

Las transferencias procesadas por ACH Colombia: un análisis desde la perspectiva de topología de redes

Fabio Ortega y Carlos León

Lecturas de Economía - No. 88. Medellín, enero-junio de 2018

Fabio Ortega y Carlos León

Las transferencias procesadas por ACH Colombia: un análisis desde la perspectiva de topología de redes

Resumen: Este documento tiene como objetivo construir, visualizar y examinar la estructura de las redes de transferencias procesadas por ACH Colombia, la infraestructura financiera que compensa y liquida la mayor cantidad y valor de las transferencias electrónicas al por menor ordenadas por personas naturales y jurídicas en Colombia. La evidencia indica que las redes de transferencias procesadas por ACH Colombia son atípicas frente a aquellas comúnmente documentadas en la literatura sobre redes financieras: son densas, homogéneas en la distribución de las conexiones y con altos niveles de reciprocidad y transitividad. La función de las instituciones financieras como procesadoras de órdenes de pago determina esta topología; sin embargo, existe una distribución heterogénea de los valores de las transferencias, la cual se relaciona con el tamaño por activos y por número de clientes de las instituciones financieras participantes. Los resultados son útiles para entender de mejor manera el funcionamiento de las ACH y de otros sistemas de pago de bajo valor.

Palabras clave: topología de redes, infraestructura financiera, transferencias electrónicas.

Clasificación JEL: L14, E42, G21.

Transfers processed by ACH Colombia: a network topology analysis

Abstract: The aim of this article is to build, visualize and examine the network structure of transfers processed by ACH Colombia, the financial infrastructure that clears and settles most of the value and number of retail electronic transfers ordered by individuals and firms in Colombia. There is evidence to suggest that ACH Colombia's networks of transfers differ from those usually documented in the financial network literature: they are dense, homogeneous in the distribution of linkages, and highly reciprocal and transitive. The role of financial institutions as processors of payment orders determines this topology; yet, the distribution of the values transferred is heterogeneous, which relates to the size of financial institutions as measured by their asset value or their number of clients. Results are useful for better understanding the functioning of ACH and other retail payment systems.

Keywords: network topology, financial infrastructure, electronic transfers.

JEL Classification: L14, E42, G21.

Les transferts d'argent à travers ACH Colombia: Une analyse par topologie des réseaux

Résumé: Cet article vise à construire, visualiser et examiner la structure des réseaux des transferts d'argent qui circulent à travers ACH Colombia. Il s'agit de la compagnie qui compense et liquide la plus grande quantité des transferts électroniques d'argent au détail, faits aussi bien par les personnes naturelles que par les sociétés. Les données indiquent que les réseaux de transferts d'argent traités par ACH Colombia sont atypiques par rapport à ceux qui sont couramment documentés par la littérature sur les réseaux financiers. En effet, les données sont denses, elles sont homogènes en ce qui concerne la distribution des connexions et elles comportent des niveaux très élevés de réciprocity et de transitivité. Même si le rôle des institutions financières en tant que processeurs d'ordres de paiement détermine cette typologie, il existe une distribution hétérogène des valeurs des transferts d'argent, qui est liée à la taille des actifs et au nombre de clients des institutions financières qui font partie du réseau. Les résultats sont utiles pour mieux comprendre le fonctionnement de la compagnie ACH Colombia et d'autres systèmes de paiement de faible valeur.

Mots-clés: topologie des réseaux, infrastructure financière, transferts électroniques d'argent.

Classification JEL: L14, E42, G21.

Las transferencias procesadas por ACH Colombia: un análisis desde la perspectiva de topología de redes

Fabio Ortega y Carlos León *

–Introducción. –I. Las cámaras de compensación automatizada. –II. Análisis de redes. –III. Principales resultados. –Comentarios finales. –Anexos. –Referencias.

doi: 10.17533/udea.le.n88a04

Primera versión recibida el 8 de mayo de 2017; versión final aceptada el 23 de agosto de 2017

Introducción

Las cámaras de compensación automatizada o ACH (por su sigla en inglés, *automated clearing house*) son sistemas que permiten a personas naturales o jurídicas extinguir obligaciones o adquirir bienes y servicios a través de la compensación y liquidación de transferencias electrónicas de dinero entre instituciones financieras. Pese a que estos sistemas son considerados como de

* *Fabio Gonzalo Ortega Castro*: Profesional Experto, Departamento de Seguimiento a la Infraestructura Financiera, Banco de la República. Dirección postal: carrera 7 # 14-78, Bogotá, Colombia. Dirección electrónica: fortegca@banrep.gov.co.

Carlos Eduardo León Rincón: Investigador, Departamento de Seguimiento a la Infraestructura Financiera, Banco de la República; CentER, Tilburg University. Dirección electrónica: cleonrin@banrep.gov.co / carlosleonr@hotmail.com.

Las opiniones y conclusiones en este artículo son de responsabilidad exclusiva de los autores, y no representan aquellas del Banco de la República o de su Junta Directiva. Agradecemos los comentarios de Pamela Cardozo, Clara Machado, Aura María Ciceri, Constanza Martínez, Freddy Cepeda, Carlos Cadena y Javier Miguélez. Agradecemos la colaboración brindada por ACH Colombia para la realización de este artículo. Posibles errores u omisiones son atribuíbles exclusivamente a los autores.

pagos de *bajo valor*¹ o *al por menor* por la baja cuantía de sus transferencias, su seguro y buen funcionamiento contribuye a mantener la confianza del público en la moneda y a promover una economía eficiente y, por tanto, inciden en el bienestar de la población. Tal como lo resalta el Banco Central Europeo (BCE, 2010), mecanismos seguros y confiables para la transferencia de fondos son una condición *sine qua non* para la mayoría de las interacciones económicas.

En atención a la importancia de los pagos electrónicos de bajo valor, en particular a la de aquellos compensados y liquidados por las ACH, este documento se ocupa de construir, visualizar y examinar la estructura de las redes de transferencias procesadas por ACH Colombia. Para el caso colombiano, esta *infraestructura financiera*² se encarga de compensar y liquidar la mayor cantidad y el mayor valor de las transferencias electrónicas entre instituciones financieras que resultan de las órdenes de pago impartidas por las personas naturales y jurídicas. Como se reporta en León y Pérez (2014), ACH Colombia es la tercera infraestructura financiera en importancia como distribuidor global de liquidez en el sistema de pagos.

La construcción y visualización de las redes de transferencias entre instituciones financieras que participan en ACH Colombia se realizan con base en información mensual para el periodo 2014-2015. Para examinar las redes se utilizan conceptos y medidas propias del análisis redes (Börner, Sanyal & Ves-

¹ Se consideran pagos de alto valor aquellos cuyo importe o valor es grande, que se intercambian principalmente entre bancos o entre participantes de los mercados financieros, y que suelen requerir una liquidación rápida. Se consideran pagos de bajo valor o al por menor aquellos que no están incluidos en la definición de pagos de alto valor, que se realizan entre instituciones no financieras, y que corresponden principalmente a pagos de consumo, cuya urgencia y valor son relativamente bajos (Banco de Pagos Internacionales –BIS– & Comité de Sistemas de Pago y Liquidación –CPSS–, 2003; BCE, 2010).

² Las infraestructuras financieras corresponden a los sistemas multilaterales que proveen servicios de negociación, compensación, liquidación, registro y compresión –entre otros– para las transacciones entre instituciones financieras (e.g. bancos, comisionistas de bolsa, fiduciarias, etc.).

pignani, 2007; Newman, 2010)³. Este examen permite describir las principales características conectivas de estas redes, así como interpretarlas y contrastarlas con los hechos estilizados documentados en la literatura relacionada.

El principal hallazgo consiste en una clara divergencia entre las características típicas de las redes financieras y las características de las redes de ACH Colombia. Éstas últimas se distinguen porque son particularmente densas, con una gran cantidad de conexiones entre los participantes; son homogéneas, con todos los participantes compartiendo un número muy similar de contrapartes; presentan alta reciprocidad, con una alta incidencia de conexiones de doble vía entre los participantes; y, además, tienen altos niveles de agrupamiento, con una alta frecuencia de relaciones transitivas entre los participantes. Pero, en contraposición, la distribución de las conexiones ponderadas (i.e. el valor procesado) es heterogénea.

La divergencia de los hallazgos del documento frente a los hechos estilizados de la literatura de redes financieras es consecuencia de la naturaleza de las transferencias que compensan y liquidan las ACH. Estas transferencias son el resultado de órdenes de pago impartidas por terceros, en las que las instituciones financieras cumplen una función de procesamiento, sin que estas últimas tengan la posibilidad de elegir con qué contrapartes interactúan.

Los hallazgos son valiosos para la literatura de redes financieras porque gran parte de ésta se ocupa de casos en los cuales las instituciones financieras tienen discrecionalidad para elegir sus contrapartes. Ante el riesgo de contraparte, dicha discrecionalidad resulta en un proceso de conexión preferente (Barabási & Albert, 1999), el cual determina las principales características de las redes financieras, entre las que se destaca su estructura *robusta pero frágil* (Haldane, 2009). A ese respecto, son pocos los casos en los que se ha examinado y documentado las características de redes financieras en las que no existe discrecionalidad por parte de las instituciones financieras. De acuerdo con la revisión de la literatura, no existen estudios sobre la estructura conectiva de las redes de las ACH, las cuales se enmarcan dentro de aquellas en las que las instituciones financieras no tienen discrecionalidad para elegir a sus

³ El estudio de la contribución de los participantes a las redes de ACH Colombia (i.e. centralidad) no es objeto de este documento.

contrapartes. Por tanto, este trabajo es un aporte a la literatura de redes financieras, en especial por la dificultad de obtener información detallada sobre las transferencias entre instituciones financieras originadas en la compensación y liquidación de pagos de bajo valor.

I. Las cámaras de compensación automatizada

El Banco de Pagos Internacionales (BIS) y la Comisión de Sistemas de Pago y Liquidación (CPSS por su sigla en inglés) definen a las ACH como “sistemas de compensación electrónica en las que las órdenes de pago son intercambiadas entre instituciones financieras, principalmente a través de medios magnéticos o redes de telecomunicación” (BPI & CPSS, 2003). McAndrews (1994) las define como “sistemas electrónicos que conectan bancos para que puedan transferir fondos entre cuentas en bancos diferentes, diseñados para pagos repetitivos de valor reducido, tales como pagos de nómina, primas de seguros y pagos de servicios públicos”.

El seguro y eficiente funcionamiento de las ACH es importante para las autoridades financieras por dos razones principales: primero, los sistemas de pago eficientes y seguros contribuyen a que la economía funcione sin problemas y, segundo, refuerzan la confianza del público en el sistema monetario del país (Sullivan, 2012). Por lo anterior, pese a que el riesgo sistémico se relaciona usualmente al funcionamiento seguro y eficiente de los sistemas de pago de alto valor, las autoridades financieras deben también propender por el seguro y eficiente funcionamiento de los sistemas de pago de bajo valor, ya que esto contribuye a mantener la confianza del público en el sistema de pagos y la moneda, así como a promover una economía eficiente (BCE, 2003 y 2010; Cirasino & García, 2008; Hasan, de Renz & Schmiedel, 2013). En ese sentido, tal como resaltan Cirasino y García (2008), existe un creciente consenso en considerar a los principales sistemas de pago de bajo valor como importantes para el sistema en su conjunto.

A. Las transferencias electrónicas de fondos como instrumento de pago de bajo valor

Los instrumentos de pago facilitan la actividad comercial y, consecuentemente, inciden en el bienestar de la población.⁴ Una clasificación y definición de los diferentes instrumentos de pago, según el tipo de liquidación, se presenta en la Tabla 1.

Los instrumentos de pago electrónicos se utilizan con el propósito de transmitir órdenes de transferencia de fondos. En el caso de las transferencias electrónicas, estas se realizan entre las cuentas que el pagador y el beneficiario tienen en instituciones financieras, con el objetivo de realizar una contraprestación por los bienes y servicios otorgados por este último, la extinción de una obligación dineraria o la transferencia de recursos en sí misma.

Dado que el principal objetivo de este documento es la caracterización de las redes de transferencias entre instituciones financieras procesadas por ACH Colombia, a continuación (Tabla 2) se enumeran y describen los agentes que participan en el proceso de transferencias electrónicas.

En cuanto a las transferencias electrónicas que se compensan y liquidan en una ACH, existen dos tipos de instrucciones de pago: las transferencias crédito y las transferencias débito. El Gráfico 1 presenta, de manera simplificada, el flujo de órdenes de pago y de transferencia de fondos que conforman una transferencia electrónica crédito (panel a) y débito (panel b) entre dos personas con cuentas en dos instituciones financieras diferentes.⁵ En el Anexo E se presenta el proceso completo, el cual incluye la compensación y la liquidación entre varias instituciones financieras.

⁴ *Instrumentos de pago* son aquellos elementos con los que se imparten instrucciones de movilización de pasivos bancarios o medios de pago, entre los que se cuentan el efectivo, las tarjetas crédito o débito, los cheques y las transferencias electrónicas. *Medios de pago* son aquellos activos que se consideran dinero de curso legal con poder liberatorio ilimitado para la extinción de obligaciones (e.g. efectivo y depósitos en cuentas bancarias).

⁵ Si dos personas tienen cuentas en la misma institución financiera es posible realizar la compensación y liquidación sin la intervención de una ACH.

Tabla 1. Principales instrumentos de pago y su definición

Tipo de Liquidación ^a	Instrumento de pago	Definición	
Física	Efectivo	Billetes y monedas en circulación	
	Cheques	Título valor mediante el cual el librador (pagador) ordena a su entidad bancaria el pago de una determinada cantidad de dinero a un beneficiario	
Electrónica	Tarjetas	Órdenes de pago que permiten al titular de una tarjeta, emitida por una institución financiera, pagar bienes y servicios	
		<i>Débito</i>	<i>Descuenta los recursos directamente de la cuenta de ahorro o corriente del titular de la tarjeta</i>
		<i>Crédito</i>	<i>Descuenta los recursos directamente del cupo de crédito del titular de la tarjeta</i>
	<i>Prepago</i>	<i>Almacena un determinado valor, el cual ha sido cancelado previamente ante el emisor de la tarjeta</i>	
	Transferencias		Órdenes de pago realizadas desde la cuenta que el pagador tiene en una institución financiera hacia aquella del beneficiario
		<i>Débito</i>	<i>Órdenes preautorizadas por el pagador, originadas por el beneficiario del pago a través de su institución financiera</i>
<i>Crédito</i>		<i>Órdenes originadas por el pagador a través de su institución financiera</i>	
	<i>Giros^b</i>	<i>Pago al por menor, persona a persona, que permite enviar fondos sin una relación bancaria tradicional</i>	

Notas: ^aCorresponde a su clasificación de acuerdo con el tipo de liquidación (finalización), ya sea física (i.e. intercambio de efectivo) o electrónica (i.e. a través de mensajes de datos). ^bCon base en Bradford, Davies y Weiner (2003), Banco de la República (2013) y Ortega y Ciceri (2014).

Fuente: elaboración de los autores.

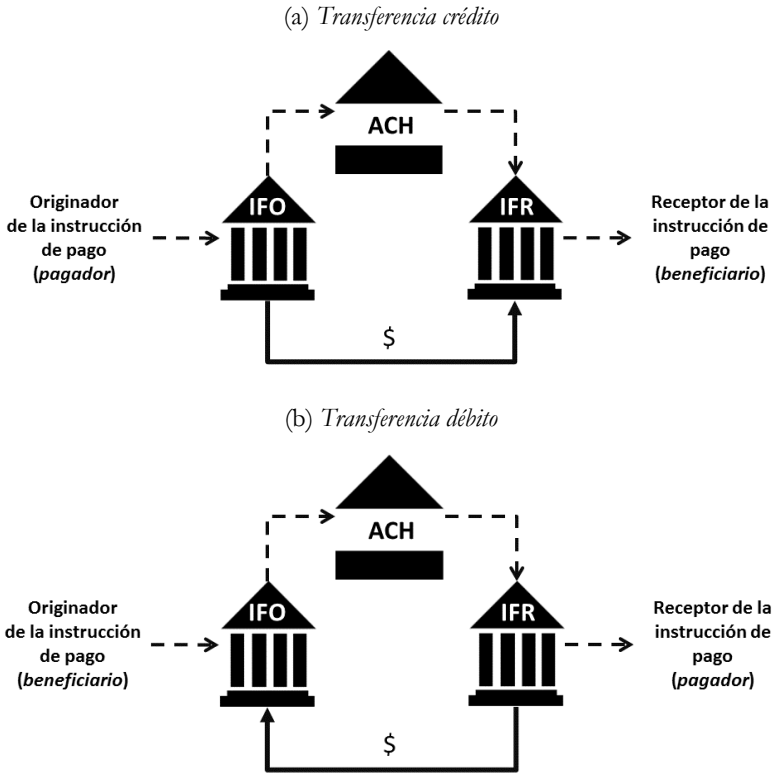
Tabla 2. *Participantes en las transferencias electrónicas compensadas y liquidadas por una ACH*

Agente	Tipo de agente	Descripción
Originador	Persona natural o jurídica	Se compromete a iniciar la instrucción de pago en cumplimiento de un acuerdo establecido con el receptor
Institución financiera originadora (IFO)	Institución financiera	Recibe la instrucción de pago del originador, y la reenvía en línea o en un lote de operaciones al operador de la ACH; registra los movimientos (débitos o créditos) en las cuentas del originador
Operador de la ACH	Infraestructura financiera	Empresa que almacena, procesa, compensa y liquida las instrucciones de pago recibidas de una IFO
Institución financiera receptora (IFR)	Institución financiera	Recibe la instrucción de pago del operador de la ACH; registra los movimientos (débitos o créditos) en las cuentas del (receptor)
Receptor	Persona natural o jurídica	Autoriza previamente al originador para iniciar la instrucción de pago, la cual, como resultado final del proceso, podría acreditar o debitar su cuenta

Fuente: elaboración de los autores.

El originador de una transferencia crédito (i.e. el pagador) inicia una instrucción de pago con el fin de transferir fondos desde su cuenta hacia la cuenta de un receptor (i.e. el beneficiario). En este caso, el originador envía una instrucción de pago a la institución financiera originadora (IFO), la cual es luego recibida y procesada por la ACH y, finalmente, por la institución financiera receptora (IFR) del beneficiario. Posteriormente, los fondos pasan de la institución financiera originadora a la receptora (flecha continua en el panel a); es decir, en la transferencia crédito las instrucciones de pago y los fondos fluyen en el mismo sentido –desde el originador hacia el receptor–. Son transferencias crédito típicas las instrucciones iniciadas por el cliente (e.g. pago de facturas), el pago a proveedores, los pagos de dividendos, los pagos de intereses, los pagos de nóminas, los pagos de pensiones y los pagos de la seguridad social.

Gráfico 1. *Transferencia crédito y débito simplificadas (dos personas, dos instituciones financieras)*



Fuente: elaboración de los autores.

Por el contrario, en la transferencia débito el originador (i.e. el beneficiario) inicia una instrucción de pago con el fin de recibir fondos en su cuenta provenientes de la cuenta del receptor de la instrucción de pago (i.e. el pagador), quien previamente ha autorizado dicho pago. En este caso, como se presenta en el panel b del Gráfico 1, una persona natural o jurídica (i.e. el originador) envía una instrucción de pago a la institución financiera originadora (IFO), la cual es posteriormente recibida por la ACH y, finalmente, por la institución financiera receptora (IFR) de la persona natural o jurídica (i.e. el receptor). Luego del proceso de compensación y liquidación (ver Anexo E),

los fondos pasan de la institución financiera receptora a la originadora (flecha continua en el panel b); es decir, en una transferencia débito el flujo de fondos va en sentido inverso al flujo de instrucción de pago. Son transferencias débito típicas las cuotas de asociación, el pago de seguros, las instrucciones iniciadas por una empresa prestadora de servicios (e.g. recaudo de facturas), las hipotecas y el pago de préstamos a plazo.

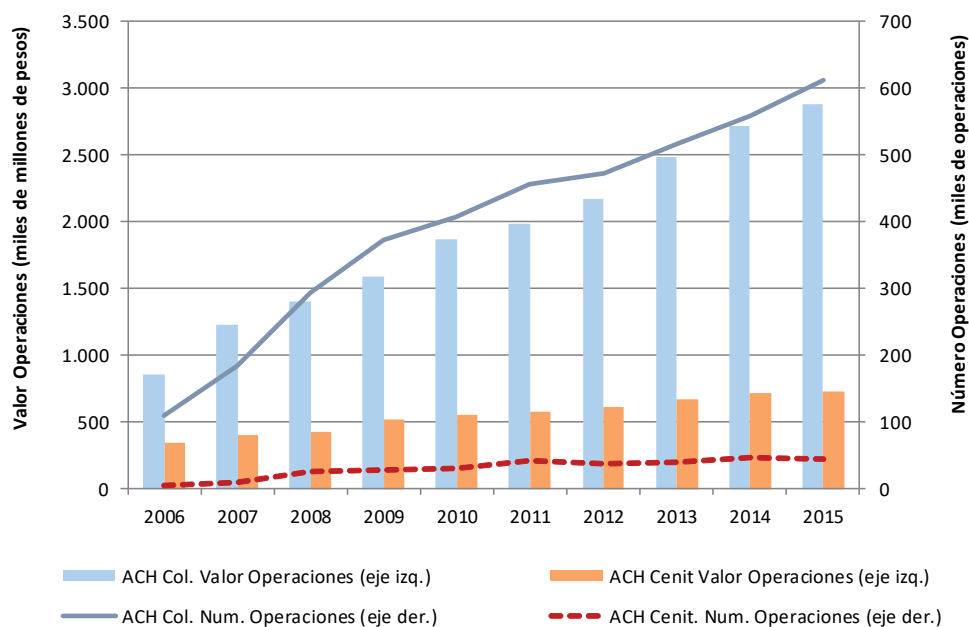
B. ACH Colombia

En Colombia operan dos cámaras de compensación automatizadas: ACH Cenit y ACH Colombia. La primera, cuya propiedad y administración recae en el banco central (Banco de la República), sirve principalmente para canalizar los giros y pagos efectuados por la Nación a los entes territoriales. La segunda es administrada por una empresa privada que lleva su mismo nombre, de la cual son creadores y accionistas entidades del sector financiero.

Durante 2015 el número promedio diario de operaciones compensadas por ambas ACH ascendió a 655.971, de las cuales 611.228 (93,18 %) se procesaron en ACH Colombia, y el restante (44.743 operaciones –6,82 %–) en ACH Cenit (Banco de la República, 2016). Para el mismo año, el promedio diario del valor de las operaciones ascendió a 3,6 billones de pesos, de los cuales 2,88 billones de pesos (79,72 %) se procesaron en ACH Colombia, y el restante (0,72 billones de pesos –20,28 %–) en ACH Cenit. En el Gráfico 2 se presenta la evolución del valor y del número de operaciones de estas dos ACH desde 2006 hasta 2015. La mayor contribución de ACH Colombia al número y valor de las operaciones compensadas, así como la concentración de ACH Cenit en la distribución de pagos de la Nación, justifican la selección de ACH Colombia como objetivo de análisis.

Respecto de la utilización de las transferencias electrónicas en ACH Colombia, el 97 % del valor total de dichas transferencias corresponde a pagos efectuados por empresas del sector real, típicamente por pago a sus proveedores. El 3 % restante del valor corresponde a transferencias electrónicas ordenadas por personas naturales. Entonces, son las personas jurídicas aquellas que más pagos realizan a través de ACH Colombia.

Gráfico 2. Evolución del promedio diario de valor y número de operaciones en ACH Cenit y ACH Colombia



Nota: el valor de las operaciones corresponde a pesos constantes de 2015.

Fuente: elaboración de los autores con base en información del Banco de la República (2016).

ACH Colombia ocupa un lugar preponderante entre los sistemas de pago de bajo valor, que son aquellos que se encargan de la compensación y liquidación de las operaciones realizadas con los diferentes instrumentos de pago disponibles al público. Para 2015, según el Banco de la República (2016), el valor bruto promedio diario compensado por ACH Colombia (2,88 billones de pesos) representa el 58,06 % del total de los sistemas de pago de bajo valor, seguido por la compensación de cheques por parte de Cedec (1,18 billones de pesos –23,79 %–), ACH Cenit (0,72 billones de pesos –14,52 %–), y las redes de pago con tarjetas crédito y débito (0,18 billones de pesos –3,63 %–)⁶. En

⁶ Redes de pago con tarjetas crédito y débito se refiere a Credibanco y Redeban. Se excluyen de este cálculo los avances y retiros en efectivo en cajeros electrónicos.

ese sentido, siguiendo a Cirasino y García (2008), ACH Colombia es importante para el sistema de pagos en su conjunto por cuanto contribuye de gran manera a facilitar las transacciones comerciales y entre personas, y por tanto puede tener un impacto significativo en la economía en general.

II. Análisis de redes⁷

Una red, o grafo, representa las conexiones entre los elementos de un sistema. La representación más sencilla de una red es la *matriz de adyacencia*. Si n representa el número de vértices o participantes, la matriz de adyacencia A es una matriz cuadrada asimétrica de dimensiones $n \times n$, tal que el elemento A_{ij} cumple con

$$A_{ij} = \left\{ \begin{array}{l} 1 \text{ si existe una conexión que se dirige de } i \text{ hacia } j, \\ 0 \text{ en los demás casos.} \end{array} \right\}. \quad (1)$$

Resulta útil asignar números reales a las conexiones. En estos casos la red se conoce como *red ponderada*, cuya matriz de adyacencia contiene elementos W_{ij} . En el caso de redes financieras, las ponderaciones suelen corresponder al valor monetario de una transacción o una exposición entre dos instituciones participantes, o a su contribución porcentual al total de las mismas.

Respecto al sistema y sus elementos, existe un grupo de conceptos básicos que permiten su caracterización y comparación con otros. El concepto más sencillo es el de *grado* o *degree* (k_i), el cual corresponde al número de conexiones que se conectan al vértice o participante i . En redes dirigidas se calcula el número de conexiones entrantes o *grado de entrada* (k_i^{in}) y salientes o *grado de salida* (k_i^{out}). En el caso de una red ponderada se utiliza el concepto de *intensidad* o *strength* (s_i), el cual mide la suma de las conexiones ponderadas que corresponde al vértice i . En el caso de redes dirigidas se calcula la intensidad de entrada (s_i^{in}) e intensidad de salida (s_i^{out}).

Algunas medidas permiten determinar el patrón conectivo de la red en su conjunto. La medida más sencilla de dicho patrón es la *densidad* (d), la cual

⁷ El Anexo A presenta las fórmulas correspondientes a esta sección. Un lector interesado en ahondar en el análisis de redes puede consultar a Börner et al. (2007) y Newman (2010).

mide el nivel de cohesión de la red. La densidad de una red se calcula como el cociente entre el número de conexiones existente en la red (m) y el máximo número de conexiones posibles para una red de ese mismo tamaño (ver Anexo A). Por construcción, la densidad se encuentra limitada al rango $0 < d \leq 1$. Se utiliza el término *dispersa* (*sparse*) para denotar a aquellas cuya densidad es muy inferior al límite superior ($d \ll 1$), y el término *densa* (*dense*) para aquellas que se aproximan a dicho límite ($d \sim 1$). Aquellas redes que tienen la densidad máxima $d = 1$ (i.e. el número de conexiones observadas es igual al número de conexiones posibles) se conocen como redes completas.

El estudio de la distribución de probabilidad del grado (\mathcal{P}_k) es también informativo sobre la estructura conectiva de la red. Dicha distribución proporciona un resumen de la conectividad de la red (Kolaczyk, 2009). Al igual que la densidad, el primer momento de la distribución o *grado promedio* (μ_k) mide la cohesión de la red, y se encuentra limitado al rango $0 < \mu_k < n - 1$. En el caso de una red dispersa el grado promedio es muy inferior al número de posibles contrapartes en la red ($\mu_k \ll n - 1$).

La mayoría de las redes de la vida real (e.g. redes sociales, de seres vivos, tecnológicas) se caracteriza por tener una distribución de sus conexiones con un prominente sesgo a la derecha. Este sesgo corresponde a que la mayoría de los vértices tienen un grado muy bajo, mientras que unos pocos tienen un grado muy alto, por lo que se puede afirmar que las conexiones se distribuyen de forma heterogénea (Bollobás, Janson & Riordan, 2007). Luego del trabajo de Barabási y Albert (1999), por lo general, se supone que este sesgo en la distribución de las conexiones de las redes de la vida real se aproxima a una distribución *power-law* o *ley de potencia*; este tipo de distribución sugiere que la probabilidad de observar un vértice con k conexiones sigue una forma de potencia como la que se presenta en (2), donde z es una constante arbitraria y γ_k se conoce como el exponente de la ley de potencia.

$$\mathcal{P}_k \propto z k^{-\gamma_k}. \quad (2)$$

En el caso de las redes de la vida real, el exponente de la ley de potencia se encuentra en el rango $2 \leq \gamma_k \leq 3$, aunque valores ligeramente fuera de dicho

rango también son observados ocasionalmente (Newman, 2010)⁸. Este tipo de redes se conoce como *redes libres de escala* (*scale-free networks*), debido a que en ese rango de valores del exponente γ_k es tal el sesgo de la distribución de las conexiones (i.e. pocos vértices con muchas conexiones, y muchos con pocas) que no existe un vértice típico, por tanto, no hay una escala característica de la red, es “libre de escala”. De acuerdo con la literatura (ver Cohen & Havlin, 2010, Newman, 2010), este tipo de redes, en las que la distribución de las conexiones es particularmente heterogénea, se caracterizan por ser robustas a la exclusión aleatoria de sus participantes (i.e. el participante promedio está poco conectado), pero frágiles ante la exclusión intencional de participantes bien interconectados.

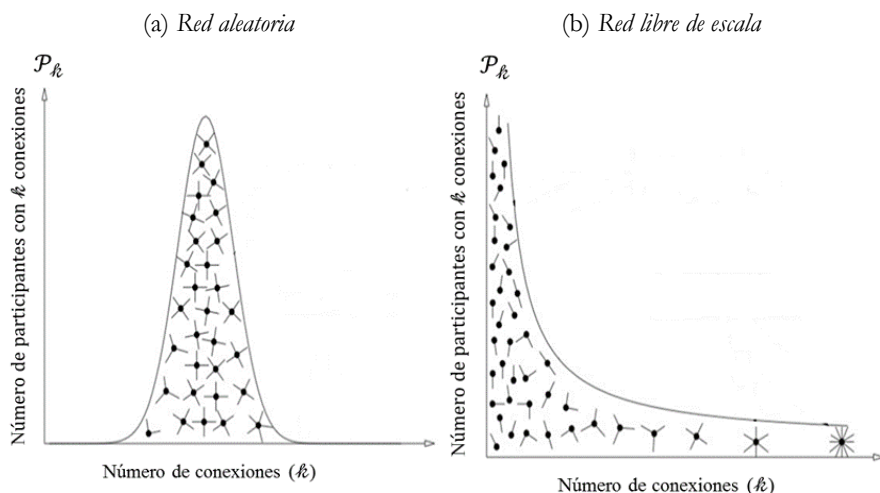
Antes de los hallazgos de Barabási y Albert (1999) sobre la distribución libre de escala de las redes de la vida real se utilizaba el supuesto según el cual la distribución de las conexiones en las redes es homogénea, sin sesgo. Bajo este supuesto todos los vértices participan de manera aproximadamente equitativa de la distribución de las conexiones, en el que las colas de la distribución siguen una función exponencial –de rápido decaimiento–. Este tipo de distribución fue estudiado originalmente por Erdős y Rényi (1960), y las redes que siguen ese supuesto de homogeneidad se conocen también como redes aleatorias o de tipo Poisson. Según la literatura (ver Cohen & Havlin, 2010 y Newman, 2010), el resultado de la exclusión intencional de participantes en este tipo de red no difiere cualitativamente de la exclusión aleatoria, lo cual resulta de la distribución homogénea de las conexiones. En el caso de las redes completas, en las que todos los vértices se interconectan entre ellos, la literatura afirma que son en extremo inestables (ver Simon, 1962 y Anderson, 1999). El Gráfico 3 representa las diferencias entre las redes aleatorias y las libres de escala.

Es comúnmente aceptado que la distribución sesgada de las redes de la vida real surge como resultado de un proceso dinámico caracterizado por la existencia de incentivos a conectarse con vértices que cuentan con un mayor número de conexiones, conocido como proceso de *conexión preferente* (*preferential attachment*). En este tipo de proceso los participantes, nuevos o existentes,

⁸ Muchas de las redes de la vida real presentan desviaciones con respecto al rango $2 \leq \gamma_k \leq 3$ por la naturaleza asintótica de esta distribución. Se utilizó la estimación por máxima verosimilitud de Clauset, Shalizi y Newman (2009).

tienden a conectarse con aquellos que tienen un mayor número de conexiones, lo cual resulta en una dinámica en la que los más conectados tienden a conectarse más, propiciando así una distribución particularmente asimétrica del grado de conexiones.

Gráfico 3. Red aleatoria y libre de escala



Fuente: elaboración de los autores con base en Barabási (2003).

Buena parte de la literatura sobre redes financieras coincide en que las conexiones entre instituciones financieras se distribuyen de manera sesgada (i.e. asimétrica), ya sea aproximándose a una distribución libre de escala (Boss et al., 2004; Inaoka et al., 2004; Soramäki et al., 2007; Bech & Atalay, 2010) u otro tipo de distribución sesgada de las conexiones (Martínez-Jaramillo et al., 2014; Craig & von Peter, 2014; Fricke & Lux, 2014, 2015). En el caso colombiano se ha documentado la presencia de redes financieras que, aproximadamente, siguen la distribución libre de escala (Cepeda, 2008; León & Berndsen, 2014; León, Machado & Sarmiento, 2016a). Por tanto, se ha caracterizado a las redes financieras típicas como *robustas pero frágiles* (ver Haldane, 2009 y Hüser, 2015).

En el caso de las redes de instituciones financieras, el proceso de conexión preferencial puede estar motivado por factores adicionales al número de conexiones de los participantes. Por ejemplo, este proceso puede estar motivado por la eficiencia, tamaño, costos, importancia sistémica, poder de mercado, reputación, acceso al prestamista de última instancia, entre otros, que pueden influir en la búsqueda de contrapartes idóneas por parte de las instituciones financieras (León & Berndsen, 2014).

La literatura que documenta la presencia de redes financieras que se alejan de las redes libres de escala o de otras de distribución sesgada de las conexiones no es abundante, y corresponde a casos particulares. Por ejemplo, en plataformas transaccionales donde no se pueden identificar las contrapartes entre sí (i.e. un mercado anónimo o ciego) y donde no existen cupos que limiten la realización de transacciones, las características de la red tienden a ser aquellas de una red aleatoria. Ese es el caso del Sistema Electrónico de Negociación (SEN) de deuda pública en Colombia (ver León, Pérez & Reneboog, 2016b). Otro ejemplo es el de las redes de instituciones financieras que realizan transacciones en nombre de terceros, como es el caso de la red de bancos liquidadores del sistema de pagos de alto valor del Reino Unido (Becher, Millard & Soramäki, 2008).

Además de la distribución sesgada de las conexiones, las redes de la vida real tienen otras características que han sido documentadas en la literatura (ver Newman, 2010). Son redes (i) de distancia geodésica media reducida, (ii) con coeficientes de agrupamiento (*clustering*) diferentes de cero y (iii) con una correlación significativa del grado de conexiones de los vértices.

La distancia geodésica media (ℓ) se calcula como el promedio de la distancia más corta entre todas las parejas de vértices en una red (ver Anexo A y Newman, 2010). Refleja la estructura global de ésta, depende de cómo se encuentra conectada la red, y no puede ser inferida de ninguna medida local (e.g. estimada para un participante) (Strogatz, 2003).

La distancia geodésica media (ℓ) de las redes aleatorias es reducida, y se incrementa lentamente con el número de participantes de la red, para redes aleatorias $\ell \sim \ln n$ (Newman, Barabási & Watts, 2006). En ese sentido, como lo resaltan Albert y Barabási (2002), las redes aleatorias son de tipo *mundo*

pequeño (*small-world*) porque, pese a que pueden alcanzar un gran número de participantes, por lo general existe un camino corto entre cualquier pareja de éstos. En el caso de las redes libres de escala, la distancia geodésica media es aún más reducida. Tal como lo reporta Cohen y Havlin (2003), las redes libres de escala con $2 < \gamma_k < 3$ tienden a tener una distancia geodésica media que se incrementa muy lentamente con respecto al número de participantes ($\ell \sim \ln \ln n$). Para redes completas ($d = 1$), en las que todos los participantes se pueden conectar directamente, la distancia geodésica media es igual a la unidad ($\ell = 1$); en el caso de redes muy densas ($d \sim 1$) la distancia geodésica media se aproxima a la unidad.

El *coeficiente de agrupamiento* (*clustering coefficient*) refleja la transitividad en la red, y mide la probabilidad de que dos participantes j y k que se conectan con i estén a su vez conectados entre sí. El coeficiente de agrupamiento (c) refleja la estructura local de la red, depende de las interconexiones que se producen al interior de grupos de la red y, por tanto, mide cuan transitiva es (Strogatz, 2003). En el caso de las redes aleatorias, en las que la probabilidad de que dos vértices se conecten tiende a ser la misma independientemente de si existe un vértice en común, el coeficiente de agrupamiento tiende a ser aproximadamente cero. En el caso de las redes de la vida real se ha documentado un alto grado de transitividad, teniendo como resultado que en este tipo de redes la probabilidad de que dos vértices que compartan un vértice en común se conecten entre sí esté entre el 10 % y el 60 % (Newman, 2010). El *coeficiente de reciprocidad* (p) mide la probabilidad de que una conexión dirigida de i a j esté acompañada por la conexión recíproca, es decir de j a i . Altos niveles de reciprocidad pueden sugerir que existe simetría en las relaciones entre los participantes y que no existe mayor especialización en dichas relaciones; es decir, a diferencia de otras redes financieras (e.g. mercado interbancario) donde existen participantes que usualmente reciben fondos (i.e. deficitarios), otros que usualmente envían fondos (i.e. superavitarios), y otros que cumplen una función de intermediación (i.e. reciben y envían fondos), como se mostrará más adelante, en la red en cuestión todos los participantes tienden a enviar y recibir fondos.

Por último, en las redes de la vida real se ha documentado que las conexiones presentan una considerable dependencia lineal (i.e. correlación) con

respecto al grado de los vértices; es decir, el número de conexiones de los vértices es un factor relevante en la determinación de los vértices con que se conectan. Esta correlación por grado (r_k) puede ser positiva, caso en el cual los vértices con alto (bajo) grado de conexiones tienden a conectarse con otros de alto (bajo) grado. La correlación positiva es característica de estructuras de tipo centro-periferia, típica de las redes sociales, mientras que la negativa es característica de las redes con estructura de tipo estrella, típica de redes tecnológicas (Newman, 2010). En el caso de las redes aleatorias la correlación tiende a cero. Esta correlación no solo puede estimarse respecto del número de conexiones, sino también de la intensidad de las conexiones (r_s). En ambos casos la correlación es informativa respecto de los determinantes de las conexiones en la red.

En el caso de redes financieras, las cuales, por lo general, corresponden a redes de tipo libre de escala o con algún otro tipo de distribución sesgada de las conexiones, se ha documentado distancias geodésicas reducidas, aproximadamente de dos conexiones ($\ell \sim 2$). Ese es el caso de las redes financieras analizadas por Boss et al. (2004), Soramäki et al. (2007), Becher et al. (2008), Bech y Atalay (2010), y Pröpper et al. (2008), para Austria, Estados Unidos, Reino Unido y Países Bajos, respectivamente; para el caso colombiano, León y Berndsen (2014), León et al. (2016a) y León y Sarmiento (2016), también encuentran distancias geodésicas cercanas a dos. Esta distancia sugiere que la mayoría de las instituciones financieras requieren de otra que haga las veces de conector, presumiblemente asemejándose a una estructura centro-periferia como aquella documentada por Craig y von Peter (2014) y Fricke y Lux (2014) para el caso alemán e italiano, respectivamente. Así mismo, el coeficiente de agrupamiento de las redes financieras, por lo general, se aleja de cero (Boss et al., 2004; Becher et al., 2008; Pröpper et al., 2008; Bech & Atalay, 2010; Martínez-Jaramillo et al., 2014; León & Berndsen, 2014; León et al., 2016a), lo cual refleja que existe algún grado de transitividad en las conexiones, similar a lo documentado para redes sociales.

Respecto a la correlación por número de conexiones de los vértices, la evidencia empírica está dividida: algunos autores encuentran correlaciones negativas respecto del número de conexiones de los vértices (Soramäki et al., 2007; Bech & Atalay, 2010), y otros positivas (León & Berndsen, 2014; León

et al., 2016a). Recientemente se ha reportado que las redes sociales pueden presentar correlaciones por número de conexiones con signo positivo, neutro o negativo (Csermely et al., 2013; Li et al., 2014).

III. Principales resultados

La información utilizada fue provista por ACH Colombia, y se obtuvo agregada mensualmente para el periodo comprendido entre enero de 2014 y diciembre de 2015⁹. Para cada institución financiera participante, se reporta el número y el valor de las transferencias bilaterales agregadas de cada mes antes de la compensación multilateral de obligaciones. Es decir, las redes están construidas con base en las obligaciones de transferencia brutas (i.e. por compensar) de fondos entre las instituciones financieras —a las que nos referiremos en lo que sigue como transferencias entre instituciones financieras—.

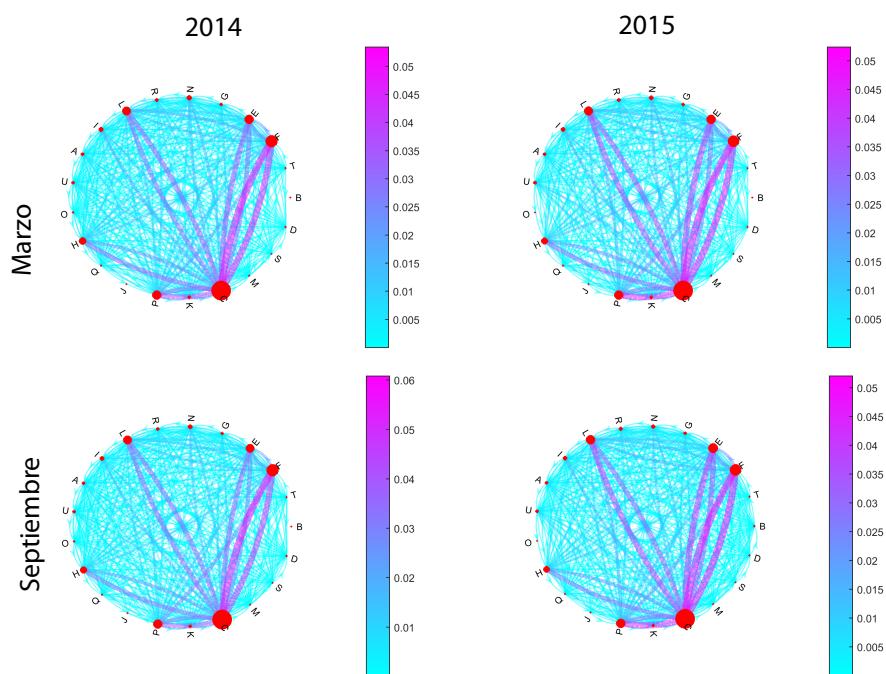
Se construyeron las redes para cada uno de los 24 meses en el periodo enero 2014 – diciembre 2015. El Gráfico 4 presenta cuatro de estas redes (seleccionadas arbitrariamente), correspondientes a los meses de marzo y septiembre de 2014 y 2015; el Anexo B presenta las redes para los 24 meses. Cada una de las 21 instituciones financieras se identifica con una letra, de la A a la U. El diámetro de cada vértice o nodo corresponde a la contribución porcentual al valor total de las transferencias del mes. Las conexiones entre vértices representan el valor de las transferencias entre instituciones financieras participantes, donde el grosor de la línea y su intensidad corresponde a la contribución porcentual al valor total de las transferencias durante el mes (ver escala a la derecha de cada gráfico).

A primera vista resulta evidente que las redes guardan un alto grado de semejanza. Las redes son densas, donde aparentemente la gran mayoría de los participantes se conecta con todos los demás. En las redes se evidencia la

⁹ Agregar las transferencias de varios días puede resultar en que algunas conexiones esporádicas entre instituciones financieras sean consideradas como conexiones estables o recurrentes. Sin embargo, al comparar las estadísticas estimadas con varios escenarios de exclusión de operaciones por su baja frecuencia o reducido valor, no se encontraron diferencias importantes en los resultados o en su interpretación. Dada la robustez de los resultados, se reportan las estadísticas con base en la red sin exclusiones.

preponderancia de seis participantes, identificados con las letras C, E, F, H, L y P; estos participantes tienen los vértices de mayor diámetro y concentran entre ellos las conexiones que más contribuyen al valor total de las transferencias en cada periodo. A su vez, aportan cerca del 81 % del valor total de las transferencias en el periodo 2014-2015, y representan cerca del 70% del valor total de activos de los veinte establecimientos de crédito participantes en la red de ACH Colombia.

Gráfico 4. *Redes de transferencias de ACH Colombia para los meses de marzo y septiembre de 2014 y 2015*



Fuente: elaboración de los autores con base en datos de ACH Colombia.

Como se presenta en el Anexo D, existe una relación positiva directa (i.e. cercana a la unidad) entre el tamaño de las instituciones financieras participantes y su contribución al valor total de las transferencias en la red, donde el tamaño es medido como la contribución al valor total de activos, al número

de clientes por cuenta corriente, al número de clientes por cuenta de ahorro, al valor de los saldos en cuenta corriente, o al valor de los saldos en cuenta de ahorro. Por el contrario, la relación entre el tamaño y la contribución de cada institución financiera al número total de conexiones es positiva pero cercana a cero.

La Tabla 3 presenta el promedio de las principales estadísticas estimadas para las 24 redes correspondientes a cada mes en el periodo enero 2014–diciembre 2015. En el Anexo C se presenta la evolución de cada estadística.¹⁰

Tabla 3. Principales estadísticas de la red (promedios para los 24 meses del periodo 2014-2015)

Estadístico	Promedio
Participantes (n)	19
Densidad (d)	0,78
Distancia geodésica media (ℓ)	1,09
Coefficiente de agrupamiento (c)	0,85
Coefficiente de reciprocidad (p)	0,97
Grado (k_i)	
	<i>Media</i> (μ_k) 15,50
	<i>Desviación estándar</i> (σ_k) 5,11
	<i>Exponente de ley de potencia</i> (γ_k) 19,38
	<i>Correlación</i> (r_k) 0,98
Intensidad (s_i) ^a	
	<i>Media</i> (μ_s) 0,05
	<i>Desviación estándar</i> (σ_s) 0,06
	<i>Exponente de ley de potencia</i> (γ_s) 3,42
	<i>Correlación</i> (r_s) 0,20

Nota: ^aLa intensidad (s_i) se expresa como contribución respecto al total.

Fuente: cálculos de los autores.

¹⁰ En todos los casos el promedio es representativo de cada serie, y la utilización de los datos observados o del promedio no cambia el análisis de las redes (ver Anexo C). Es importante resaltar que la mayor parte de las estadísticas utilizadas en análisis de redes requieren de un gran número de participantes, lo cual es una limitante en el caso de estudio. Sin embargo, el análisis numérico y visual de las redes nos permite realizar inferencias básicas sobre las redes en cuestión.

Como se puede inferir de la visualización de las redes, la densidad de las redes es alta, en promedio $d = 0,78$. Por lo general, las redes entre instituciones financieras no presentan niveles tan altos de densidad como los aquí estimados, lo cual se puede explicar por la naturaleza de las conexiones en la red de ACH Colombia: son conexiones que resultan de transferencias electrónicas entre usuarios de las instituciones financieras, donde estas últimas cumplen la función de procesar órdenes de pago de los primeros. En ese sentido, se asemejan a la red de bancos liquidadores del sistema de pagos de alto valor del Reino Unido (ver Becher et al., 2008).

Como consecuencia de la alta densidad de las redes, la distancia promedio entre los participantes en la red de ACH Colombia es reducida ($\ell = 1,09$), lo cual indica que prácticamente todas las instituciones financieras se encuentran a una conexión de distancia de todas las demás. Es evidente que esta distancia promedio es reducida como consecuencia de la proximidad de la red de ACH Colombia con una red completa —y no como consecuencia de una red de tipo *mundo pequeño* o *ultrapequeña*—.

Además de ser redes densas, presentan un alto grado de agrupamiento ($c = 0,85$), lo cual indica que es muy frecuente encontrar relaciones transitivas. En este caso la alta transitividad puede explicarse por la alta densidad de la red, la cual conlleva que la probabilidad de compartir conexiones sea muy alta. Igualmente, la red ACH Colombia presenta un alto nivel del coeficiente de reciprocidad ($p = 0,97$), lo que implica que la gran mayoría de las conexiones entre dos instituciones son de doble vía.

Respecto a las estadísticas que examinan las características de las conexiones entre los participantes de la red (i.e. grado e intensidad), la Tabla 3 presenta las estimaciones sin discriminar entre conexiones salientes y entrantes. Dado que la reciprocidad es muy cercana a la unidad ($p = 0,97$), y por la aparente simetría en las relaciones en las redes, es posible considerar la matriz de adyacencia y las relaciones entre instituciones como simétricas, donde la distinción entre conexiones entrantes y salientes no parece relevante para el análisis.¹¹

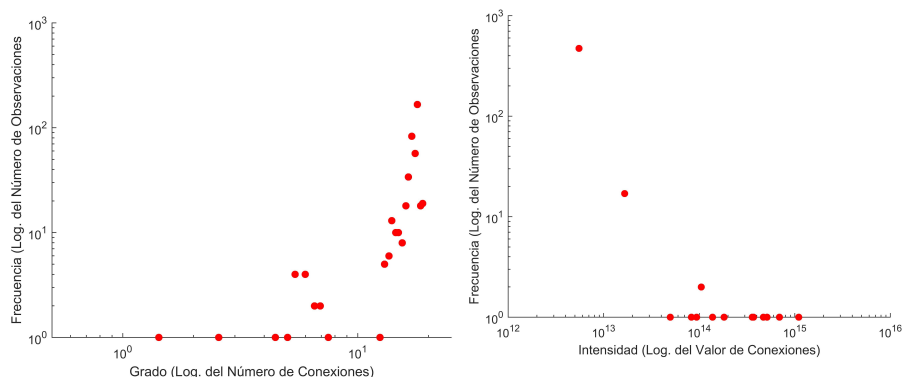
¹¹ Los resultados son robustos a esta diferenciación.

El grado promedio (μ_k) es de 15,5 conexiones. Esto quiere decir que el participante típico en esta red se conecta con entre 15 y 16 participantes de 18 posibles, en promedio; esto concuerda con el alto nivel de densidad de la red. La desviación estándar de ese número de conexiones (σ_k) es 5,11, lo cual señala que algunas instituciones financieras se alejan del participante típico. En cuanto a la intensidad promedio (μ_s), la institución típica contribuye con cerca del 5 % del valor total de las transferencias, pero la dispersión alrededor de este promedio es particularmente alta ($\sigma_s = 6\%$).

El exponente de la ley de potencia con respecto al grado (γ_k) refleja el sesgo de la distribución de las conexiones en la red. Por lo general, las redes de la vida real tienden a un sesgo pronunciado en la distribución del grado, el cual es consistente con la existencia de unos pocos participantes que concentran un gran número de conexiones, y de una gran mayoría de participantes que concentran pocas conexiones (ver Gráfico 3); en esos casos, el exponente de la ley de potencia estimado con base en (2) suele estar en el rango entre dos y tres.¹² El panel izquierdo del Gráfico 5 muestra que la red no se ajusta a lo que se espera de las redes de la vida real: la gran mayoría de participantes de la red ACH Colombia tiene un alto número de conexiones (entre 15 y 16), y solo unos cuantos tienen pocas conexiones. Y, consistente con el panel izquierdo del Gráfico 5, el exponente de ley de potencia tiene un valor alto ($\gamma_k = 19,38$), que corresponde a una distribución relativamente homogénea, donde la mayoría comparte un número similar de conexiones. Empero, el panel derecho del Gráfico 5 muestra que la intensidad de las conexiones, medida como el valor de las transferencias realizadas, sí se distribuye como en las redes de la vida real, donde la mayoría contribuye con poco, y unos cuantos contribuyen considerablemente; esto, a su vez, concuerda con el exponente de la ley de potencia de la intensidad de las redes ($\gamma_s = 3,42$).

¹² La inspección visual de la distribución de las conexiones y de su intensidad (ver Gráfico 4 y 5) es relevante en este caso por cuanto la estimación del exponente de la ley de potencia (2) se hace con base en una muestra de tamaño reducido –pese a que la condición de “libre de escala” es de tipo asintótico–.

Gráfico 5. *Distribución de frecuencia del número (panel izquierdo) e intensidad (panel derecho) de las conexiones. En doble escala logarítmica*



Fuente: cálculos de los autores.

En cuanto a la correlación por número de conexiones, ésta es particularmente alta y de signo positivo ($r_k = 0,98$), lo cual indica que participantes con números de conexiones similares tienden a estar conectados entre sí. Este resultado puede ser consecuencia de que la mayoría de los participantes comparten un número de conexiones similar (i.e. entre 15 y 16) y se encuentran densamente interconectados. La correlación por intensidad es también positiva, pero de menor magnitud ($r_s = 0,20$); esto indica que existe una tendencia moderada a que aquellos participantes que comparten una intensidad de conexiones similar estén más conectados.

En resumen, de acuerdo con los Gráficos 4 y 5, la Tabla 3 y los anexos B y C, es posible señalar que la red de ACH Colombia no coincide con la mayoría de las redes financieras documentadas en la literatura. Es una red particularmente densa, con distancias promedio cercanas a uno, con una distribución homogénea de las conexiones, con una distribución sesgada de los valores de las transferencias, y en la que las relaciones entre los participantes tienden a ser recíprocas y transitivas. En contraste, las redes de instituciones financieras suelen ser dispersas y sesgadas por número y valor de las conexiones, con distancias promedio cercanas a dos y de transitividad media.

En el caso de la red de ACH Colombia, las instituciones financieras no cuentan con discrecionalidad para elegir a sus contrapartes. Al igual que en otras redes donde los participantes tienen limitaciones para identificar a sus contrapartes o donde los participantes solo cumplen con órdenes de pago impartidas por sus clientes, no parece existir un proceso de conexión preferente. Sin embargo, es aparente que la intensidad de las conexiones sigue un proceso similar a uno de conexión preferente, pero en este caso la evidencia sugiere que puede estar determinado por el tamaño (por activos, número de clientes o saldos del público) de las instituciones financieras, tal como se presenta en el Anexo D.

La topología encontrada es singular: es densa y homogénea en cuanto a la distribución de las conexiones, pero heterogénea en cuanto a la distribución del valor de las transferencias procesadas (i.e. las conexiones ponderadas). Respecto a la densidad y distribución de las conexiones, la literatura sugiere (ver Cohen & Havlin, 2010; Newman, 2010) que esta red no es robusta ante la exclusión aleatoria de los participantes, ya que dicha exclusión afectará con una alta probabilidad a un gran número de sus contrapartes. Es decir, dado que la mayoría de las instituciones financieras están densamente interconectadas, la exclusión de una institución afectaría, directa o indirectamente, a una parte considerable de la red. Por otra parte, dado que no hay instituciones financieras que se destaquen por concentración de conexiones, la exclusión intencional de un participante no tiene un efecto cualitativamente diferente del que puede generar una exclusión aleatoria. En ese sentido, la red de transferencias procesadas por ACH Colombia difiere de la caracterización *robusta pero frágil* –típica de las redes de la vida real y de las financieras–.

Respecto a la distribución de los valores procesados por las instituciones financieras, es evidente que existe concentración en unas pocas: como se señaló, seis participantes concentran cerca del 81 % del valor total de las transferencias procesadas. Lo anterior sugiere que la exclusión aleatoria de un participante, pese a afectar a un número alto de instituciones financieras, tendría un efecto esperado bajo en términos de valor compensado. Pero la exclusión de un participante que contribuya de gran manera al valor compensado (e.g. C, E, F, H, L y P) sí tendría un efecto importante para el sistema en

su conjunto. Es decir, por valor procesado, la red se aproxima a la caracterización *robusta pero frágil*.

El análisis de la topología de la red de transferencias procesadas por ACH Colombia es importante para el sistema de pagos y la economía. En cuanto al sistema de pagos colombiano, León y Pérez (2014) identifican a ACH Colombia como la tercera infraestructura financiera en importancia como distribuidor global de liquidez. Esto coincide, como ya se mencionó, con que ACH Colombia es responsable de la compensación de 2,88 billones de pesos (promedio diario durante 2015), equivalente al 58,06 % del valor compensado por todos los sistemas de pago de bajo valor, con lo cual supera el valor compensado por la Cámara Central de Riesgo de Contraparte de Colombia por concepto de derivados (1,04 billones de pesos), y el valor compensado por la Bolsa de Valores de Colombia por concepto de compra-venta de acciones (0,13 billones de pesos) (Banco de la República, 2016). Así mismo, dado que la compensación multilateral de los 2,88 billones de pesos resulta en una liquidación de 0,70 billones de pesos (Banco de la República, 2016), el buen funcionamiento de la ACH Colombia contribuye a menores necesidades de liquidez para las instituciones financieras; estos ahorros en la liquidez, como se presenta en Bech et al. (2008), conllevan mejoras en la eficiencia operativa de los sistemas de pago en su conjunto. Por lo anterior, es posible afirmar que una falla en la compensación y liquidación en la ACH Colombia, si bien no afectará la solvencia de las instituciones financieras, sí puede afectar negativamente el normal funcionamiento del sistema de pagos y la liquidez de las instituciones financieras participantes.

Así mismo, es de esperar que una falla en la compensación y liquidación de ACH Colombia, o un incumplimiento por parte de uno de sus participantes, impida que las personas naturales y jurídicas reciban y dispongan de sus fondos oportunamente. En este caso, el efecto de diversificación del riesgo, que se supone resulta de altos niveles de conectividad entre los participantes (ver Allen & Gale, 2000), se pierde como consecuencia de la potencial afectación a un gran número de agentes (ver Roukny et al., 2013), entre los cuales no solo se cuentan las instituciones financieras sino aquellas personas naturales y jurídicas que esperan el abono de fondos en sus cuentas. Adicionalmente, es posible que aquellos agentes que no reciban sus fondos oportunamente

no puedan realizar transferencias electrónicas, lo cual, unido a la densidad y homogeneidad de la red, puede generar un efecto ampliado en el sistema de pagos de bajo valor y en el sector real.¹³ Y, dada la concentración de valores compensados, el efecto será mayor en la medida que el fallo provenga de una institución financiera de gran tamaño o la afecte. Por tanto, las consecuencias para el sector real pueden ser considerables por los efectos en el intercambio de bienes y servicios, así como para la política monetaria y la estabilidad financiera en la medida que la confianza del público en la moneda puede verse afectada.

Comentarios finales

Este documento consiguió construir, visualizar y examinar las redes de transferencias entre instituciones financieras que resultan de las órdenes de pago que las personas naturales y jurídicas imparten con el fin de extinguir obligaciones o adquirir bienes y servicios. Dada la ausencia de literatura empírica sobre este tipo de redes, y gracias a la disponibilidad de información detallada por parte del operador de ACH Colombia, este documento incursiona en el estudio de las redes de pagos de bajo valor, con lo cual brinda una primera oportunidad para analizar sus características conectivas.

El principal hallazgo de este documento consiste en una clara divergencia de la red de ACH Colombia con respecto a los hechos estilizados de las redes financieras. La red de ACH Colombia es densa, homogénea, con altos niveles de agrupamiento y reciprocidad, pero heterogénea en cuanto a los valores de las conexiones. Lo anterior resulta en que la topología de la red pueda caracterizarse como *robusta pero frágil* (Haldane, 2009) en cuanto a las conexiones ponderadas (i.e. el valor procesado), pero no así respecto de las conexiones sin ponderar.

Es posible explicar este resultado como consecuencia de la naturaleza de las transferencias compensadas y liquidadas por las ACH. Estas transferencias corresponden a órdenes de pago impartidas por personas naturales y jurídicas, que las instituciones financieras deben procesar sin que puedan elegir sus

¹³ En este caso, por sector real se hace referencia a aquellas actividades productivas que realizan sus pagos a través de entidades financieras. No se considera, por ejemplo, el sector informal.

contrapartes. La falta de discrecionalidad por parte de las instituciones financieras para elegir a sus contrapartes resulta en una red atípica, en la que las instituciones se interconectan indistintamente (i.e. es una red densa y homogénea), pero en la que el valor de las transferencias se encuentra concentrado en las instituciones financieras de mayor tamaño.

Dada la creciente importancia de las transferencias electrónicas en Colombia, este estudio es pertinente y fomenta nuevos estudios sobre sistemas de pago de bajo valor. Así mismo, en atención al potencial efecto que puede tener una falla en la compensación y liquidación por parte de las ACH para el sector real y el sistema de pagos, de este estudio surgen posibles extensiones. Por ejemplo, es de suma importancia incluir dentro del análisis de red a las personas jurídicas y naturales que utilizan a las ACH, y así se podría examinar de mejor manera la importancia de cada institución financiera para el sector real y la economía en general. También es recomendable realizar un estudio particular sobre la importancia de cada una de las instituciones financieras en las redes de las ACH, utilizando medidas de centralidad apropiadas para ese caso (e.g. *betweenness*, *PageRank*, *SinkRank*, *hub* y *authority centrality*, etc.). Finalmente, enmarcado en la búsqueda de la estabilidad financiera, es relevante revisar la pertinencia de esquemas de contingencia que contribuyan al buen funcionamiento de este tipo de infraestructuras, lo cual contribuye a mantener la confianza del público en la moneda y a promover una economía eficiente.

Anexos

Anexo A. Fórmulas utilizadas para el análisis de redes

$$k_i^{in} = \sum_{j=1}^n A_{ji}$$

Grado de entrada

$$s_i^{in} = \sum_{j=1}^n W_{ji}$$

Intensidad de entrada

$$d = \frac{m}{n(n-1)}$$

Densidad

$$\ell = d \frac{1}{n} \sum_i \ell_i$$

Distancia geodésica promedio de la red

$$r_k = \frac{\sum_{ij} (A_{ij} - k_i k_j / 2m) k_i k_j}{\sum_{ij} (k_i \delta_{ij} - k_i k_j / 2m) k_i k_j}$$

Coefficiente de correlación por grado

$$k_i^{out} = \sum_{j=1}^n A_{ij}$$

Grado de salida

$$s_i^{out} = \sum_{j=1}^n W_{ij}$$

Intensidad de salida

$$\ell_i = \frac{1}{(n-1)} \sum_{j(\neq i)} g_{ij}$$

Distancia geodésica promedio de un vértice

$$c = \frac{(\text{número de triángulos en la red}) \times 3}{\text{número de conjuntos con tres vértices}}$$

Coefficiente de agrupamiento

$$r_s = \frac{\sum_{ij} (A_{ij} - k_i k_j / 2m) s_i s_j}{\sum_{ij} (k_i \delta_{ij} - k_i k_j / 2m) s_i s_j}$$

Coefficiente de correlación por intensidad

Donde

A_{ij} es la matriz de adyacencia dirigida

W_{ji} es la matriz de adyacencia ponderada y dirigida

g_{ij} es la distancia geodésica entre dos nodos o vértices i y j

n es el número de elementos en la red

m es el número de conexiones observadas en la red

$$\delta_{ij} = \begin{cases} 0 & \text{if } i \neq j \\ 1 & \text{if } i = j \end{cases}$$

Fuente: elaboración propia con base en Newman (2010).

Anexo B. Grafos mensuales de ACH Colombia, 2014 y 2015

Gráfico B1.

2014

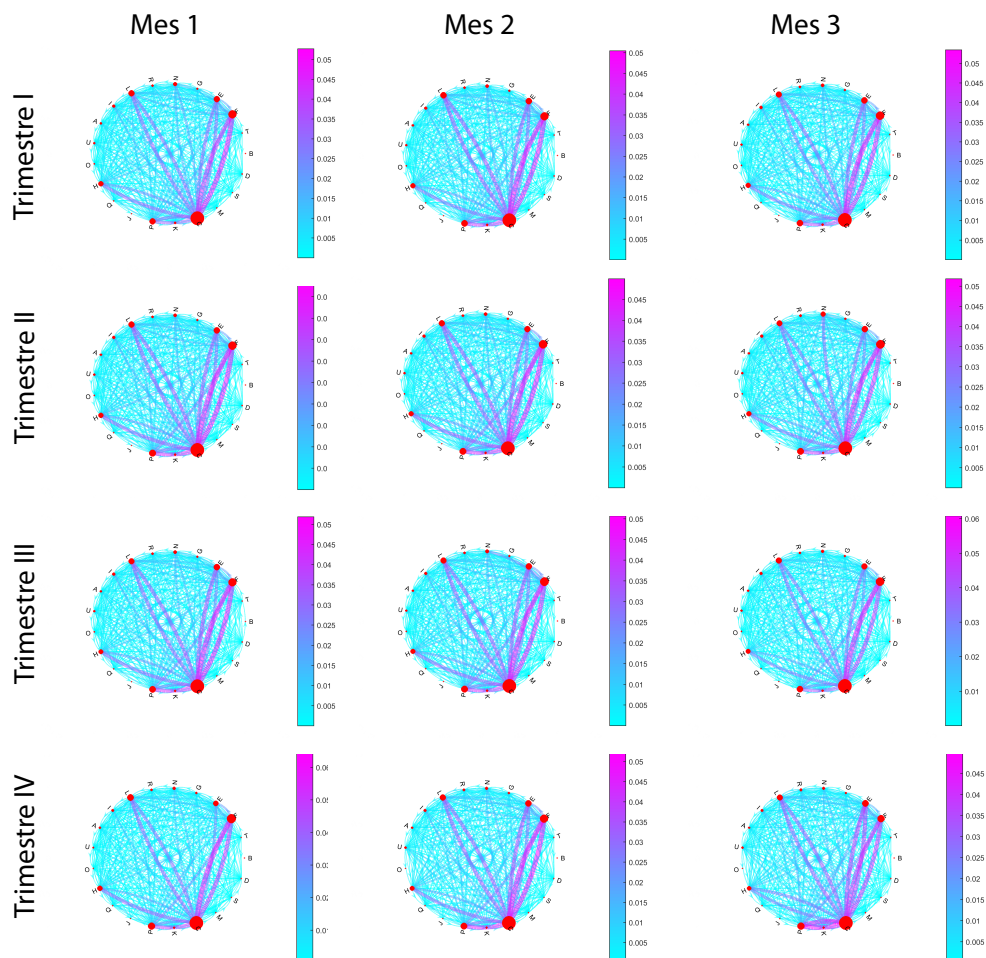
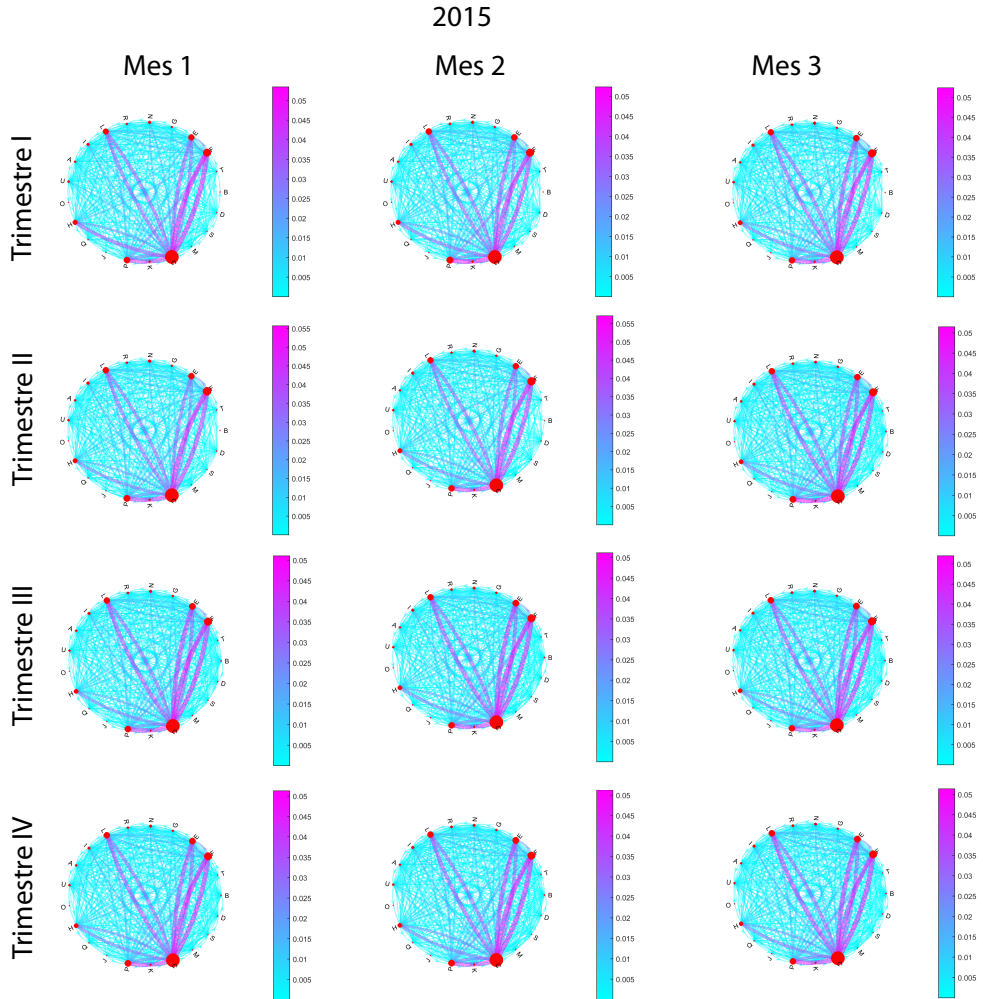


Gráfico B1. (Continuación)

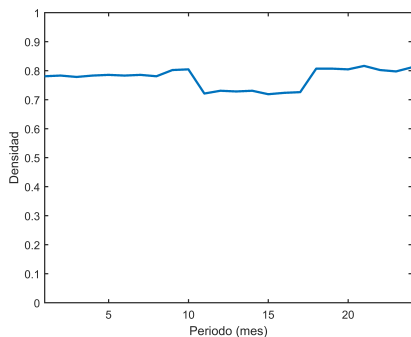


Fuente: elaboración de los autores con base en datos de ACH Colombia.

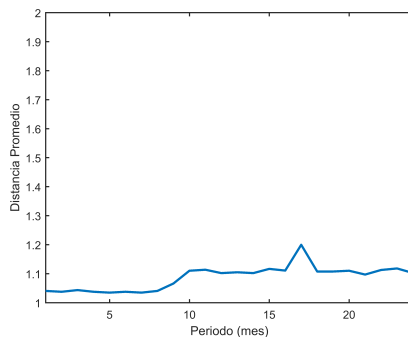
Anexo C. Series de tiempo de las estadísticas en Tabla 1

Gráfico C1.

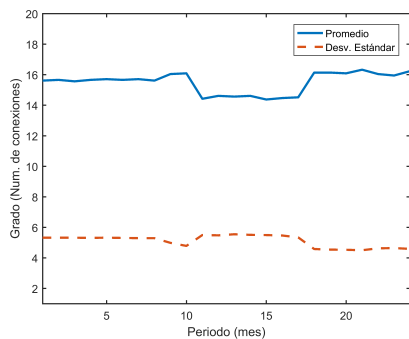
(a) *Densidad*



(b) *Distancia promedio*



(c) *Grado*



(d) *Intensidad*

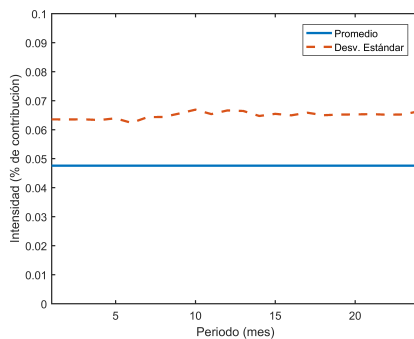
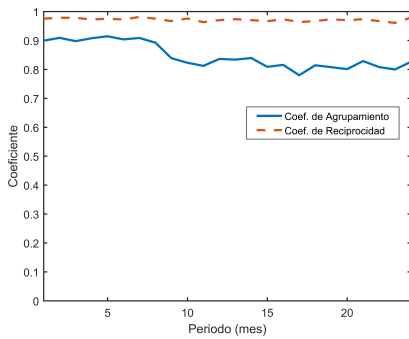
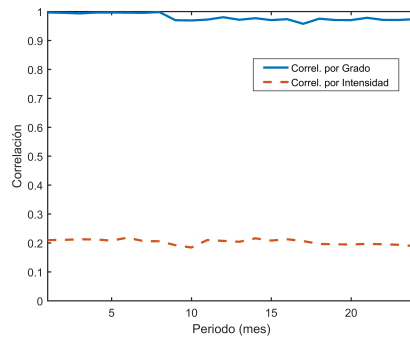


Gráfico C1. (Continuación)

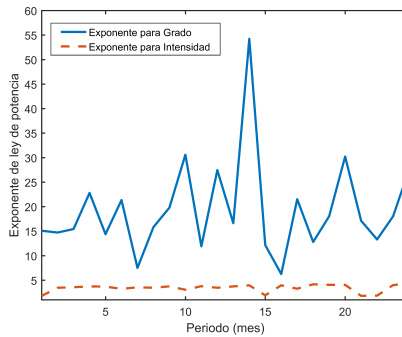
(e) Coeficiente de agrupamiento y reciprocidad



(f) Correlación



(g) Exponente de ley de potencia

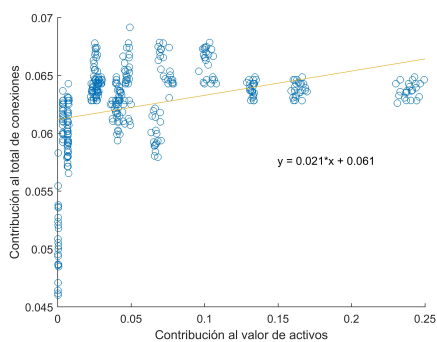


Fuente: cálculos de los autores.

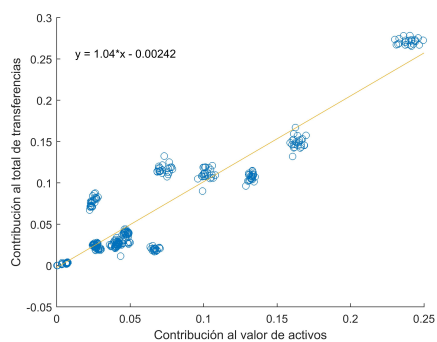
Anexo D. Relación entre el tamaño de los participantes en ACH Colombia y la contribución al número de conexiones y al total de transferencias

Gráfico D1.

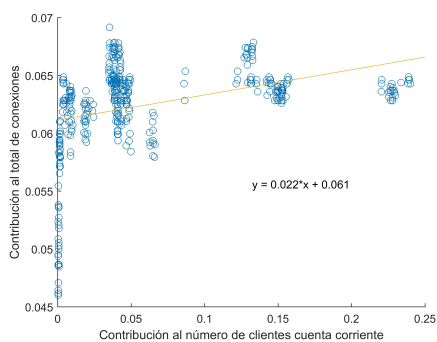
(a) *Activos y conexiones*



(b) *Activos y valor transferencias*



(c) *Clientes cuenta corriente y conexiones*



(d) *Clientes cuenta corriente y valor transferencias*

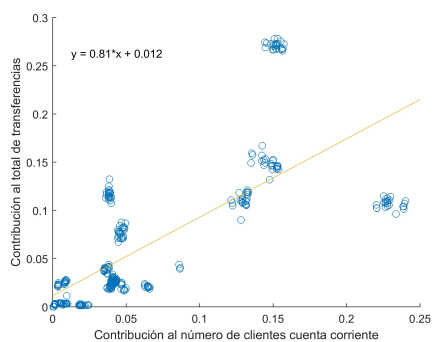
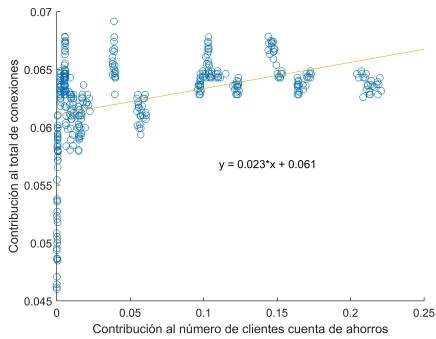
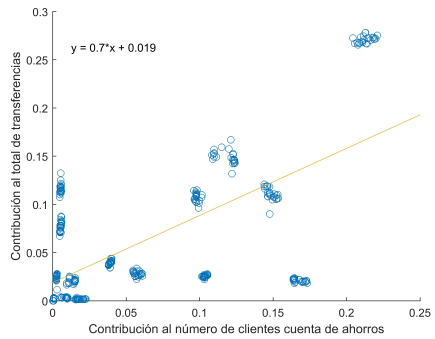


Gráfico D1. (Continuación)

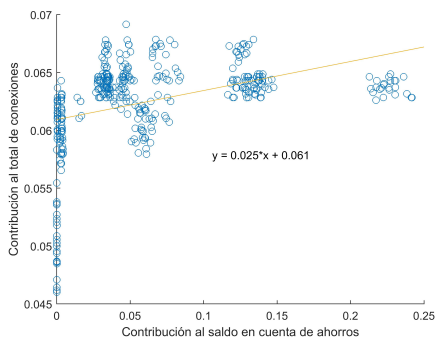
(e) *Clientes cuenta de aborro y conexiones*



(f) *Clientes cuenta de aborro y valor transferencias*



(g) *Saldo en cuenta de aborro y conexiones*



(h) *Saldo cuenta de aborro y valor transferencias*

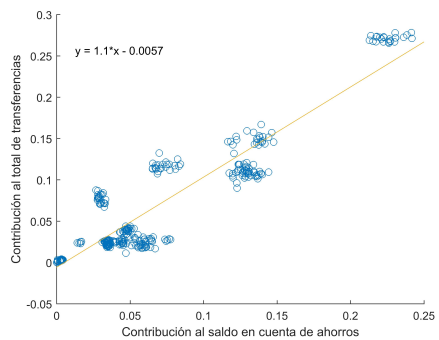
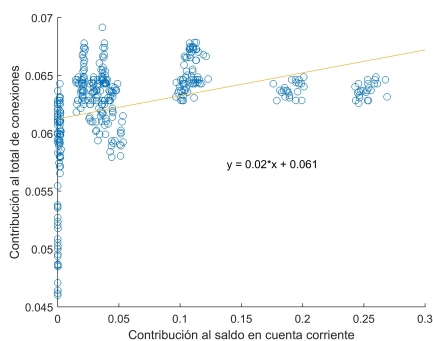
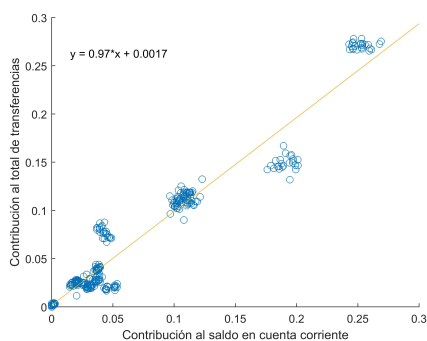


Gráfico D1. (Continuación)

(i) Saldo cuenta corriente y conexiones



(j) Saldo cuenta corriente y valor transferencias



Fuente: elaboración propia, con base en información de la Superintendencia Financiera de Colombia para los establecimientos de crédito que participaron en los 24 periodos de la muestra.

Anexo E. Proceso de compensación y liquidación de las transferencias electrónicas

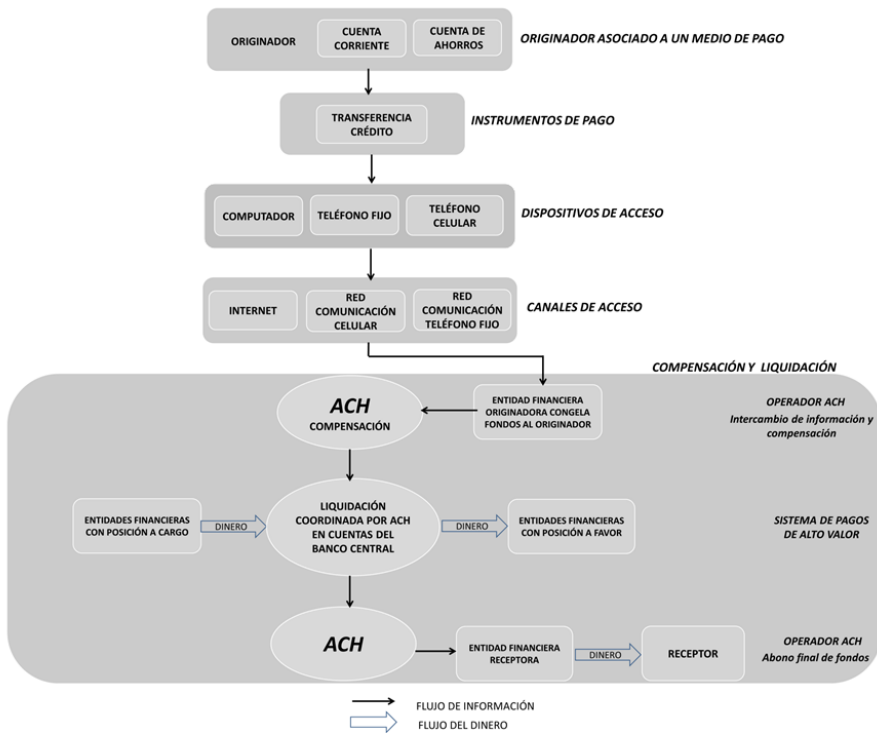
En el caso de una transferencia crédito (Gráfico E1) el originador debe disponer de un medio de pago (e.g. cuenta de ahorro o cuenta corriente). El proceso inicia cuando el originador decide utilizar el instrumento de pago correspondiente a través de los dispositivos y canales de acceso que ponga a disposición su institución financiera.

Superadas las medidas de seguridad (e.g. usuario y claves), el originador selecciona de una lista previamente establecida y autorizada el nombre e identificación del receptor del dinero y el monto a ser transferido. Si el originador tiene los fondos suficientes, la institución financiera originadora se los debita pero no los transfiere (i.e. congela los fondos). En paralelo, inicia el flujo de información desde la institución financiera originadora hacia la ACH, el cual puede hacerse en lotes de operaciones.

La ACH, en ciclos preestablecidos de compensación intradía, compensa un lote de instrucciones acumuladas en cada uno de los ciclos. El resultado de cada ciclo es la posición multilateral neta a cargo o a favor para cada una de

las instituciones financieras participantes. Como parte del proceso de liquidación, las entidades financieras con posición a cargo transfieren desde sus cuentas de depósito en el banco central los fondos hacia la cuenta de la ACH; esto sucede a través del sistema de pagos de alto valor. Una vez la ACH recauda la totalidad de los recursos, procede a distribuir la liquidez en las cuentas de depósito de las entidades financieras que resultaron con posición a favor en la compensación. Superada la etapa anterior, y en un tiempo posterior, la institución financiera receptora abona el dinero en la cuenta asociada al beneficiario del pago (receptor).

Gráfico E1. Flujo del proceso de pago de una transferencia crédito (push transaction)

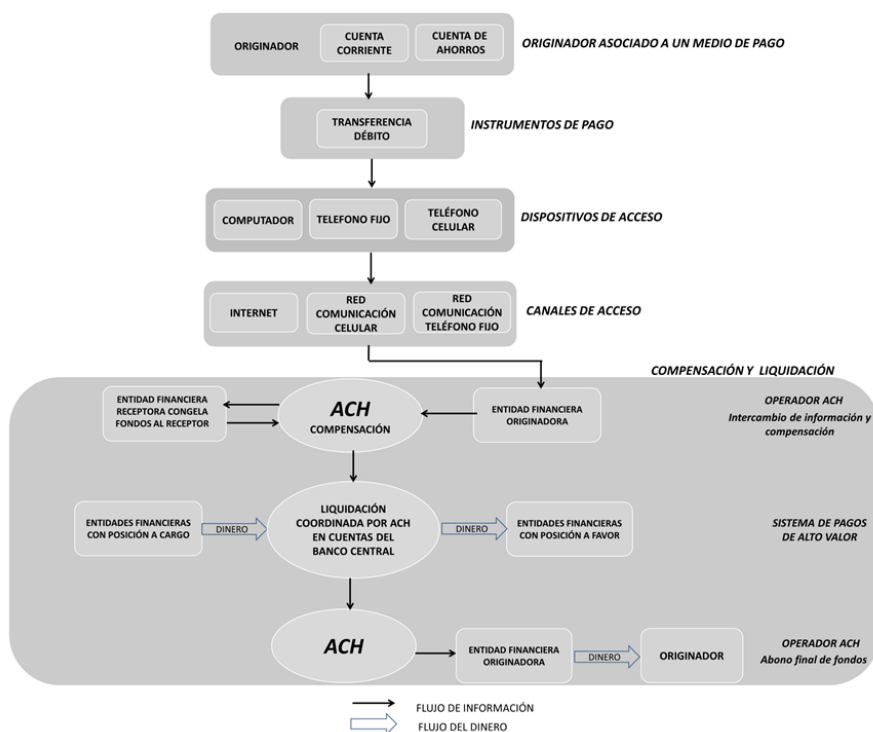


Fuente: elaboración de los autores.

A diferencia de la transferencia crédito, para el caso de la transferencia débito (pull transaction) quien inicia la instrucción de pago (i.e. originador)

es el beneficiario de los fondos. Para esto el originador utiliza un instrumento transferencia débito (e.g. cobro por facturación de servicios públicos), y ha sido previamente autorizado por el receptor para recaudar automáticamente los fondos de su cuenta en la institución financiera receptora (Gráfico E2). Cuando la institución financiera receptora recibe la instrucción de la ACH, verifica la existencia de fondos y los debita de la cuenta del receptor de la instrucción, pero no los transfiere (i.e. los congela). Superado el mencionado proceso de compensación y liquidación en cuentas del banco central por parte de la ACH, la institución financiera originadora abona los recursos en la cuenta del originador de la instrucción de pago.

Gráfico E2. Flujo del proceso de pago de una transferencia débito (pull transaction)



Fuente: elaboración de los autores.

Referencias

- ACH COLOMBIA (2016). *Servicio de transferencias interbancarias*. Recuperado de: <http://www.achcolombia.com.co/productos-y-servicios> (Diciembre 1 de 2016).
- ALBERT, Réka & BARABÁSI, Albert-László (2002). “Statistical mechanics of complex networks”, *Reviews of Modern Physics*, Vol. 74, pp. 47-97.
- ALLEN, Franklin & GALE, Douglas (2000). “Financial Contagion”, *Journal of Political Economy*, Vol. 108, No. 1, pp. 1-33.
- ANDERSON, Philip (1999) “Complexity theory and organization science”, *Organization Science*, Vol. 10, No. 3, pp. 216-232.
- BANCO CENTRAL EUROPEO (2003). *Oversight standards for euro retail payment systems*. Frankfurt am Main: Banco Central Europeo.
- BANCO CENTRAL EUROPEO (2010). *The payment system: payments, securities and derivatives, and the role of the Eurosystem*. Frankfurt am Main: Banco Central Europeo.
- BANCO DE LA REPÚBLICA (2013). *Reporte de Sistemas de Pago*. Bogotá: Banco de la República.
- BANCO DE LA REPÚBLICA (2016). *Reporte de Sistemas de Pago*. Bogotá: Banco de la República.
- BANCO DE PAGOS INTERNACIONALES (BIS) & Comité de Sistemas de Pago y Liquidación (CPSS) (2003). *Glosario de términos utilizados en los sistemas de pago y liquidación*. Banco de Pagos Internacionales.
- BANCO DE PAGOS INTERNACIONALES (BIS) & Comité de Sistemas de Pago y Liquidación (CPSS) (2012). *Payment, clearing and settlement systems in various countries*. Recuperado de: <http://www.bis.org/cpmi/paysysinfo.htm> (diciembre de 2015).
- BARABÁSI, Albert-László (2003). *Linked*. New York: Plume.

- BARABÁSI, Albert-László & ALBERT, Réka (1999). “Emergence of scaling in random networks”, *Science*, Vol. 286, No. 5439, pp. 509-512.
- BECH, Morten & ATALAY, Enghin (2010). “The topology of the federal funds market”, *Physica A*, Vol. 389, No. 22, pp. 5223-5246.
- BECH, Morten; PREISIG, Christine & SORAMÄKI, Kimmo (2008). “Global trends in large-value payments”, *Economic Policy Review*, Vol. 14, No. 2, pp. 59-81.
- BECHER, Christopher; MILLARD, Stephen & SORAMÄKI, Kimmo (2008). “The network topology of CHAPS Sterling”. *Working Paper 355*. Banco de Inglaterra.
- BOLLOBÁS, Bela; JANSON, Svante & RIORDAN, Oliver (2007). “The phase transition in inhomogeneous random graphs”, *Random Structures & Algorithms*, Vol. 31, No. 1, pp. 3-122.
- BÖRNER, Katy; SANYAL, Soma & VESPIGNANI, Alessandro (2007). “Network science”, *Annual Review of Information Science and Technology*, Vol. 41, No. 1, pp. 537-607.
- BOSS, Michael; ELSINGER, Helmut; SUMMER, Martin & THURNER, Stefan (2004). “The network topology of the interbank market”, *Quantitative Finance*, Vol. 4, No. 4, pp. 677-684.
- BRADFORD, Terri; DAVIES, Matt & WEINER, Stuart (2003). *Nonbanks in the payments system*. Kansas City: Banco de la Reserva Federal de Kansas City.
- CEPEDA, Freddy (2008). “La topología de redes como herramienta de seguimiento en el sistema de pagos de alto valor en Colombia”, *Borradores de Economía 513*. Banco de la República, Colombia.
- CIRASINO, Massimo & GARCÍA, José Antonio (2008). “Measuring payment system development”, *Working Paper*. The World Bank – Financial Infrastructure Series. Recuperado de: http://siteresources.worldbank.org/EXTPAYMENTREMITTANCE/Resources/MeasuringPaySysDevelopment_WorkingPaper.pdf (diciembre de 2015).

- CLAUSET, Aaron; SHALIZI, Cosma Rohilla & NEWMAN, M. E. J. (2009). “Power-law distributions in empirical data”, *SIAM Review*, Vol. 51, No. 4, pp. 661-703.
- COHEN, Reuven & HAVLIN, Shlomo (2003) “Scale-free networks are ultras-small”, *Physical Review Letters*, Vol. 90, No. 5, pp. 1-4.
- COHEN, Reuven & HAVLIN, Shlomo (2010). *Complex Networks*. Cambridge: Cambridge University Press.
- CRAIG, Ben & VON PETER, Goetz (2014). “Interbank tiering and money center banks”, *Journal of Financial Intermediation*, Vol. 23, No. 3, pp. 322-347.
- CSERMELY, Peter; LONDON, Andras; WU, Ling-Yung & UZZI, Brian (2013). “Structure and dynamics of core/periphery networks”, *Journal of Complex Networks*, Vol. 1, pp. 93-123.
- ERDOS, Paul & RÉNYI, Alfréd (1960). “On random graphs”, *Publicationes Mathematicae*, Vol. 6, pp. 17-61.
- FRICKE, Daniel & LUX, Thomas (2014). “Core-periphery structure in the overnight money market: evidence from the e-MID trading platform”, *Computational Economics*, Vol. 45, No. 3, pp. 359–395.
- FRICKE, Daniel & LUX, Thomas (2015). “On the distribution of links in the interbank network: evidence from the e-MID overnight money market”, *Empirical Economics*, Vol. 49, No. 4, pp. 1463-1495.
- HALDANE, Andrew G. (2009). “Rethinking the financial network”. *Speech delivered at the Financial Student Association*. Banco de Inglaterra.
- HASAN, Iftekhar; DE RENZIS, Tania & SCHMIEDEL, Heiko (2013). “Retail payments and the real economy”, *Working Paper Series 1572*. Banco Central Europeo.
- HÜSER, Anne-Caroline (2015). “Too interconnected to fail: a survey of the interbank networks literature”, *Working Paper Series 91*. SAFE.

- INAOKA, Hajime; NINOMIYA, Takuto; TANIGUSHI, Ken; SHIMIZU, Tokiko & TAKAYASU, Hideki (2004). “Fractal network derived from banking transaction”, *Bank of Japan Working Paper Series* 04-E04. Banco de Japón.
- KING, Thomas (2008). “Discipline and liquidity in the interbank market”, *Journal of Money, Credit and Banking*, Vol. 40, No. 2-3, pp. 295-317.
- KOLACZYC, Eric D. (2009). *Statistical analysis of network data*. New York: Springer-Verlag New York.
- LEÓN, Carlos & BERNDSEN, Ron J. (2014). “Rethinking financial stability: challenges arising from financial networks’ modular scale-free architecture”, *Journal of Financial Stability*, Vol. 15, pp. 241-256.
- LEÓN, Carlos & SARMIENTO, Miguel (2016). “Liquidity and counterparty risks tradeoff in money market networks”, *Borradores de Economía*, No. 936. Banco de la República, Colombia.
- LEÓN, Carlos; MACHADO, Clara & SARMIENTO, Miguel (2016a). “Identifying central bank liquidity super-spreaders in interbank funds networks”, *Journal of Financial Stability* (accepted paper).
- LEÓN, Carlos; PÉREZ, Jhonatan & RENNEBOOG, Luc (2016b). “A multi-layer network of the Colombian sovereign securities market”. En: Diehl, Martin; Alexandrova-Kabadjova, Biliana; Heuver, Richard & Martínez-Jaramillo, Serafin. (Eds.), *Analyzing the economics of financial market infrastructures* (pp. 124-149). Hershey: IGI-Global.
- LEÓN, Carlos & PÉREZ, Jhonatan (2014). “Assessing financial market infrastructures’ systemic importance with authority and hub centrality”, *Journal of Financial Market Infrastructures*, Vol. 2 No. 3, pp. 67-87.
- LI, Menghui; GUAN, Shuguang; WU, Chensheng; GONG, Xiaofeng; LI, Kun; WU, Jinshan; DI, Zengru & LAI, Choy-Heng (2014). “From sparse to dense and from assortative to disassortative in online social networks”, *Scientific Reports*, Vol. 4, No. 4861.

- MARTÍNEZ-JARAMILLO, Serafín; ALEXANDROVA-KABADJOVA, Biliiana; BRAVO-BENÍTEZ, Bernardo & SOLÓRZANO-MARGAIN, Juan Pablo (2014). “An empirical study of the Mexican banking system’s network and its implications for systemic risk”, *Journal of Economic Dynamics and Control*, Vol. 40, pp. 242-265.
- MCANDREWS, James (1994). “The Automated Clearing House system: moving toward electronic payment”, *Business Review*, July, pp. 15-23.
- NEWMAN, Mark E.J. (2010). *Networks: An Introduction*. New York: Oxford University Press.
- NEWMAN, Mark E.J.; BARABÁSI, Albert-László & WATTS, Duncan J. (2006). *The structure and dynamics of networks*. Princeton: Princeton University Press.
- NIER, Erlend; YANG, Jing; YORULMAZER, Tanju & ALENTORN, Amadeo (2008). “Network models and financial stability”, *Working Paper Series*, No. 346. Banco de Inglaterra.
- ORTEGA, Fabio & CICERI, Aura (2014). “Los instrumentos de pago electrónicos al por menor y su integración con los sistemas de compensación y liquidación”, *Reportes del Emisor*, No. 185. Banco de la República, Colombia.
- PRÖPPER, Mark; LELYVELD, Iman van & HEIJMANS, Ronald (2008). “Towards a network description of interbank payment flows”, *DNB Working Paper*, No. 177, De Nederlandsche Bank.
- ROUKNY, Tarik; BERSINI, Hugues; PIROTTE, Hugues; CALDARELLI, Guido & BATTISTON, Stefano (2013). “Default cascades in complex networks: topology and systemic risk”, *Scientific Reports*, Vol. 3, No. 2759, pp. 1-8.
- SIMON, Herbert A. (1962). “The architecture of complexity”, *Proceedings of the American Philosophical Society*, Vol. 106, pp. 467-482.
- SORAMÄKI, Kimmo; BECH, Morten; ARNOLD, Jeffrey; GLASS, Robert & BEYELER, Walter (2007). “The topology of interbank payments flow”, *Physica A*, Vol. 379, No. 1, pp. 317-333.

STROGATZ, Steven (2003). *SYNC: How order emerges from chaos in the universe, nature and daily life*. New York: Hyperion Books.

SULLIVAN, Richard (2012). “The Federal Reserve’s reduced role in retail payments: implications for efficiency and risk”, *Economic Review*, Third Quarter, pp. 79-106.