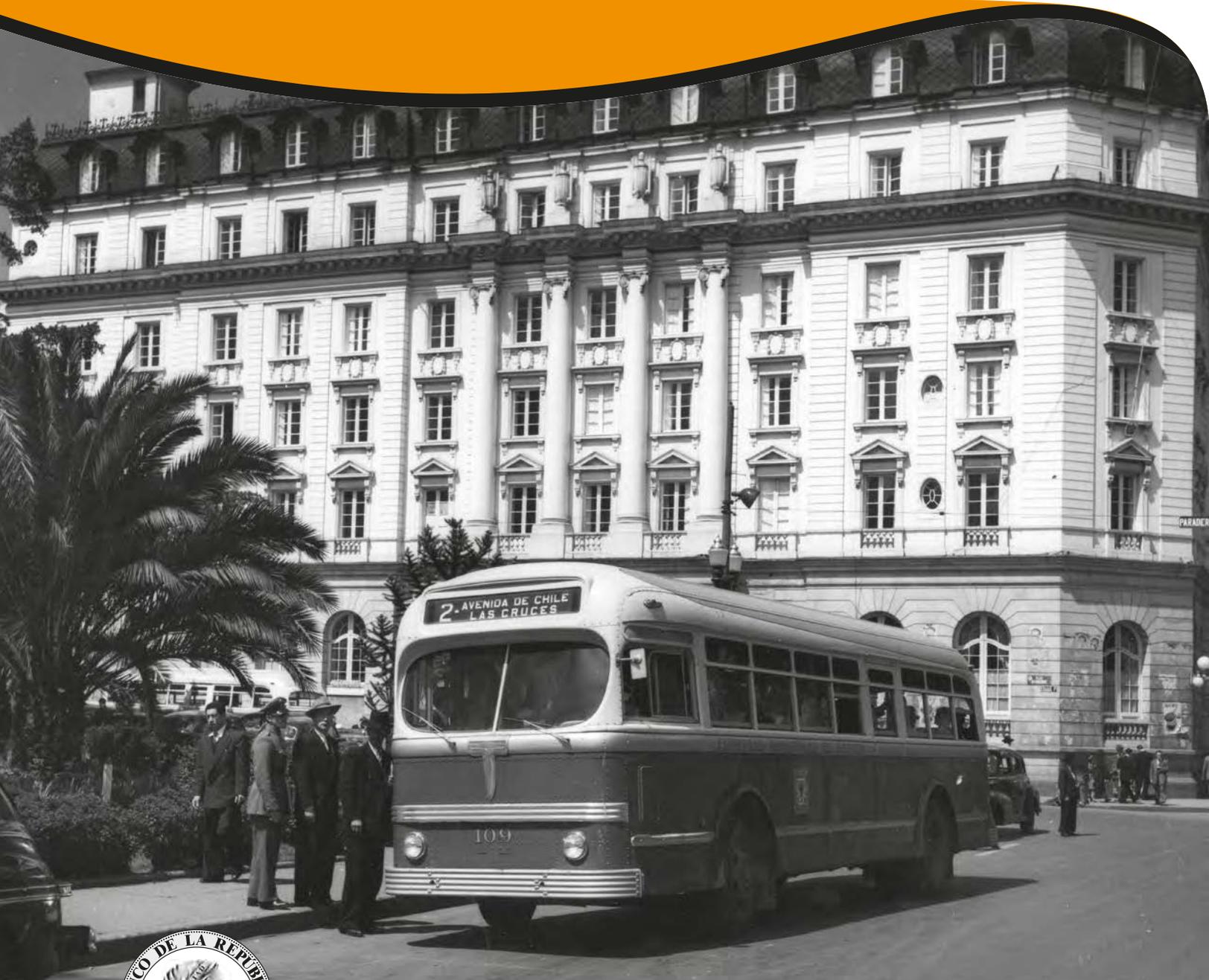


Las entidades de contrapartida central
en la mitigación del riesgo de
contraparte y de liquidez: El caso de
los derivados cambiarios en Colombia

Por: Ricardo Mariño-Martínez
Carlos León
Carlos Cadena-Silva

Núm. 1101
2020

Borradores de ECONOMÍA



Bogotá - Colombia - Bogotá - Colombia

Las entidades de contrapartida central en la mitigación del riesgo de contraparte y de liquidez: El caso de los derivados cambiarios en Colombia^a

Ricardo Mariño-Martínez^β

Carlos León^γ

Carlos Cadena-Silva^δ

Las opiniones contenidas en el presente documento son responsabilidad exclusiva de los autores y no comprometen al Banco de la República ni a su Junta Directiva.

Resumen

Las entidades de contrapartida central (ECC) se interponen entre compradores y vendedores para eliminar sus obligaciones bilaterales y así mitigar el riesgo de contraparte. Es de esperar que esta interposición afecte la manera en que interactúan los participantes en los mercados financieros. Con base en datos transaccionales de las operaciones de intercambio a plazo peso-dólar sin entrega (COP/USD *FX-non-delivery forwards*) y en el análisis de redes, este artículo compara las transacciones cuando se acuerda la compensación y liquidación por intermedio de la Cámara de Riesgo Central de Contraparte de Colombia (CRCC) con aquellas en las que se acuerda la compensación y liquidación bilateral –sin la CRCC. El efecto de la interposición de la CRCC es el esperado. La red de transacciones en las que se acuerda la interposición de la CRCC muestra un aumento significativo en la conectividad (i.e. mayor densidad, reciprocidad y agrupamiento), y una disminución significativa en la distancia entre participantes. Esto sugiere que acordar la interposición de la CRCC permite mitigar el riesgo de liquidez. Con la interposición, la red de exposiciones resultante presenta una menor conectividad y mayor distancia, lo cual es consistente con la mitigación del riesgo de contraparte. Las diferencias en la estructura de las redes son significativas. Los resultados son relevantes porque permiten visualizar y cuantificar el efecto que tiene la CRCC en la administración del riesgo.

Palabras clave: riesgo de contraparte, riesgo de liquidez, redes, compensación central.

Clasificación JEL: D85, L14, G2, E42.

^a Las opiniones contenidas en el presente documento son responsabilidad exclusiva de los autores y no comprometen al Banco de la República ni a su Junta Directiva. Los autores agradecen los comentarios de Pamela Cardozo, Freddy Cepeda, Oscar Leyva, Clara Machado y Hernando Vargas.

^β Departamento de Seguimiento a la Infraestructura Financiera, Banco de la República; jmarinma@banrep.gov.co / jmarinma@yahoo.com. [autor para correspondencia].

^γ Departamento de Seguimiento a la Infraestructura Financiera, Banco de la República; CentER, Universidad de Tilburg; cleonrin@banrep.gov.co / carlosleonr@hotmail.com.

^δ Departamento de Seguimiento a la Infraestructura Financiera, Banco de la República; ccadensi@banrep.gov.co.

Central counterparties in counterparty and liquidity risk mitigation: The case of derivatives market in Colombia^a

Ricardo Mariño-Martínez^β

Carlos León^γ

Carlos Cadena-Silva^δ

The opinions contained in this document are the sole responsibility of the authors and do not commit Banco de la República or its Board of Directors.

Abstract

A central counterparty (CCP) interposes itself between buyers and sellers of financial contracts to extinguish their bilateral exposures and –thus- to reduce counterparty risk. Therefore, this interposition should affect the way market participants engage in financial markets. Based on transactional data corresponding to the Colombian Peso non-delivery forward market and network analysis basics, this article compares transactions agreed to be cleared and settled by Cámara de Riesgo Central de Contraparte de Colombia (CRCC, the sole CCP in Colombia) with those to be cleared and settled bilaterally. The effect corresponds to what is expected. Networks of transactions to be cleared and settled by CRCC show significantly higher connectivity (i.e. higher density, reciprocity and transitivity), along with a lower distance among participating financial institutions. This suggests that agreeing on clearing and settlement by CRCC reduces liquidity risk. With the interposition of CRCC the resulting exposures networks show lower connectivity and higher distances, which concurs with counterparty risk mitigation. Differences in the structure of networks are significant. Results are important as they enable to visualize and quantify the effect of clearing and settlement by CRCC in risk management.

Keywords: counterparty risk, liquidity risk, novation, network, central clearing.

JEL classification: D85, L14, G2, E42.

^a Opinions and statements in this article are the sole responsibility of the authors, and do not represent neither those of Banco de la República nor of its Board of Directors. We thank Pamela Cardozo, Freddy Cepeda, Oscar Leyva, Clara Machado, and Hernando Vargas for their comments and suggestions.

^β Financial Infrastructure Oversight Department, Banco de la República; jmarinma@banrep.gov.co / jmarinma@yahoo.com. [Corresponding author].

^γ Financial Infrastructure Oversight Department, Banco de la República; CentER, Tilburg University; cleonrin@banrep.gov.co / carlosleonr@hotmail.com.

^δ Financial Infrastructure Oversight Department, Banco de la República; ccadensi@banrep.gov.co.

1 Introducción

La crisis financiera internacional que inició hacia 2007-2008 ha impulsado varios cambios en la regulación financiera. Una de las reformas tiene que ver con incentivar la compensación y liquidación centralizada de las operaciones con derivados a través de una entidad de contrapartida central (ECC), en especial para aquellos que son negociados en el mercado al mostrador u *over the counter* (OTC) (ver FSB, 2010). De manera general, la compensación y liquidación a través de una ECC busca mitigar el *riesgo de contraparte*¹ entre las instituciones financieras, así como brindar una mayor transparencia al mantener un registro centralizado y detallado de las exposiciones (ver Ripatti, 2004, Bliss & Steigerwald, 2006, Manning et al., 2009, IMF, 2010, Yellen, 2013, Wendt, 2015), junto con una menor complejidad implícita en las exposiciones entre ellos.

La compensación y liquidación a través de una ECC involucra el mecanismo conocido como *novación*. Este mecanismo consiste en la interposición de la ECC entre compradores y vendedores, para así eliminar sus obligaciones bilaterales y reemplazarlas por obligaciones con la ECC. De este modo, la ECC elimina los vínculos creados en la transacción original y se convierte en el comprador de todo vendedor y el vendedor de todo comprador. El objetivo de esta interposición es permitir a las instituciones financieras mantener una única exposición al riesgo de contraparte con una *infraestructura financiera*² especialmente diseñada, regulada y supervisada para tal fin.

Es de esperar que la interposición de una ECC afecte la forma en que las instituciones financieras interactúan en los mercados. Si se acuerda que las obligaciones bilaterales sean reemplazadas por obligaciones con la ECC, las instituciones financieras podrán operar en el mercado con una menor exposición al riesgo de contraparte en la etapa de compensación y liquidación. Así, la interposición de la ECC reduce los costos de información para los participantes del mercado y facilita la negociación entre ellos, lo cual incrementa la liquidez del mercado (ver Ripatti, 2004, Bliss & Steigerwald, 2006, Wendt, 2015). En ese sentido, como señala Ripatti (2004), la interposición de una ECC estimula la negociación y mejora el funcionamiento de los mercados³. En consecuencia, es de esperar que el número de contrapartes dispuestas a negociar aumente en los mercados en los que se

¹ Se entiende por *riesgo de contraparte* aquel relacionado con la imposibilidad de recibir lo esperado (e.g. entrega, pago) en una operación.

² Las *infraestructuras financieras* son aquellas entidades jurídicas o funcionales que se establecen para llevar a cabo actividades centralizadas y multilaterales de pago, compensación, liquidación o registro (BIS-IOSCO, 2012).

³ Según Ripatti (2004), por ejemplo, la introducción de una ECC contribuyó a incrementos significativos en los montos transados en el mercado de repos europeo.

interponga una ECC, lo que resulta en una red de transacciones entre instituciones financieras más interconectada y, por tanto, con un menor *riesgo de liquidez*⁴.

Este artículo busca visualizar y cuantificar el efecto que trae la interposición de la Cámara de Riesgo Central de Contraparte de Colombia S.A. (CRCC) en la forma en que las instituciones financieras interactúan entre ellas. La CRCC es la única ECC en el mercado colombiano. Se utiliza el mercado de operaciones de intercambio a plazo peso-dólar sin entrega (i.e. COP/USD *FX-non-delivery forwards*) colombiano por dos razones. Primero, porque en ese mercado las instituciones financieras tienen la potestad de decidir si compensan y liquidan las operaciones a través de la CRCC o de manera bilateral⁵. Segundo, por su contribución al valor de operaciones compensadas y al total de la posición abierta de la CRCC, que para 2018 representaron el 13,5% y el 42,0%, respectivamente.

Para tal fin se construyen las redes de transacciones mensuales entre instituciones financieras en dicho mercado durante el periodo comprendido entre octubre de 2011 y diciembre de 2018. Dichas redes se discriminan según el acuerdo de las instituciones financieras respecto de compensar y liquidar las operaciones a través de la CRCC o de manera bilateral.

De acuerdo con lo esperado, las redes de transacciones en las cuales se acordó compensar y liquidar las operaciones a través de la CRCC muestran una mayor conectividad. Estas redes de transacciones se caracterizan por ser más densas y con una mayor proporción de relaciones recíprocas y transitivas, y con una menor distancia entre las instituciones financieras. Una vez se interpone la CRCC, la densidad disminuye y la distancia aumenta.

Desde una perspectiva de optimización de la estructura de una red (ver Ferrer i Cancho & Solé, 2003, Newman, 2010, León & Sarmiento, 2016), la interposición de la CRCC consigue mitigar el riesgo de liquidez y de contraparte. Primero, consigue mitigar el riesgo de liquidez en el mercado al facilitar el acceso a contrapartes en la etapa de negociación, lo cual se evidencia en una red más interconectada y con una menor distancia entre sus participantes. Segundo, consigue mitigar el riesgo de contraparte en la etapa de compensación y liquidación gracias a que la exposición a dicho riesgo se concentra en la CRCC luego de la novación, lo cual se refleja en una menor conectividad y mayor distancia en la red de exposiciones. Esto coincide con Ripatti (2004), quien señala que la mayor

⁴ Se entiende por *riesgo de liquidez* aquel relacionado con la dificultad de encontrar contrapartes dispuestas a realizar operaciones en el mercado; es decir, con la dificultad de un participante para encontrar una contraparte con la cual transformar su posición en otra.

⁵ Otro producto en el cual los participantes pueden decidir si compensar y liquidar a través de la CRCC es aquel que corresponde a los contratos de intercambio de tasa de interés (*OIS IBR*). Para este mercado no se cuenta con la información necesaria para realizar este ejercicio.

facilidad para administrar el riesgo de contraparte a través de una ECC trae consigo un aumento en el número de oportunidades de transacción en el mercado.

Este artículo contribuye a la literatura de tres maneras. Primero, los resultados son relevantes puesto que permiten visualizar y cuantificar el efecto que tiene la CRCC en el mercado. De este modo, se convalida la importante labor que realizan las ECC para mitigar el riesgo de liquidez y de contraparte en los mercados financieros. Segundo, los resultados dejan entrever que existe la posibilidad de utilizar algunas medidas de análisis de redes para propósitos de monitoreo de los mercados financieros; en este caso, medidas de conectividad y distancia de la red permiten monitorear el riesgo de liquidez y de contraparte. Tercero, la aproximación metodológica y analítica utilizada no ha sido documentada en la literatura relacionada⁶, y es lo suficientemente general como para ser un punto de partida para ejercicios similares en otras jurisdicciones y mercados.

2 Las entidades de contrapartida central (ECC)

Como se mencionó, las ECC han figurado en los esfuerzos de las autoridades financieras por mitigar el riesgo de contraparte y brindar mayor transparencia a las exposiciones bilaterales entre instituciones financieras. En esta sección se describe cómo las ECC pueden ayudar a las autoridades a alcanzar estos objetivos, así como las principales características de la CRCC, que es la única ECC en Colombia.

2.1 El funcionamiento de las ECC

El riesgo de contraparte es aquel asociado con el incumplimiento de las obligaciones a cargo de uno de los participantes. Con el fin de mitigar este riesgo, las partes pueden adoptar diferentes tipos de prácticas, dependiendo de la forma como ellas decidan negociar, compensar y liquidar sus obligaciones.

Los participantes de los mercados OTC pueden identificarse mutuamente, lo cual les permite evaluar y mitigar el riesgo de incumplimiento de su contraparte desde el momento de la negociación. En este caso es usual asignar un cupo o límite de riesgo de contraparte, el cual depende de la evaluación de riesgo de cada participante. Según este cupo, deciden si realizar una transacción con

⁶ Existen aproximaciones teóricas al efecto de las entidades de contrapartida central en las relaciones entre participantes, pero no sustentadas en datos observados. Por ejemplo, Yellen (2013) compara visualizaciones de la red bilateral (observada) de un contrato de derivados con la red centralizada (hipotética) que podría resultar de esa; no son datos observados, y no se cuantifican de los efectos. Otros estudios teóricos relacionados son Galbiati y Soramäki (2013) y Garratt y Zimmerman (2015).

una contraparte (o no) y el valor máximo de la misma. En el caso de los mercados centralizados, la negociación se realiza de manera anónima o “ciega”, impidiendo que las partes puedan evaluar el riesgo de contraparte *ex ante*; no obstante, en algunos mercados centralizados se utilizan cupos, lo cual permite administrar las exposiciones al riesgo de contraparte⁷.

De acuerdo con Manning et al. (2009), las ECC surgieron con el fin de apoyar las transacciones de los mercados centralizados de negociación de derivados por medio de servicios de compensación y liquidación multilateral. Este tipo de infraestructuras se caracteriza por implementar el mecanismo conocido como novación, por el cual la ECC elimina los vínculos creados en la transacción original y se convierte en el comprador de todo vendedor y el vendedor de todo comprador (Diagrama 1). De este modo, al asumir el riesgo de contraparte en ambas direcciones, la interposición de la ECC permite a los participantes conocer de antemano el riesgo de contraparte.

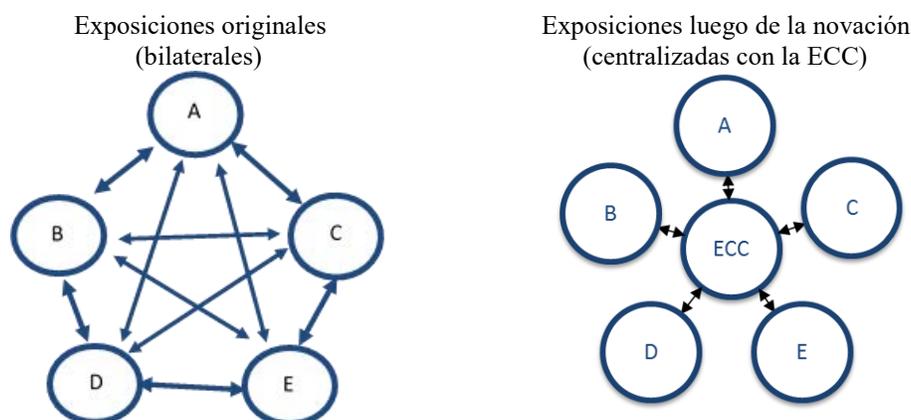


Diagrama 1. Interposición de una ECC. Fuente: Elaboración de los autores.

Con la interposición, la ECC se convierte en la contraparte de todos los participantes. La centralización del riesgo de contraparte en las ECC las convierte en puntos críticos dentro del sistema financiero, y se pueden constituir en una fuente de riesgo de punto único de fallo (*single point-of-failure risk*). Esto es particularmente importante cuando la ECC es el proveedor único o dominante de servicios de compensación y liquidación en un mercado (ver Duffie, 2014), o cuando la ECC está

⁷ En Colombia, por ejemplo, en el Sistema Electrónico de Negociación (SEN) del Banco de la República se realizan operaciones con títulos de deuda pública en un sistema centralizado que es anónimo y que no permite la utilización de límites de contraparte. Por el contrario, en el Mercado Electrónico Colombiano (MEC) de la Bolsa de Valores de Colombia se negocia deuda pública en un sistema centralizado que es anónimo, pero donde se utilizan límites de contraparte. El análisis comparativo de las redes de ambos sistemas se presenta en León et al. (2016).

altamente interconectada con otras ECC de diferentes jurisdicciones (ver Wendt, 2015). De ahí la relevancia de una correcta administración del riesgo por parte de la ECC, la cual incluye el establecer herramientas de mitigación de riesgo, herramientas de recuperación y regímenes de resolución⁸, para así reducir la probabilidad de interrumpir los servicios ofrecidos (Nahai-Williamson, 2013, Elliot, 2013, Cont, 2015).

En cuanto a las herramientas de mitigación de riesgos de las ECC, estas cuentan con lo que se conoce como estructura de anillos de seguridad (Diagrama 2). Estos anillos permiten a la ECC absorber el impacto que pueden traer escenarios extremos en los mercados, así como incumplimientos de sus contrapartes. Existen varios principios detrás del diseño de la estructura de los anillos de seguridad. Primero, la utilización prioritaria de los recursos del miembro incumplido, la cual será la primera línea de defensa ante las pérdidas ocasionadas por un evento de incumplimiento, de tal modo que “el incumplido paga”. Segundo, el compromiso explícito de la ECC en la correcta administración del riesgo a través de la exposición de su capital ante las pérdidas remanentes (*skin in the game*). Tercero, la mutualización de las pérdidas remanentes entre los miembros. Cuarto, la recuperación de los recursos financieros utilizados para hacer frente a las pérdidas. Quinto, la utilización del capital remanente de la ECC.

⁸ Los regímenes de resolución tienen como objetivo permitirle a la autoridad competente darle continuidad al servicio de la ECC, y otorgarle los poderes necesarios para hacer una liquidación ordenada de las posiciones, y así evitar riesgo de contagio y posibles amenazas a la estabilidad financiera.

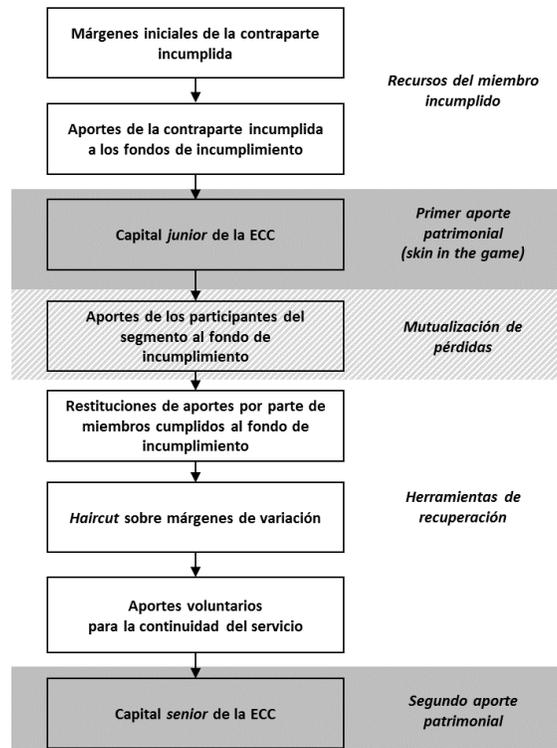


Diagrama 2. Estructura típica de los anillos de seguridad de las ECC. Fuente: Elaboración de los autores.

2.2 La Cámara de Riesgo Central de Contraparte de Colombia S.A. (CRCC)

La CRCC es la única ECC que opera en el mercado de valores colombiano. Ofrece servicios de compensación y liquidación de productos estandarizados y no estandarizados⁹, negociados en la Bolsa de Valores de Colombia (BVC) o en el mercado OTC. Estos productos se agrupan en cuatro segmentos: i) derivados financieros; ii) renta fija; iii) renta variable, y iv) contratos de intercambio (*swaps*) de tasa de interés.

Dentro del primer segmento se encuentran los derivados estandarizados de tasa de interés, de tasa de cambio (peso-dólar), de acciones y de productos básicos (*commodities*) energéticos, algunos contratos de intercambio de tasa de interés (*overnight index swaps-OIS*), así como los productos derivados no estandarizados para operaciones de intercambio a plazo peso-dólar (*COP/USD FX-non-delivery forwards*) –que son objeto de análisis en este artículo. En el segundo segmento se agrupan las operaciones de préstamos colateralizados (simultáneas) sobre títulos de deuda pública. En el

⁹ Los productos estandarizados son aquellos estructurados en las bolsas de valores. Se definen como contratos en los que sus características (e.g. activo subyacente, el tamaño del contrato, la fecha de vencimiento, método de liquidación) están predeterminadas. De otro lado, los productos no estandarizados son negociados en el mercado OTC, cuya principal característica es que se negocian en forma bilateral con contratos hechos a la medida.

tercero se agrupan las operaciones repo sobre las acciones que conforman el índice accionario COLCAP de la BVC. Y en el último se agrupan los contratos de intercambio de tasa de interés (*interest rate swaps-IRS*) y los contratos de intercambio de tasa de interés de un día (*overnight index swaps-OIS*).

El modelo de gestión de riesgo que utiliza la CRCC se asemeja a aquellos utilizados comúnmente por ECC de otras jurisdicciones. En términos generales, su modelo de riesgos contempla una serie de anillos de seguridad que incluyen exigencias de garantías a nivel individual por miembro liquidador (márgenes iniciales y de variación), fondos de garantías colectivas solidarios ante pérdidas originadas por el incumplimiento de alguno(s) de sus miembros, aportes de recursos propios de la CRCC, y mecanismos de recuperación ante eventos extremos en donde se consuman los recursos financieros pre-fondeados. En el Diagrama 3 se observa el orden de utilización de los anillos de seguridad de la CRCC.

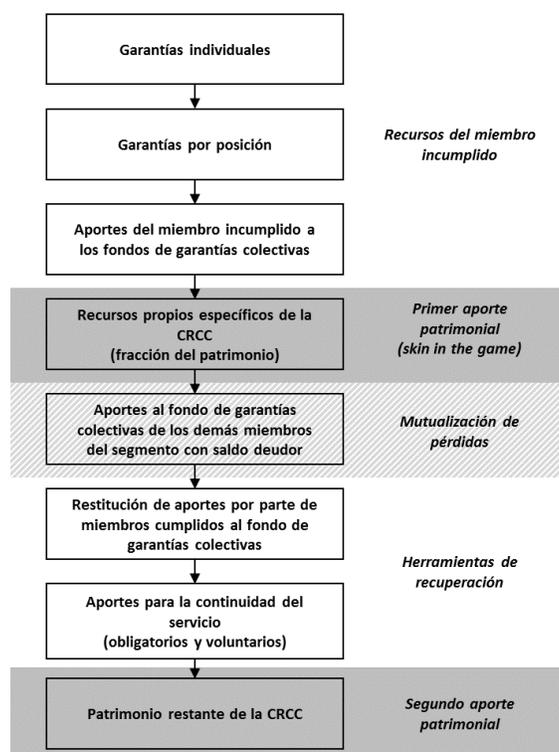


Diagrama 3. Estructura de los anillos de seguridad de la CRCC. Fuente: Elaboración de los autores.

Las operaciones compensadas y liquidadas por la CRCC durante el año 2018 ascendieron a COP 4.082,4 billones. En el segmento de renta fija se compensaron y liquidaron COP 3.158,0 billones (77,4%) y en el de renta variable COP 14,5 billones (0,4%). El valor compensado y liquidado en el

segmento de derivados financieros fue de COP 909,8 billones (22,3%). Del segmento de derivados financieros, las operaciones de intercambio a plazo peso-dólar ascendieron a COP 553,7 billones (59,8% del total de ese segmento), que corresponden al 13,5% del total de las operaciones compensadas y liquidadas por la CRCC.

Con relación a la posición abierta bruta¹⁰ (*open interest*) de la CRCC, al cierre del 2018 esta ascendió a COP 97,7 billones. La posición abierta bruta del segmento de renta fija y del segmento de renta variable ascendieron a COP 27,2 billones (27,8%) y COP 1,6 billones (1,6%), respectivamente. La posición abierta bruta del segmento de derivados financieros ascendió a COP 68,9 billones (70,5%). De ese segmento, las operaciones de intercambio a plazo peso-dólar ascendieron a COP 41,0 billones (59,5% del total de ese segmento), que corresponden al 42,0% del total de la posición abierta de la CRCC.

Durante el 2018, las operaciones de intercambio a plazo peso-dólar (objeto de análisis en este documento) tuvieron un volumen promedio diario de USD 397,2 millones. El 90,1% (USD 358,3 millones) fue compensado y liquidado por intermedio de la CRCC.

3 Datos y metodología

A continuación se describe la metodología empleada para construir las redes de exposiciones objeto de análisis. Posteriormente se presentan algunos elementos básicos de análisis de redes –que sirven de base metodológica al presente artículo.

3.1 La base de datos y la construcción de las redes

El Banco de la República (BR), dentro de sus funciones como banco central, es la autoridad cambiaria de Colombia. En desarrollo de tal función, el BR exige a los intermediarios del mercado cambiario reportar el detalle de todas las transacciones cambiarias efectuadas en posición propia o en nombre de terceros, incluidas aquellas que corresponden a operaciones de intercambio a plazo peso-dólar. Entre los datos que deben diligenciar los intermediarios del mercado cambiario se encuentra un marcador que permite identificar si la operación se pactó para ser compensada y liquidada por intermedio de la CRCC o para ser liquidada bilateralmente. Adicionalmente, el BR tiene acceso

¹⁰ Se tienen en cuenta las posiciones abiertas resultantes del proceso de interposición (novación) de la CRCC. Por lo tanto, se contemplan tanto la posición vendedora como la compradora que genera una operación.

directo a la base de datos de la CRCC, por medio de la cual se pueden extraer los datos correspondientes a las operaciones aceptadas por esta.

A partir de los datos del BR y la CRCC, para el periodo comprendido entre mayo de 2010 y diciembre de 2018, se construyen tres bases de datos entre instituciones financieras participantes en el mercado colombiano de operaciones de intercambio a plazo peso-dólar, ya sea en posición propia o de terceros. La primera base de datos corresponde a la suma de las transacciones entre participantes del mercado para compensación y liquidación bilateral –sin interposición de la CRCC; esta misma sirve como base de datos de las exposiciones entre participantes del mercado para compensación y liquidación bilateral¹¹. La segunda corresponde a la suma de las transacciones entre participantes del mercado para su posterior compensación y liquidación a través de la CRCC. La tercera base de datos corresponde a las exposiciones luego de la interposición de la CRCC¹². Construir esas tres bases de datos requirió elaborar e implementar el algoritmo que se describe en el Diagrama 4.

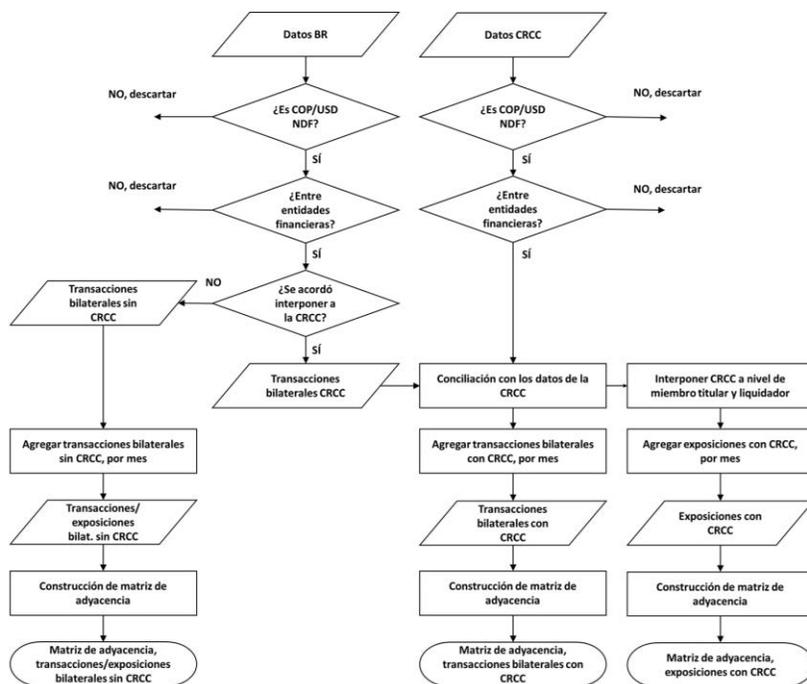


Diagrama 4. Algoritmo para construcción de las bases de datos a partir de información del BR y de la CRCC. Fuente: Elaboración de los autores.

¹¹ Esto supone que las obligaciones bilaterales se liquidan de manera bruta (i.e. sin calcular la exposición neta bilateral). Como se muestra más adelante, los resultados son robustos a utilizar las exposiciones brutas o netas.

¹² Estas exposiciones corresponden a la suma de las exposiciones al final de cada día del mes. No se consideran aquellas existentes al finalizar el mes anterior, ni se considera el plazo de las mismas. Pueden ser consideradas como una aproximación a la exposición típica del periodo.

Las bases de datos se construyeron en dólares, agregadas mensualmente; esto último obedece a que en algunos casos no existe un número considerable de transacciones en un periodo corto de tiempo (e.g. un día, una semana). Adicionalmente, se descartaron aquellos meses en los que en alguna de las redes el número de relaciones fuera inferior a diez; esto resulta en una serie de 87 meses, desde octubre de 2011 hasta diciembre de 2018. La evolución del valor de las operaciones en este periodo se presenta en el Gráfico 1, en el cual se aprecia el aumento en la contribución de aquellas que se compensan y liquidan a través de la CRCC. Respecto de la conciliación entre los datos del BR y la CRCC sobre transacciones bilaterales que serán compensadas y liquidadas por esa última, se determinó que esta coincide en un 96%.

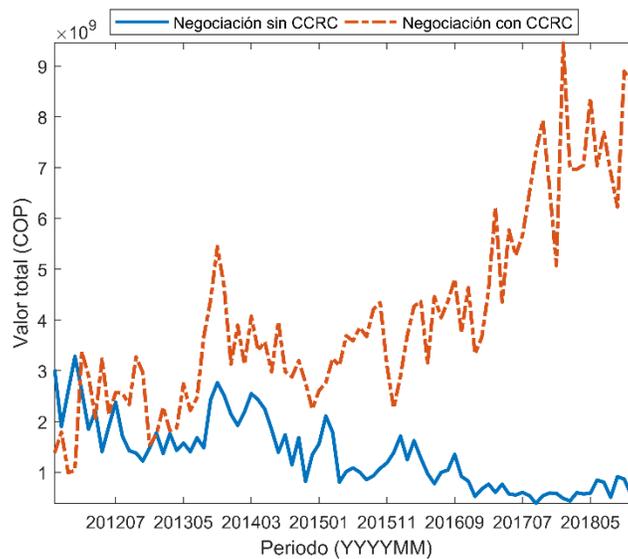


Gráfico 1. Valor total de operaciones. Fuente: Cálculos de los autores, con datos de la CRCC y BR.

Además de las tres bases de datos, el algoritmo arroja las tres matrices de adyacencia requeridas para realizar el análisis de las redes correspondientes (ver final del Diagrama 4). En este caso, una matriz de adyacencia es una forma de representar una red a través del tiempo. Si n representa el número de instituciones financieras y t el número de periodos (87), la matriz de adyacencia W es una hipermatriz asimétrica de dimensiones $n \times n \times t$, tal que el elemento W_{ijt} contiene el valor de la transacción que existe de i hacia j en el periodo t . Dado que hay tres bases de datos, habrá también tres matrices de adyacencia, con el mismo t pero diferente n .

El Gráfico 2 presenta el primer tipo de red, correspondiente a las transacciones entre instituciones financieras durante el mes de diciembre de 2018 para liquidación bilateral –sin la CRCC.

Cada institución financiera se representa por un nodo, al cual se le asigna un número por razones de confidencialidad; para facilitar la visualización, los nodos se organizan de forma circular. Las conexiones entre cada nodo representan las transacciones entre las instituciones financieras participantes, su grosor y color corresponden a la contribución porcentual al valor total de las transacciones del mes. Dado que para estas transacciones no habrá interposición por parte de la CRCC, esta red de transacciones también representa la red de exposiciones entre instituciones financieras –pero con sentido contrario en la dirección de las conexiones.

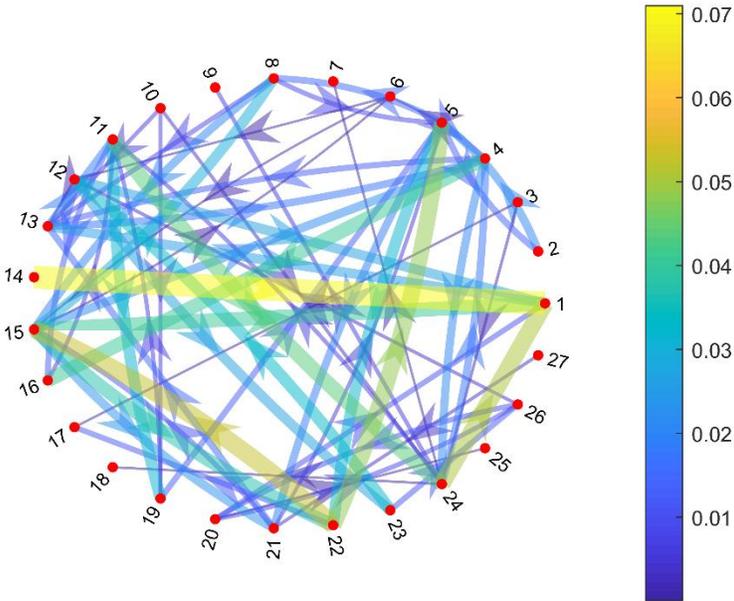


Gráfico 2. Red de transacciones entre instituciones financieras para liquidación bilateral –sin la CRCC–, para diciembre de 2018. Las conexiones entre cada nodo ilustran las transacciones o exposiciones entre las instituciones financieras participantes; su grosor y color corresponden a la contribución porcentual al valor total de las transacciones del mes (ver escala a la derecha). Solo se presentan los nodos con conexiones en ese periodo. Fuente: Elaboración de los autores, con datos de BR y CRCC.

Para el mismo periodo, el Gráfico 3 presenta el segundo tipo de red, correspondiente a las transacciones bilaterales entre instituciones financieras, para ser compensadas y liquidadas a través de la CRCC por acuerdo entre las partes. Al igual que en la red anterior, cada institución financiera se representa por un nodo, y las conexiones representan las transacciones entre las instituciones financieras participantes. A cada nodo se le asigna un número por razones de confidencialidad; el número asignado a una institución financiera en el Gráfico 3 no corresponde necesariamente con el número asignado en el Gráfico 2.

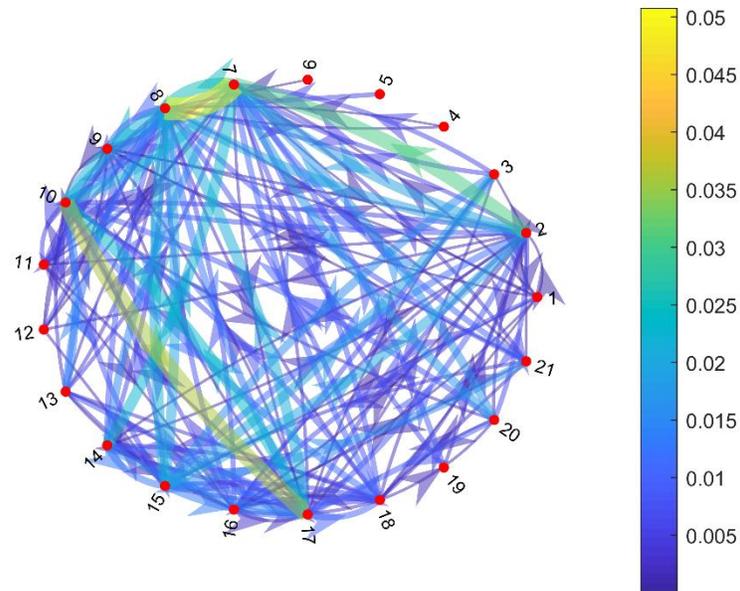


Gráfico 3. Red de transacciones entre instituciones financieras para compensación y liquidación a través de la CRCC, para diciembre de 2018. Las conexiones entre cada nodo ilustran las transacciones entre las instituciones financieras participantes; su grosor y color corresponden a la contribución porcentual al valor total de las transacciones del mes (ver escala a la derecha). Solo se presentan los nodos con conexiones en ese periodo. Fuente: elaboración de los autores, con datos de BR y CRCC.

La red del Gráfico 3 solo representa las transacciones entre instituciones financieras. Las exposiciones que resultan de la interposición de la CRCC se presentan en el Gráfico 4. Los nodos se organizan alrededor de la CRCC.

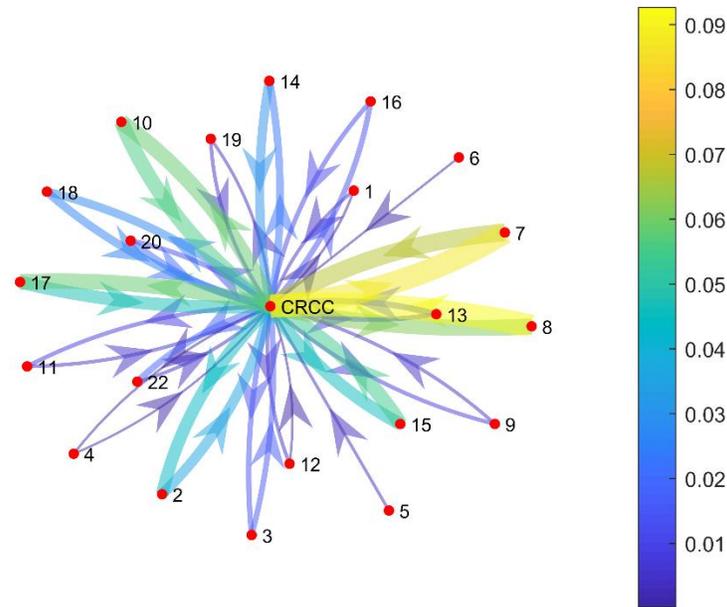


Gráfico 4. Red de exposiciones de instituciones financieras y la CRCC, para diciembre de 2018. Las conexiones entre cada nodo ilustran las exposiciones; su grosor y color corresponden a la contribución porcentual al valor total de las exposiciones del mes (ver escala a la derecha). Solo se presentan los nodos con conexiones en ese periodo. Fuente: elaboración de los autores, con datos de BR y CRCC.

De manera general, se aprecia que la red correspondiente a las transacciones que serán liquidadas bilateralmente (Gráfico 2) está menos interconectada que aquella correspondiente a transacciones que serán compensadas y liquidadas a través de la CRCC (Gráfico 3). Esto sugiere que las instituciones financieras que acuerdan compensar y liquidar sus transacciones a través de la CRCC están más dispuestas a realizar operaciones entre ellas, reduciendo así el riesgo de liquidez en el mercado. Como resultado, esto sugiere también que las instituciones financieras están más dispuestas a asumir riesgo de contraparte, pero esto es transitorio dado que la CRCC se interpondrá posteriormente (Gráfico 4)¹³. El análisis de redes permitirá cuantificar lo anterior.

3.2 Análisis de redes

El análisis de redes se ocupa de describir y explicar un sistema (Börner et al., 2007). El análisis de redes abarca una gran cantidad de conceptos y métricas, que permiten caracterizar un sistema por la forma en que se organizan las conexiones entre sus elementos, así como identificar elementos o grupos de elementos que son importantes para el sistema.

¹³ En el Anexo se presentan redes para otras fechas. La interpretación que se puede hacer basado en la inspección visual es la misma.

El objetivo de este artículo es comparar la estructura conectiva de dos sistemas: el que resulta de las transacciones entre instituciones financieras que acuerdan la compensación y liquidación a través de la CRCC con aquel que resulta de acordar la compensación y liquidación bilateral. Por lo tanto, la utilización del análisis de redes se circunscribe a caracterizar ambos sistemas para lograr describir los principales efectos que tiene la interposición de la CRCC en la forma en que se relacionan las instituciones financieras. En particular, desde una perspectiva de optimización de la estructura de una red (ver Ferrer i Cancho & Solé, 2003, Newman, 2010, León & Sarmiento, 2016), se busca estudiar cómo se diferencian ambos sistemas en cuanto al riesgo de contraparte y de liquidez que enfrentan las instituciones financieras¹⁴.

3.2.1 Conceptos básicos (densidad, distancia, reciprocidad, agrupamiento)

Algunas medidas permiten caracterizar el patrón conectivo de la red en su conjunto. Para el caso en cuestión se utilizarán cuatro medidas: densidad, distancia geodésica media, reciprocidad y agrupamiento.

La medida más sencilla para caracterizar el patrón conectivo de la red es la *densidad* (d), que mide el nivel de cohesión de la red –qué tan interconectados están los nodos en la red. La densidad de una red se calcula como el cociente entre el número de conexiones existente en la red (m) y el número de conexiones posibles para una red de ese mismo tamaño¹⁵. 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 $d = 1$ se conocen como redes completas (i.e. el número de conexiones observadas es igual al número de conexiones posibles).

La *distancia geodésica media* (ℓ) refleja la estructura de la red. No solo depende del número de conexiones, sino de cómo se encuentran organizadas esas conexiones entre los participantes de la red. Se calcula como el promedio de la distancia más corta entre todas las parejas de nodos en una red (Newman, 2010)¹⁶. Generalmente, la distancia geodésica media (ℓ) de las redes es reducida, y se incrementa lentamente con el número de participantes de la red, $\ell \sim \ln n$ (Newman, Barabási & Watts,

¹⁴ Es decir, este artículo no se ocupa de identificar el tipo de estructura conectiva de las redes (e.g. libre de escala, homogénea), ni de identificar participantes centrales en la red de transacciones del mercado de intercambio a plazo peso-dólar, ni de entender cuál es el proceso que podría generar la estructura conectiva de cada sistema.

¹⁵ En el caso de redes dirigidas (i.e. donde la dirección de las conexiones es relevante), bajo el supuesto de no conexiones de un elemento consigo mismo, la densidad se calcula como $d = m/(n^2 - n)$.

¹⁶ El cálculo de la distancia más corta entre una pareja de nodos en una red no tiene forma cerrada (ver Newman, 2010). No se consideran las parejas de nodos que no pueden conectarse.

2006) y, en algunos casos, más lentamente, $\ell \sim \ln \ln n$ (Cohen & Havlin, 2003). 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 ($\ell \sim 1$).

El *coeficiente de reciprocidad* (p) mide la probabilidad de que una conexión de i a j esté acompañada por la conexión recíproca, es decir de j a i . En otras palabras, corresponde a la probabilidad de encontrar diadas en la red. Altos niveles de reciprocidad pueden sugerir que existe simetría en las relaciones entre los participantes y que no existe mayor especialización en dichas relaciones.

El *coeficiente de agrupamiento* (*clustering coefficient*) refleja la transitividad en la red. Mide la probabilidad de que dos participantes j y k que se conectan con i estén a su vez conectados entre sí; es decir, corresponde a la probabilidad de encontrar triadas en la red.

En el caso de las redes financieras, se han documentado distancias geodésicas reducidas, aproximadamente de dos conexiones ($\ell \sim 2$). Ese es el caso de las redes financieras analizadas para Austria, Colombia, Estados Unidos, México, Reino Unido y Países Bajos (Boss et al., 2004, Soramäki et al., 2007, Cepeda, 2008, Becher et al., 2008, Pröpper et al., 2008, Bech & Atalay, 2010, Martínez-Jaramillo et al., 2014, León & Berndsen, 2014, León et al., 2016, León & Sarmiento, 2016). 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.

Respecto a la densidad, las redes financieras tienden a ser dispersas, con bajos niveles de densidad (Soramäki et al., 2007, Cepeda, 2008, Becher et al., 2008, Pröpper et al., 2008, Bech & Atalay, 2010, Craig & von Peter, 2014, León & Berndsen, 2014, León et al., 2016, León & Sarmiento, 2016). Esto se explica por los incentivos que existen a mantener un número reducido de contrapartes, entre los que se destaca el riesgo de contraparte (ver Battiston et al., 2012, Castiglionesi & Wagner, 2013, Castiglionesi & Eboli 2018).

En cuanto a la reciprocidad, existe evidencia que señala que la probabilidad de encontrar diadas en las redes financieras se aleja de cero (Soramäki et al., 2007, Cepeda, 2008, Bech & Atalay, 2010, Pröpper et al., 2008). Así mismo, el coeficiente de agrupamiento de las redes financieras, por lo general, se aleja de cero (Boss et al., 2004, Cepeda, 2008, Becher et al., 2008, Pröpper et al., 2008,

Bech & Atalay, 2010, Martínez-Jaramillo et al., 2014, León & Berndsen, 2014, León et al., 2016), lo cual refleja que existe algún grado de transitividad en las conexiones.

3.2.2 La estructura de la red y el riesgo de contraparte y de liquidez

Ferrer i Cancho y Solé (2003) presentan un modelo según el cual la estructura de las redes es el resultado de un proceso de optimización en el cual la densidad de la red (d) y la distancia geodésica media (ℓ) son objetivos en conflicto. Por un lado, los participantes de un sistema buscan minimizar los costos relacionados con la existencia de conexiones, lo cual resulta en el objetivo conjunto de minimizar la densidad de la red. Por otro, los participantes buscan minimizar las trabas para acceder a la red, lo cual resulta en el objetivo conjunto de minimizar la distancia geodésica media de la red.

Desde esta perspectiva, existen dos casos extremos de estructura de red (Diagrama 5). El primero consiste en una red completa (panel izquierdo, Diagrama 5), en la que todos los participantes se interconectan entre sí –red completamente descentralizada. El costo por la existencia de conexiones es el máximo y las trabas para que los participantes accedan a la red son mínimas ($d = 1, \ell = 1$). El segundo consiste en una red de tipo estrella (panel derecho, Diagrama 5). En esta todos los participantes mantienen una sola conexión, excepto aquel ($v1$) que sirve de intermediario a todos los demás. El costo por existencia de conexiones es el mínimo y el acceso –y la existencia- de la red depende de un nodo central ($d \sim 0, \ell \sim 2$).

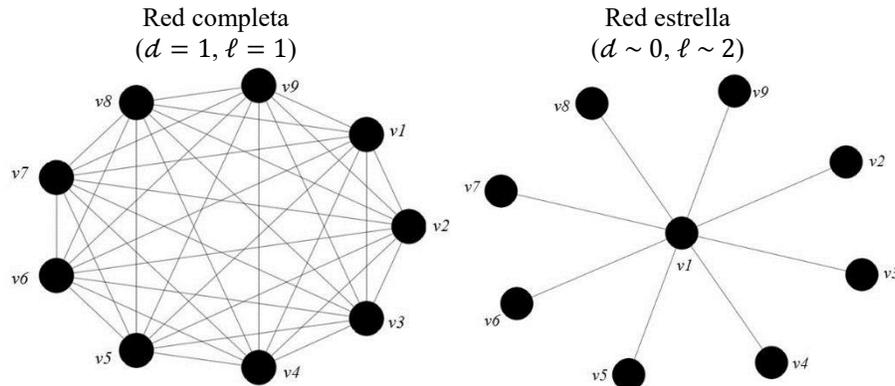


Diagrama 5. Casos extremos de estructura de la red (red completa y red estrella).
Fuente: León y Sarmiento (2016).

Desde una perspectiva financiera, una red completa, en la cual todas las instituciones financieras mantienen exposiciones entre sí, maximiza la disponibilidad de contrapartes para realizar operaciones. Por eso, como lo señalan Castiglionesi y Eboli (2018), de no existir costos relacionados

con mantener exposiciones entre instituciones financieras, la red completa es la más eficiente. En ese sentido, siguiendo a Castiglionesi y Wagner (2013), la red completa minimiza el riesgo de liquidez.

Sin embargo, las exposiciones entre instituciones financieras traen costos. Algunos de estos tienen que ver con costos de transacción, monitoreo y requerimientos de capital relacionados con la exposición al riesgo. Estos costos hacen que una red completa sea ineficiente (Castiglionesi & Eboli, 2018). Es por eso que las redes financieras tienden hacia una estructura conectiva de baja densidad (Castiglionesi & Wagner, 2013, Castiglionesi & Eboli 2018), donde las instituciones financieras prefieren mantener un número limitado de contrapartes (Battiston et al., 2012), y donde esas contrapartes surgen de interacciones repetidas a través del tiempo (Cocco et al., 2009, Afonso et al., 2013)¹⁷.

En contraposición a la red completa, la red de tipo estrella minimiza los costos relacionados con el mantener exposiciones entre instituciones financieras. En ese sentido, ya que las redes tipo estrella son la estructura más eficiente dado un número de conexiones (de Nooy et al., 2005), estas maximizan el bienestar del sistema financiero en la medida que permiten que la red opere con el menor costo posible (Babus, 2012); es decir, permiten que todas las instituciones financieras accedan a la red sin que exista un exceso de exposiciones al riesgo de contraparte (Castiglionesi & Eboli, 2018). Es precisamente este el argumento que respalda la existencia de las ECC.

Con base en lo anterior, desde una perspectiva de optimización del balance entre riesgo de contraparte y riesgo de liquidez entre instituciones financieras (Castiglionesi & Wagner, 2013, León & Sarmiento, 2016, Castiglionesi & Eboli, 2018), se analizará cómo la interposición de la CRCC afecta la conectividad y la distancia geodésica media de las redes de transacciones y exposiciones de las operaciones de intercambio a plazo peso-dólar sin entrega.

4 Principales resultados

La inspección de los gráficos 2, 3 y 4 (y Gráfico 9, en el Anexo) sugiere que las instituciones financieras que acuerdan compensar y liquidar sus transacciones a través de la CRCC están más dispuestas a realizar operaciones entre ellas (i.e. mayor conectividad), reduciendo así el riesgo de liquidez en el mercado. Así mismo, dicha inspección sugiere que las instituciones financieras están

¹⁷ Existen otras razones para que las redes financieras sean poco densas, como la heterogeneidad entre las instituciones financieras (Afonso et al., 2013, Craig & von Peter, 2014), así como la naturaleza finita de la liquidez y el capital, que obliga a las instituciones financieras a debilitar o eliminar exposiciones en la medida que contraiga otras (León & Berndsen, 2014).

más dispuestas a asumir riesgo de contraparte –aunque esto es transitorio dado que la CRCC se interpone posteriormente.

El Cuadro 1 presenta las medidas de análisis de redes seleccionadas para este caso. Como se mencionó, las dos métricas clave para analizar el efecto en el riesgo de liquidez y de contraparte son la distancia geodésica media y la densidad de la red, respectivamente. Además se reportan los coeficientes de reciprocidad y agrupamiento de las redes, que también miden la conectividad de la red. Se presentan los resultados para las tres redes (i.e. negociación sin CRCC, negociación con CRCC y exposición con CRCC), calculados sobre los 87 meses disponibles en la muestra. Adicionalmente, con el fin de comparar los resultados con un periodo en el que la compensación y liquidación a través de la CRCC no era posible, se presentan los resultados promedio calculados para los meses de febrero a abril de 2010 (en la última columna, en cursiva); estos son los tres meses que anteceden a la entrada de la CRCC como ECC para el mercado de operaciones de intercambio a plazo peso-dólar sin entrega.

Estadísticas de la red		Negociación sin CCRC ^{a,b}	Negociación con CCRC ^{a,c}	Exposición con CCRC ^{a,d}	<i>Negociación Pre-CCRC^e</i>
Dist. geodésica media	Media	2,53	1,65†	1,87†	<i>2,30</i>
	Desv. Est.	0,36	0,12	0,04	<i>0,14</i>
Densidad (× 100)	Media	8,41	39,84†	11,92	<i>10,67</i>
	Desv. Est.	1,31	8,16	3,59	<i>1,05</i>
Reciprocidad (× 100)	Media	52,78	81,20†	95,45†	<i>62,25</i>
	Desv. Est.	8,96	6,29	3,66	<i>2,94</i>
Agrupamiento (× 100)	Media	9,70	30,33†	0,000†	<i>22,38</i>
	Desv. Est.	7,17	8,05	0,000	<i>4,15</i>

Cuadro 1. Estadísticas de las redes. ^a Calculadas como el promedio sobre los (87) periodos disponibles en la muestra. ^b Corresponde a la red de negociaciones bilaterales que no tenían acordado ser compensadas y liquidadas a través de la CRCC. ^c Corresponde a la red de negociaciones bilaterales que tenían acordado ser compensadas y liquidadas a través de la CRCC. ^d Corresponde a la red de exposiciones que resulta de la interposición de la CRCC cuando se acordó que las operaciones sean compensadas y liquidadas a través de la CRCC. ^e Corresponde al promedio de las tres redes de negociaciones bilaterales en el periodo febrero a abril de 2010 (i.e. los tres meses que anteceden a la entrada de la CRCC como ECC para el mercado de operaciones de intercambio a plazo peso-dólar sin entrega). † Se rechaza la hipótesis nula de igualdad de distribución con respecto a las transacciones en las que no se acordó la compensación y liquidación a través de la CRCC, con base en la prueba Kolmogorov-Smirnov (al 95%); esta prueba no está disponible para los cálculos realizados en el periodo febrero a abril de 2010. Cálculos de los autores, con datos de la CRCC y BR.

En cuanto a la distancia geodésica media, el Cuadro 1 muestra que la red de transacciones que se realizaron para liquidación bilateral tiene una distancia promedio 1,5 veces mayor que aquella en

que se acordó la compensación y liquidación a través de la CRCC. Así mismo, la distancia promedio de las redes de transacciones cuando la compensación y liquidación a través de la CRCC no era posible es 1,4 veces mayor. En comparación con la red que resulta de la interposición de la CRCC, la red de transacciones para compensación y liquidación a través de la CRCC muestra una distancia geodésica menor. Las series de tiempo (Gráfico 5) y una prueba de igualdad de distribuciones (Kolmogorov-Smirnov, al 95%) sugieren que la distancia geodésica media de las redes de transacciones para compensación y liquidación a través de la CRCC y de las redes que resultan de la interposición de la CRCC son significativamente menores que aquella de la red de transacciones para liquidación bilateral. Lo anterior es consistente con el objetivo de la CRCC respecto del riesgo de liquidez: en la etapa de negociación facilita a los participantes encontrar contrapartes dispuestas (i.e. a corta distancia) a entrar en una transacción.

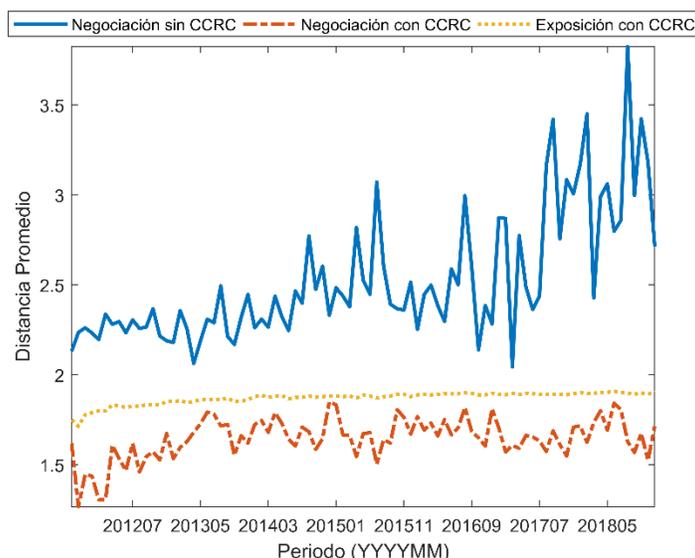


Gráfico 5. Distancia promedio. Fuente: Cálculos de los autores, con datos de la CRCC y BR.

Consistente con la menor distancia geodésica media, la red de negociaciones con acuerdo de compensación y liquidación a través de la CRCC tiene la densidad más alta (Gráfico 6); en promedio, esa red tiene una densidad 4,7 veces mayor que aquella que no tiene ese acuerdo, y 3,7 veces mayor que aquella cuando la compensación y liquidación a través de la CRCC no era posible (ver Cuadro 1). Esto es lo esperado. Disponer de una mayor cantidad de contrapartes (i.e. reducir el riesgo de liquidez) implica asumir un mayor riesgo de contraparte. Sin embargo, ese mayor riesgo de contraparte en la etapa de negociación es mitigado al interponerse la CRCC en la red de exposiciones.

Esto se refleja en la semejanza de la densidad de las redes de negociación sin CRCC y de exposición con CRCC, que resulta en que no se rechace la hipótesis nula de igualdad entre ambas distribuciones. En conjunto, las diferencias en densidad de las tres redes son congruentes con el principal objetivo de la CRCC, el cual es mitigar el riesgo de contraparte una vez los participantes han adquirido obligaciones en el mercado.

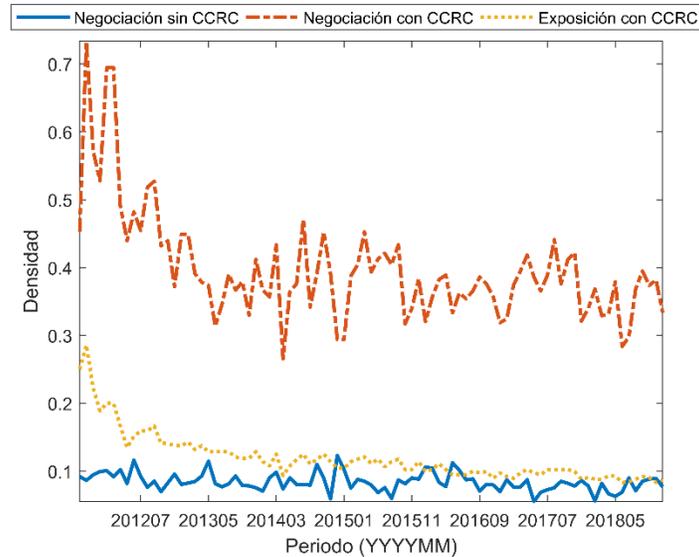


Gráfico 6. Densidad. Fuente: Cálculos de los autores, con datos de la CRCC y BR.

Entonces, es evidente que acordar la interposición de la CRCC tiene como resultado una mayor densidad y una menor distancia en la etapa de negociación. Esto es consistente con Ripatti (2004), quien señala que las ECC estimulan las transacciones y aumentan la liquidez del mercado. Desde el punto de vista de optimización de redes financieras, la interposición de la CRCC consigue reducir el riesgo de liquidez en la etapa de negociación a cambio de un mayor riesgo de contraparte, pero dicho mayor riesgo de contraparte es mitigado una vez la CRCC se convierte en el comprador de todo vendedor y el vendedor de todo comprador.

En cuanto al coeficiente de reciprocidad y agrupamiento (gráficos 7 y 8), los resultados también coinciden con lo esperado y son significativos. Cuando existe el acuerdo de compensar y liquidar a través de la CRCC, los participantes están dispuestos a negociar con más contrapartes, incluyendo con aquellas con las que ya tienen posiciones contrarias (i.e. aumentando la reciprocidad), así como con las contrapartes de sus contrapartes (i.e. aumentando el agrupamiento). Esto es congruente con el aumento de la densidad y con la disminución en la distancia geodésica promedio.

Sin embargo, existen diferencias en cómo cambia la reciprocidad y la transitividad al interponerse la CRCC. En el primer caso, dado que la CRCC se convierte en el comprador de todo vendedor y el vendedor de todo comprador, la reciprocidad aumenta notablemente (ver Cuadro 1 y Gráfico 7). Esto es lo esperado porque corresponde con la CRCC haciéndose cargo de todas las exposiciones del mercado.

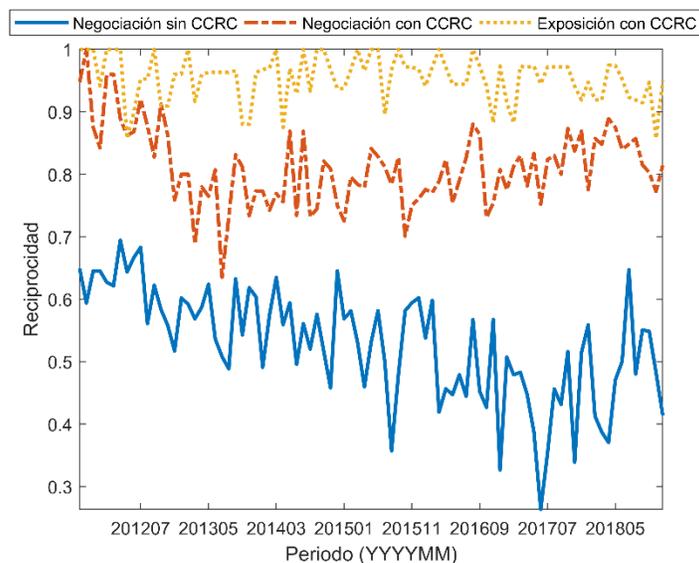


Gráfico 7. Reciprocidad. Fuente: Cálculos de los autores, con datos de la CRCC y BR.

En el caso de la transitividad, la CRCC elimina las exposiciones entre instituciones financieras participantes. Por esta razón, los grupos o triadas desaparecen. Es por eso que al interponerse la CRCC el coeficiente de agrupamiento es cero (ver Cuadro 1 y Gráfico 8).

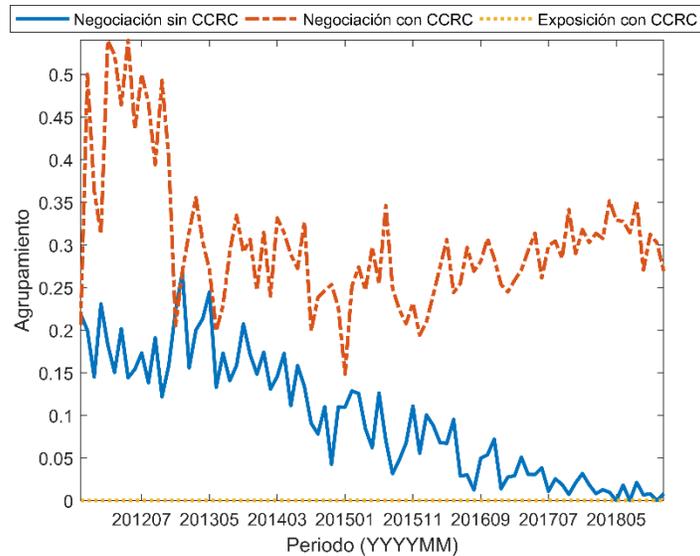


Gráfico 8. Agrupamiento. Fuente: Cálculos de los autores, con datos de la CRCC y BR.

Los resultados del Cuadro 1 y los gráficos de esta sección se calcularon con base en las redes resultantes del algoritmo del Diagrama 4. Este algoritmo utiliza un supuesto que tiene que ver con que en las matrices de adyacencia y en las redes se preservan las posiciones de compra y venta entre cada pareja de participantes; es decir, no se calcula el neto entre las parejas de nodos. Dado que las exposiciones corresponden a operaciones de intercambio a plazo peso-dólar sin entrega (i.e. *COP/USD FX-non-delivery forwards*), es conveniente estudiar si utilizar matrices de adyacencia y redes netas afecta el análisis. En el Cuadro 2 se presentan los resultados con base en redes netas. Los resultados en cuanto a distancia geodésica media, densidad y agrupamiento son robustos a este cambio. Como es de esperar, la reciprocidad se pierde al calcular las relaciones netas entre nodos.

Estadísticas de la red ^a		Negociación sin CCRC ^{a,b}	Negociación con CCRC ^{a,c}	Exposición con CCRC ^{a,d}	<i>Negociación Pre-CCRC^e</i>
Distancia geodésica media	Media	2,52	2,09†	1,78†	2,77
	Desv. Est.	0,36	0,29	0,05	0,21
Densidad (× 100)	Media	11,85	45,09†	12,59	12,64
	Desv. Est.	1,71	7,88	3,68	1,05
Reciprocidad (× 100)	Media	0,00	0,00	0,00	0,00
	Desv. Est.	0,00	0,00	0,00	0,00
Agrupamiento (× 100)	Media	2,72	5,43†	0,00†	5,19
	Desv. Est.	2,57	3,73	0,00	2,21

Cuadro 2. Estadísticas de las redes netas. ^a Calculadas como el promedio sobre los (87) periodos disponibles en la muestra. ^b Corresponde a la red de negociaciones bilaterales que no tenían acordado ser compensadas y liquidadas a través de la CRCC. ^c Corresponde a la red de negociaciones bilaterales que tenían acordado ser compensadas y liquidadas a través de la CRCC. ^d Corresponde a la red de exposiciones que resulta de la interposición de la CRCC cuando se acordó que las operaciones sean compensadas y liquidadas a través de la CRCC. ^e Corresponde al promedio de las tres redes de negociaciones bilaterales en el periodo febrero a abril de 2010 (i.e. los tres meses que anteceden a la entrada de la CRCC como ECC para el mercado de operaciones de intercambio a plazo peso-dólar sin entrega). † Se rechaza la hipótesis nula de igualdad de distribución con respecto a las transacciones en las que no se acordó la compensación y liquidación a través de la CRCC, con base en la prueba Kolmogorov-Smirnov (al 95%); esta prueba no está disponible para los cálculos realizados en el periodo febrero a abril de 2010. Cálculos de los autores, con datos de la CRCC y BR.

5 Comentarios finales

De acuerdo con los objetivos de las ECC, la interposición de la CRCC en el mercado colombiano de operaciones de intercambio a plazo peso-dólar (i.e. COP/USD *FX-non-delivery forwards*) resulta en redes de transacciones y exposiciones que difieren visual y cuantitativamente. Las redes de negociaciones en las cuales se acordó compensar y liquidar las operaciones a través de la CRCC muestran una mayor conectividad, la cual se representa por una mayor densidad, reciprocidad y transitividad de las relaciones entre las instituciones financieras participantes. Esta mayor conectividad es acompañada por una menor distancia entre las instituciones financieras. Una vez se interpone la CRCC, la conectividad disminuye y la distancia aumenta. Con base en una prueba de igualdad de la distribución de las estadísticas de las redes (i.e. Kolmogorov-Smirnov), se puede concluir que dichas diferencias en las estructuras de las redes son significativas.

Las diferencias en la estructura de las redes de transacciones coinciden con aquello esperado según la literatura respecto de la liquidez del mercado. Por ejemplo, coinciden con Ripatti (2004), quien señala que las ECC ejercen una influencia manifiesta en el funcionamiento de los mercados financieros, los cuales cuentan con un estímulo a realizar transacciones. Igualmente, coinciden con Bliss y Steigerwald (2006), quienes sugieren que la labor de las ECC incrementa la liquidez del

mercado. Por su parte, las diferencias con la red de exposiciones coinciden con lo esperado respecto de la disminución del riesgo de contraparte.

Desde una perspectiva de optimización de la estructura de una red (ver Ferrer i Cancho & Solé, 2003, Newman, 2010, León & Sarmiento, 2016), la mayor conectividad y menor distancia en la red en la etapa transaccional sugieren que la interposición de la CRCC consigue mitigar el riesgo de liquidez. La reducción en la conectividad y el aumento en la distancia luego de la interposición de la CRCC sugieren que ésta consigue mitigar el riesgo de contraparte. En principio, la mitigación de ambos riesgos supone ventajas para el mercado en su conjunto.

Los resultados son relevantes para el estudio de los mercados financieros, así como de la labor e importancia de las infraestructuras financieras en la mitigación de riesgos. Los resultados brindan herramientas para entender, analizar y corroborar la labor de las ECC en los mercados financieros, y de la CRCC en el mercado colombiano de operaciones de intercambio a plazo peso-dólar sin entrega. Adicionalmente, los resultados brindan soporte empírico a los diferentes modelos teóricos desarrollados para estudiar el efecto de las ECC en los mercados financieros.

A partir de los resultados es posible entrever algunas extensiones y aplicaciones. Dado que este estudio se circunscribe a un solo producto y a las instituciones financieras, es aconsejable visualizar y cuantificar los efectos cuando se integran los diferentes productos disponibles en el mercado y los participantes diferentes a instituciones financieras. Así mismo, es pertinente estudiar el caso de otras ECC para contrastar los resultados aquí obtenidos, en especial porque en algunas jurisdicciones existe más de una ECC para un mismo mercado; dicho contraste servirá para validar si la mitigación del riesgo de liquidez y de contraparte puede ser considerada un hecho estilizado de la interposición de las ECC. Finalmente, los resultados sugieren que realizar seguimiento a la conectividad y distancia de las redes los mercados financieros puede ser útil como herramienta de monitoreo del sistema financiero.

6 Referencias

- Afonso, G., Kovner, A., & Schoar, A. (2013). Trading Partners in the Interbank Lending market. *Federal Reserve Bank of New York Staff Reports*, 620, Federal Reserve Bank of New York.
- Babus, A. (2012). Endogenous Intermediation in Over-the-Counter markets. *Working Paper Series*, January.
- Bank for International Settlements - BIS & International Organization of Securities Commissions - IOSCO (2012). Principles for Financial Market Infrastructures, April.
- Battiston, S., Delli, D., Gallegati, M., Greenwald, B., & Stiglitz, J.E. (2012). Liaisons Dangereuses: Increasing Connectivity, Risk Sharing, and Systemic Risk. *Journal of Economic Dynamics & Control*, 36, 1121-1141.
- Bech, M. & Atalay, E. (2010). The Topology of the Federal Funds Market. *Physica A*, 389, 5223-5246.
- Becher, C., Millard, S., & Soramäki, K. (2008). The Network Topology of CHAPS Sterling. *Working Paper*, 355, Bank of England.
- Bliss, R.R. & Steigerwald, R.S. (2006). Derivatives clearing and settlement: A comparison of central counterparties and alternative structures. *Economic Perspectives*, 30(4), 22-29.
- Boss, M., Elsinger, H., Summer, M., & Thurner, S. (2004). The Network Topology of the Interbank Market. *Quantitative Finance*, 6 (4), 677-684.
- Castiglionesi, F. & Eboli, M. (2018). Liquidity Flows in Interbank Networks, *Review of Finance*, 22(4), 1291-1334.
- Castiglionesi, F. & Wagner, W. (2013). On the Efficiency of Bilateral Interbank Insurance. *Journal of Financial Intermediation*, 22, 177-200.
- Cepeda, F. (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.
- Cocco, J.F., Gomes, F.J., & Martins, N.C. (2009). Lending Relationships in the Interbank Market. *Journal of Financial Intermediation*, 18, 24-48.

- Cohen, R. & Havlin, S. (2003). Scale-Free Networks Are Ultrasmall. *Physical Review Letters*, 5 (90), 1-4.
- Cont, R. (2015). The End of the Waterfall: Default Resources of Central Counterparties, *Working Paper*, 16/2015, Norges Bank.
- Craig, B. & von Peter, G. (2014). Interbank Tiering and Money Center Banks. *Journal of Financial Intermediation*, 23, 322-347.
- de Nooy, W., Mrvar, A., & Batageli, V. (2005). *Exploratory Social Network Analysis with Pajek*, Cambridge University Press: Cambridge.
- Duffie, D. (2014). Resolution of Failing Central Counterparties, *Working Paper*, 3256, Stanford Business School.
- Elliot, D. (2013). Central Counterparty Loss-Allocation Rules, *Financial Stability Paper*, 20, Bank of England.
- Ferrer i Cancho, R. & Solé, R.V. (2003). Optimization in Complex Networks. In *Statistical Mechanics of Complex Networks* (Eds. Pastor Satorras, R., Rubi, J., & Díaz-Aguilera, A), 114-125. Springer: Berlin-Heidelberg.
- Financial Stability Board – FSB (2010). Implementing OTC Derivatives Market Reforms, October.
- Fricke, D. & Lux, T. (2014). Core-Periphery Structure in the Overnight Money Market: Evidence From the e-MID Trading Platform. *Computational Economics*, 45 (3).
- Galbiati, M. & Soramäki, K. (2013). Central counterparties and the topology of clearing networks. *Bank of England Working Paper*, 480, Bank of England.
- Garratt, R. & Zimmerman, P. (2015). Does Central Clearing Reduce Counterparty Risk in Realistic Financial Networks?. *Federal Reserve Bank of New York Staff Reports*, 717, Federal Reserve Bank of New York.
- International Monetary Fund – IMF (2010). Making Over-the-Counter Derivatives Safer: The Role of Central Counterparties. *Global Financial Stability Report*, April.
- León, C. & Berndsen, R.J. (2014). Rethinking Financial Stability: Challenges Arising From Financial Networks' Modular Scale-Free Architecture. *Journal of Financial Stability*, 15, 241-256.

- León, C. & Sarmiento, M. (2016). Liquidity and Counterparty Risks Tradeoff in Money Market Networks. *Borradores de Economía*, 936, Banco de la República.
- León, C., Pérez, J., & Renneboog, L. (2016). A Multi-Layer Network of the Colombian Sovereign Securities Market. In *Analyzing the Economics of Financial Market Infrastructures* (Eds. Diehl, M., Alexandrova-Kabadjova, B., Heuver, R., Martínez-Jaramillo, S.), 124-149. IGI-Global: Hershey.
- Manning, M., Nier, E., & Schanz, J. (2009). *The Economics of Large-Value Payments and Settlement: Theory and Policy Issues for Central Banks*, Oxford University Press: Oxford.
- Martínez-Jaramillo, S., Alexandrova-Kabadjova, B., Bravo-Benítez, B., & Solórzano-Margain, J.P. (2014). An Empirical Study of the Mexican Banking System's Network and its Implications for Systemic Risk. *Journal of Economic Dynamics and Control*, 40, 242-265.
- Nahai-Williamson, P., Ota, T., Vital, M., & Wetherlit, A. (2013). Central Counterparties and Their Financial Resources-a Numerical Approach, *Financial Stability Paper*, 19, Bank of England.
- Newman, M.E.J. (2010). *Networks: An Introduction*. Oxford University Press: New York.
- Newman, M.E.J., Barabási, A-L., & Watts, D.J. (2006). *The Structure and Dynamics of Networks*. Princeton University Press: Princeton.
- Pröpper, M., Lelyveld, I., & Heijmans, R. (2008). Towards a Network Description of Interbank Payment Flows. *DNB Working Paper*, 177, De Nederlandsche Bank.
- Ripatti, K. (2004). Central counterparty clearing: constructing a framework for evaluation of risks and benefits. *Discussion Papers*, 30, Bank of Finland.
- Soramäki, K., Bech, M., Arnold, J., Glass, R., & Beyeler, W. (2007). The Topology of Interbank Payments Flow. *Physica A*, 379, 317-333.
- Wendt, F. (2015). Central Counterparties: Addressing their Too Important to Fail Nature, *Working Paper*, WP/15/21, International Monetary Fund.
- Yellen, J.L. (2013). Interconnectedness and Systemic Risk: Lessons from the Financial Crisis and Policy Implications. *Discurso dado en American Economic Association/American Finance Association Joint Luncheon*, San Diego, California, enero 4.

7 Anexo

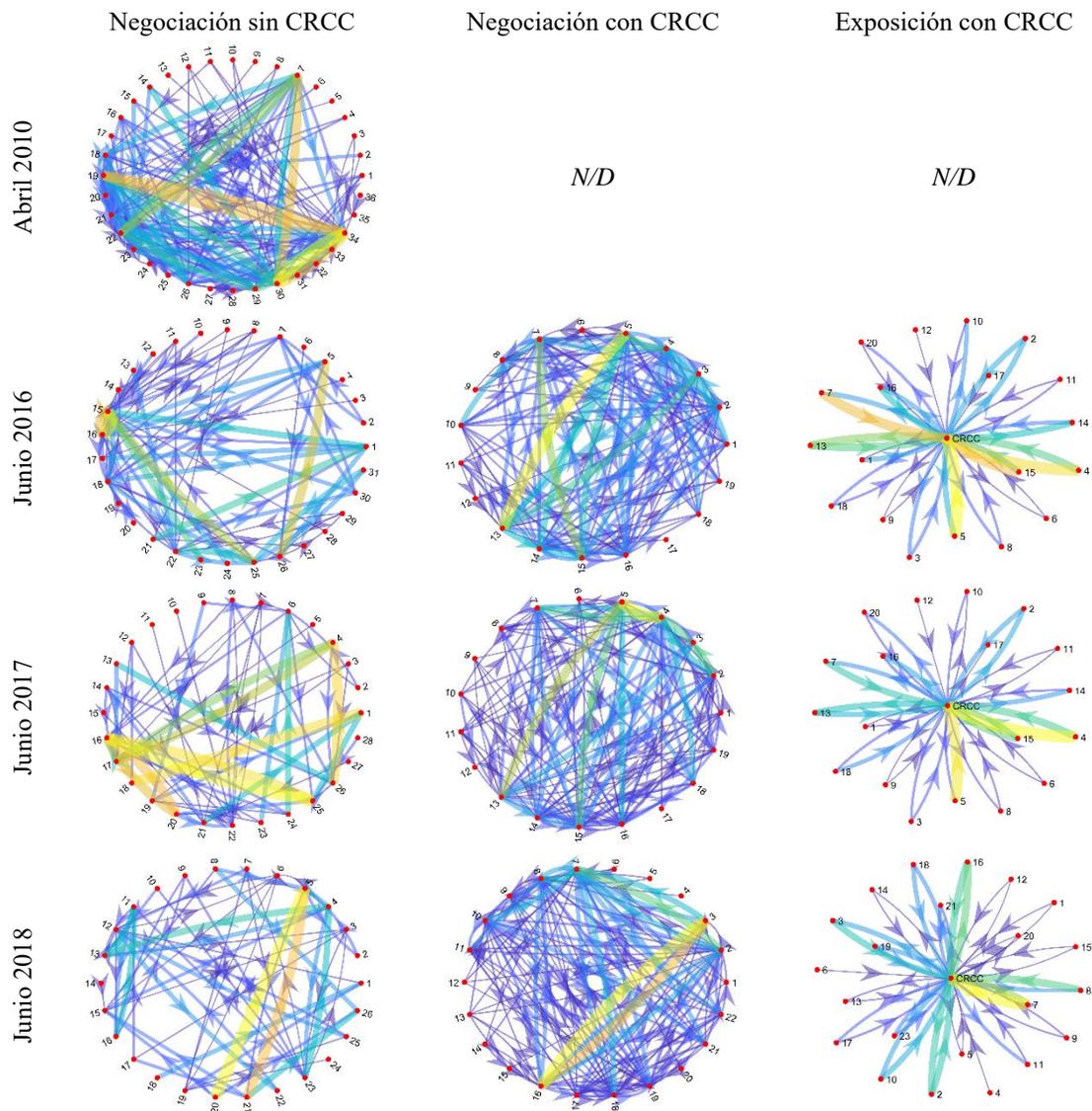


Gráfico 9. Redes de transacciones y exposiciones entre instituciones financieras. Las conexiones entre cada nodo ilustran las transacciones o exposiciones entre las instituciones financieras participantes; su grosor y color corresponden a la contribución porcentual al valor total de las transacciones del mes. *N/D* corresponde a redes no disponibles en ese periodo (i.e. no era posible compensar y liquidar las transacciones a través de la CRCC). Fuente: elaboración de los autores, con datos de BR y CRCC.

