 2016.

Los procedimientos y resultados obtenidos fueron los siguientes:

Impacto sobre previsiones

- Para cuantificar el riesgo de contagio a través de la red bancos-empresas, se emplearon los siguientes criterios de agrupamiento para las empresas: i) por sector económico, y ii) grado de interconexión.

- Para el primer caso, las empresas fueron agrupadas según el Código de Actividad Económica y Destino del Crédito (CAEDEC). De acuerdo con el indicador 'grado de salida' (*out-degree*) la

6 El indicador DebtRank asume como parámetro fijo 0,8.

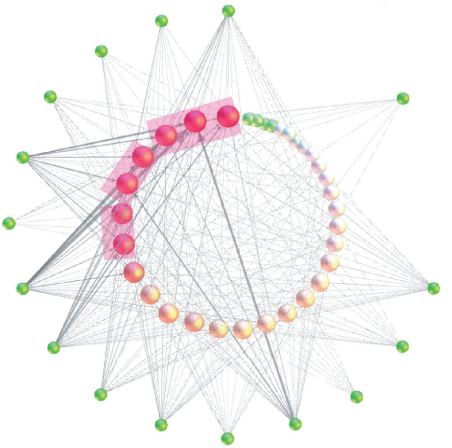
7 Para estimar la probabilidad de conexión $P = (A_{ij})$ se efectuó simulaciones de Montecarlo de acuerdo con una función de distribución binomial $P(x) = \frac{n!}{x!(n-x)!} P^x (1-P)^{(n-x)}$ para $x = 0, 1, 2, \ldots, n$ Media $\mu = E(X) = nP$; Varianza $\sigma^2 = E[(X-\mu)^2] = nP(1-P)$.

8 Este rango permitió considerar una muestra representativa del 45% del valor de la cartera de créditos del sistema financiero.

totalidad del grupo de empresas del sector productivo[9] y un segmento de empresas del sector comercio resultaron ser los más interconectados.

- En el Gráfico 3, las aristas representan la magnitud de EL. Se observó que 8 entidades bancarias registraron los mayores niveles de exposición al riesgo de crédito (nodos segmentados ubicados en la parte interna de la red), mismas que fueron seleccionadas para evaluar el impacto por riesgo de crédito.

Gráfico 3: RED DE IMPACTOS EMPRESAS-BANCOS, SEGÚN SECTOR ECONÓMICO



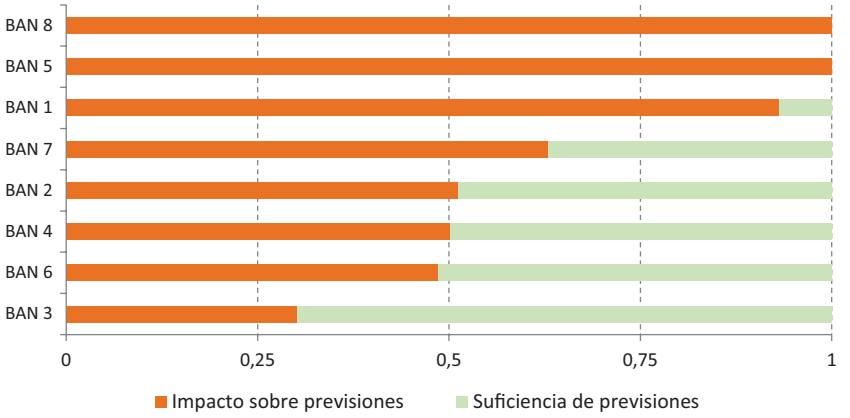
Fuente: Elaboración propia con datos del BCB

En el Gráfico 4 se presentan los impactos sobre las previsiones bancarias[10] que ocurrirían en caso de que EL se materializara. Para este caso, es posible observar que todos los bancos, excepto Ban 5 y Ban 8, contaban con suficientes previsiones para afrontar dichas pérdidas. Como se mencionó en la sección anterior, la magnitud del impacto se sitúa entre 0 como mínimo y 1 como máximo.

9 Corresponde a las siguientes actividades económicas: Agricultura y ganadería; Caza, silvicultura y pesca; Extracción de petróleo crudo y gas natural; Minerales metálicos y no metálicos; Industria manufacturera; Producción y distribución de energía eléctrica, gas y agua; Construcción.

10 Para este análisis se tomó en cuenta únicamente las previsiones específicas y se dejó al margen las previsiones genéricas y cíclicas.

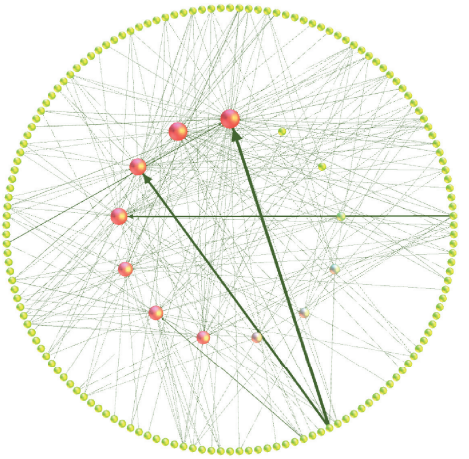
Gráfico 4: IMPACTO SOBRE PREVISIONES BANCARIAS POR RIESGO DE CRÉDITO, SEGÚN SECTOR ECONÓMICO



Fuente: Elaboración propia con datos de ASFI y BCB

- Para el segundo criterio, se consideró a las 150 empresas más interconectadas. En el Gráfico 5, nuevamente las aristas representan las magnitudes de *EL* y los nodos internos a los bancos.

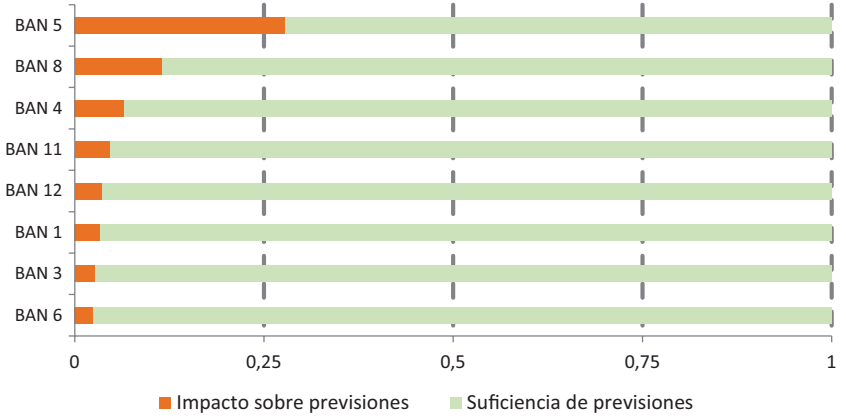
Gráfico 5: RED DE IMPACTOS EMPRESAS-BANCOS, SEGÚN CONECTIVIDAD



Fuente: Elaboración propia con datos del BCB

En el Gráfico 6 se observa los impactos sobre las previsiones bancarias. Estos resultaron ser menos significativos que en el caso anterior; todos ellos se situaron por debajo de 30%, dejando un amplio margen de cobertura.

Gráfico 6: IMPACTO SOBRE PREVISIONES BANCARIAS POR RIESGO DE CRÉDITO, SEGÚN CONECTIVIDAD



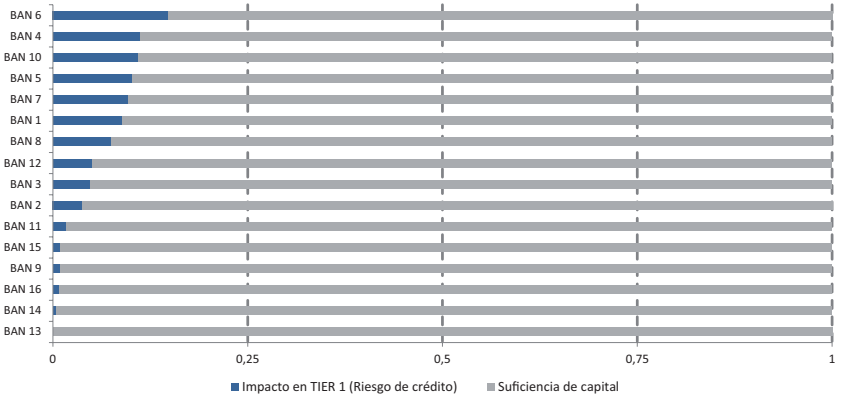
Fuente: Elaboración propia con datos de ASFI y BCB

Impacto sobre capital primario

- En el Gráfico 7, se presenta el impacto de UL sobre el capital primario[11] por créditos otorgados a las empresas. En él, es posible observar que las condiciones de solvencia de los bancos eran las adecuadas, dado los amplios márgenes de capital para cubrir eventuales pérdidas.

11 Se consideró el 50% de los capitales primarios, ya que de acuerdo al marco regulatorio vigente en Bolivia, corresponde al límite mínimo que una entidad bancaria debería constituir para no ser sujeto de intervención (Artículo 511, inciso b, Ley No 393 de Servicios Financieros).

Gráfico 7: IMPACTO SOBRE CAPITAL PRIMARIO POR RIESGO DE CRÉDITO, SEGÚN SECTOR ECONÓMICO



Fuente: Elaboración propia con datos de ASFI y BCB

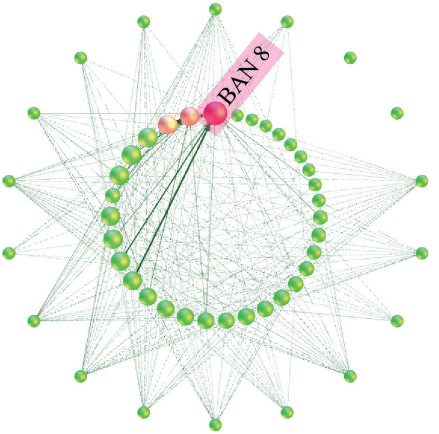
- Posteriormente se procedió al cálculo del impacto de UL sobre capitales primarios bancarios, como resultado del incumplimiento de obligaciones de pago en el mercado interbancario. Para ello, inicialmente se identificó al banco más interconectado a través del indicador PageRank Google®[12], este resultó ser Ban 8 (Gráfico 8).

12 Es una aproximación numérica de la popularidad de un nodo. Este indicador toma en cuenta la "calidad de los enlaces", es decir, un agente es importante si este a su vez está conectado a otros agentes importantes. La identidad de PageRank Google® (CV) matemática es:

$$CV_t^G(i) = c \sum_{v \in B_i^t} \frac{CV_t^G(v)}{N_v^t} + cE_i$$

donde *G*: matriz de conexiones del agente (i) en el día (t) ; B_i^t : conjunto de agentes presentes en la red que se enlazaron al agente (i) en el período (t) ; N_v^t : número de agentes con los que (v) se relaciona en el período (t) ; (c) : una constante fija equivalente a la probabilidad de conexión; *E*: vector de valores reales positivos conocido como fuente de rango.

Gráfico 8: REDES BANCOS-EMPRESAS Y BANCOS-BANCOS

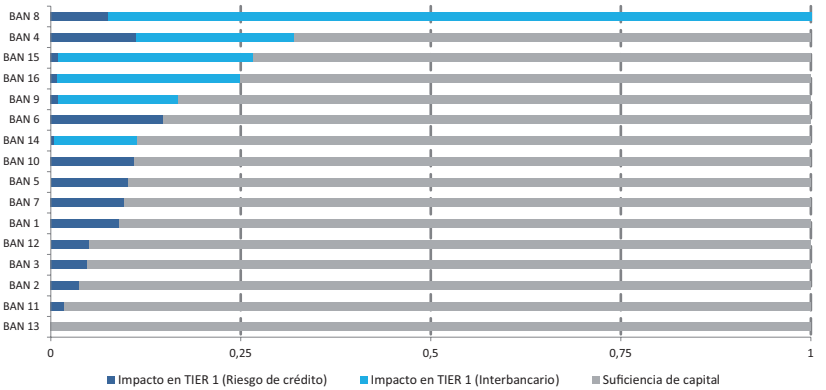


Fuente: Elaboración propia con datos del BCB

Seguidamente se simuló la caída de BAN 8; bajo este escenario cuatro entidades bancarias BAN 4 (32%), BAN 15 (27%), BAN 16 (25%) y BAN 9 (17%) habrían registrado los mayores impactos en sus respectivos capitales primarios (Gráfico 9).

En términos globales el capital primario del sistema financiero hubiese registrado una caída de 26,2%.

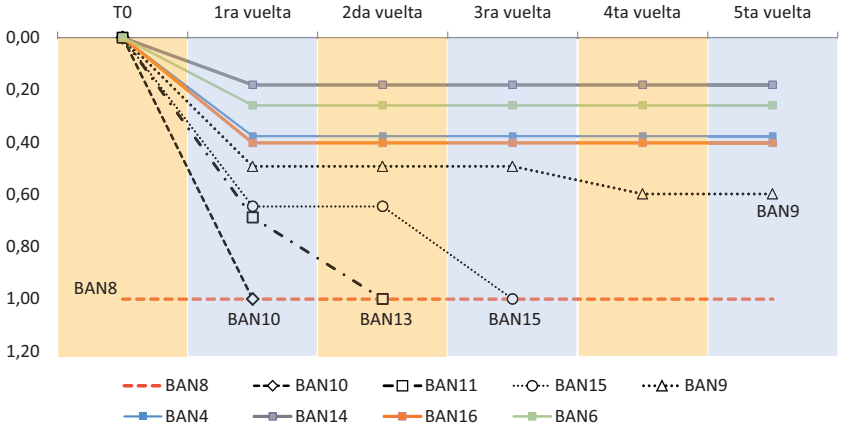
Gráfico 9: IMPACTO SOBRE CAPITAL PRIMARIO POR RIESGO DE CRÉDITO, SEGÚN SECTOR ECONÓMICO Y OPERACIONES INTERBANCARIAS



Fuente: Elaboración propia con datos del BCB

Finalmente se incorporó el algoritmo recursivo en el modelo, y se asumió una disminución de 50% a 30% del capital primario. Los resultados muestran que la caída de BAN 8, hubiese producido efectos de tercera vuelta y un contagio financiero que alcanzaría a tres bancos (BAN 10, BAN 13 y BAN 15). Es importante mencionar que este efecto es capturado por la probabilidad de nuevas conexiones que conformaron un bucle entre bancos (Gráfico 10).

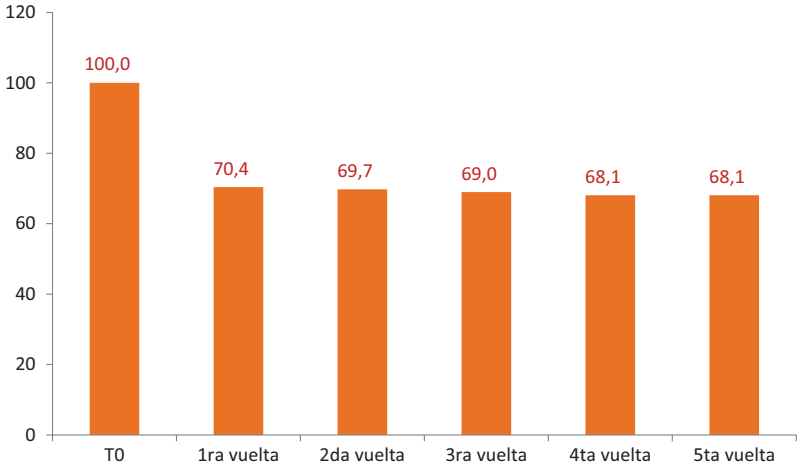
Gráfico 10: IMPACTOS SOBRE ENTIDADES BANCARIAS POR CONTAGIO FINANCIERO



Fuente: Elaboración propia con datos del BCB

En este contexto de tensión y de contagio financiero, el impacto global sobre el sistema financiero se hubiese traducido en una caída de 31,9% del capital primario (Gráfico 11).

Gráfico 11: IMPACTO SOBRE CAPITAL PRIMARIO GLOBAL (En porcentaje)



Fuente: Elaboración propia con datos de ASFI y BCB

A través de este ejercicio se corroboró la aplicabilidad de la metodología y modelo de contagio propuestos para el caso del sistema financiero boliviano. Los cálculos de EL y UL, el uso indicadores de topología de redes y la aplicación del algoritmo recursivo, permitieron obtener resultados cuantificables en los escenarios base y de tensión formulados.

La aplicación periódica de este modelo se constituye en una herramienta de seguimiento importante para las instituciones encargadas de la estabilidad financiera, puesto que los resultados representarían elementos de juicio para la aplicación de políticas macroprudenciales destinadas a preservar la estabilidad financiera. Entre ellas, se podría destacar medidas orientadas a expandir la liquidez del sistema financiero, como incrementos temporales para los límites de los mecanismos de liquidez del Banco Central de Bolivia o la disminución de tasas de interés para facilitar el acceso de operaciones de corto plazo como los reportos.

VII. Conclusiones

El análisis del riesgo de contagio en el sistema financiero boliviano, a partir de la estructuración e integración de las redes bancos-empresas

y bancos–bancos, permitió obtener un panorama integral y más completo que analizándolos de manera separada.

Bajo este esquema, es posible conocer los vínculos complejos que se conforman por la interacción entre bancos y empresas, e identificar elementos cruciales para medir la exposición al riesgo de contagio financiero.

Para el caso boliviano, se analizaron dos fuentes principales de riesgo de crédito en el sistema financiero. La primera de ellas relacionada con la otorgación de créditos de bancos a empresas, y la segunda con créditos interbancarios.

Las simulaciones de las probabilidades de incumplimiento de las empresas, posibilitó el cálculo objetivo de las pérdidas esperadas e inesperadas. Los impactos financieros por operaciones de crédito a las empresas, están representados por fracciones parciales o totales (contagio) de previsiones y capitales primarios de las entidades bancarias.

Para el caso del mercado interbancario, la dinámica de las operaciones exige que el análisis del contagio financiero, además de lo señalado anteriormente, sea aproximado a través de un algoritmo recursivo. Este algoritmo es capaz de capturar los efectos de *n*-vueltas resultantes de los bucles que se conforman entre bancos.

En el escenario base y según la clasificación de las empresas por actividad económica, los resultados permitieron evidenciar que las previsiones de dos entidades bancarias resultaron insuficientes para enfrentar la materialización de las pérdidas esperadas. En tanto que, según el criterio de conectividad, el impacto fue menos representativo que en el caso anterior.

Para este mismo escenario, la totalidad de las entidades bancarias contaban con suficientes resguardos de capital primario para absorber las pérdidas no esperadas.

En un contexto de tensión, se incorporó el algoritmo recursivo y una disminución de los capitales primarios a 30%. Los resultados mostraron que la caída de la entidad bancaria más interconectada, hubiese producido efectos de tercera vuelta; este contagio alcanzaría a tres

bancos y produciría una disminución de 31,9% sobre el capital primario del sistema financiero.

En este escenario, se comprobó que el algoritmo permitió estimar la probabilidad de nuevas conexiones, capturar los efectos de los bucles que podrían conformarse entre bancos, y obtener una aproximación sobre el alcance de un eventual contagio financiero.

Con información financiera e individualizada a agosto de 2016, y la obtención de resultados objetivos, se validó la aplicabilidad del modelo de contagio propuesto, tanto en escenarios base como de tensión.

Este modelo se constituye en una herramienta de seguimiento para las instituciones encargadas de la estabilidad financiera, los resultados son elementos de juicio para el diseño de políticas macroprudenciales destinadas a preservar la estabilidad financiera. Por ejemplo, para el escenario de tensión propuesto, una política macroprudencial consistente en incrementos temporales para los límites de los mecanismos de liquidez del Banco Central de Bolivia o disminuciones de tasas de interés para facilitar el acceso de operaciones de corto plazo, como los reportos, sería altamente recomendable.

Una agenda futura de investigaciones, podría abordar el análisis del contagio financiero a partir de *shocks* de liquidez sistémicos.

Referencias bibliográficas

AOYAMA, H., S. BATTISTON, Y. FUJIWARA (2013). "DebtRank Analysis of the Japanese Credit Network", The Research Institute of Economy, Trade and Industry (RIETI), Discussion Paper Series 13-E-087, October

BANK FOR INTERNATIONAL SETTLEMENTS (2013). "Liquidity stress testing: a survey of theory, empirics and current industry and supervisory practices", Basel Committee on Banking Supervision, Working Paper No 24, October

BANK FOR INTERNATIONAL SETTLEMENTS (2012). "Operationalising the selection and application of macroprudential instruments", Committee on the Global Financial System, CGFS Papers No 48, December

BANK FOR INTERNATIONAL SETTLEMENTS (2011). "Global systemically important banks: Assessment methodology and the additional loss absorbency requirement", Basel Committee on Banking Supervision, Consultative document, July

BATTISTON S., M. PULIGA, R. KAUSHIK, P. TASCA, G. CALDARELLI (2012). "DebtRank: Too Central to Fail? Financial Networks, the FED and Systemic Risk", Scientific Reports, 2 (541), August

BATTISTON, S., G. DI LASIO, L. INFANTE, F. PIEROBON (2013). "Capital and Contagion in Financial Networks", Munich Personal RePEc Archive, Paper No 52141, December

BATTISTON, S., G. CALDARELLI, M. D'ERRICO, S. GURCIULLO (2016). "Leveraging the network: a stress-test framework based on DebtRank", *Statistics & Risk Modelling*, 33 (3–4), pp. 117 - 138

BORIO, C. (2003). "Towards a macroprudential framework for financial supervision and regulation?", Bank for International Settlements, BIS Working Paper No 128, February

ČIHÁK, M. (2007). "Introduction to Applied Stress Testing", International Monetary Fund, IMF Working Paper WP/07/59, March

DE CASTRO, R. and B. MIRANDA (2013). “Contagion Risk within Firm-Bank Bivariate Networks”, Banco Central do Brasil, Working Paper No 322, August

DE MASI, G. and M. GALLEGATI (2012). “Bank-firms topology in Italy”, *Empirical Economics*, 43 (2), pp. 851 - 866

FINANCIAL STABILITY BOARD (2011). “Effective Resolution of Systemically Important Financial Institutions. Recommendations and Timeliness”, Consultative Document, July

GACETA OFICIAL DE BOLIVIA (2013). *Ley No. 393, Ley de servicios financieros*, de 21 de agosto

HUANG, X., I. VODENSKA, S. HAVLIN, H. E. STANLEY (2013). “Cascading Failures in Bi-partite Graphs: Model for Systemic Risk Propagation”, Scientific Reports, 3 (1219), February

INTERNATIONAL MONETARY FUND, BANK FOR INTERNATIONAL SETTLEMENTS, FINANCIAL STABILITY BOARD (2009). “Guidance to Assess the Systemic Importance of Financial Institutions, Markets and Instruments: Initial Considerations-Background Paper”, Report to the G-20 Finance Ministers and Central Bank Governors, October

INTERNATIONAL ORGANIZATION OF SECURITIES COMMISSIONS (2011). “Mitigating Systemic Risk. A Role for Securities Regulators”, Discussion Paper OR01/11, February

LEÓN, C. E. and C. L. MACHADO (2011). “Designing an expert knowledge-based Systemic Importance Index for Financial Institutions”, Banco de la República de Colombia, Borradores de Economía, No 669, September

LEÓN C., C. MARTINEZ, F. CEPEDA (2015) “Short-Term Liquidity Contagion in the Interbank Market”, Banco de la República de Colombia, Borradores de Economía, No 920, December

MACHINEA, J. (2009). “La crisis financiera internacional: su naturaleza y los desafíos de política económica”, Comisión Económica para América Latina y el Caribe, *Revista CEPAL*, 97, pp. 33 – 56

MARTÍNEZ-JARAMILLO, S., B. ALEXANDROVA-KABADJOVA, B. BRAVO-BENÍTEZ, J. P. SOLÓRZANO-MARGAIN (2012). "An Empirical Study of the Mexican Banking System's Network and its Implications for Systemic Risk", Banco de México, Working Paper No. 2012-07, August

MINSKY, H. "Schumpeter and Finance" in BIASCO, S., A. RONCAGLIA, M. SALVATI (Eds.) (1992) *Market and Institutions in Economic Development: Essays in Honour of Paulo Sylos Labini*, chapter 7, MacMillan, New York, United States of America, pp. 103 - 115

SCHOENMAKER, D. (1996). *Contagion Risk in Banking*, Discussion paper series Volume 239, London School of Economics - Financial Markets Group, London, England

SUMMER, M. (2013). "Financial Contagion and Network Analysis", *Annual Review of Financial Economics*, 5, pp. 277 - 297

TYMOIGNE, É. (2011). "Measuring Macroprudential Risk: Financial Fragility Indexes", Levy Economics Institute of Bard College, Working Paper No. 654, March

VAN DEN END, J. W. (2008). "Liquidity Stress-Tester: A macro model for stress-testing banks' liquidity risk", De Nederlandsche Bank, Working Paper No. 175, May