

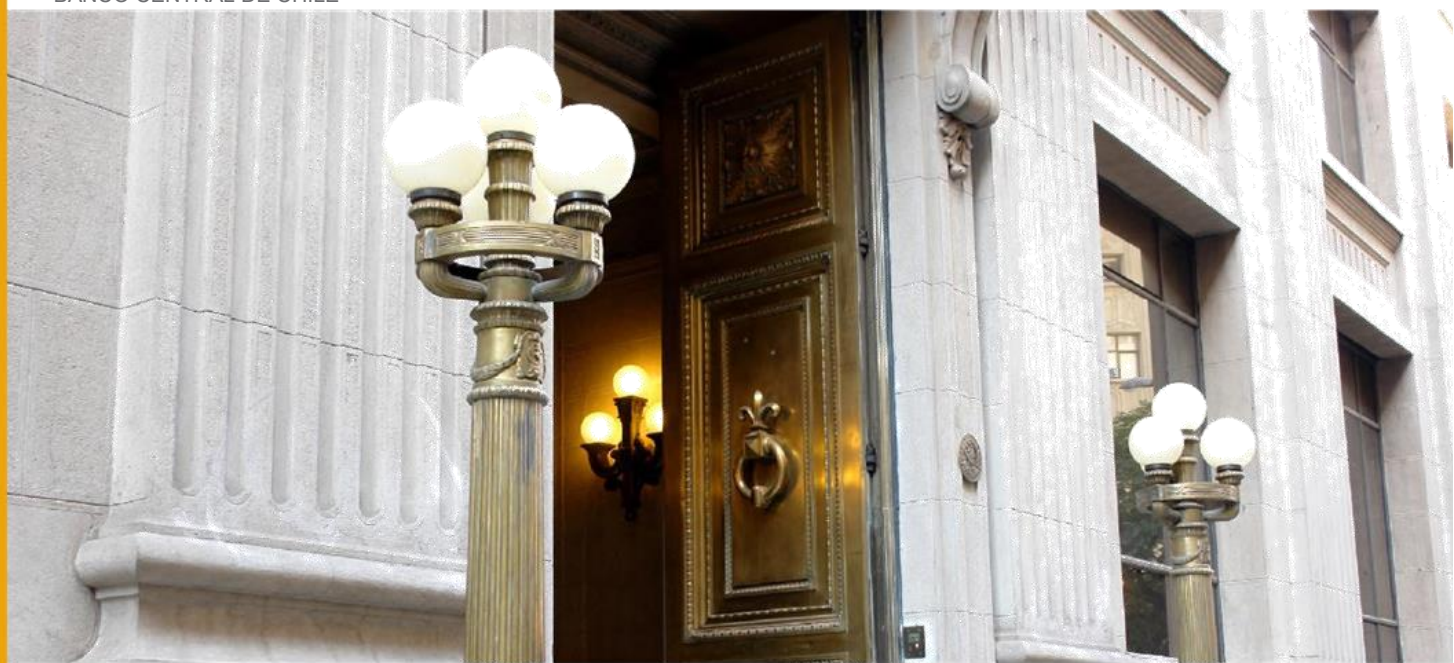
DOCUMENTOS DE TRABAJO

Análisis de redes aplicado al sistema de pagos de alto valor del BCCh

Álvaro González
Carmen López
María José Meléndez

N° 1021 Julio 2024

BANCO CENTRAL DE CHILE





La serie Documentos de Trabajo es una publicación del Banco Central de Chile que divulga los trabajos de investigación económica realizados por profesionales de esta institución o encargados por ella a terceros. El objetivo de la serie es aportar al debate temas relevantes y presentar nuevos enfoques en el análisis de los mismos. La difusión de los Documentos de Trabajo sólo intenta facilitar el intercambio de ideas y dar a conocer investigaciones, con carácter preliminar, para su discusión y comentarios.

La publicación de los Documentos de Trabajo no está sujeta a la aprobación previa de los miembros del Consejo del Banco Central de Chile. Tanto el contenido de los Documentos de Trabajo como también los análisis y conclusiones que de ellos se deriven, son de exclusiva responsabilidad de su o sus autores y no reflejan necesariamente la opinión del Banco Central de Chile o de sus Consejeros.

The Working Papers series of the Central Bank of Chile disseminates economic research conducted by Central Bank staff or third parties under the sponsorship of the Bank. The purpose of the series is to contribute to the discussion of relevant issues and develop new analytical or empirical approaches in their analyses. The only aim of the Working Papers is to disseminate preliminary research for its discussion and comments.

Publication of Working Papers is not subject to previous approval by the members of the Board of the Central Bank. The views and conclusions presented in the papers are exclusively those of the author(s) and do not necessarily reflect the position of the Central Bank of Chile or of the Board members.

Análisis de redes aplicado al sistema de pagos de alto valor del BCCh*

Álvaro González
Banco Central de Chile

Carmen López
Banco Central de Chile

María José Meléndez
Banco Central de Chile

Resumen

Este documento evalúa las conexiones e importancia de cada banco en la red del sistema de pagos en moneda nacional administrado por el BCCh (Sistema de Liquidación Bruta en Tiempo Real- Sistema LBTR), utilizando dos indicadores propios del análisis de redes. Los índices se calculan a nivel de participante y consideran su capacidad de concentrar riesgo de liquidez y de propagar shocks de liquidez al resto de los participantes del sistema. Durante los 10 años de muestra (2012-2022) se observa que el grado de importancia de cada participante ha ido variando, destacando la evolución de bancos que han experimentado fusiones y de algunos de menor tamaño. En términos de provisión de liquidez, existen participantes importantes en la red que no necesariamente son considerados sistémicos a partir de métricas alternativas, como el tamaño de activos totales. Por último, se concluye que al año 2022 el sistema tiende a ser una red más resiliente a shocks de liquidez provenientes de un solo participante, pues ambos indicadores disminuyen su concentración, diseminándose entre más participantes. Este ejercicio contribuye al monitoreo de los riesgos presentes en el Sistema LBTR dando una idea del grado de importancia de sus participantes en esta red de pagos.

Abstract

This document measures the importance of each bank in the payment system network administrated the Central Bank of Chile (Sistema LBTR), using two indicators of network analysis. The indicators are based on the liquidity and contagion risk concentrated in each participant. During the 10 years of the sample (2012-2022), the importance of each participant has changed, highlighting the evolution of merged banks and some smaller ones. In terms of liquidity provision, there are important participants of the network that are not systemic based on alternative metrics, such as size of total assets. Finally, the document concludes that the 2022 payment network is more resilient than 2012 to individual liquidity shocks, since both indicators decrease their concentration, spreading among more participants. This document contributes to the monitoring of the risks present in the local RTGS system, presenting a methodology to calculate the degree of importance of each participant of the payment network.

*Agradecemos los comentarios, sugerencias y aportes de Roberto Madrid, Alejandro Jara, Gabriel Aparici y Rosario Celedón, así como también a los equipos de la División de Política Financiera que en distintas instancias nos aportaron con sus comentarios. Cabe destacar que las opiniones expresadas son las del y las autoras, y no representan necesariamente las opiniones del Banco Central de Chile o de sus miembros del Consejo.

1. Introducción

En las economías modernas los pagos o transferencias de dinero entre instituciones financieras se realizan a través de un tipo de Infraestructura del Mercado Financiero (IMF) conocida como Sistema de Pagos. Los sistemas de pago son un conjunto de instrumentos, procedimientos y reglas para la transferencia de fondos entre dos o más instituciones financieras, normalmente diseñados de acuerdo con exigentes estándares de regulación. Su objetivo es proveer eficiencia y seguridad en las transacciones, de manera que se lleven a cabo sin interrupciones.

Desde el punto de vista de los bancos centrales la estabilidad y normal funcionamiento de los pagos es fundamental para la implementación de la política monetaria, la estabilidad financiera y el funcionamiento de la economía. Por esta razón es común que entre los objetivos de los bancos centrales se encuentre la estabilidad de los pagos, lo que se complementa con atribuciones en materia de regulación, supervisión u operación de medios y sistemas de pago¹.

Para cumplir con este mandato legal el BCCh no solo regula los sistemas y medios de pago, sino que también provee y opera el sistema de pagos más importante de la economía nacional: el Sistema de Liquidación Bruta en Tiempo Real (Sistema LBTR o Sistema). El Sistema LBTR es un marco de reglas y procedimientos que permite a los bancos comerciales y otras entidades autorizadas efectuar, a través de una plataforma tecnológica, transferencias de dinero de manera bruta y en tiempo real, tanto en moneda nacional como en dólares estadounidenses (Sistema LBTR MN y Sistema LBTR USD, respectivamente). El Sistema LBTR forma parte de los Sistemas de Pagos de Alto Valor (SPAV) y se encuentra en funcionamiento desde el año 2004². Es un sistema creado, regulado y administrado por el BCCh y

¹Los medios de pago son la interfaz a través de la cual empresas y personas inician pagos de bajo valor, por lo general para el intercambio de bienes y servicios (e.g. dinero en efectivo, tarjetas de crédito/débito, cheques, etc.).

²Los Sistemas de Pago de Alto Valor se diferencian de los de Bajo Valor, en que los primeros procesan transferencias de que se originan de transacciones entre instituciones financieras, mientras que los segundos de transacciones entre personas y/o empresas.

opera en base a las cuentas corrientes que cada participante mantiene en el BCCh³.

La existencia de los sistemas de pago con modalidad de liquidación bruta y en tiempo real permite que los pagos entre instituciones bancarias se liquiden entre cuentas mantenidas en el banco central y, por tanto, en dinero emitido por el BCCh. Debido a la importancia de los pagos interbancarios o de instituciones financieras relevantes, la disponibilidad de estos sistemas por los bancos centrales propende a una liquidación libre de riesgo operacional, de crédito y de liquidación, principalmente. Por lo tanto la mayoría de los bancos centrales del mundo disponen u operan directa o indirectamente sistemas LBTR para este tipo de pagos.

Los sistemas de liquidación bruta reducen al mínimo el riesgo de liquidación, pues el pago solo se transfiere si el participante pagador cuenta con suficientes fondos en su cuenta corriente. Por otro lado, al requerir altos montos de dinero líquido en un corto plazo, son sistemas que están expuestos a riesgo de liquidez: un pago altamente sensible y cuantioso no podrá liquidarse si el participante no cuenta con los fondos en el momento preciso, a pesar de que pueda liquidar el pago en una fecha posterior.

Cuando un participante no dispone de la liquidez necesaria para cumplir con sus obligaciones en el momento comprometido, afecta directamente la liquidez de la que dispondrán sus contrapartes en el sistema para liquidar sus propios pagos. Este efecto en cadena proviene del uso eficiente que dan los participantes a la liquidez disponible. Mantener altos niveles de liquidez tiene un importante costo de oportunidad para las instituciones financieras por lo que para hacer un uso eficiente de la misma, los participantes del sistema de liquidación bruta dependen en parte de la liquidez obtenida de los pagos que reciben, organizando sus pagos diarios a partir de la expectativa de pagos a recibir con la información disponible.

Así, un evento de riesgo de liquidez tiene el potencial de generar un impacto en la cadena de pagos y, eventualmente, en el sistema, pues la escasez de liquidez en un participante

³Existe un segundo SPAV operado por el sector privado, que corresponde a la Cámara de Compensación de Pagos de Alto Valor en Moneda Nacional, administrado por la sociedad de apoyo al giro bancario ComBanc S.A. (ComBanc MN).

importante del sistema de pagos puede afectar y detener los pagos entre otros participantes del sistema generando una reacción en cadena. Por esta razón el BCCh monitorea y cuenta con herramientas para gestionar este riesgo⁴.

Considerando el potencial de un participante del Sistema LBTR para generar una situación de estrés de liquidez en el sistema, ya sea por su protagonismo en la provisión de liquidez o por su grado de conectividad, se puede decir que en la red de pagos existen participantes mas sistémicos que otros⁵. Luego, dada la importancia del Sistema LBTR en los pagos de la economía, resulta relevante identificar a los participantes sistémicos en la red de pagos en miras de gestionar de manera eficiente las necesidades de liquidez derivadas de alguna eventual interrupción en los pagos de los mismos.

Este documento analiza el grado de importancia de cada participante en la red de pagos del Sistema LBTR en Moneda Nacional (Sistema LBTR MN), mediante el estudio de los pagos que liquida diariamente a través de este sistema de pagos desde una perspectiva de análisis de redes. La metodología de análisis de redes ofrece una serie de herramientas para identificar este tipo de participantes sistémicos dentro de un SPAV, como es el caso del Sistema LBTR. Esta metodología consiste en analizar a toda la estructura de pagos del

⁴La mitigación del riesgo de liquidez en el Sistema LBTR MN se gestiona a través de distintos mecanismos, entre estos:

- a Facilidades de liquidez a participantes a través de préstamos con y sin intereses.
- b Filas de espera para facilitar el flujo de pagos en caso de que uno no se pueda liquidar por falta de fondos y dar prioridad a ciertos pagos.
- c La posibilidad de que los participantes pueden verificar el saldo de sus cuentas en tiempo real.
- d Liquidación de las operaciones del BCCh que corresponden a abonos al inicio del día, mientras que las operaciones de débito se liquidan al final, permitiendo a los participantes contar con esos fondos durante el horario de operación.
- e Permitir que los requisitos de encaje se pueden cumplir con los saldos brutos al final del ciclo, permitiendo que los participantes cuenten con ellos durante el día.

⁵El grado de importancia sistémica que se describe aquí y se considera en otros apartados del documento, se circunscribe exclusivamente a la red de pagos del Sistema LBTR, desde donde se obtienen los datos para su cálculo. Por lo tanto, describe la importancia del participante en este sistema de pagos en particular, sin guardar relación, necesariamente, con la importancia del participante para el funcionamiento del sistema financiero.

sistema como una gran red, con enlaces que conectan a unos participantes con otros a través de relaciones en función de los pagos que se realizan entre ellos.

Este documento constituye el primer estudio que propone aplicar la metodología de red al Sistema LBTR de Chile para analizar el riesgo de liquidez y la importancia sistémica de sus participantes en esta dimensión. Así, siguiendo la metodología de [Lublóy \(2006\)](#), se estudia el riesgo de liquidez a partir del cálculo de dos indicadores de centralidad nodal para cada participante de la red de pagos entre los años 2012 a 2022: un índice que mide el grado de conexión del participante en la red (*Out-proximity Centrality*) y otro que mide la importancia relativa del tamaño de los pagos de un participante en la red (*Valued Out-degree Centrality*).

A modo general se obtiene que los índices para cada participante permanecen relativamente estables a lo largo de la muestra, salvo algunas excepciones. El índice *Valued Out-degree Centrality*, que mide la provisión de liquidez, no presenta mayores variaciones y presenta mayores valores para los bancos más grandes, aunque destaca la evolución de bancos que son relativamente pequeños por sobre otros de mayor tamaño. Por su parte el índice *Out-proximity Centrality*, que mide el grado de conectividad, se distribuye de manera más equitativa entre los bancos durante el período. Se aprecia además que crece levemente durante los años de muestra, algo que se condice con una red de pagos más conectada y con menos participantes.

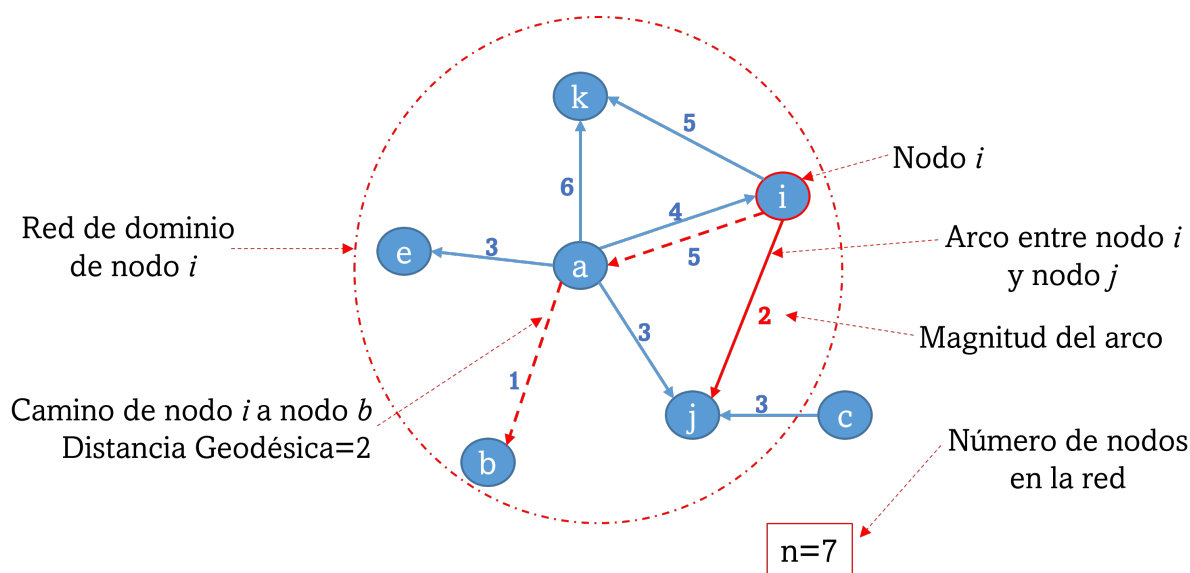
Ambos índices presentan una relación positiva en su comportamiento a lo largo de la muestra. Multiplicando ambos índices se construye el Índice de Importancia Relativa (IIR) a partir del cual se concluye que la concentración del riesgo de liquidez ha disminuido, tendiendo a distribuirse entre más participantes.

El documento se ordena de la siguiente manera. La sección 2 introduce someramente algunos conceptos básicos del análisis de redes, necesarios para entender la metodología del documento. La sección 3 describe la literatura relevante en el ámbito, principalmente

documentos de otros bancos centrales que aplican este mismo tipo de análisis a sus propios SPAVs. La sección 4 describe la metodología de estudio, ofreciendo una explicación de los indicadores relevantes y su cálculo. La sección 5 especifica la base de datos utilizada, mientras que la 6 y 7 los principales resultados y sus aplicaciones. Finalmente, la sección 8 establece algunas conclusiones y consideraciones finales.

2. Análisis de redes

Figura 1: Conceptos relevantes para el análisis de redes



Fuente: BCCh

Los estudios de redes analizan las relaciones entre participantes de un sistema como si estas correspondieran a una gran red que los conecta entre sí. La red está compuesta por participantes (nodos) unidos por los vínculos que los conectan (arcos). Los arcos de una red pueden o no tener una magnitud determinada.

Las redes se pueden clasificar en dos tipos: las redes directas y las indirectas. Mientras las primeras corresponden a redes cuyos arcos tienen una dirección clara de un nodo a otro (e.g. un pago de un banco a otro banco), las indirectas corresponden más bien a vínculos

recíprocos sin dirección clara (e.g. vínculo familiar que une a dos hermanos).

Dentro de una red se pueden identificar caminos que corresponden a los arcos que conectan a un nodo con otro. Su longitud equivale al número de arcos que lo conforman, y se denomina distancia geodésica o simplemente distancia.

Cada nodo de la red cuenta con una vecindad que corresponde al conjunto de nodos con los que está conectado y cuya distancia que lo separa de ellos es igual a uno. Por otro lado existe la red de dominio del nodo, que corresponde a los nodos de la red con los que el nodo está conectado a través de un arco, o bien a través de otros nodos que sirven de puente entre los dos. Dentro de la red de dominio se incluyen los vecinos del nodo.

3. Literatura relevante

El análisis de redes aplicado a sistemas de pago se encuentra ampliamente abordado en la literatura financiera. La metodología utilizada en este documento se basa en la utilizada en [Lublóy \(2006\)](#) y [Soramäki et al. \(2007\)](#) que analizan los sistemas de pago de Hungría y Estados Unidos, respectivamente.

[Lublóy \(2006\)](#) construye, a partir de datos del sistema VIBER (SPAV de liquidación bruta en tiempo real administrado por el Banco Central de Hungría), una serie de indicadores de centralidad nodal para los participantes durante un mes de muestra. Además de analizar la variación de los indicadores por banco y sus correlaciones, estudia la estabilidad de las relaciones entre los participantes, que corresponden a pagos. Por último construye un indicador de riesgo relativo que permite identificar a los participantes sistémicamente importantes en la red de pagos. Concluye que los bancos más sistémicos dentro de la red de pagos no corresponden a los bancos con mayor tamaño de activos.

[Soramäki et al. \(2007\)](#) explora la estructura de la red de pagos del sistema de pagos de liquidación bruta administrado por la FED (Fedwire), destacando los efectos de los eventos

del 11/09 sobre la red. Su análisis se enfoca en la red como un todo y no en las características individuales de sus participantes, concluyendo que la red de Fedwire presenta un bajo nivel de densidad y a la vez una baja distancia entre los bancos que sí están conectados⁶. Durante los eventos del 11/09 se apreció una abrupta caída en los pagos del sistema, pues algunos bancos no lograron ingresar pagos en todo el día. Esto generó escasez de liquidez, caída en la conectividad y aumento en la distancia promedio entre los participantes de la red, lo que llevó a la FED a tomar medidas para impedir un estancamiento en la cadena de pagos.

El enfoque de abordar la red como un todo, también es aplicado por [Pröpper et al. \(2008\)](#), [Embree and Roberts \(2009\)](#) y [Becher et al. \(2008\)](#) sobre la red de pagos europea (*Trans-European Automated Real-Time Gross Settlement Express Transfer* o TARGET), canadiense (*Large Value Transfer System* o LVTS) y británica (*Clearing House Automated Payment System* o CHAPS), respectivamente. De estos destaca [Becher et al. \(2008\)](#), que concluye que una menor distancia promedio entre los participantes de la red produce una mejor absorción de shocks, por cuanto la caída de un participante y la subsecuente escasez de liquidez de sus contrapartes puede ser amortiguada por pagos de otros participantes.

[Schmitz et al. \(2008\)](#) analiza la importancia de cada participante del sistema de pagos austriaco (ARTIS) para estudiar la estabilidad de la red ante incidentes operacionales a los sitios de los participantes a través de simulaciones. Concluye que el efecto de contagio entre los participantes es ampliamente explicado por los índices de centralidad nodal de cada participante.

Finalmente, [Bodnár \(2017\)](#) actualiza el documento de [Lublóy \(2006\)](#), aplicando y comparando métricas alternativas para identificar a los participantes sistémicos de la red de pagos de Hungría. En general se concluye que las métricas arrojan resultados similares y se han mantenido estables en el tiempo.

⁶La densidad corresponde a la proporción de arcos existentes en la red respecto al total de arcos posibles.

4. Metodología

4.1. Índices de Centralidad Nodal

En miras de tener un idea el nivel de influencia que tiene un nodo respecto al resto de los nodos de la red, se pueden construir los índices de centralidad nodal. Estos se calculan a nivel de nodo y permiten dimensionar la importancia de cada uno de ellos dentro en la red. Para el análisis de este documento se utilizan dos: *Valued Out-degree Centrality* y *Out-Proximity Centrality*. Estos índices representan la importancia que cada banco tiene a la hora de conectarse y de proveer liquidez a la red de pagos, respectivamente.

Así, mientras el *Valued Out-degree Centrality* da cuenta de la proporción que tiene el valor de los pagos hechos por un banco con respecto a todos los pagos liquidados en el SPAV, el *Out-Proximity Centrality* considera la distancia que tiene un banco con respecto al resto de los participantes del sistema, dando una idea del grado de conexión que tiene con el resto de la red. Ambos índices se calculan considerando exclusivamente los pagos enviados y no los recibidos, pues sirven para dimensionar la importancia del participante en la red y no su vulnerabilidad.⁷

El *Valued Out-degree Centrality* se obtiene dividiendo los pagos liquidados por el participante por el total de los pagos liquidados en el sistema durante un periodo. En consecuencia, su magnitud varía de acuerdo con el valor de los pagos y no al volumen de éstos, dando una idea del aporte en liquidez que hace el banco al Sistema⁸.

El cálculo del índice se encuentra en la [Ecuación 1](#), donde $V_{i,t}$ es el valor del índice para el banco i el día t , $P_{i,t}$ corresponde al monto total de pagos que el banco i liquidó el día t y n al total de participantes del Sistema LBTR.

⁷Un participante cuya liquidez depende excesivamente de los pagos recibidos es altamente sensible a shocks en la red.

⁸Por valor se entiende el monto de los pagos, mientras que por volumen la cantidad.

$$V_{i,t} = \frac{P_{i,t}}{\sum_{i=1}^n P_{i,t}} \quad (1)$$

El índice toma un valor máximo igual a 100 %, que correspondería al caso en que solo el banco i proveyese toda la liquidez al Sistema durante un día.

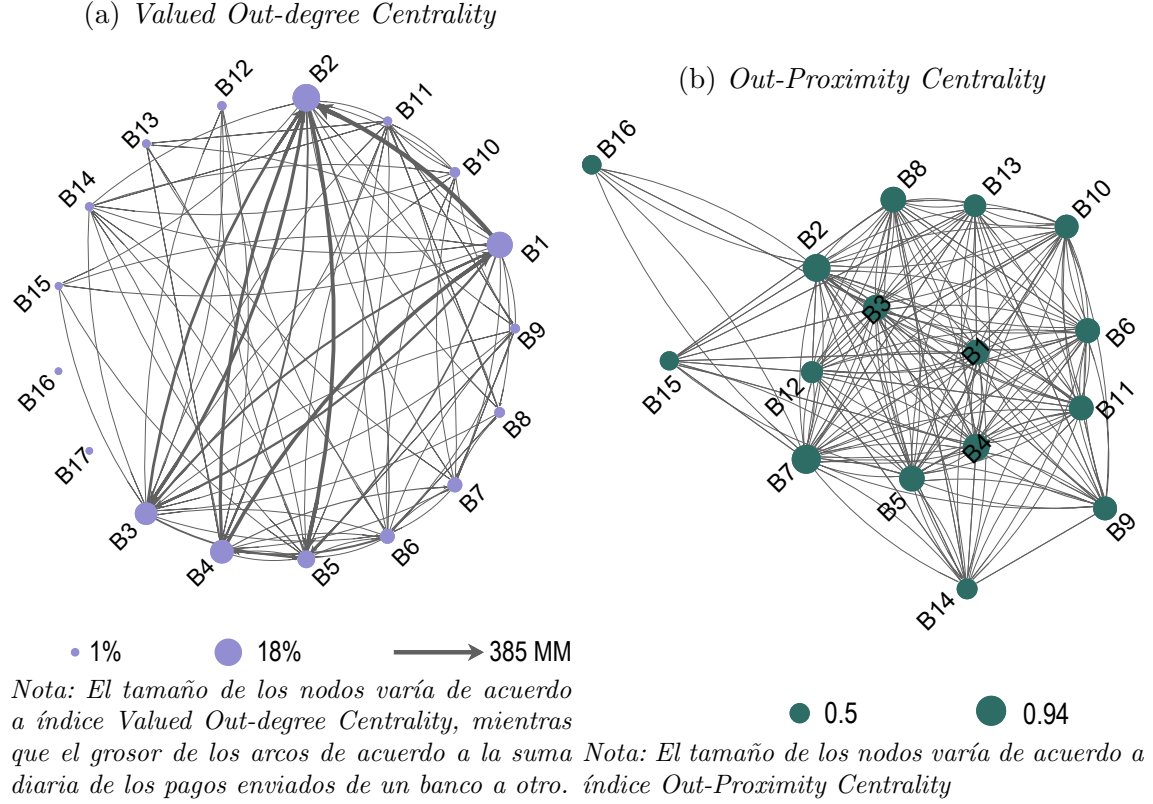
Por su parte, el *Out-Proximity Centrality* se calcula a partir de la distancia promedio que tiene un banco respecto al resto de los participantes. Para esto se consideran todos los participantes de la red con los que el participante cualquiera se relaciona de manera directa o indirecta (red de dominio). Por definición, la distancia que separa al nodo de sus vecinos es uno, mientras que con el resto de la red de dominio esta puede ser dos o más. El índice como tal corresponde al inverso de la distancia promedio que separa al nodo de su red de dominio, multiplicada por la proporción que representa su red de dominio del total de participantes.

El cálculo del índice se encuentra en la [Ecuación 2](#), donde $C_{i,t}$ es el valor del índice para el banco i el día t , $d_{i,j,t}$ corresponde a la distancia entre el banco i y el banco j el día t e $I_{i,t}$ a la red de dominio del banco i el día t .

$$C_{i,t} = \frac{\sum_{i \neq j}^n d_{i,j,t}}{I_{i,t}} \times \frac{1}{n-1} \quad (2)$$

Para efectos del análisis se considera que la cercanía entre un nodo y otro es igual a cero cuando no se encuentra conectado directa o indirectamente con este último. Además, el índice toma un valor máximo e igual a 1 cuando el banco nodo es cercano a todos los nodos de la red, es decir, está conectado directamente con todo el resto de los bancos considerando pagos enviados.

Figura 2: Red de pagos para un día aleatorio de la muestra



4.2. Visualización de la red

La Figura 2 y Figura 2b ilustran los índices *Valued Out-degree Centrality* y *Out-Proximity Centrality*, respectivamente, para un día aleatorio de la muestra. El tamaño de los nodos varía dependiendo del índice correspondiente, mientras que el grosor de los arcos de la Figura 2a de acuerdo a la suma de los montos transferidos ese día. A partir de la Figura 2a se concluye que el Banco 1 fue el que más liquidez aportó al sistema durante el ciclo de operación del día de muestra, concentrando casi un 20 % del valor de los pagos totales. Por otro lado, a partir de la Figura 2b se puede concluir que el participante más cercano al resto de los bancos de la red fue el Banco 7. Durante esa jornada envió al menos un pago a casi todos los participantes de la red.

5. Datos

El BCCh, al operar y administrar el Sistema LBTR registra todas las transacciones liquidadas por los participantes del Sistema durante sus ciclos de operación. Para el cálculo de los índices se utilizaron las bases de datos a nivel diario que proporciona el Sistema LBTR MN, las que contienen información de todos los pagos en CLP liquidados por los participantes en el Sistema. La base contiene información de las contrapartes, los montos, la hora y el tipo de pago al que obedece la transacción.

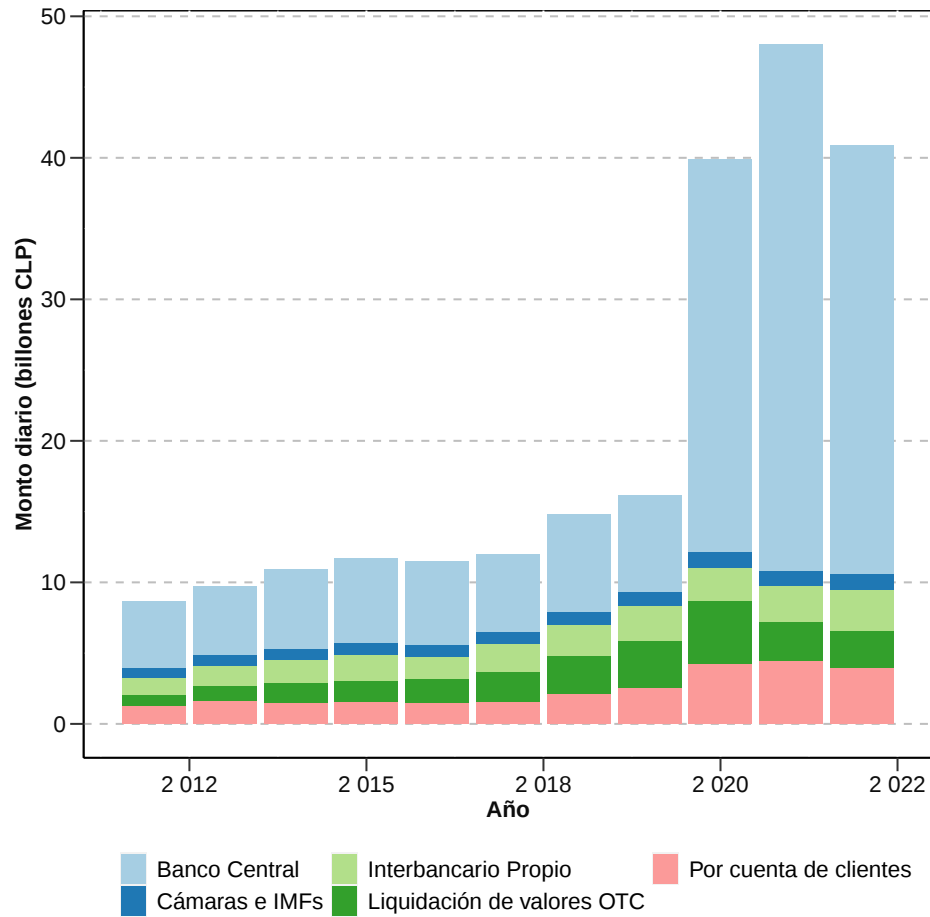
El Sistema LBTR procesa distintos tipos de pagos, dependiendo de las contrapartes que interactúan y del tipo de transacción del mercado financiero que subyace al pago. En general las que responden a obligaciones que tienen los bancos entre sí, provienen de operaciones propias entre bancos (Interbancario por cuenta propia), compra de instrumentos financieros (Liquidación de valores *Over the Counter/OTC*), o bien transacciones liquidadas en nombre de clientes no bancarios (Por cuenta de clientes)⁹.

En conjunto durante el año 2022 los pagos entre bancos representaron el 23 % del valor de los pagos liquidados a nivel diario, lo que equivale a menos de un tercio de los pagos realizados entre bancos con el BCCh. Esto último principalmente por las medidas de liquidez excepcionales llevadas a cabo por el BCCh durante la pandemia, cuyos efectos sobre las liquidaciones en el SPAV continuaron durante el 2022. El valor promedio diario de la suma de las operaciones liquidadas por el sistema descendió el 2022 a \$41 billones de pesos, lo que equivale aproximadamente a 15 % del PIB a precios corrientes ([Figura 3](#)).

En miras de estudiar exclusivamente las dependencias entre los participantes bancarios del Sistema para el cálculo de los índices sólo se consideran los liquidados entre participantes

⁹Los tipos de operaciones liquidadas por el Sistema corresponden a: Interbancarios por cuenta propia (pagos entre bancos), liquidaciones de bancos por cuenta de sus clientes (Por cuenta de clientes, por ejemplo, una empresa o inversionista institucional), las relacionadas con compra/venta de instrumentos financieros (liquidación de valores OTC), saldos netos derivados de cámaras de compensación (Cámara de Compensación de Cheques, de Cajeros y de Pagos de Alto Valor - CCAV), saldos netos derivados de la operación de otras IMF (CCLV y ComDer), y las operaciones entre los bancos y el Banco Central.

Figura 3: Valor promedio diario por tipo de pago liquidado en el Sistema LBTR MN

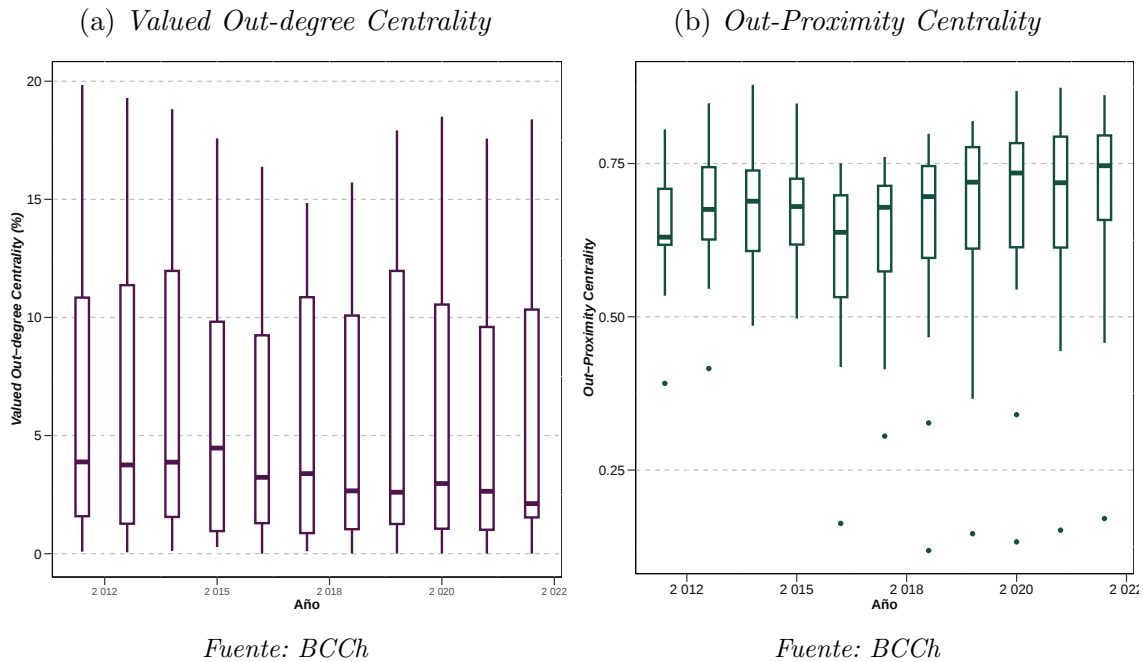


Fuente: BCCh

bancarios, apartando de la muestra aquellos pagos provenientes de liquidaciones de cámaras de compensación, otras IMFs y operaciones de bancos con el BCCh. De esta manera la muestra 2022 sólo incluye a los 17 bancos participantes del sistema, excluyéndose participantes que no liquidaron los tipos de pago seleccionados. Para el cálculo de índices de los años anteriores se usa la información de todos los participantes de los periodos relevantes que liquidaron los tipos de pago seleccionados. Por último, los índices fueron calculados a nivel diario.

6. Resultados

Figura 4: Índices promedio diario por banco



En general se aprecia que la distribución del índice *Valued Out-degree Centrality* entre los participantes se ha mantenido estable durante el período de estudio, con la mitad de los bancos presentando índices promedio entre 2 % y 12 %. Para el año 2022 se presenta un movimiento a la baja, con la mitad de los participantes presentando índices por debajo del 3 % (Figura 4a).

Desde el año 2016 el índice *Out-Proximity Centrality* ha crecido para la mayoría de los participantes de la muestra. Lo anterior es consistente con el cálculo del índice, pues dicho año dos participantes dejaron de operar en el Sistema, llevando el índice al alza¹⁰. Si bien la dispersión entre los bancos es baja (la mitad de ellos presenta índices entre 0,6 y 0,8 la mayoría de los años), existe un banco con un índice atípico a la baja.

El aumento en el índice *Out-Proximity Centrality* muestra que la red de pagos del Sistema LBTR ha tendido a ser una red más conectada (Figura 4b). Respecto al índice

¹⁰De acuerdo a Ecuación 2 el índice depende inversamente del número de participantes de la red (n).

Valued Out-degree Centrality, se aprecia una tendencia a la baja en la provisión de liquidez al Sistema por parte de la mitad de los bancos, con un mayor número de participantes bajo la mediana (Figura 4a).

A continuación se presenta la evolución de ambos índices para los participantes que, de acuerdo a estas métricas, serían los bancos potencialmente sistémicos en la red de pagos. Asimismo se destaca el caso del banco participante que más aumentó su importancia en la red durante el periodo y, finalmente, se analiza el efecto de las fusiones sobre los índices de los bancos que fueron parte de las mismas.

Para entender el efecto de las fusiones sobre los índices por banco se construye el promedio “Fusiones” que corresponde al promedio de los índices de los bancos individuales para los años pre-fusión, y al índice del nuevo banco para los años post-fusión¹¹.

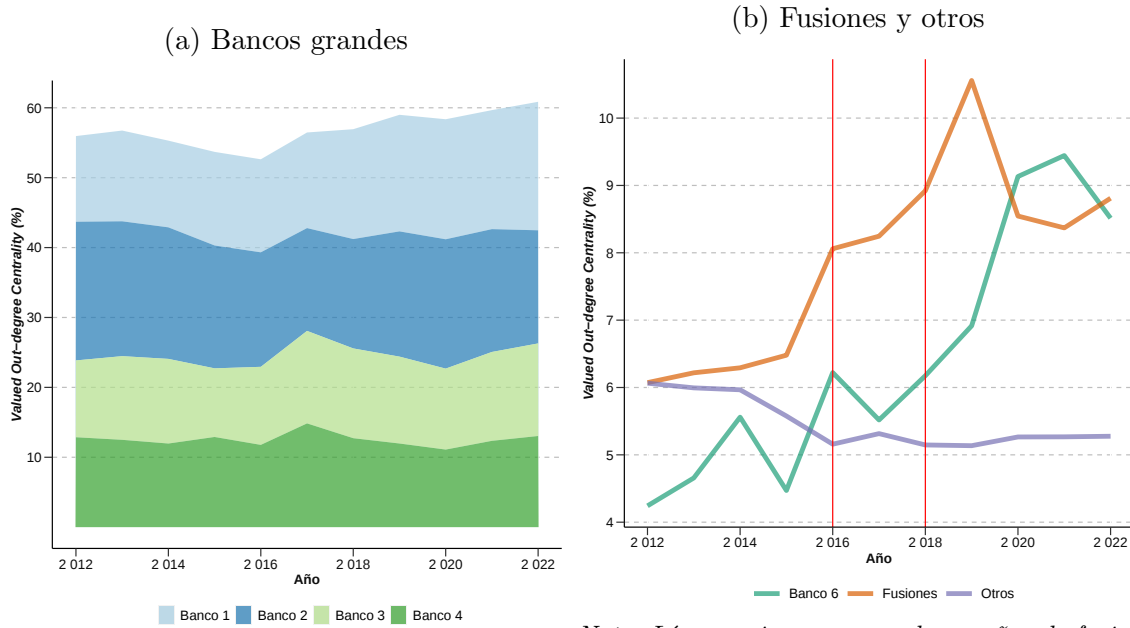
6.1. *Valued Out-degree Centrality*

A partir de la información provista por la Figura 5a se aprecia que el valor del índice ha sido bastante estable a lo largo de los últimos diez años, destacando la preponderancia de los 4 bancos más grandes que en conjunto han llegado a aportar más del 60 % de la liquidez del sistema. Comparando la evolución del índice para estos participantes destaca la disminución del índice para el Banco 2, que al año 2012 aportaba casi el 20 % de la liquidez, lo que era casi dos veces el valor del índice del resto de los 3 bancos ese año. Al año 2022 esta diferencia disminuye considerablemente, distribuyéndose de manera más equitativa entre los participantes. Esto obedece a un cambio de estrategia del Banco 2 que durante el período comenzó a liquidar un mayor porcentaje de sus pagos a través de otro SPAV.

Por otro lado destaca la evolución del Banco 6, que desde los últimos 10 años ha au-

¹¹Considerando que durante el periodo de muestra ocurrieron dos fusiones (una el 2016 y otra el 2018), desde el año 2012 al 2016 el índice corresponde al promedio de los 4 bancos pre-fusionados, desde el 2016 al 2018 al promedio entre el primer banco fusionado y los dos pre-fusión, y desde el 2018 al promedio de los dos bancos participantes que provienen de ambas fusiones. Las conclusiones a las que se llegan se mantienen al separar las fusiones, sin embargo se omite para mantener la innominación de los participantes.

Figura 5: *Valued Out-degree Centrality* promedio diario por banco liquidador



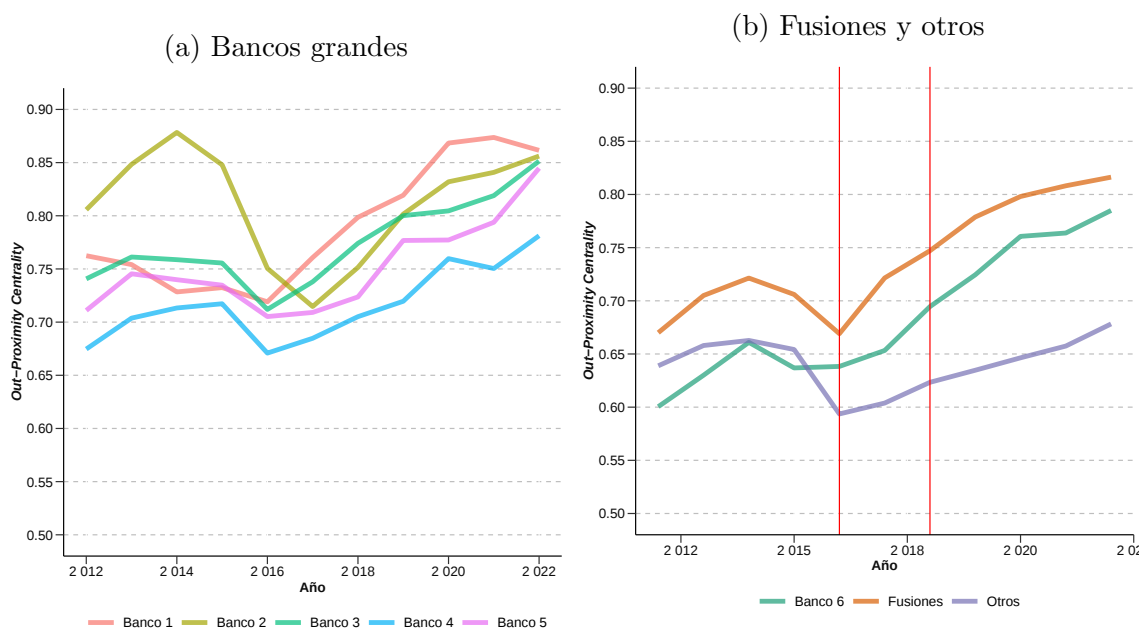
mentado significativamente su aporte en liquidez al sistema, duplicando su índice de un 4 % a un 8 % entre el 2012 y 2022 (Figura 5b). El Banco 6 corresponde al banco que mayor crecimiento relativo obtuvo durante el período muestral. El tipo de pago que más aumentó durante los años 2019 y 2020 corresponden a pagos por cuenta de clientes y en particular, de aquellos que se liquidan en nombre de empresas (pagos ordenados por Personas Jurídicas no institucionales). Lo anterior es consistente con un aumento en los saldos de las cuentas abiertas a personas jurídicas dentro del Banco 6 para el año 2020, saldos que alcanzan un *peak* el año 2021. Al estudiar las fuentes de liquidez que subyacieron a estos pagos (pagos recibidos por el Banco 6 durante estos años), la mayoría proviene de liquidez obtenida desde el BCCh, llegando a ser un 65 % de los abonos recibidos durante un mes del año 2021.

Finalmente el índice promedio de los bancos fusionados ha aumentado conforme se han llevado a cabo las fusiones, aunque en proporciones distintas (Figura 5b). Por un lado el aumento del índice para el año 2016 (primera fusión) se sostuvo en el tiempo, manteniéndose cercano a un 8 %, presentando solo leves crecimientos de un 1 % durante los años posteriores.

El siguiente *peak* se presenta el 2019 (año siguiente de la segunda fusión) llegando a un índice cercano al 11 %, que vuelve a caer a un 8,5 % durante los siguientes años. La caída en el índice se explica en parte por la desaparición de los pagos que los bancos pre-fusionados se liquidaban entre sí luego de convertirse en un solo banco.

6.2. *Out-Proximity Centrality*

Figura 6: *Out-Proximity Centrality* promedio diario por banco liquidador



Respecto a la cercanía de los participantes se presenta un crecimiento sostenido durante el periodo, especialmente desde el año 2016. El crecimiento del índice se explica principalmente por la caída en el número de participantes en el sistema lo que afecta de manera positiva al valor del índice [Ecuación 2](#). Mientras el año 2016 habían 23 de participantes activos en la red de pagos, estos cayeron a 21 al año siguiente.

Destaca nuevamente la evolución del Banco 6, que aumenta la cercanía que tiene con la red más que el resto de los participantes ([Figura 6b](#)). Por último, las fusiones aumentan la

cercanía promedio de los bancos involucrados con el resto de la red, pues presentan un crecimiento mayor al del resto de los participantes [Figura 6b](#). El aumento se explica por el mayor número de las contrapartes de los bancos fusionados: mientras antes cada banco por separado mantenía su propia vecindad, una vez fusionados estas pasan a sumarse, aumentando las contrapartes directas del nuevo banco.

6.3. Conclusiones generales

Los resultados indican que los participantes que más liquidez proveen al sistema resultan ser también los más cercanos al resto de los participantes de la red ([Figura 5a](#) y [Figura 6a](#)).

Mientras el índice *Valued Out-degree Centrality* se ha distribuido de manera más equitativa entre los cuatro participantes más grandes durante el periodo, el índice *Out-Proximity Centrality* se mantiene bastante alto para todos los participantes de la red. De esta forma se presenta al año 2022 una red más conectada y con más bancos importantes respecto a los años anteriores.

El Banco 6 es el que presentó un mayor aumento de ambos índices en comparación al resto de los participantes de la red, principalmente del *Valued Out-degree Centrality*. El tipo de pago liquidado por el Banco 6 que más aumentó correspondió a los pagos que liquidó en nombre de personas jurídicas.

Las fusiones llevan al alza ambos índices del banco fusionado respecto a los bancos de origen, aunque el *Out-Proximity Centrality* crece en mayor proporción que el *Valued Out-degree Centrality*. Este efecto se explica porque mientras la fusión elimina los pagos que se solían intercambiar las contrapartes fusionadas, aumenta el número de contrapartes del nuevo banco, pues este pasa a liquidar pagos a las distintas contrapartes de ambos bancos pre-fusión.

Una mayor conectividad puede mermar la resistencia de una red ante shocks, por cuanto

aumenta el riesgo de propagación o contagio. Si todos los participantes están muy conectados entre sí, el efecto de la caída de uno se expande rápidamente al resto. Por otro lado la literatura también indica que una mayor cercanía puede llegar a fortalecer la resiliencia de la red, por cuanto el shock de liquidez derivado de la indisponibilidad de un solo participante puede ser amortiguado por el resto (Becher et al. (2008)).

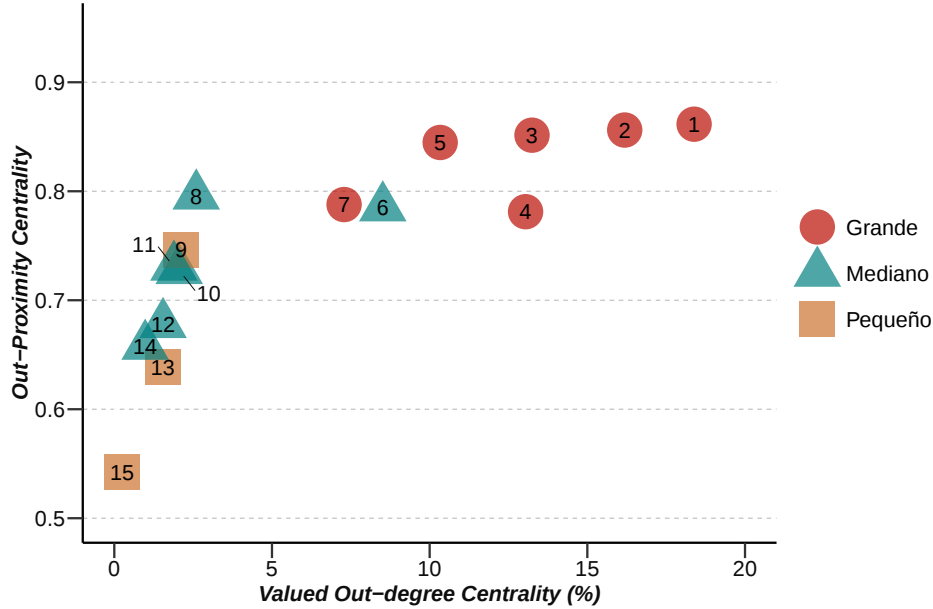
En el caso del Sistema LBTR, los resultados indican que los cuatro participantes centrales han aumentado tanto su grado de conexión como de provisión de liquidez al sistema, diluyendo la concentración del riesgo que antes se concentraba en un solo participante (Banco 2). Esto permite que el *shock* de liquidez que antes potencialmente provocaría la indisponibilidad del participante más sistémico de la red de pagos, sea amortiguado por el resto de bancos sistémicos, evitando el estancamiento de la cadena de pagos. En conclusión, estaríamos frente a una red más resiliente a *shocks* de liquidez derivados de la indisponibilidad de un solo participante.

7. Análisis de resultados

7.1. Relación con Activos Totales

La Figura 7 compara la magnitud de los índices con el tamaño de activos totales durante un mes del año 2022. La tendencia indica que los bancos con mayores índices son los de mayor tamaño, salvo excepciones como el banco 6 y 7. Mientras el Banco 7 se encuentra relegado del resto de los bancos de mayor tamaño por tener un menor *Valued Out-degree Centrality*, el Banco 6 también se encuentra apartado de los bancos de tamaño similar pero por presentar un valor del índice anormalmente mayor. Es más, el valor del índice del Banco 6 es levemente mayor que el del Banco 7, aún cuando los activos totales del Banco 6 no alcanzan a ser la mitad de los del 7 durante el mes de muestra. Así, los bancos más importantes en la red de

Figura 7: Índices en relación a Tamaño del banco



Fuente: BCCh.

Nota: la clasificación del tamaño de los bancos está en función de sus activos totales para un mes del año 2022.

pagos no siempre son considerados sistémicos desde métricas más comunes, como el tamaño de activos totales.

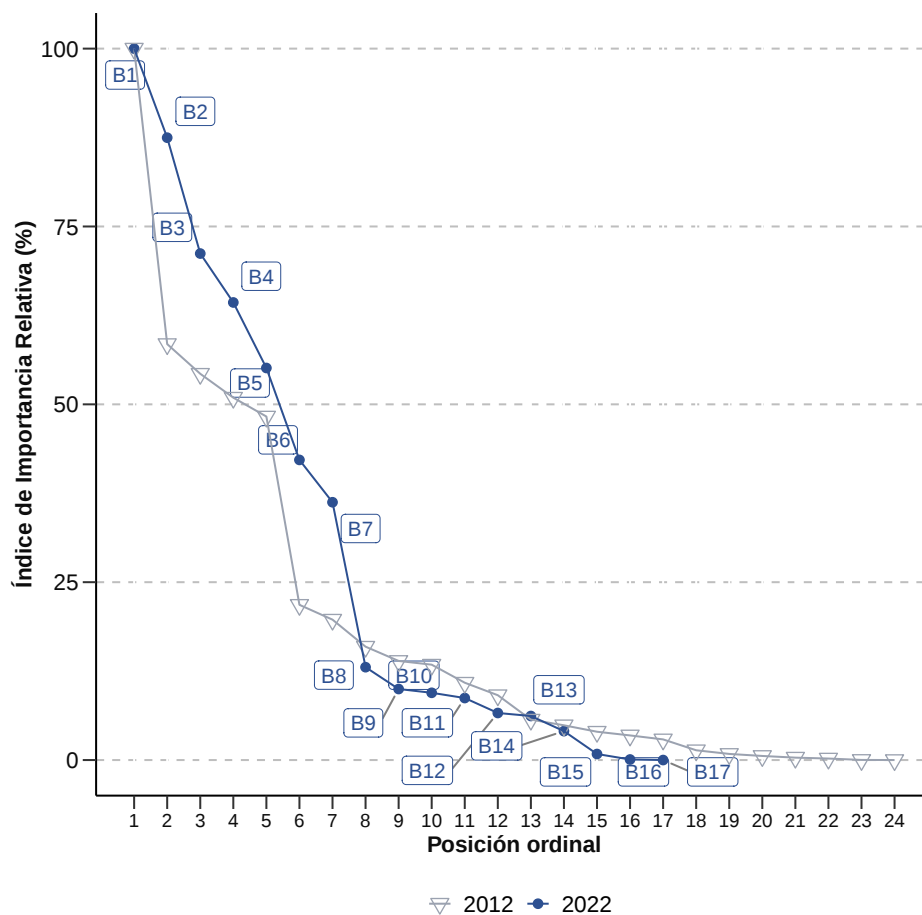
Respecto a la relación entre los índices, si bien se aprecia que es positiva, no es lineal. Ante un bajo nivel del índice *Valued Out-degree Centrality* un leve aumento de éste se relaciona a un aumento proporcionalmente mayor del índice *Out-Proximity Centrality*. Luego, conforme el *Valued Out-degree Centrality* aumenta, dicha proporción va disminuyendo.

7.2. Índice de Importancia Relativa

Siguiendo la metodología de Lublóy (2006) se procede a multiplicar los índices para calcular un Índice de Importancia Relativa (IIR). El objetivo es capturar ambas dimensiones de importancia en un solo indicador, esto es, la importancia de la liquidez que aporta al sistema y el grado de cercanía que tiene con el resto de los participantes. Así se obtiene una idea del riesgo de liquidez y contagio que se concentra en un solo participante.

La Figura 8 presenta la distribución del IIR para los años 2012 y 2022. El 100 % en ambos casos es adjudicado al banco con mayor IIR, mientras que el resto de los participantes es ordenado de forma descendente en relación con la proporción de su IIR con respecto al del banco con mayor índice¹².

Figura 8: Distribución del IIR 2012 y 2022



Fuente: BCCh

De acuerdo con la Figura 8, la concentración del índice ha disminuido durante los últimos 10 años. Mientras el año 2012 el IIR del segundo banco más importante correspondía a menos del 60 % del banco más importante, hacia el 2022 la diferencia es mucho menor, presentando el Banco 2 un índice que corresponde a más del 80 % del Banco 1, que vendría siendo el

¹²A modo de ejemplo para el año 2022, el IIR del Banco 3 correspondió al 70 % del IIR del Banco 1.

más importante. Lo mismo ocurre con el resto de los bancos: mientras hacia el 2012 sólo un banco alcanzaban a tener un IIR superior a 60 %, este número aumenta a 4 durante el 2022. Por su parte el Banco 6 presenta un alto nivel de IIR, que incluso llega a ser mayor que el de bancos de mayor tamaño de acuerdo a otras métricas.

En síntesis, se puede concluir que el índice IIR ha disminuido su concentración durante el periodo muestral, lo que aumenta la resiliencia del sistema de pagos por cuanto el riesgo ya no se encuentra concentrado en un solo participante. El año 2012 una disrupción en las operaciones del banco más importante habría tenido un mayor potencial de estancar la cadena de pagos que el año 2022.

8. Consideraciones finales y pasos futuros

Los sistemas de liquidación bruta en tiempo real eliminan el riesgo de liquidación pero tienen a la vez un uso intensivo de dinero líquido, lo que los expone al riesgo de liquidez. Por esta razón para los bancos centrales es particularmente importante gestionar este riesgo en miras de velar por el normal funcionamiento y la fluidez en la cadena de pagos.

Como herramienta de monitoreo de riesgo de liquidez en el Sistema, este estudio propone la metodología de análisis de redes para identificar a aquellos participantes de importancia sistémica a la hora de propagar un *shock* de liquidez. Para la identificación se considera tanto el aporte de liquidez del participante como su grado de conexión con la red de pagos, a través de la construcción de los índices *Valued Out-degree Centrality* y *Out-proximity Centrality*, respectivamente.

La evolución de los índices por participante evidencia que el Sistema LBTR tiende a ser una red de pagos más resiliente ante *shocks* de liquidez derivados de la indisponibilidad de un solo participante, pues el riesgo de liquidez y contagio se encuentra menos concentrados respecto del inicio de la muestra el año 2012. La importancia de cada participante ha ido

evolucionando a lo largo de la década, destacando especialmente al Banco 6, que presenta aumentos sostenidos tanto en el monto de sus pagos como en su conectividad. Por último, las fusiones aumentan la importancia sistémica del participante fusionado en la red de pagos, lo que se explica principalmente por un aumento en el número de contrapartes.

Considerando los índices por participante al año 2022 se observa que los bancos con mayor importancia en la provisión de liquidez son a la vez los más conectados a la red. Asimismo, la importancia sistémica del participante en la red de pagos medida a través de ambos indicadores está relacionada con otras métricas más comunes como los activos totales por banco, salvo excepciones.

Cabe destacar que este tipo de análisis da cuenta de la sistemicidad de los bancos en el marco de su participación en una red de pagos y no a nivel de sistema financiero. La designación de bancos sistémicos a nivel de mercado financiero es evaluada en Chile por la Comisión para el Mercado Financiero (CMF) con la opinión favorable del BCCh, siguiendo recomendaciones del *Bank for International Settlements* (BIS). La evaluación comprende la ponderación de cuatro factores (Tamaño, Sustituibilidad, Interconexión y Complejidad), cada uno de los cuales se construye en base a un número adicional de sub-factores. La importancia de un banco en un sistema de pagos sólo es relevante para el cálculo del factor Sustituibilidad, que considera dentro de sus subfactores la actividad en pagos.

Analizar el riesgo que podría concentrarse en la red de pagos del Sistema LBTR a través de los indicadores propuestos es solo una primera aproximación a la aplicación de la metodología de redes a los sistemas de pago. La literatura relevante ofrece una serie de herramientas adicionales que permiten abordar este mismo tipo de análisis, como índices LSI (*Liquidity Spreading Index*), modelo de Conway, Índices de Velocidad de Contagio, estudio de clústers, entre otras. Asimismo existen que abordan el estudio de la red de pagos como un todo y no a nivel participante.

Referencias

- Becher, Christopher, Stephen Millard, and Kimmo Soramäki (2008) “The Network Topology of CHAPS Sterling,” *Bank of England Working Paper*, – (355), –, <https://dx.doi.org/10.2139/ssrn.1319277>.
- Bodnár, László (2017) “Network properties and evolution of the Hungarian RTGS over the past decade,” *MNB Occasional Papers*, – (132), –, <http://hdl.handle.net/10419/189847>.
- Embree, Lana and Tom Roberts (2009) “Network Analysis and Canada’s Large Value Transfer System,” *Staff Discussion Paper Bank of Canada*, – (13), –, <https://doi.org/10.34989/sdp-2009-13>.
- Lublóy, Ágnes (2006) “Topology of the Hungarian large-value transfer system,” *Magyar Nemzeti Bank Occasional Papers*, – (57), 30–32, <https://www.mnb.hu/letoltes/op-57.pdf>.
- Pröpper, Marc, Iman van Lelyveld, and Ronald Heijmans (2008) “Towards a Network Description of Interbank Payment Flows,” *DNB Working Paper*, – (177), –, <https://dx.doi.org/10.2139/ssrn.1207922>.
- Schmitz, Stefan W., Claus Pühr, Michael Boss, Gerald Krenn, and Valentina Metz (2008) “Systemically Important Accounts, Network Topology and Contagion in Artis,” –, – (–), –, <https://dx.doi.org/10.2139/ssrn.1137864>.
- Soramäki, Kimmo, Morten L. Bech, Jeffrey Arnold, Robert J. Glass, and Walter E. Beyeler (2007) “The topology of interbank payment flows,” *Physica A: Statistical Mechanics and its Applications*, 379 (1), 317–333, <https://doi.org/10.1016/j.physa.2006.11.093>.

Documentos de Trabajo Banco Central de Chile	Working Papers Central Bank of Chile
NÚMEROS ANTERIORES La serie de Documentos de Trabajo en versión PDF puede obtenerse gratis en la dirección electrónica: www.bcentral.cl/esp/estpub/estudios/dtbc . Existe la posibilidad de solicitar una copia impresa con un costo de Ch\$500 si es dentro de Chile y US\$12 si es fuera de Chile. Las solicitudes se pueden hacer por fax: +56 2 26702231 o a través del correo electrónico: bcch@bcentral.cl .	PAST ISSUES Working Papers in PDF format can be downloaded free of charge from: www.bcentral.cl/eng/stdpub/studies/workingpaper . Printed versions can be ordered individually for US\$12 per copy (for order inside Chile the charge is Ch\$500.) Orders can be placed by fax: +56 2 26702231 or by email: bcch@bcentral.cl .

DTBC – 1021

Análisis de redes aplicado al sistema de pagos de alto valor del BCC

Álvaro González, Carmen López, María José Meléndez

DTBC – 1020

Financial advisory firms, asset reallocation and price pressure in the FOREX market

Francisco Pinto-Avalos, Michael Bowe, Stuart Hyde

DTBC – 940* (Revised)

Overborrowing and Systemic Externalities in the Business cycle Under Imperfect Information

Juan Herreño, Carlos Rondón-Moreno

DTBC – 1019

Through Drought and Flood: the past, present and future of Climate Migration

Elías Albagli, Pablo García Silva, Gonzalo García-Trujillo, María Antonia Yung

DTBC – 1018

Supply Chain Uncertainty and Diversification

Ignacia Cuevas, Thomas Bourany, Gustavo González

DTBC – 1017

Is the Information Channel of Monetary Policy Alive in Emerging Markets?

Mariana García-Schmidt

DTBC – 1016

The Portfolio Choice Channel of Wealth Inequality

Mauricio Calani, Lucas Rosso

DTBC – 1015

Fiscal Consolidations in Commodity-Exporting Countries: A DSGE Perspective

Manuel González-Astudillo, Juan Guerra-Salas, Avi Lipton

DTBC – 1014

Accounting for Nature in Economic Models

Nicoletta Batini, Luigi Durand

DTBC – 1013

Transmission Mechanisms in HANK: an Application to Chile

Benjamín García, Mario Giarda, Carlos Lizama, Ignacio Rojas

DTBC – 1012

Cyclical wage premia in the informal labour market: Persistent and downwardly rigid

Daniel Guzmán

DTBC – 1011

Macro Implications of Inequality-driven Political Polarization

Alvaro Aguirre

DTBC – 1010

Firm Shocks, Workers Earnings and the Extensive Margin

Álvaro Castillo, Ana Sofía León, Antonio Martner, Matías Tapia

DTBC – 1009

Trade Policy and Reallocation: Multinational vs. Single-Country Linkages in the Tire Industry

Brian Pustilnik

DTBC – 1008

The finances of Chilean households during the pandemic: an assessment from the 2021 Household Financial Survey

Enzo Cerletti, Magdalena Cortina, Alejandra Inzunza, Felipe Martínez, Patricio Toro

