

# **Centralidad de los agentes de la red de pagos interbancarios – un análisis desde la perspectiva de la teoría de juegos cooperativos**

Jonnathan R. Cáceres Santos\*

---

\* Correo electrónico del autor: [jcaceres@bcb.gob.bo](mailto: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 del presente trabajo es estimar el grado de centralidad de los agentes de la red de pagos interbancarios en Bolivia desde una óptica de teoría de juegos cooperativos; para ello se utiliza la metodología de análisis de *Eigenvector centrality* y se aplica un esquema de juego cooperativo, en el cual las conexiones recíprocas entre instituciones financieras son imprescindibles para la obtención de beneficios. Asimismo, se emplearon los valores de Shapley para la estimación de las magnitudes de centralidad.

La aplicación rutinaria de esta metodología y el cálculo de los resultados permitirá contar con una herramienta de seguimiento y de alerta temprana.

La identificación y constante monitoreo a los agentes centrales es una tarea importante de las autoridades de regulación del sistema financiero, puesto que les permite obtener información útil para identificar fuentes del riesgo sistémico y prevenir crisis sistémicas.

**Clasificación JEL:** C71, D8

**Palabras clave:** Teoría de juegos cooperativos, riesgo sistémico

# **Centrality of agents of interbank payments network – an analysis from the perspective of the theory of cooperative games**

## **ABSTRACT**

The objective of this study is to estimate the degree of centrality of agents of interbank payments network in Bolivia from the perspective of cooperative game theory. For this purpose it is used the Eigenvector centrality methodology and it is applied a cooperative game scheme in which the reciprocal connections between financial institutions are essential to profit-making. Likewise, Shapley values are used to estimate the magnitudes of centrality.

Routine application of this methodology and calculation of results will allow having a monitoring and early warning tool.

Thus, continuous oversight to central agents becomes an important task of financial supervision authorities, considering that it allows obtaining useful information to identify sources of systemic risk and to prevent systemic crises.

**JEL Classification:** *C71, D8*

**Keywords:** *Cooperative game theory, systemic risk*

## I. Introducción

*“El reconocimiento de que la estabilidad financiera depende de la conducta colectiva de los participantes de mercado y de sus interconexiones justifica el énfasis reciente en la adopción de un punto de vista macroprudencial de la regulación financiera”* (Traducción libre de Soramäki, 2012, p. 7).

En efecto, el comportamiento conjunto e individual de las Instituciones Financieras (IF) en el ámbito de las operaciones interbancarias provee información relevante para comprender las condiciones del mercado financiero y de las instituciones a nivel particular. Esta información es relevante y se constituye en un insumo valioso para las decisiones que asumen las autoridades públicas con el objeto de precautelar la estabilidad financiera. A través del Sistema de Pagos de Alto Valor (SPAV) se hace un seguimiento a estas operaciones, pues las IF cursan diariamente sus transferencias interbancarias de fondos, lo que da lugar a que estas instituciones se interconecten entre sí y conformen redes de pagos.

Las redes interbancarias de pagos fueron objeto de una diversidad de estudios en los últimos años. Entre los aspectos examinados se pueden mencionar: las características y estructura de las redes, el grado de conectividad entre las IF, y las interdependencias que surgen por dichas conexiones<sup>1</sup>. Estos elementos dieron paso a la estructuración de un esquema analítico moderno, basado en el criterio de conectividad (*too interconnected to fail*), que es utilizado actualmente por los bancos centrales para analizar el riesgo sistémico.

Gracias al avance tecnológico, los SPAV son capaces de proveer información en tiempo real o en períodos cortos de tiempo, lo que posibilita efectuar seguimientos continuos a las IF. Enfocar este monitoreo en los agentes centrales -aquellas IF que juegan un papel preponderante en la asignación de liquidez en el mercado, la fluidez de los pagos y por ende la preservación de la estabilidad en el sistema

---

1 Véase Soramäki et al. (2006), Becher et al. (2008), Inaoka et al. (2004), Cepeda (2008), Cáceres y Aldazosa (2013).

financiero- contribuye a obtener información útil para identificar fuentes del riesgo sistémico en el ámbito de los mercados financieros y posibilita el diseño de medidas que puedan contribuir a mitigar posibles *shocks* sistémicos.

Para aproximar la centralidad de los agentes, en este documento de trabajo se recurre a elementos de la teoría de juegos cooperativos. En primer lugar, el modelo propuesto por Myerson (1977) que se basa en el precepto de que la cooperación entre agentes es posible únicamente si estos están interconectados; y en segundo lugar los valores de Shapley (1953) los cuales permiten cuantificar la centralidad de los agentes en la red.

En este contexto, el objetivo del presente trabajo es estimar el grado de centralidad de los agentes que conforman la red de pagos interbancarios en Bolivia. Para tal efecto, se utiliza la metodología *Eigenvector centrality* y se propone un juego cooperativo en el cual las conexiones reciprocas entre IF son imprescindibles para la obtención de beneficios, pues únicamente a través de ellas es posible que la liquidez circule por el sistema. Bajo esta condición previa se calculan los valores de Shapley para cada IF con el objeto de establecer sus respectivas magnitudes de centralidad.

Después de esta introducción, se presenta una revisión teórica y conceptual de la teoría de juegos cooperativos; en la tercera sección se conceptualiza el término centralidad y se describen las características y propiedades de los agentes centrales. Posteriormente se describen las características del SPAV del Banco Central de Bolivia (BCB) y la interacción de las IF en la red de pagos interbancarios. En la quinta parte, se presenta la metodología y el juego para el cálculo de las magnitudes de centralidad. La aplicación de la metodología y el cálculo de los resultados son desarrolladas en la sexta parte; y finalmente las consideraciones de cierre.

## II. Revisión teórica

La teoría de juegos cooperativos surge en respuesta a lo complejo que resulta analizar el comportamiento estratégico de los agentes. A

diferencia de los juegos no-cooperativos, los juegos cooperativos se basan en la transferencia de utilidades<sup>2</sup>, es decir, tal y como ocurre en determinadas situaciones reales, las asignaciones de los beneficios dependen de las alianzas o coaliciones que se conforman entre jugadores (agentes) dadas ciertas circunstancias.

**Definición 1:** Juego Cooperativo (Von Neumann y Morgenstern, 1947)

Un juego cooperativo es un par  $(N, v)$  donde  $N = \{1, 2, \dots, n\}$  es el conjunto finito de jugadores y  $v : P(N) \rightarrow \mathbb{R}$  es la función característica del juego tal que  $v(\emptyset) = 0$ , es decir, corresponde al valor de las posibles coaliciones  $S \subseteq N$ .<sup>3</sup>

La única restricción para  $v$  está dada por la condición de superaditividad. Es decir, el beneficio que obtendrían los jugadores actuando juntos es por lo menos igual a lo que conseguirían actuando por separado. Esta afirmación reconoce el poder de negociación o de mercado de ciertas asociaciones como el de los sindicatos.

**Definición 2:** Condición de superaditividad

Se dice que  $v$  es superaditiva si cualquier conjunto de jugadores obtiene un valor al menos tan significativo en una coalición, como en cualquier subcoalición de ésta. Formalmente:

$$v(S \cup T) \geq v(S) + v(T) \text{ para todo } S, T \subseteq N, S \cap T = \emptyset$$

**Definición 3:** Suma constante

El valor de cualquier coalición y el valor de su complemento suman una cantidad fija  $k$  tal que:

$$v(S) + v(N \setminus S) = k \quad \forall S \subseteq N; \text{ donde } k \in \mathbb{R}$$

<sup>2</sup> Es decir los jugadores tienen la posibilidad de transferirse utilidades entre ellos, lo que implica que la reducción del nivel de utilidad en un jugador se traduciría en el incremento de la utilidad de algún otro.

<sup>3</sup> A su vez podría  $v$  interpretarse como una valoración de las coaliciones.

**Definición 4.** Valores de Shapley

Dentro de un juego cooperativo, el valor de Shapley<sup>4</sup> representa una medida de poder y por lo tanto de centralidad. Corresponde a la media ponderada de las contribuciones marginales de cada jugador respecto de las distintas coaliciones que podrían formarse.

Dado un juego cooperativo  $(N, v)$  el valor de Shapley para cada jugador  $i$  es el vector  $Sh_i(v)$ :

$$Sh_i(v) = \sum_{S \subseteq N \setminus \{i\}} \varphi(S) [v(S \cup \{i\}) - v(S)] \quad (1)$$

para todo  $i \in N$ , donde  $\varphi(S) = \frac{s!(n-1-s)!}{n!}$ ,  $s = |S|$ , y  $n = |N|$

**Juegos restringidos a redes de cooperación – cooperación parcial**

El modelo general de juegos cooperativos considera que no hay restricciones para la cooperación entre jugadores, es decir, cada jugador indistintamente podría formar parte de una coalición. Sin embargo, existen situaciones en las que la cooperación entre todos los jugadores no es posible, pues al igual que en la vida real existen casos donde las coaliciones son conformadas por un grupo selecto de jugadores.<sup>5</sup>

Al respecto, inicialmente Von Neumann y Morgenstern (1947) presentaron elementos implícitos sobre la formación endógena de estructuras de coalición dentro de la teoría de conjuntos estables<sup>6</sup>; Aumann y Maschler (1964) también analizaron las estructuras de coalición a partir de la conformación de subgrupos donde al interior de ellos la cooperación total entre jugadores es posible.<sup>7</sup>

4 Shapley (1953) probó que existe un único valor que satisface las propiedades de aditividad, eficiencia y simetría.

5 Esto puede deberse a diferentes factores, como por ejemplo en el campo político la inexistencia de intereses comunes, diferencias ideológicas o la presencia de algún tipo de veto político.

6 Los autores interpretan el conjunto estable como una 'norma social'; de igual manera Shubik (1982) lo califica como un estándar de comportamiento o norma ética. La estabilidad también fue analizada como una propiedad en la formación de coaliciones; Hart y Kurz (1983) lo incluyen en dos niveles: entre coaliciones y entre agentes dentro de cada coalición.

7 Este modelo se basa en la existencia de un conjunto de negociación (*bargaining set*) posible a partir de una estructura de coalición  $B$  que es una partición de un conjunto global de  $N$  jugadores.

Años más tarde, Myerson (1977) propuso una nueva perspectiva para modelar la conducta cooperativa de los jugadores en la cual las relaciones y cooperación son posibles únicamente si existe un nexo entre ellos. Este vínculo es posible modelarlo a través de una red, es decir, un juego cooperativo  $(N, v)$  se asocia a una red de cooperación  $G = (N, E)$ , donde la cantidad de nodos  $N$  corresponde al número de jugadores y el conjunto de aristas  $E$  simboliza los nexos bidireccionales entre jugadores.

**Definición 5.** Juego cooperativo restringido a redes de cooperación

El juego cooperativo restringido a redes de cooperación es  $(N, v^G)$ , donde  $v^G : 2^N \rightarrow \mathbb{R}$  viene definido, para toda  $S \subseteq N$ , por la suma de valores sobre las componentes conexas<sup>8</sup> de la sub-red inducido por la coalición por el valor de una coalición  $S$ .

$$v^G(S) = \sum_{S_i \in S/G} v(S_i)$$

### **Aplicación práctica**

Debido a que la interacción entre agentes es muy frecuente en el funcionamiento de los sistemas económicos y financieros, la teoría de juegos cooperativos se constituye actualmente en una valiosa técnica para analizar sucesos y fenómenos en estos ámbitos. Ejemplos de ello son la negociación de activos y divisas, o la interrelación entre sectores económicos, lo cual no sería posible sin las conexiones o vínculos entre agentes que participan en distintos mercados. Dada la complejidad que alcanzaron estas relaciones e interdependencias, las aplicaciones recientes de la teoría de juegos a la economía han hecho hincapié en los juegos no cooperativos en lugar de juegos cooperativos (Allen, 2006)<sup>9</sup>.

8 Una red es conexa si existe un camino entre cualquier pareja de nodos.

9 Allen (2006) centra su estudio en la forma de definir la información que puede ser utilizada por una coalición conformada por miembros con información asimétrica. Una idea principal es formalizar dicha información y examinar los juegos generados por varias especificaciones de dicha información.

Coherente con ello, Saade (2008) utilizó los valores de Shapley para cuantificar la centralidad de los agentes que participan en el mercado interbancario colombiano, y correlacionó la dispersión del indicador con el diferencial de los precios (compra y venta) de títulos públicos, con lo cual halló evidencia preliminar de un mayor riesgo de liquidez en estructuras de redes incompletas. Grechuk et al. (2013) aplicaron la teoría de juegos cooperativos para analizar las coaliciones implícitas que se conforman en el campo de las inversiones bursátiles para la obtención de mayores beneficios; en base a ello formularon una medida de riesgo de inversión.

Los juegos cooperativos también sirvieron para analizar la incidencia en el comportamiento de las coaliciones frente a factores como la información asimétrica. [Allen, 2006, *op. cit.*]

### **III. Centralidad de los agentes: características y propiedades**

El estudio del riesgo sistémico bajo el criterio de conectividad<sup>10</sup> ha sido ampliamente abordado en los últimos años, ya que durante la crisis financiera de 2007 las conexiones entre las IF jugaron un papel crucial para disipar el contagio financiero a través de los sistemas financieros en varios países. De acuerdo con estudios y opiniones expertas, bajo el esquema actual de funcionamiento de los mercados financieros, la conectividad es el elemento principal para que una IF sea considerada sistémicamente importante (León y Machado, 2011), (Soramäki, 2012).

Los organismos internacionales, a raíz de los efectos ampliados de la quiebra y deterioro patrimonial de algunas instituciones, emitieron documentos técnicos que sirvieron para estructurar un marco general de análisis y regulación del riesgo sistémico<sup>11</sup>, en ellos se destaca la importancia de las IF que están estrechamente conectadas y el papel

---

10 En 2009 el Fondo Monetario Internacional (IMF), Banco de Pagos Internacionales (BIS) y el Consejo de Estabilidad Financiera (FSB por su acrónimo en inglés) formularon los siguientes criterios para evaluar la importancia sistémica de las IF: i) tamaño (*too big to fail*), ii) conectividad (*too interconnected to fail*), y iii) sustituibilidad (*too non substitutable to fail*).

11 Véase IMF et al. (2009), International Organization of the Securities Commissions (2011), BIS (2011), FSB (2011) y BIS (2012).

central que cumplen estas instituciones para que el sistema financiero funcione normalmente.

En esta línea, en los últimos años también se pudo evidenciar que algunos países en la región al igual que Bolivia<sup>12</sup>, empezaron con la emisión de marcos regulatorios para el tratamiento del riesgo sistémico.<sup>13</sup>

En este contexto, el análisis de las interconexiones y el uso del criterio de conectividad, hace posible identificar fuentes del riesgo sistémico que pudieran comprometer la estabilidad del sistema financiero. Para su estudio, en el presente documento se asume el concepto de centralidad.

Gómez et al. (2003) señalan que la centralidad es una noción que aplicada a las redes sociales, no parece tener una definición clara, pero que es definida indirectamente a partir de ciertas características. Por ejemplo, un agente  $i$  es central si:

- puede comunicarse directamente con otros agentes de la red,
- es cercano a otros agentes,
- existen pares de agentes ( $j, k$ ) y sirve como intermediario para que estos se comuniquen.

En resumen, un agente central tiene una posición relativa en la red que permite viabilizar la comunicación entre los demás agentes; la información que disipa en ella es particularmente relevante, lo cual puede influir en el comportamiento de los demás agentes de la red.

---

12 Para el caso boliviano, de acuerdo con el Capítulo III de la Ley N°393 de Servicios Financieros, se establece la creación del Consejo de Estabilidad Financiera y se le asigna atribuciones para coordinar acciones interinstitucionales y emitir recomendaciones sobre la aplicación de políticas de macro regulación prudencial orientadas a identificar, controlar y mitigar situaciones de riesgo sistémico del sector financiero e impacto en la economía nacional.

13 En Uruguay la Superintendencia de Servicios Financieros implementó requerimientos de capital por riesgo sistémico para las IF (Artículo 173; Capítulo II; Libro II; Título II; Recopilación de Normas de Regulación y Control del Sistema Financiero). Asimismo, el Gobierno chileno a través del Decreto 953 de 04 de octubre de 2011 del Ministerio de Hacienda crea el Consejo de Estabilidad Financiera, cuya misión es propiciar los mecanismos de coordinación e intercambio de información necesarios para: i) preservar la integridad y solidez del sistema financiero, ii) evaluar y administrar los riesgos sistémicos, y iii) facilitar la resolución de situaciones críticas.

En el ámbito de los pagos interbancarios estas características pueden ser extensibles, de tal manera que un agente central es aquel que:

- a) efectúa y recibe transferencias de un número importante de agentes,
- b) si realiza o no sus transacciones puede ser un factor altamente influyente dentro de la red,
- c) actúa como intermediario para que las transferencias de fondos entre los demás agentes sea posible.

Dadas estas características, el efecto adverso sobre la red naturalmente sería mayor si los incumplimientos de los pagos provinieran de agentes centrales en relación a los que no lo son. Por tanto, el desempeño de los agentes centrales tiene una incidencia directa sobre la estabilidad del sistema, eventuales caídas o fallas de estos agentes podrían dar lugar a contagios financieros con posibles implicaciones sistémicas.

En el campo de la topología de redes<sup>14</sup>, con el objeto de aproximar la importancia o centralidad de un agente  $i$  que forma parte de una red, se desarrolló una gama de métricas (algoritmos e identidades) basados en ciertos criterios, como por ejemplo: la cantidad de conexiones entrantes, salientes y promedio (*degree-in*, *degree-out* y *degree average*), la capacidad de operaciones de intermediación del agente  $i$  que hace posible que otros agentes puedan conectarse a través de él (*Betweenness centrality*), la cercanía o la fluidez en la comunicación con los demás agentes (*Closeness centrality*) o su importancia en la red según la calidad de sus enlaces (*Page Rank-Google*, *HITS*)<sup>15</sup>.

De igual forma, es posible identificar a agentes representativos de grupos cohesivos conformados dentro de una red (*Eigenvector Centrality*). Teóricamente estos agentes tendrían una alta influencia sobre el comportamiento de los demás integrantes de la red (Bonacich,

---

14 La topología de redes es una rama propia de la física estadística que tiene por objeto entender y analizar la estructura y funcionamiento de redes complejas.

15 En el campo del análisis del riesgo sistémico, estas métricas por sí mismas no permiten establecer la dinámica de un contagio financiero, por lo cual se recurre a procesos de simulación o creación de escenarios para establecer los posibles efectos.

1972). En términos simples se trataría de líderes de grupos que se conformaron por la interacción cotidiana. En las redes sociales este fenómeno parece ser algo común.

#### **IV. El SPAV del Banco Central de Bolivia y las transferencias interbancarias**

El SPAV<sup>16</sup> del BCB se constituye en la principal infraestructura del mercado financiero<sup>17</sup> en Bolivia; a través de él se realizan transferencias de fondos de vital importancia para el sector financiero y la economía. Entre las operaciones más importantes se destacan las transferencias interbancarias, la liquidación final de los sistemas de bajo valor (pagos con cheques, tarjetas y órdenes electrónicas de pago) y la liquidación de operaciones realizadas con títulos desmaterializados en el mercado bursátil.

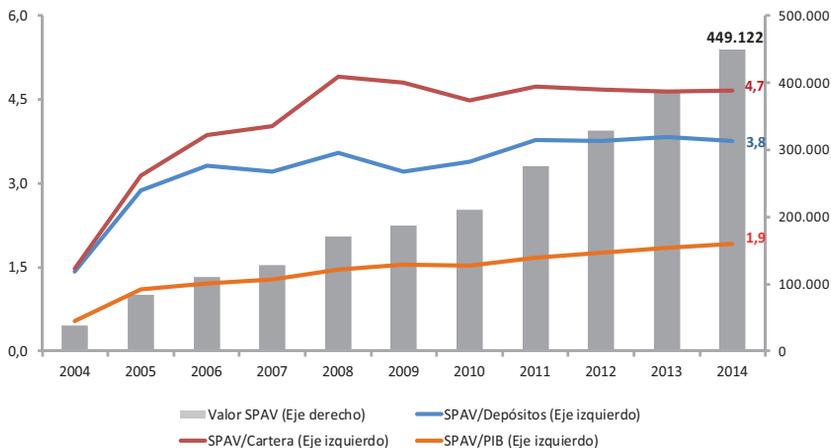
El importe de las transacciones procesadas por el SPAV ha registrado un crecimiento permanente desde su implementación en el año 2004. De igual forma con relación a ciertas variables como el PIB, los depósitos y cartera crediticia del sistema financiero, también ha mostrado una evolución positiva. En 2014 el SPAV procesó Bs449.122 millones (\$us65.470 millones) lo que representó 1,9 veces el Producto Interno Bruto aproximadamente (Gráfico 1).

---

16 Desde el año 2004 hasta septiembre de 2014 funcionó el SIPAV (Sistema de Pagos de Alto Valor), posteriormente fue reemplazado por el sistema LIP (Liquidación Integrada de Pagos). Para este estudio se juntó la información de ambos sistemas bajo el denominativo SPAV.

17 Una Infraestructura del Mercado Financiero es una organización, en ocasiones compuesta por varias instituciones que ofrece al menos uno de los siguientes servicios: liquidación, compensación, registro y almacenamiento sobre operaciones financieras. Las Infraestructuras del Mercado Financiero comprenden cinco categorías: sistemas de pagos, depositarios centrales de valores, sistemas de liquidación de valores, entidades de contrapartida central y centrales de almacenamiento de datos.

**Gráfico 1: VALOR GLOBAL DE LAS TRANSACCIONES PROCESADAS POR EL SPAV Y VALOR RELATIVO RESPECTO A LOS DEPÓSITOS DEL PÚBLICO, CARTERA Y PIB, 2004 - 2014**  
(En millones de Bolivianos y número de veces)

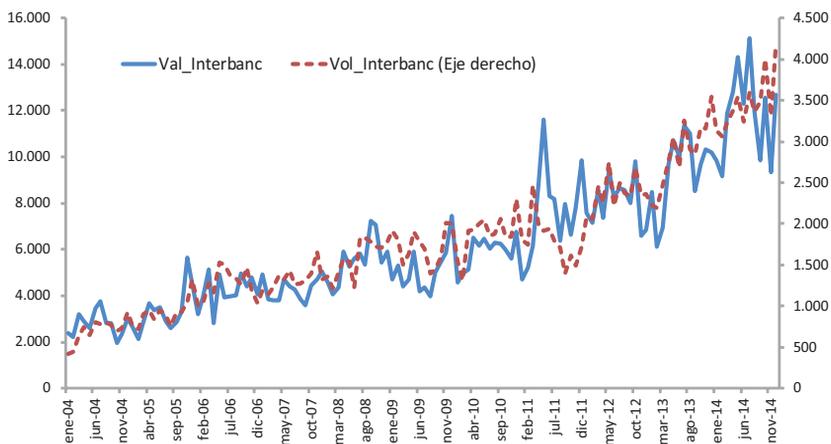


Fuente: SIPAV - LIP

El importe de las transferencias interbancarias<sup>18</sup> en 2014 representó en promedio 32% del valor global del importe global de las operaciones del SPAV; de igual manera su evolución temporal fue positiva. En 2014 alcanzó una cifra de Bs147.151 millones (\$us21.451 millones) con un crecimiento cercano a 21% (Gráfico 2).

18 El término transferencias interbancarias hace referencia a las transferencias electrónicas de fondos efectuadas entre instituciones de intermediación financiera participantes del sistema LIP (bancos comerciales, bancos pyme, cooperativas de ahorro y crédito, y mutuales de ahorro y préstamo para la vivienda). Las transferencias interbancarias comprenden los siguientes conceptos: i) otorgación y cancelación de créditos interbancarios, ii) compra de cartera de créditos, iii) transferencia a cuentas de clientes del sistema financiero y iv) transferencias a agencias de bolsa por liquidación de valores.

**Gráfico 2: VALOR Y CANTIDAD DE TRANSFERENCIAS INTERBANCARIAS, 2004 - 2014**  
(En millones de Bolivianos y número de operaciones)



Fuente: SIPAV - LIP

Las transferencias interbancarias son efectuadas diariamente y de manera continua por las IF a través del SPAV. Estas operaciones producen interconexiones que conforman redes de pagos interbancarios y también un conjunto de interdependencias de las condiciones de liquidez de cada IF.

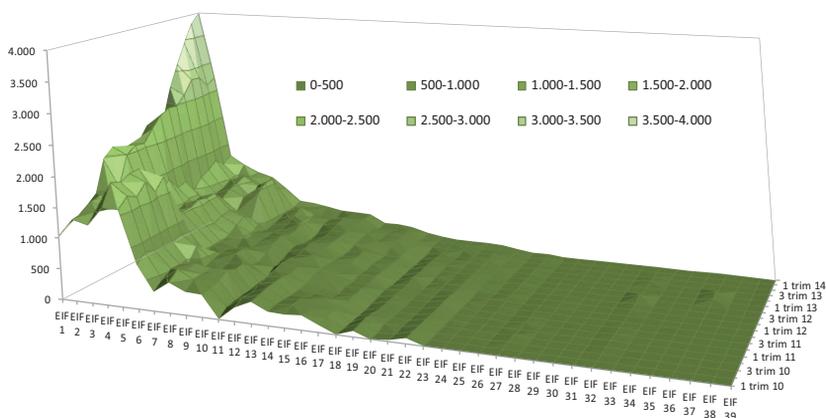
Las interconexiones que se han conformado -como producto de la actividad transaccional-han estructurado redes cada vez más grandes y complejas. Estas interconexiones también muestran que existe un espectro de interdependencias cada vez mayor, es decir, los participantes dependen cada vez más de los pagos entrantes para realizar pagos futuros. Las fallas comunes o individuales de las entidades participantes podrían incidir sobre la estabilidad del sistema en su conjunto y con un mayor alcance (Cáceres y Aldazosa, 2013).

Dentro de la red de pagos interbancarios coexisten agentes centrales y periféricos; los primeros juegan una función esencial para que la red se mantenga unida, están directamente conectados con otros agentes y

también sirven como intermediarios para que estos puedan conectarse entre sí. Esta característica a su vez está directamente correlacionada con el grado de actividad que registran en la red.

Con información histórica de las transferencias interbancarias desde la gestión 2010 a 2014, se pudo evidenciar que la actividad transaccional (volumen de operaciones) en la red de pagos interbancarios boliviano registró una alta concentración en un número reducido de IF que ha permanecido casi invariable en el tiempo (Gráfico 3).<sup>19</sup>

**Gráfico 3: NÚMERO DE CONEXIONES DE LOS AGENTES DE LA RED DE PAGOS INTERBANCARIOS POR ENTIDAD DE INTERMEDIACIÓN FINANCIERA, 2010 - 2014**



Fuente: Elaboración propia con datos del SIPAV - LIP

La existencia y constante interacción entre las IF a través de pagos interbancarios da lugar a un sistema dinámico, compuesto por agentes (IF) que se conectan e interactúan entre sí cada vez que realizan transferencias de fondos durante períodos continuos de tiempo. La

<sup>19</sup> La brecha existente entre IF en el ámbito de pagos interbancarios podría estar explicada por las diferencias en el tamaño y ritmo de crecimiento. Al respecto, Tschoegl (1983) concluye que la existencia de una fuente importante de la persistencia de un crecimiento superior a la media, en general, es la innovación sobre todo de tipo tecnológico.

En el sistema financiero boliviano la adopción de nuevas tecnologías es liderada por las entidades bancarias de mayor tamaño. Díaz (2013) halló evidencia que en el sistema financiero boliviano las entidades financieras más grandes, principalmente entidades bancarias, crecen más rápido que las entidades de menor tamaño, lo cual es un fenómeno consistente con la mayor eficiencia y la existencia de economías de escala.

estabilidad de este sistema se traduce en una actividad de pagos constante, en la cual la liquidez fluye a través de la red de manera ininterrumpida. Por el contrario, la inestabilidad de este sistema se manifiesta a través de interrupciones abruptas en los pagos y contracciones de liquidez sistémicas<sup>20</sup>. Su efecto podría desencadenar incumplimientos o retrasos sucesivos en los pagos de los demás agentes que conforman la red.

Además de una sólida infraestructura del SPAV que posibilite que los pagos interbancarios sean procesados de forma segura y eficiente, la disponibilidad de liquidez -ya sea de forma inmediata o en lapsos muy cortos de tiempos- también es una condición para el cumplimiento oportuno de los pagos que deban efectuar las IF.

En este sentido, la disponibilidad inmediata de liquidez a través de distintas fuentes a las que puedan acceder las IF, se constituyen en un factor determinante para la fluidez de los pagos interbancarios.

Las IF cuentan con tres fuentes de liquidez para que puedan efectuar sus pagos: i) el saldo inicial de fondos constituidos en cuentas operativas al principio del día, ii) los flujos de fondos por concepto de pagos entrantes, y iii) el acceso a fondos a través de mecanismos de créditos de liquidez con el banco central.<sup>21</sup>

El primero de ellos se constituye en una fuente de liquidez de primera línea, dado que de cierta forma otorga certidumbre a las IF sobre su capacidad de pago; no obstante se pudo observar que los saldos iniciales de las IF con mayor actividad dentro de la red frecuentemente resultan insuficientes para cubrir el importe global de los pagos intradiarios.

En consecuencia los pagos entrantes se constituyen en fuentes alternas e importantes de liquidez para las IF (fuente de segunda línea), que aseguran a su vez la continuidad y fluidez de los pagos en el sistema.

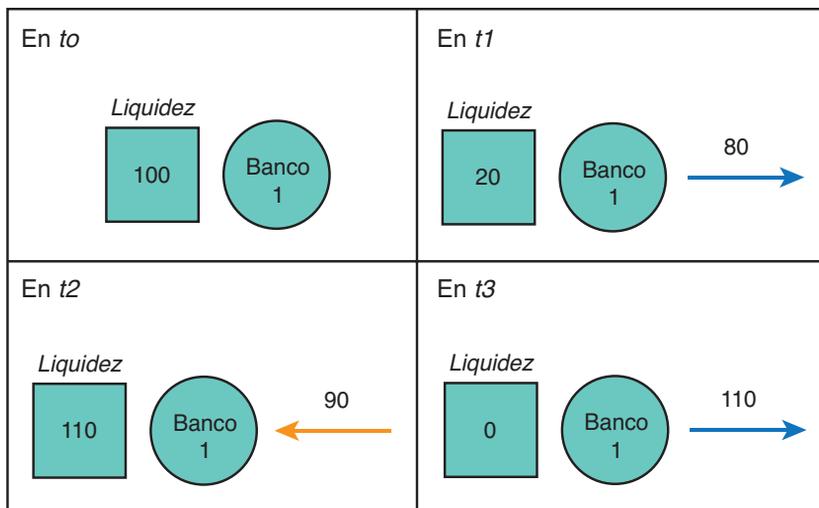
---

20 Dichas contracciones de liquidez podrían tener su origen en las condiciones adversas del mercado o en *shocks* idiosincráticos de liquidez (Allen y Gale, 2000).

21 En esta categoría generalmente se incluyen a los créditos intradía, operaciones de reporto y otros debidamente colateralizados que son otorgados y administrados por los bancos centrales, sin embargo por razones metodológicas de este documento no son tomados en cuenta.

De manera ilustrativa se presenta el siguiente ejemplo en cual el Banco 1 depende de los fondos entrantes en el período  $t_2$  para efectuar un pago de 110 en el período  $t_3$  (Diagrama 1).

**Diagrama 1: ESQUEMA DE PAGOS CON FUENTES DE LIQUIDEZ DE PRIMERA Y SEGUNDA LÍNEA**

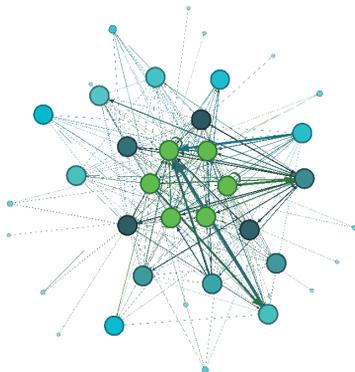


Fuente: Elaboración propia

## V. Metodología para la identificación de agentes centrales

Para fines metodológicos de este estudio se utilizó *Eigenvector Centrality* como un filtro de selección de las principales IF de la red de pagos interbancarios, las cuales al estar estratégicamente conectadas tienen una gran capacidad para distribuir y contraer fondos dentro de la red de pagos. Por las características de sus interconexiones, este grupo de agentes se constituye en el ‘núcleo de la red’. A manera de ejemplo, en el Gráfico 4 se presenta a los seis agentes más influyentes de la red interbancaria de pagos, a una fecha establecida.

**Gráfico 4: RED INTERBANCARIA DE PAGOS  
– EIGENVECTOR CENTRALITY**



Fuente: Elaboración propia con datos del SPAV

Con información de las transferencias interbancarias procesadas por el SPAV (importe de las transacciones y contrapartes involucradas) se construyó el siguiente juego cooperativo con el objeto de analizar la centralidad de los agentes:

Para incorporar las contribuciones marginales de los jugadores, la función característica del juego está definida como  $v(S) = VC$ , donde  $VC$  corresponde al valor común que circula entre los agentes de la red definido como:

$$v(S) = VC = \min \left[ \sum_{S_i \in S/G} PS \right] \quad (2)$$

donde  $PS$  representa los pagos salientes de los jugadores.

Dadas las características del juego y del esquema transaccional de SPAV, todos los agentes que conforman la coalición deben efectuar por lo menos un pago para que  $v \neq \{\emptyset\}$ .<sup>22</sup>

<sup>22</sup> El esquema planteado para  $v(S)$  podría servir como base para hallar soluciones alternativas a los juegos interbancarios, como el núcleo (core) formulado por Gillies (1959) y Shapley (1967). Una configuración de pagos pertenece al núcleo si no hay ninguna coalición que mejore cambiando su *statu quo* coalicional actual. Es posible entender este concepto como una extensión coalicional del concepto de equilibrio de Nash.

De esta forma  $v(S)$ , toma en cuenta las características de centralidad señaladas en la sección III. Consiguientemente, el grado de conectividad y la fracción de la magnitud del importe que circula en la red por la interacción de cada una de las IF son variables determinantes de la centralidad de los agentes. Estas variables son incluidas por los valores de Shapley para el cálculo de las magnitudes de centralidad.

A continuación se describe las particularidades de  $v(S)$  de acuerdo con la estructura de las conexiones:

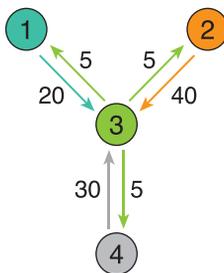
- a) El resultado de un agente que juega aislado o de agentes que no interactúan a través de pagos recíprocos será  $v(S) = 0$ .



- b) Para el caso de dos o más agentes que interactúan entre sí, se calculará de  $v(S)$  acuerdo con (2).



Para ejemplificar las características del juego se presenta el siguiente juego restringido a la red de coaliciones  $v^G(S)$  y sus valores correspondientes (Cuadro 1):



**Cuadro 1: FUNCIÓN VALOR DEL JUEGO RESTRINGIDO A LA RED  $v^G(S)$** 

$S$	$v^G(S)$	$S$	$v^G(S)$
$\{i\}, \text{ si } i \in \{1,2,3,4\}$	$v \{i\} = 0$	$\{3,4\}$	$v \{3,4\} = 5$
$\{1,2\}$	$v \{1,2\} = 0$	$\{1,2,3\}$	$v \{1,2,3\} = 10$
$\{1,3\}$	$v \{1,3\} = 5$	$\{1,2,4\}$	$v \{1,2,4\} = 0$
$\{1,4\}$	$v \{1,4\} = 0$	$\{1,3,4\}$	$v \{1,3,4\} = 10$
$\{2,3\}$	$v \{2,3\} = 5$	$\{2,3,4\}$	$v \{2,3,4\} = 10$
$\{2,4\}$	$v \{2,4\} = 0$	$\{1,2,3,4\}$	$v \{1,2,3,4\} = 15$

Fuente: Elaboración propia

De acuerdo con (1) las magnitudes de centralidad para los agentes son [2,5 2,5 7,5 2,5] respectivamente, por tanto 3 se constituye en el agente central de la red puesto que al estar interconectado con los demás posibilita que un valor global de 15 fluya a través de la red. Esto ocurre pese a que los demás agentes (1, 2 y 4) efectúan pagos por importes mayores.

A diferencia de las métricas citadas en la sección II, la presente metodología, además de considerar el grado de conectividad, incorpora el importe de liquidez que circula a través de la red interbancaria en un período de tiempo, lo cual permite estimar las magnitudes de posibles contracciones de liquidez que ocurrirían ante eventuales caídas de los agentes centrales.

## VI. Aplicación de la metodología y cálculo de los resultados

De acuerdo con la metodología establecida para aproximar la centralidad de los agentes de la red de pagos interbancarios, se seleccionaron a seis (6) IF de un total de treinta y cinco (35) entidades de intermediación financiera participantes del sistema LIP, según los mayores valores del indicador *Eigenvector Centrality*<sup>23</sup> (Cuadro 2)

23 En el Apéndice A se presenta una definición formal de este indicador.

**Cuadro 2: EIGENVECTOR CENTRALITY**

IF	<i>Eigenvector Centrality</i>	IF	<i>Eigenvector Centrality</i>	IF	<i>Eigenvector Centrality</i>
BM1	1,0000	BM12	0,6426	CO4	0,1157
BM2	0,9416	BP2	0,6386	CO5	0,1129
BM3	0,9416	BM13	0,6100	MT5	0,0620
BM4	0,9416	BM14	0,5717	CO6	0,0620
BM5	0,9322	MT1	0,5088	CO7	0,0620
BM6	0,9245	BP3	0,3943	CO8	0,0584
BM7	0,8885	MT2	0,3875	CO9	0,0584
BM8	0,8780	CO1	0,2877	CO10	0,0584
BM9	0,8679	MT3	0,2024	CO11	0,0578
BP1	0,8375	CO2	0,1788	CO12	0,0573
BM10	0,7369	MT4	0,1713	CO13	0,0545
BM11	0,7111	CO3	0,1204		

Nota: BM: Banco múltiple; BP: Banco PYME; CO: Cooperativa de ahorro y crédito; MT: Mutua de ahorro y préstamo para la vivienda.

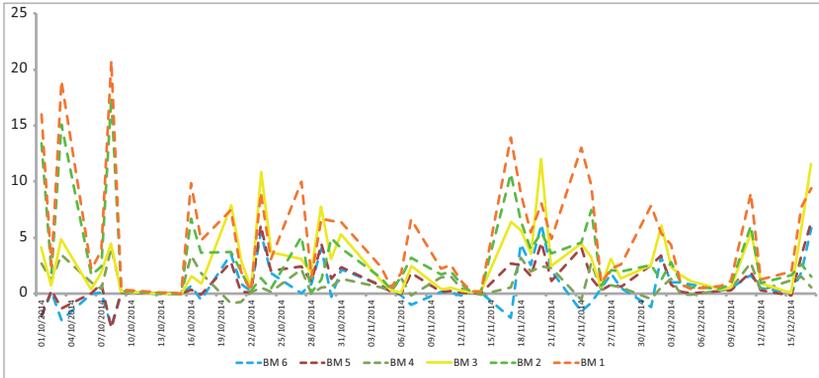
Fuente: Elaboración propia con datos del SIPAV-LIP

Con información de las transferencias interbancarias procesadas por el SPAV entre el 1 de octubre y el 31 de diciembre de 2014 se calculó la serie temporal de magnitudes de centralidad (valores de Shapley) para las IF seleccionadas.

Para este período de tiempo se observa que BM1 y BM2 registraron las mayores magnitudes de centralidad con mayor frecuencia. Los puntos más altos corresponden al 3 y 8 de octubre de 2014, fechas en las cuales una eventual caída de ambas entidades hubiera representado una contracción directa de liquidez en el sistema de Bs39 y Bs41 millones respectivamente (Gráfico 5).

Con base a esta información, se efectuaron pruebas de tensión para las fechas señaladas. En ellas se observó que las contracciones de liquidez incidieron notablemente sobre las fuentes de liquidez de segunda línea de las IF que estuvieron más interconectadas con BM1 y BM2, no obstante el efecto sobre la liquidez de primera línea no fue significativo (Apéndice B).

**Gráfico 5: MAGNITUDES DE CENTRALIDAD**  
(Expresado en millones de Bolivianos)



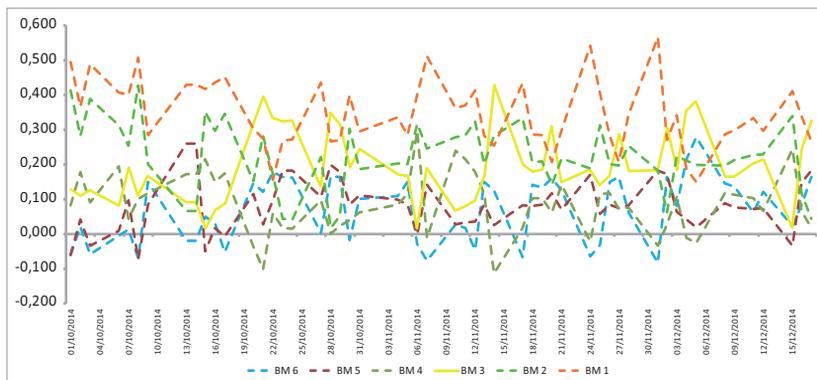
Fuente: Elaboración propia con datos del SPAV

De manera complementaria se calcularon las magnitudes de centralidad relativas ( $\varphi(S) / v(S)$ ) de las seis IF seleccionadas con relación al valor global.

Los resultados estimados corroboran los anteriores: BM1 y BM2 concentraron en promedio el 57% de las magnitudes de centralidad para el período considerado. En los puntos más altos, ambas IF llegaron a concentrar el 88% y 94% de la magnitud global, respectivamente (Gráfico 6).

De acuerdo con lo señalado anteriormente, estos agentes deben ser objeto de un seguimiento preciso por parte de las entidades de regulación financiera, especialmente en lo referente a sus resguardos y suficiencias de liquidez.

**Gráfico 6: MAGNITUDES DE CENTRALIDAD RELATIVAS**  
(Expresado en porcentaje)



Fuente: Elaboración propia con datos del SPAV

## VII. Conclusiones

La aplicación de la teoría de juegos cooperativos se constituye en una excelente alternativa para analizar la centralidad de las IF que conforman la red de pagos interbancarios.

Un agente es central en este ámbito, si reúne las siguientes características: i) está estratégicamente conectado, ii) actúa como intermediario para que otros agentes se conecten entre sí, iii) registra una mayor actividad transaccional en relación a los demás, y iv) su comportamiento es un factor altamente influyente de la estabilidad del sistema.

A través de la metodología y el juego propuesto en este documento es posible abstraer las características mencionadas para cuantificar el grado de centralidad de las IF que conforman la red de pagos interbancarios para un período de tiempo establecido.

En una primera etapa, de acuerdo con la metodología establecida, se utilizó *Eigenvector Centrality* como filtro de selección de las principales IF de la red de pagos interbancarios. Estas entidades, puesto que están estratégicamente conectadas tienen una gran capacidad para distribuir

y contraer fondos dentro de la red. A este grupo se lo denominó “núcleo de la red”.

Posteriormente se efectuó el cálculo de las magnitudes de centralidad en series temporales. Entre los aspectos más relevantes de los resultados obtenidos para el período de análisis se destacan que dos IF (BM1 y BM2) fueron las que registraron las mayores magnitudes de centralidad.

Las eventuales caídas de ambas entidades en los puntos más altos del período de análisis (3 y 8 de octubre de 2014) habrían producido contracciones directas de liquidez en el sistema de Bs39 y Bs41 millones. En términos relativos ambas entidades concentraron en promedio 57% de las magnitudes de centralidad.

Con base a los resultados encontrados para el período de análisis, se efectuó una prueba de tensión en la cual se simuló una eventual caída de los agentes centrales y el efecto sobre los resguardos de liquidez de las IF conectadas. En estas pruebas se pudo evidenciar que las contracciones de liquidez incidieron notablemente sobre las fuentes de liquidez de segunda línea; contrariamente el efecto sobre la liquidez de primera línea no resultó ser significativo (Apéndice B).

Consecuentemente los agentes centrales deben ser objeto de un seguimiento más preciso por parte de las entidades de regulación del sistema financiero, en especial en lo referente a sus suficiencias y resguardos de liquidez.

La metodología y el juego propuestos permiten obtener información útil para identificar fuentes de riesgo sistémico en el ámbito de las transacciones interbancarias y diseñar medidas que puedan contribuir a mitigar posibles *shocks* sistémicos. Asimismo, el cálculo rutinario de los resultados permitirá a las autoridades de regulación contar con una herramienta monitoreo y de alerta temprana.

Finalmente, se considera que los futuros trabajos de investigación podrían abordar soluciones alternativas como el núcleo (*core*) para los juegos que se presentan en el campo de los pagos interbancarios.

## Referencias bibliográficas

- ALLEN, B. (2006). "Market games with asymmetric information: the core", *Economic Theory*, 29, pp.465-487
- ALLEN, F. and D. GALE (2000). "Financial Contagion", *Journal of Political Economy*, 108 (1), pp.1-33
- AUMANN R. J. and M. MASCHLER (1964). "The Bargaining Set for Cooperative Games", Princeton University Press, *Advances in Game Theory*, 34, pp. 443-476
- AUMANN R. J. and R. B. MYERSON (1988). "Endogenous formation of links between players and coalitions: an application of the Shapley value" in ROTH, A. (Ed.) *The Shapley Value. Essays in honor of Lloyd S. Shapley*, Cambridge University Press, pp. 175-192
- BANCO CENTRAL DE URUGUAY (2014). *Recopilación de normas de regulación y control del sistema financiero*, diciembre
- BANK FOR INTERNATIONAL SETTLEMENTS (2011). "Global systemically important banks: Assessment methodology and the additional loss absorbency requirement", Consultative document, July
- BANK FOR INTERNATIONAL SETTLEMENTS (2012). *Principles for financial market infrastructures*
- BANK FOR INTERNATIONAL SETTLEMENTS (2012). "Models and tools for macroprudential analysis", Basel Committee on Banking Supervision, Working Paper No. 21, May
- BECH, M. and R. GARRATT (2006). "Illiquidity in the Interbank Payment System following Wide-Scale Disruptions", Federal Reserve Bank of New York, Staff Report No. 239, March
- BECHER, Ch., S. MILLARD, K. SORAMÄKI, (2008). "The network topology of CHAPS Sterling", Bank of England, Working Paper No. 355, November

BIBLIOTECA DEL CONGRESO NACIONAL DE CHILE (2011). *Decreto 953*, de 4 de octubre

BONACICH, P. (1972). "Factoring and weighting approaches to status scores and clique identification", *The Journal of Mathematical Sociology*, 2 (1), pp. 113-120

CÁCERES, J. y R. ALDAZOSA (2013). "Analizando el riesgo sistémico en Bolivia: una aplicación de modelos de topología de redes y simulación al funcionamiento del Sistema de Pagos de Alto Valor". Banco Central de Bolivia, *Revista de Análisis*, 18, pp.45-80

CEPEDA, F. (2008). "La topología de redes como herramienta de seguimiento en el Sistema de Pagos de Alto Valor en Colombia", Banco de la República de Colombia, *Borrador de Economía* No 513

DÍAZ, O. (2013). "¿Se cumple la Ley del Efecto Proporcional en el sistema financiero boliviano?", Banco Central de Bolivia, Documento de trabajo interno, septiembre

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

GACETA OFICIAL DE BOLIVIA (2013). *Ley N°393, Ley de Servicios Financieros*, de 21 agosto

GRECHUK, B., A. MOLYBOHA, M. ZABARANKIN (2013). "Cooperative Games with General Deviation Measures". *Mathematical Finance*, 23 (2), pp. 339-365

GILLIES, D. (1959). "Solutions to General Non-Zero-Sum Games", Princeton University Press, *Contributions to the Theory of Games IV*, pp. 47-85

GÓMEZ, D., E. GONZÁLES-ARANGÜENA, C. MANUEL, G. OWEN, M. DEL POZO, J. TEJADA (2003). "Centrality and power in social networks: a game theoretic approach", *Mathematical Social Sciences*, 46, pp. 27-54

HART S. and M. KURZ (1983). “Endogenous Formation of Coalitions”, *Econometrica*, 51 (4), pp. 1047-1064

INAOKA, H., T. NINOMIYA, K. TANIGUCHI, T. SHIMIZU, H. TAKAYASU (2004). “Fractal Network derived from banking transaction – An analysis of network structures formed by financial institutions”, Bank of Japan, Working Paper No.04- E-04, April

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 THE SECURITIES COMMISSIONS (2011). “Mitigating Systemic Risk A Role for Securities Regulators - Discussion Paper”, February

LEÓN, C. y C. MACHADO (2011). “Designing an expert knowledge-based Systemic Importance Index for financial institutions”, Banco de la República de Colombia, *Borrador de Economía* No 669

MACHADO, C. L., C. LEÓN, M. SARMIENTO, F. CEPEDA, O. CHIPATECUA, J. CELY (2010). “Riesgo sistémico y estabilidad del sistema de pagos de alto valor en Colombia: análisis bajo topología de redes y simulación de pagos”, Banco de la República de Colombia, *Borrador de Economía* No. 627

MYERSON, R. B. (1977). “Graphs and Cooperation in Games”, *Mathematics of Operations Research*, 2 (3), pp. 225-229

MYERSON, R. B. (1980). “Conference Structures and Fair Allocation Rules”, *International Journal of Game Theory*, 9 (3), pp. 169-182

SAADE, A. (2008). “Aproximación cuantitativa a la centralidad de los bancos en el mercado interbancario: enfoque de juegos cooperativos”, Banco de la República de Colombia, Reporte de Estabilidad Financiera, septiembre

SHAPLEY, L. (1953). "A Value for n-Person Games", Princeton University Press, *Contributions to the Theory of Games II*, pp. 307-317

SHAPLEY, L. (1967). "On balanced sets and cores", *Naval Research Logistics Quarterly*, 14 (4), pp. 453-460

SORAMÄKI, K., M. BECH, J. ARNOLD, R. GLASS, W. BEYELER (2006). "The Topology of Interbank Payment Flows", Federal Reserve Bank of New York, Staff Report No. 243, March

SORAMÄKI, K. (2012). "Network topology, system mechanics and behavioral dynamics in interbank payment systems", Aalto University School of Science, Dissertation for the degree of Doctor of Science in Technology, February

SHUBIK, M. (1982). *Game Theory in the Social Sciences: Concepts and Solutions*. Volume 1, MIT Press, United States of America

TSCHOEGL, A. E. (1983). "Size, Growth and Transnationality Among the World's Largest Banks", *The Journal of Business*, 56 (2), pp.187-201

VON NEUMANN, J. and O. MORGENSTERN (1947), *Theory of games and economic behavior*, Princeton University Press, United States of America

ZHOU, C. (2010). "Are banks too big to fail? Measuring systemic importance of financial institutions", *International Journal of Central Banking*, 6 (4), pp. 205 - 250

# APÉNDICES

## Apéndice A

### *Eigenvector Centrality*

*Eigenvector Centrality*, fue formulado en 1972 por P. Bonacich, como una medida de centralidad de un nodo dentro de una red. Esta medida atribuye una mayor importancia a un nodo en función de sus relaciones con los demás. De manera intuitiva, los nodos que poseen un valor alto de esta métrica están conectados a muchos nodos que a su vez están bien conectados.

Para una red  $G = (N, E)$  donde  $N$  es la cantidad de nodos y  $E$  el conjunto de aristas que representa las conexiones entre nodos, la centralidad del nodo  $i$  está dada por *Eigenvector Centrality* ( $x$ ) que satisface la siguiente ecuación:

$$\lambda x_i = a_{i1}x_1 + a_{i2}x_2 + \dots + a_{in}x_n \quad (\text{A.1})$$

En notación matricial  $x$  está definido como:

$$\lambda x = Ax \quad (\text{A.2})$$

donde  $A$  es la matriz de adyacencia de la red conformada,  $a_{in} = 1$ , cuando existe un vínculo entre nodos, y  $a_{in} = 0$  cuando no existe vínculo alguno;  $\lambda$  corresponde a los autovalores.

Por tanto, las soluciones de  $\lambda$  y  $(x_1, \dots, x_n)$  de la ecuación (A.1) corresponden a  $\lambda_i$  y  $x_i$  de la matriz  $A$  de la red. Los nodos más centrales serán los que tengan los valores de  $\lambda_i$  asociados a las magnitudes más altas de  $x_i$ .

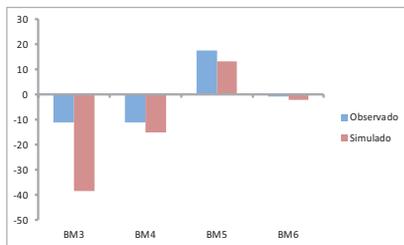
## Apéndice B

### Pruebas de tensión

El objeto de la presente prueba de tensión es validar la resistencia de las fuentes de liquidez de primera y segunda línea de las IF que estuvieron conectadas con los agentes centrales en las fechas establecidas.

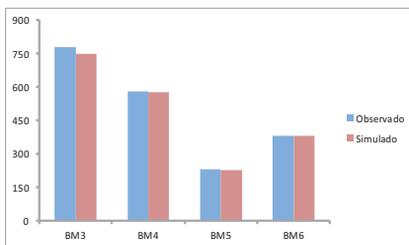
Para el primer caso, se observó que BM3 y BM5 registraron las mayores caídas de liquidez en sus fuentes de segunda línea, con disminuciones de Bs28 millones y Bs5 millones, respectivamente. No obstante, el efecto sobre las fuentes de liquidez de primera línea no fue significativo en ninguno de los casos (Gráficos B.1 y B.2).

**Gráfico B.1: FUENTES DE LIQUIDEZ DE SEGUNDA LÍNEA – 3 DE OCTUBRE DE 2014**  
(Expresado en millones de Bolivianos)



	BM3	BM4	BM5	BM6	TOTAL
Liquidez de segunda línea (Observado)	-11	-11	18	-1	-5
Contracción de liquidez	-28	-4	-5	-1	-39
Liquidez de segunda línea (Simulado)	-39	-15	13	-2	-42

**Gráfico B.2: FUENTES DE LIQUIDEZ DE PRIMERA LÍNEA – 3 DE OCTUBRE DE 2014**  
(Expresado en millones de Bolivianos)

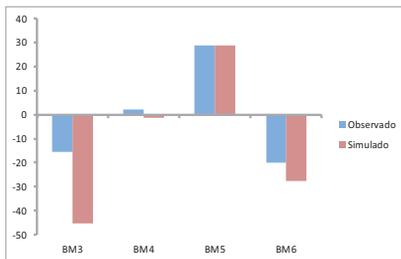


	BM3	BM4	BM5	BM6	TOTAL
Liquidez de segunda línea (Observado)	778	580	231	382	1.972
Contracción de liquidez	-28	-4	-5	-1	-39
Liquidez de segunda línea (Simulado)	750	576	226	381	1.933

Fuente: Elaboración propia con datos de SPAV

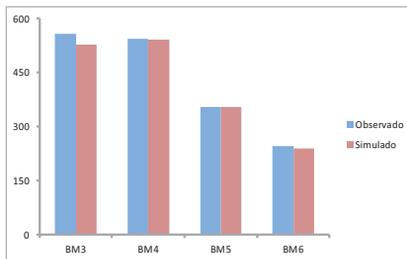
Para el 8 de octubre de 2014, BM3 y BM6 registraron las mayores disminuciones en sus fuentes de liquidez de segunda línea con Bs30 millones y Bs8 millones, respectivamente. Al igual que en el caso anterior, el efecto sobre las fuentes de primera línea resultó ser poco representativo (Gráficos B.3 y B.4).

**Gráfico B.3: FUENTES DE LIQUIDEZ DE SEGUNDA LÍNEA – 8 DE OCTUBRE DE 2014**  
 (Expresado en millones de Bolivianos)



	BM3	BM4	BM5	BM6	TOTAL
Liquidez de segunda línea (Observado)	-16	2	29	-20	-5
Contracción de liquidez	-30	-3	0	-8	-41
Liquidez de segunda línea (Simulado)	-45	-1	29	-28	-45

**Gráfico B.4: FUENTES DE LIQUIDEZ DE PRIMERA LÍNEA – 8 DE OCTUBRE DE 2014**  
 (Expresado en millones de Bolivianos)



	BM3	BM4	BM5	BM6	TOTAL
Liquidez de segunda línea (Observado)	558	545	354	247	1.704
Contracción de liquidez	-30	-3	0	-8	-41
Liquidez de segunda línea (Simulado)	528	542	354	239	1.664

Fuente: Elaboración propia con datos de SPAV

