

El mercado OTC de valores en Colombia: caracterización y comparación con base en el análisis de redes complejas

Por: Carlos León
Jhonatan Pérez

Núm. 765
2013

Borradores de ECONOMÍA



tá - Colombia - Bogotá - Colombia - Bogotá - Colombia - Bogotá - Colombia - Bogotá - Colombia - Bogotá - Colombia - Bogotá - Col

El mercado OTC de valores en Colombia: caracterización y comparación con base en el análisis de redes complejas¹

Carlos León²
Jhonatan Pérez³

Resumen

Este documento expone cómo se conforma y articula el mercado OTC de valores en el caso colombiano. Así mismo, en el marco del mercado de deuda pública local, con base en el análisis de redes complejas, este documento describe, caracteriza y compara al mercado OTC con los organizados (SEN y MEC).

Los resultados sugieren que (i) existe una semejanza estructural entre las redes del OTC y del MEC, donde, de acuerdo con la literatura, éstas se pueden catalogar como robustas ante choques aleatorios, pero frágiles ante choques dirigidos; (ii) el SEN, por sus diferencias estructurales, es una red menos frágil, pero menos robusta; (iii) el SEN contribuye de manera decisiva a la estructura jerárquica del mercado de valores de deuda pública; y (iii) pese a que el SEN es el que más contribuye al valor total de las operaciones, la estructura del mercado de valores de deuda pública en su conjunto se asemeja a las redes del OTC y del MEC.

Además de ser la primera aproximación de este tipo al mercado secundario de deuda pública local, los resultados señalan que (i) el mercado en su conjunto es robusto, pero frágil; (ii) la regulación, supervisión y seguimiento deben dar prioridad a instituciones financieras que tengan un carácter central; (iii) la utilización del SEN como *benchmark* de la estructura del mercado de deuda pública local es inconveniente; y (iv) la comprensión del mercado de deuda pública exige de un análisis estructural y consolidado de los sistemas y mercados que la componen.

Palabras clave: mercado sobre el mostrador, OTC, deuda pública, análisis de redes, *minimal spanning tree*.

Clasificación JEL: D85, G2, E42.

¹ El análisis, opiniones y conclusiones de este artículo son responsabilidad exclusiva de los autores y su contenido no compromete al Banco de la República, ni a su Junta Directiva. Los resultados no deben ser utilizados para medir la calidad crediticia o para hacer tipo alguno de inferencia sobre las instituciones analizadas. Los autores agradecen los comentarios y colaboración de Clara Lía Machado, Joaquín Bernal, Freddy Cepeda y Fabio Ortega y Agustín Restrepo.

² Jefe de Investigación y Desarrollo, Departamento de Seguimiento a la Infraestructura Financiera (DSIF), Subgerencia de Sistemas de Pago y Operación Bancaria (SGSPOB), Banco de la República (BR); cleonrin@banrep.gov.co / carlosleonr@hotmail.com.

³ Profesional especializado, DSIF-SGSPOB-BR; jperezvi@banrep.gov.co / jhonatanpv@hotmail.com.

Tabla de contenido

1. Introducción.....	2
2. Consideraciones generales sobre el mercado OTC de valores en Colombia.....	4
3. Descripción del mercado OTC de valores en Colombia.....	7
3.1. Renta fija.....	8
3.2. Derivados estandarizados.....	9
3.3. Derivados no estandarizados.....	10
4. Análisis de las redes del mercado de valores de deuda pública.....	11
4.1. El mercado OTC de valores de deuda pública.....	12
4.2. El mercado organizado de valores de deuda pública (SEN y MEC).....	16
4.3. El mercado de valores de deuda pública colombiano (organizado y OTC).....	19
4.4. Estadísticas básicas de las redes analizadas.....	22
5. Comentarios finales.....	27
6. Bibliografía.....	31
7. Anexos.....	33
7.1. Grafos (sin exclusiones).....	33
7.2. Grafos MST (Recibos de títulos valores).....	34

1. Introducción

Una forma de clasificar los mercados financieros es según el escenario donde se lleva a cabo la negociación. De acuerdo con lo anterior, los mercados financieros se pueden clasificar como organizados o “sobre el mostrador” (*over the counter* - OTC).

Los mercados organizados tienen el carácter de ser multilaterales, donde existe pluralidad de participantes que acceden en igualdad de condiciones a la información disponible (e.g. precios y tasas). Adicionalmente, con el fin de fomentar la correcta formación de precios, las intenciones expuestas son anónimas (i.e. es un mercado “ciego”⁴), y se revela de forma oportuna, tanto a los participantes como al público en general, las condiciones financieras de las operaciones resultantes. A nivel internacional es común que este tipo de mercados se lleve a cabo en las bolsas de valores, así como en las bolsas de derivados, en concordancia con las características propias de cada mercado y según las disposiciones que las autoridades financieras determinan para el desarrollo de tales actividades⁵.

El mayor grado de regulación de los mercados organizados, así como la necesidad de contar con productos que respondan a necesidades específicas de los participantes, resulta en la existencia de un mercado alternativo: el mercado sobre el mostrador (OTC). Entonces, una característica de este escenario de negociación radica en que las reglas son definidas entre las partes involucradas mediante contratos o acuerdos bilaterales, en los que se especifican las condiciones contractuales necesarias para llevar a cabo los procesos de celebración (negociación), confirmación, compensación y liquidación final. De igual manera, se determinan aspectos de las operaciones concertadas, como la administración de riesgos, garantías, resolución de conflictos, notificaciones, entre otros.

Dado que los administradores de las diversas plataformas donde se lleva a cabo el mercado organizado centralizan las operaciones, el acceso a información consolidada y homogénea por parte de las autoridades financieras es fácil. En cuanto al mercado que se desarrolla sobre el mostrador, la información de las operaciones se encuentra restringida al público, y está fragmentada e incompleta para las autoridades; esta mayor dificultad para acceder a información consolidada y homogénea se explica por el interés de cada participante de no revelar su estrategia en el mercado, así como por la administración de la información por parte de cada participante, en la forma y estructura que cada uno estima conveniente.

La información del mercado sobre el mostrador ha tomado gran importancia para los participantes del mercado y, en especial, para las autoridades financieras. De ahí que iniciativas recientes de

⁴ Los mercados pueden ser ciegos en la negociación o en el cumplimiento de las operaciones. Por ejemplo, el MEC (Mercado Electrónico Colombiano, de la Bolsa de Valores de Colombia - BVC) es ciego en la negociación, pero no en el cumplimiento de las operaciones; entre tanto, el –primer escalón- del SEN (Sistema Electrónico de Negociación, del Banco de la República - BR) es ciego en la negociación y en el cumplimiento de las operaciones.

⁵ En el caso colombiano, como se verá más adelante, los mercados organizados no necesariamente se llevan a cabo en una bolsa de valores; estos se desarrollan a través de sistemas de negociación, los cuales pueden pertenecer a una bolsa de valores (i.e. el MEC de la BVC) o no (i.e. SEN del BR).

organismos multilaterales como el BIS (Banco de Pagos Internacionales) e IOSCO (Organización Internacional de Comisiones de Valores), entre otros, relacionadas con la creación de nuevas infraestructuras centralizadoras de información del mercado (*trade repositories*), se constituyan en un avance importante hacia la transparencia de los mercados financieros. Esta iniciativa se enmarca en los antecedentes de la última crisis financiera internacional, en donde quedó evidenciado que la opacidad del mercado OTC, especialmente con instrumentos financieros derivados, resultó en una incertidumbre generalizada sobre la exposición crediticia de los participantes⁶.

Independientemente del escenario de negociación, ya sea en los mercados organizados o en el OTC, las operaciones pasan por los procesos de compensación y liquidación, a través de los cuales se definen y ejecutan las obligaciones de entrega de lo pactado y pago de lo convenido. En las diferentes etapas de estos procesos existen infraestructuras que prestan servicios centralizados a los participantes del mercado para que puedan cumplir con los compromisos derivados de dichas operaciones. Bajo este contexto, es posible afirmar que, en desarrollo de la labor de soporte que brindan a los mercados financieros, las infraestructuras involucradas en la negociación, compensación y liquidación, contienen información de gran relevancia para la comprensión de los mercados.

De acuerdo con lo anterior, el presente trabajo tiene dos finalidades. La primera consiste en describir el mercado sobre el mostrador de valores colombiano⁷. Para tal fin se muestran algunos aspectos importantes de la normatividad vigente que le dan forma al mercado OTC; se documenta el funcionamiento e interconexiones de las infraestructuras del mercado financiero involucradas en la negociación, compensación y liquidación de las operaciones del mercado OTC; y se presentan las principales cifras de dicho mercado.

La segunda finalidad consiste en estudiar el mercado OTC de valores colombiano a partir de la caracterización del mercado OTC de deuda pública local, el cual es altamente representativo (i.e. cerca del 80% del mercado de valores OTC). En desarrollo de lo anterior se utilizan metodologías y métricas derivadas del análisis de redes complejas para caracterizar y contrastar –por primera vez en el caso colombiano- la estructura de la red del OTC con las que resultan del mercado organizado (e.g. SEN y MEC).

De este contraste resultan tres hallazgos principales: (i) la semejanza estructural entre el mercado OTC y el MEC, donde ambas redes son poco densas, constan de centros y periferias bien definidos⁸, con estructuras que, de acuerdo con varios autores (León y Murcia, 2012; León y Machado, 2011; Newman, 2010 & 2008; Haldane, 2009; Cepeda, 2008), pueden resultar en

⁶ Al respecto, Braithwaite (2011) resalta la dificultad de los participantes de los mercados financieros internacionales y de las autoridades financieras para identificar las exposiciones asociadas a la quiebra de Lehman Brothers durante 2008.

⁷ En particular se hace referencia a aquellos valores inscritos en el Registro Nacional de Valores y Emisores susceptibles de ser negociados en el mercado sobre el mostrador. En este sentido, los autores aclaran que si bien el mercado OTC en su conjunto está conformado adicionalmente por los instrumentos del mercado cambiario (compra/venta y derivados sobre divisas), estos no hacen parte de la presente investigación; de la misma manera, dado que la legislación local no permite la negociación de acciones en el mercado sobre el mostrador, esta no puede ser objeto de este documento.

⁸ Este resultado es consistente con Saade (2010), quien concluyó que el MEC (transaccional y registro) durante el periodo 2006-2010 se caracteriza por ser fuertemente concentrado y con bajo nivel de conectividad.

sistemas robustos pero frágiles; (ii) las particularidades de la red del SEN, que la muestran como un sistema más denso, más homogéneo, mejor conectado y menos concentrado (i.e. sin centros y periferias claros), que, en contraposición con las otras redes, y según la literatura, posiblemente puede ser caracterizado como el menos frágil, pero también el menos robusto; (iii) pese a que el SEN es el sistema menos jerárquico, el SEN contribuye de manera decisiva a la estructura jerárquica (i.e. centro-periferia) del mercado de valores de deuda pública en su conjunto; y (iv) la no-linealidad en la agregación de las redes analizadas, lo cual se evidencia numéricamente en que la red del mercado de valores de deuda pública en su conjunto se asemeja más a las redes del OTC y del MEC, pese a que el SEN es el más representativo (61%) en términos de contribución al valor de las operaciones.

Este documento está compuesto por cinco secciones, incluida esta introducción. En la segunda sección se muestran algunas consideraciones importantes sobre la definición del OTC en el ámbito local, así como su vínculo con la infraestructura financiera del mercado colombiano. Con base en la información recopilada de las infraestructuras financieras, en la tercera y cuarta sección se describe y caracteriza el mercado OTC de deuda pública local, y se le compara con los mercados organizados correspondientes. Finalmente, en la quinta sección se destacan y comentan algunos hallazgos, y se enumeran retos y perspectivas derivadas de estos últimos.

2. Consideraciones generales sobre el mercado OTC de valores en Colombia

En Colombia, las características propias de los mercados organizados de valores están representadas en los **sistemas de negociación de valores**. Esto se evidencia en su carácter multilateral, y en que son el escenario por naturaleza en donde los participantes del mercado acuden en igualdad de condiciones para realizar ofertas de compra o venta, con el objetivo de concretar operaciones (cierres) con los valores autorizados.

Por otra parte, el mercado sobre el mostrador (OTC) está constituido por todos los medios diferentes al mercado organizado para llevar a cabo intenciones de compra o venta de activos financieros (ej. teléfono, *chat*, etc.); más precisamente, en el ámbito local el mercado OTC se define como aquél que se desarrolla por fuera de los sistemas de negociación de valores⁹. A su vez, el OTC se encuentra vinculado a la infraestructura financiera a través de los **sistemas de registro de operaciones sobre valores**, los cuales tienen como finalidad recibir la información de las operaciones que se realizan por medios diferentes a los sistemas de negociación de valores.

En lo que respecta al mercado sobre el mostrador, la regulación autoriza de forma general operaciones de contado, a plazo y algunas del mercado monetario (repos, simultáneas y transferencias temporales de valores). En cuanto a los instrumentos, los únicos autorizados para ser negociados son valores inscritos en el Registro Nacional de Valores y Emisores (RNVE) distintos de acciones y bonos convertibles en acciones. Finalmente, para tener acceso a los sistemas de registro de las operaciones OTC, los participantes de este mercado deben ser intermediarios vigilados por la Superintendencia Financiera de Colombia (SFC).

⁹ Decreto 2555/2010, Artículo 7.4.1.1.1., Ministerio de Hacienda y Crédito Público (MHCP).

Los procesos de compensación y liquidación de operaciones también se encuentran regulados en el mercado sobre el mostrador. Salvo las excepciones dispuestas por la SFC, todas las operaciones realizadas se deben compensar y liquidar de forma centralizada en los sistemas autorizados bajo el mecanismo Entrega contra Pago (EcP)¹⁰. Adicionalmente, previo a este proceso es necesario consignar la información de las operaciones (precio, tasa, monto, tipo de instrumento, contraparte, etc.) del mercado mostrador en un sistema de registro de operaciones sobre valores¹¹.

En el caso de los derivados financieros, cuando estos son estandarizados (i.e. futuros) las reglas del mercado están definidas en concordancia con la regulación del mercado de valores y las características propias del mercado. Por ejemplo, los derivados estandarizados que se pretendan negociar deben estar listados en una bolsa de valores o un sistema de negociación destinado para tal fin. En caso de negociarse por fuera de dichos sistemas (i.e. en el OTC), es necesario realizar el registro previo al proceso de compensación y liquidación, que a su vez, se lleva a cabo en una entidad de contrapartida central (ECC) o cámara de riesgo central de contraparte –como se conoce localmente.

Respecto a los no estandarizados enmarcados en el régimen de valores (i.e. no cambiarios), es importante mencionar que, según su grado de complejidad, se clasifican en instrumentos financieros derivados básicos (*plain vanilla*) o exóticos. En cuanto a su negociación, la regulación obliga a realizar el contrato marco respectivo entre las partes con sujeción a las normas vigentes¹², así como registrar la operación resultante en un sistema de registro de operaciones sobre valores autorizado.

De acuerdo con lo anterior, dado que los instrumentos, acceso, compensación y liquidación final se encuentran regulados, se puede afirmar que el mercado OTC de valores local tiene reglas homogéneas para todos los actores que deseen participar en este. También es válido afirmar que esta misma regulación permite contar con fuentes de información consolidada de las transacciones del mercado OTC de valores y derivados a través de la infraestructura de mercado correspondiente (i.e. los sistemas de registro).

Con relación a la infraestructura financiera involucrada, en el Diagrama 1 se presenta el arreglo existente de las entidades que procesan de forma centralizada las transacciones realizadas en el mercado OTC de valores, así como las interconexiones necesarias para llevar a cabo el cumplimiento de tales operaciones¹³. Es importante mencionar que la mayoría de sistemas

¹⁰ El mecanismo entrega contra pago (*Delivery versus Payment - DvP*) para la liquidación de operaciones del mercado de valores consiste en el proceso de intercambio simultáneo de títulos y dinero a través de un sistema de compensación y liquidación.

¹¹ Decreto 2555/2010, Artículo 2.15.3.1.2., MHCP.

¹² Con base en el Capítulo XVIII de la Circular Básica Contable y Financiera (Circular Externa 100 de 1995).

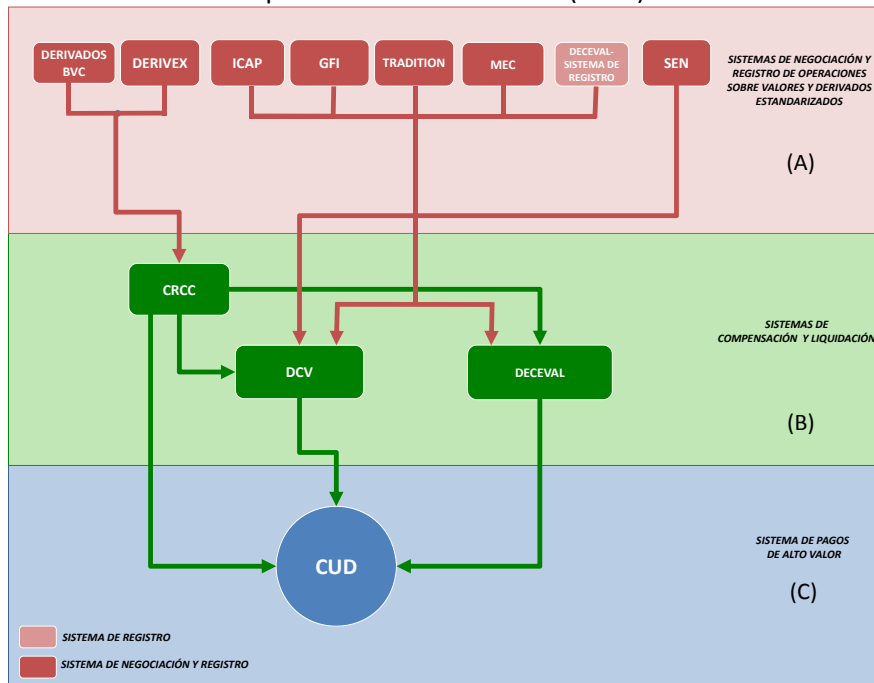
¹³ El presente documento no se ocupa de las infraestructuras de mercados financieros que sirven a los mercados distintos al de valores (e.g. cámaras de compensación de divisas, sistemas de pago de bajo valor, etc.). Para una visión global de todas las infraestructuras de mercados financieros puede consultarse el Reporte de Sistemas de Pago del Banco de la República (Banco de la República, 2012).

autorizados ofrecen a sus participantes sistemas de negociación y de registro de operaciones, en un solo producto tecnológico.

Respecto a valores, en la franja “A” de la parte superior del Diagrama 1 se encuentra el Sistema Electrónico de Negociación (SEN), administrado por el Banco de la República (BR), en el cual se negocian y registran operaciones con títulos de deuda pública exclusivamente.¹⁴ La Bolsa de Valores de Colombia (BVC), por su parte, administra el Mercado Electrónico Colombiano (MEC), que permite la negociación y registro de operaciones de deuda pública y privada. También, están los sistemas GFI, ICAP y Tradition (en adelante, *brokers*), que, a través de plataformas híbridas (voz y datos), permiten la negociación y registro de operaciones entre participantes. Por último, Deceval-Sistema de Registro, infraestructura administrada por el Depósito Centralizado de Valores (Deceval), presta el servicio de registro de operaciones para todo tipo de valores autorizados.

En cuanto a derivados estandarizados, la BVC y Derivex administran el registro de operaciones con este tipo de instrumentos en el mercado OTC. Para los derivados no estandarizados no existe aun un registro centralizado de operaciones.

Diagrama 1
Infraestructuras involucradas en la negociación, registro, compensación y liquidación de operaciones sobre valores (2012)



Fuente: Banco de la República (DSIF).

En la franja “B” del Diagrama 1 se presentan los sistemas de compensación y liquidación de operaciones tanto de valores, como de derivados estandarizados; es a estas infraestructuras que

¹⁴ Adicionalmente, en el primer escalón del SEN solo pueden participar intermediarios que hagan parte del Programa de Creadores de Mercado del MHCP.

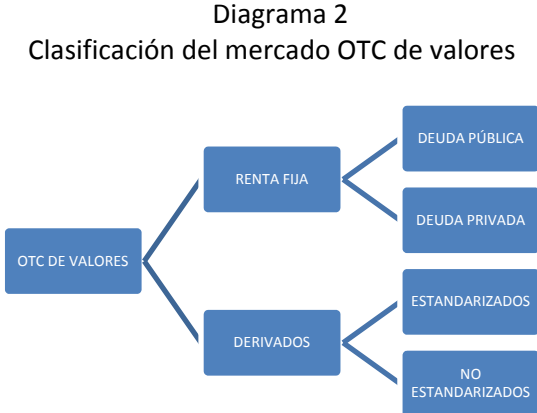
las instituciones financieras acuden para liquidar las obligaciones que contraen en los diferentes mercados. Dentro de los relativos a valores se incluye en el Diagrama 1 el Depósito Central de Valores (DCV), administrado por el BR, que compensa y liquida operaciones de títulos de deuda pública exclusivamente, y Deceval, que lo hace para todo tipo de valores (i.e. acciones, deuda pública no emitida por el Gobierno Nacional Central y deuda corporativa). La compensación y liquidación de derivados estandarizados se realiza en la Cámara de Riesgo Central de Contraparte de Colombia (CRCC), que cumple las funciones de entidad de contrapartida central (ECC).

Por último, en la franja “C” se presenta el único sistema de pagos de alto valor del país, el CUD, el cual es administrado por el BR. Hacia este sistema confluye la liquidación del extremo dinero de todas las operaciones compensadas y liquidadas en las infraestructuras financieras correspondientes (i.e. CRCC, DCV, Deceval).

En desarrollo de los servicios centralizados que prestan estos proveedores de infraestructura en las etapas de negociación, registro, compensación y liquidación de operaciones sobre valores a sus participantes, se genera información detallada sobre los instrumentos, contrapartes, precios, tasas, montos y escenarios de la negociación (i.e. SEN, MEC, OTC, *brokers*). De acuerdo con lo anterior, con base en la información de las infraestructuras de los mercados financieros correspondientes, a continuación se realiza una breve descripción de los elementos más sobresalientes que caracterizan al mercado OTC de valores que se desarrolla en el país.

3. Descripción del mercado OTC de valores en Colombia

Si bien existen diferentes formas de agrupar el mercado OTC de valores, en función de la regulación este se puede clasificar en dos tipos: de renta fija o derivados (Diagrama 2). En cuanto al primero, éste a su vez se puede dividir –según el tipo de emisor- en deuda pública y deuda privada (i.e. corporativa). Respecto al segundo, de forma general se puede clasificar ya sea en derivados estandarizados (i.e. futuros listados en un mercado organizado) o no estandarizados; sobre estos últimos, es importante precisar que para efectos del presente trabajo se hará referencia únicamente a aquellos instrumentos sometidos a la regulación expedida por el MHCP.



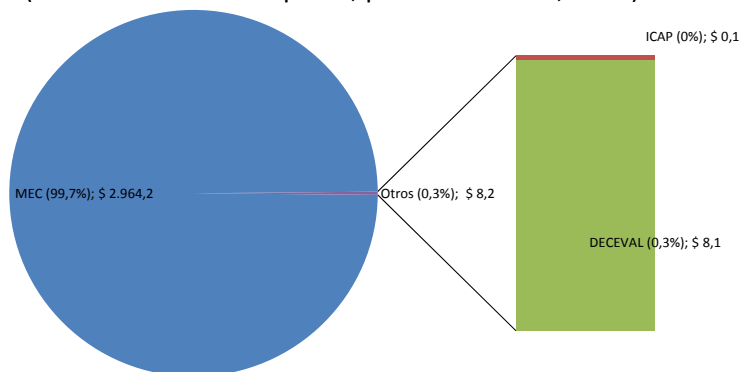
Fuente: diseño de los autores.

En Colombia se negociaron a través del mercado de valores alrededor de COP 10,8 billones de pesos promedio diario durante el año 2012. De esta cifra, el 71,6% tuvo como escenario los sistemas de negociación de valores (mercados organizados). El 28,4% restante (COP 3,1 billones) se reportó en los sistemas de registro de operaciones sobre valores autorizados y, por tanto, corresponden al mercado OTC. Para describir al mercado OTC se agruparon los sistemas según la naturaleza de los mercados que soportan, en: renta fija, derivados estandarizados e instrumentos financieros derivados no estandarizados.

3.1. Renta fija

El mercado sobre el mostrador relacionado con valores inscritos en el Registro Nacional de Valores y Emisores (RNVE) distintos de acciones y bonos convertibles en acciones, involucra a los sistemas de registro de operaciones sobre valores GFI, Tradition, ICAP, Deceval-sistema de registro y el módulo de registro por confirmación del MEC.¹⁵ El Gráfico 1 muestra la distribución del monto registrado a través de estos sistemas, que durante 2012 representó un 28,1% del total negociado con valores de renta fija, con una cifra cercana a los COP 2,9 billones promedio diario¹⁶.

Gráfico 1
Participación de los sistemas de registro de operaciones sobre valores de renta fija
(miles de millones de pesos, promedio diario, 2012)



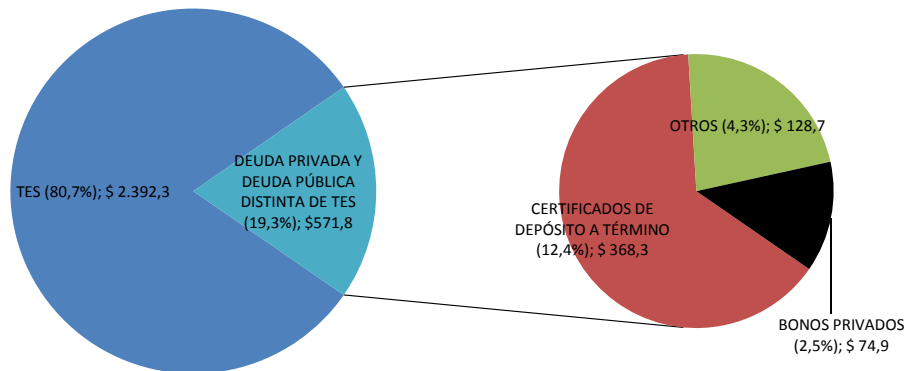
Fuente: cálculos de los autores, con información de BVC, ICAP, GFI, Tradition y Deceval.

En cuanto a los instrumentos negociados en el mercado OTC de valores de renta fija, los TES representan cerca del 80% del total registrado. De acuerdo con el Gráfico 2, en el módulo de registro del MEC, sistema administrado por la BVC, los TES contribuyen con un monto cercano a COP 2,3 billones promedio diario, que corresponde a una participación del 80,7%; luego se encuentran los Certificados Depósito Término (CDT) y los bonos privados con un 14,9%; y el restante 4,3% lo componen otros títulos de renta fija, tales como bonos emitidos en desarrollo de procesos de titularización, bonos de entidades públicas distintas al gobierno nacional, papeles comerciales, títulos de devolución de impuestos, entre otros.

¹⁵ El SEN también ofrece un módulo de registro para algunas operaciones de valores del OTC; dado que durante el 2012 no se registraron operaciones en este módulo, no se incluye en el análisis.

¹⁶ En las operaciones de mercado monetario (repos, simultáneas y transferencias temporales de valores) sólo se incluye la operación inicial.

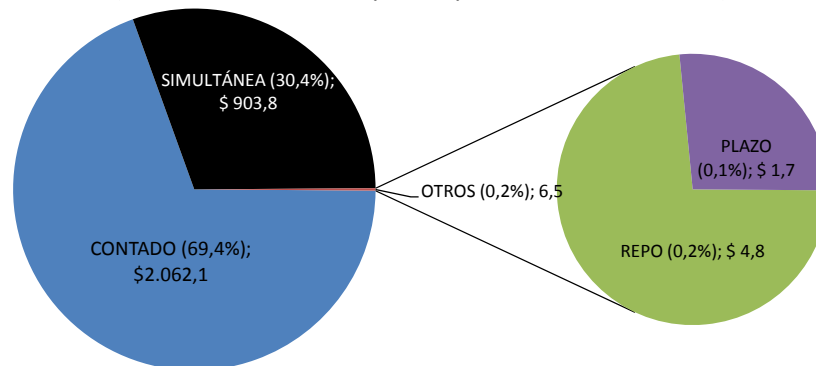
Gráfico 2
Participación por tipo de instrumento de renta fija en el módulo de registro del MEC
(promedio diario, 2012)



Fuente: cálculos de los autores, con información de BVC.

Dentro de los tipos de operaciones realizadas en el mercado mostrador de valores colombiano, el Gráfico 3 muestra que las de contado y simultáneas en conjunto representan COP 2,9 billones promedio diario; esto es equivalente al 99,8% del total registrado. La porción restante (0,2%), equivalente a COP 6,5 miles de millones-mm promedio diario, corresponde a operaciones repo y a plazo sobre valores.

Gráfico 3
Tipos de operaciones sobre valores de renta fija realizadas en el mercado mostrador
(miles de millones de pesos, promedio diario, 2012)



Fuente: cálculos de los autores, con información de BVC, ICAP, GFI, Tradition y Deceval.

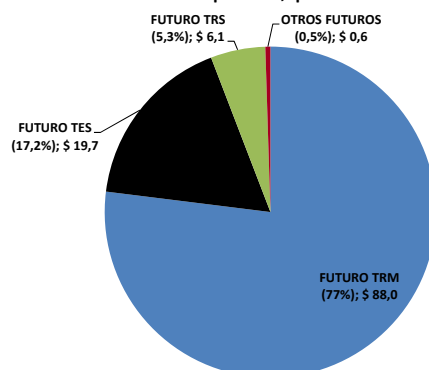
3.2. Derivados estandarizados

En 2012 los instrumentos financieros derivados estandarizados (futuros listados en la BVC y Derivex) registraron un monto promedio diario de COP 263,9 mm, de los cuales el 43,3% (COP 114,3 mm) se realizó en el mercado sobre el mostrador. El Gráfico 4 muestra que los instrumentos con mayor representatividad son los asociados a subyacentes cambiarios¹⁷, con COP 94,1 mm

¹⁷ Según la regulación vigente (Ley 964 de 2005, Artículo 2, Parágrafo 3) su naturaleza estandarizada hace que sean considerados valores.

promedio diario (82,3%). Estos se encuentran conformados por los futuros sobre TRM (Futuro TRM), cuyo tamaño por contrato es de USD 50.000, y su versión “mini” de USD 5.000 (Futuro TRS). En segundo lugar se encuentran los futuros con subyacente sobre títulos de deuda pública (Futuro TES) con valor cercano a COP 19,7 mm promedio diario, que representan el 17,2%.

Gráfico 4
Derivados estandarizados negociados en el mercado mostrador por tipo de subyacente
(miles de millones de pesos, promedio diario, 2012)



Fuente: cálculos de los autores, con información de BVC, Derivex y CRCC.

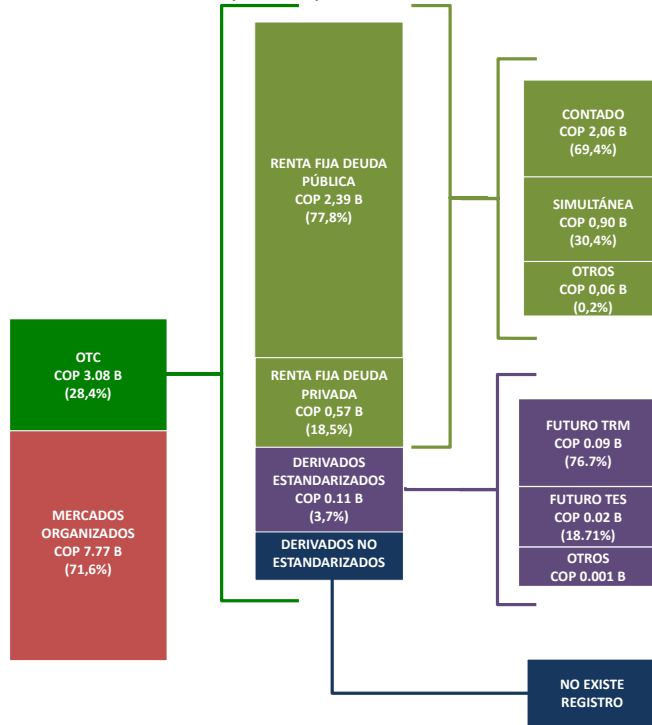
3.3. Derivados no estandarizados

Actualmente no se cuenta con estadísticas a través de las cuales se pueda caracterizar el mercado de derivados no estandarizados sujetos a la regulación financiera (i.e. regulación no cambiaria). Esto se debe –entre otros- a que la obligación de registrar tales operaciones en un sistema de registro de operaciones se incorporó sólo hasta finales de 2011.¹⁸

Por último, con el fin de comprender de forma general las cifras anteriormente expuestas, el Diagrama 3 muestra el resumen de los diferentes mercados OTC que bajo la regulación financiera (i.e. no cambiaria) vigente se desarrollan en el país.

¹⁸ Actualmente la BVC lidera un proyecto con el que pretende ofrecer este servicio, por lo que se espera que en el corto plazo autoridades, intermediarios y público en general cuenten con información confiable sobre estos instrumentos.

Diagrama 3
Descripción general del mercado OTC de valores
(billones de pesos, promedio diario, 2012)



Fuente: cálculos de los autores, con información de BR y BVC.

4. Análisis de las redes del mercado de valores de deuda pública¹⁹

Con información del Depósito Central de Valores (DCV) del Banco de la República (BR), esta sección caracteriza el mercado OTC de deuda pública para el año 2012, y lo compara con el SEN y el MEC, para lo cual se utilizan metodologías y métricas propias del análisis de redes complejas. Al respecto, el mercado OTC de deuda pública para el 2012 representó cerca del 80% del mercado OTC de valores, y los títulos valores de deuda pública representaron aproximadamente el 91% del total del mercado de valores de Colombia.

La información utilizada corresponde a las operaciones compensadas y liquidadas en el DCV, las cuales incluyen aquellas registradas a través del módulo de registro del MEC (i.e. OTC) y a través de los sistemas de negociación (i.e. SEN, MEC y *brokers*). El valor total de las transacciones del mercado de valores de deuda pública (i.e. compra-ventas y constitución de simultáneas en los mercados organizados y OTC) durante 2012 ascendió a COP \$2.355,0 billones, lo que en promedio diario equivale a COP \$9,9 billones.

¹⁹ Los mercados cambiario, accionario y de deuda privada no son considerados en este análisis.

A primera vista la red de intermediarios de valores analizada no es completa (i.e. no todos los nodos se conectan entre sí). Parece existir un grupo de entidades periféricas, las cuales son en su mayoría fondos de pensiones (P), fiduciarias (F) y otros intermediarios de valores (O), mientras que la mayoría de establecimientos de crédito (B) y comisionistas de bolsa (C) aparecen hacia el centro del grafo. La cercanía de las entidades ubicadas al centro del grafo denota el mayor volumen de las transacciones entre éstas.

En esta red también resalta el diámetro de los nodos de algunos intermediarios (i.e. C24, C13, C20, B13, C14), el cual corresponde al valor de las operaciones cruzadas que estas instituciones llevaron a cabo en el periodo analizado. Como se mencionó anteriormente, las operaciones cruzadas son aquellas en las que un mismo intermediario operó en ambas puntas de la transacción, donde los beneficiarios finales de ésta pueden ser terceros diferentes al intermediario, o el mismo intermediario. Para el año 2012 la participación de las operaciones cruzadas en el total de operaciones del OTC de deuda pública fue de 18,6%, y los beneficiarios finales de estas operaciones cruzadas fueron personas naturales (7,6%), personas jurídicas no vigiladas por la SFC (8,8%), personas jurídicas vigiladas por la SFC (60,7%) y otros (22,9%).

Dado que el número de participantes y de conexiones dificulta el análisis del grafo del mercado OTC de deuda pública, se utilizó la metodología de árboles de cobertura mínima (*minimal spanning tree* - MST) para caracterizar de mejor manera la topología que domina la red del mercado OTC²¹. Esta metodología, originaria de la Física, consigue extraer un grafo que contiene aquellas conexiones que dominan el sistema en su conjunto (i.e. son las más relevantes), por lo que son comúnmente utilizadas para filtrar la información contenida en sistemas complejos²².

De acuerdo con lo anterior, el grafo MST resultante contiene aquellas conexiones que son más informativas para cada uno de los participantes del sistema y, por ende, para el sistema en su conjunto. En ese sentido, tal como lo señalan Braunstein et al. (2007) y Wu et al. (2006), esta metodología permite observar el “esqueleto” que subyace tras el sistema completo, e identificar los participantes y conexiones que –por su centralidad- constituyen “la columna vertebral” de dicho “esqueleto”; de este modo, la utilización del MST permite diferenciar los nodos y conexiones que conforman “super-autopistas” de aquellos que constituyen “caminos” (Wu et al., 2006), lo cual, a su vez, sustenta su documentada (Marsh et al., 2003) utilidad para identificar instituciones financieras centrales y periféricas.

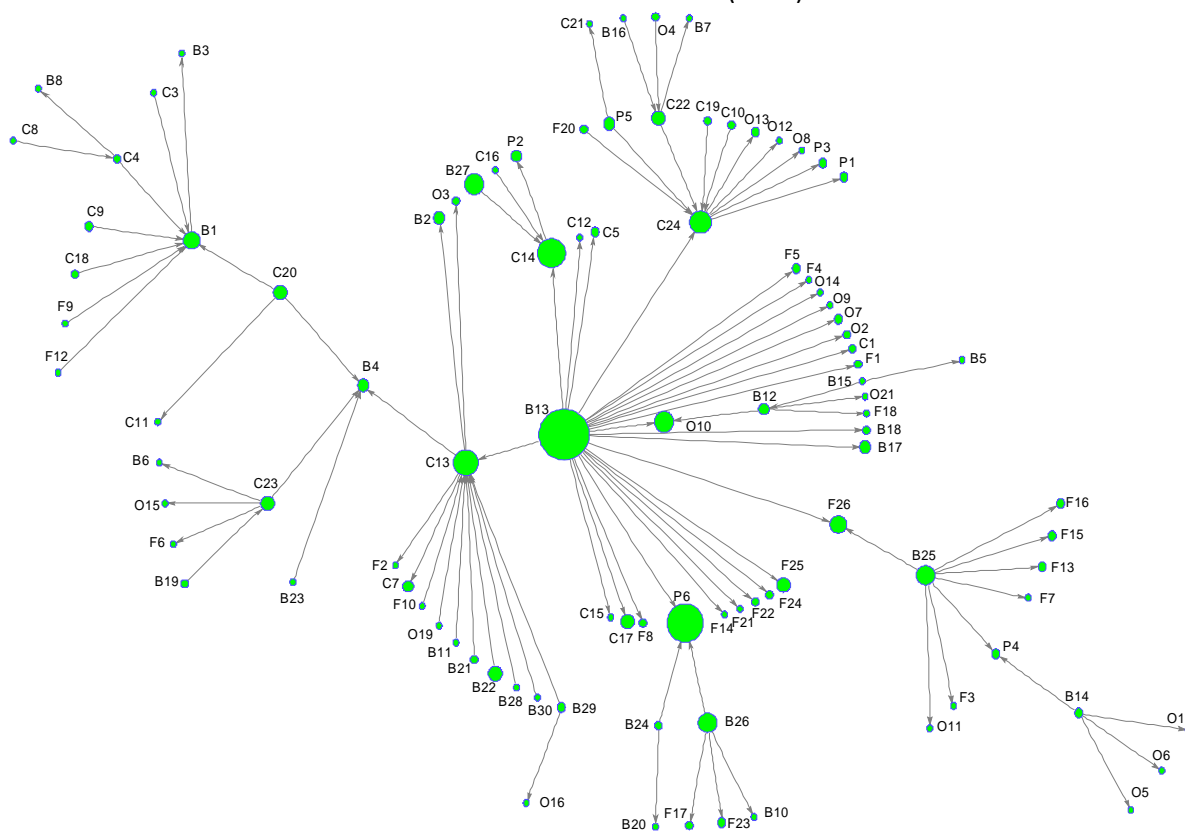
El Gráfico 6 presenta el grafo MST del mercado OTC de valores de deuda pública colombiano durante el año 2012. El sentido de las flechas corresponde a la dirección de la entrega de los

²¹ En el caso del grafo MST no se excluyen transacciones por su valor, pero no se incluyen las operaciones cruzadas.

²² En términos prácticos, si se cuenta con una red dirigida completa compuesta por N participantes, la metodología de MST consigue reducir un sistema de $N(N - 1)$ conexiones potenciales en uno de $(N - 1)$ conexiones, donde las conexiones resultantes consiguen maximizar la importancia de las conexiones de la red en su conjunto (i.e. se minimiza la distancia que separa a cada nodo de sus contrapartes). De acuerdo con la literatura relacionada (Kim et al., 2005; Kim y Jeong, 2004; Onnela et al., 2003; Mantegna, 1999), existe una alta correlación de las principales estadísticas del sistema completo y del sistema resultante, donde el MST tiene la capacidad de proveer una gran cantidad de información y, de acuerdo con Kim et al. (2005) y Kim y Jeong (2004), esta capacidad es independiente del algoritmo utilizado para la construcción del MST; en el presente documento se utiliza el algoritmo de Kruskal (1956).

títulos valores²³, mientras que el diámetro de los nodos representa el promedio simple de la centralidad de autoridad (*authority centrality*) y de distribución (*hub centrality*) de cada nodo dentro de la red completa, los cuales corresponden a la centralidad como comprador y vendedor de cada nodo, respectivamente²⁴. En este caso el 9,92% de las conexiones de la red MST (i.e. 98 conexiones de 987 observadas) representa el 31,6% del valor de las conexiones originales.

Gráfico 6
Grafo MST del mercado OTC (2012)



El diámetro de los nodos corresponde al promedio de centralidad como vendedor y comprador de deuda pública en la red completa; la dirección de las flechas indica la entrega del título valor.

Fuente: cálculos de los autores.

El grafo MST del mercado de valores de deuda pública OTC muestra que su estructura es altamente segmentada, tal como lo documenta la BVC (2012), donde existen grupos o clústeres

²³ Los grafos MST presentados en esta sección corresponden a la entrega de títulos valores (i.e. parte inferior de la matriz de adyacencia). La estructura básica de cada red es similar en las entregas y en los recibos de títulos valores de deuda pública, aunque existen algunas diferencias puntuales. Los grafos de recibos de títulos valores se presentan en un anexo.

²⁴ La centralidad de autoridad (*authority centrality*) y distribución (*hub centrality*) resultan del algoritmo propuesto por Kleinberg (1998), donde se busca reconocer el rol dual de los participantes en un sistema complejo, el cual puede ser de concentrar transacciones entrantes (autoridades) o salientes (distribuidores), o ambas; a diferencia de otras medidas, el algoritmo reconoce que (i) existe una relación que se refuerza mutuamente entre las autoridades y distribuidores, y que (ii) un nodo es importante si está conectado a otros importantes. Estas medidas son presentadas por Newman (2010) y Langville y Meyer (2012), y aplicadas al mercado colombiano por León y Pérez (2013).

bien definidos, los cuales son presididos²⁵ en su mayoría por establecimientos de crédito (B) y sociedades comisionistas de bolsa (C). Se destacan los clústeres encabezados por B13, C13, C24, B1 y B25, quienes aparecen como los más conectados, con 26, 14, 11, 8 y 8 conexiones directas (de 98 posibles), respectivamente, lo cual, de acuerdo con la literatura sobre MST (Gilmore et al., 2010; Hawkesby et al., 2005), indica que estos nodos son centrales y, por lo tanto, tienen una mayor importancia en la transmisión de choques a través del sistema en cuestión²⁶.

Por lo anterior, en el sentido expuesto por Braunstein et al. (2007) y Wu et al. (2006), dado que el diámetro de cada uno de estos cinco nodos –el cual representa el promedio de la centralidad de autoridad y distribución estimada sobre la red completa- coincide con la importancia de éstos al interior del grafo MST (i.e su número de conexiones), se puede afirmar que estas entidades y sus interconexiones constituyen la “columna vertebral” o “super-autopista” del mercado OTC de deuda pública local. Adicionalmente, en el sentido de Markose et al. (2012), estos nodos de mayor diámetro pueden ser catalogados como “super-propagadores” (*super-spreaders*) en la red en cuestión.

También resalta el tipo de entidades que compone cada clúster. Por ejemplo, los grupos encabezados por B13 y C13 son heterogéneos, donde estas entidades se conectan directamente con todo tipo de instituciones financieras, mientras que la gran mayoría de las conexiones directas de C24, B1 y B25 son con instituciones diferentes a establecimientos de crédito (B), en especial fiduciarias (F) y comisionistas de bolsa (C). También vale la pena destacar que los establecimientos de crédito (B) que lideran clústeres en el grafo MST tienen un rol particularmente claro, el cual se caracteriza por concentrarse en entregar (e.g. B13, B25) o en recibir (e.g. B1) títulos valores de deuda pública, mientras que las comisionistas de bolsa tienen un patrón más heterogéneo, el cual combina entregas y recibos en proporciones similares (e.g. C24 y C13); esto puede resultar del modelo de negocio de cada tipo de entidad financiera.

Respecto a los fondos de pensiones (P), es de notar que dos de ellos (P6 y P4) presiden dos grupos al interior de la red MST, mientras que los demás fondos de pensiones hacen parte del grupo liderado por C24 o C14; sobresale también el diámetro del nodo P6, el cual denota la relevancia de este fondo de pensiones al interior de la red del OTC.

²⁵ En este estudio se utilizarán los términos “presidir”, “encabezar” o “liderar” en un contexto diferente al de pertenencia a un conglomerado o al de propiedad accionaria. El uso de estos términos se refiere al rol de un nodo como conector de un clúster con otro(s). Respecto al término “clúster”, similar a la definición de Onnela et al. (2003), este se utilizará para caracterizar el conjunto de nodos que se conectan con la “columna vertebral” de la red a través de otro nodo, donde éste es aquel que inicia el clúster; en este documento se utilizan los términos “cluster” y “grupo” indistintamente.

²⁶ Es importante resaltar que el número de conexiones en un grafo MST tiene una mayor significancia que en un grafo completo. Mientras que en el grafo completo es posible encontrar nodos con un alto número de conexiones de poca relevancia (i.e. baja ponderación), en el grafo MST la existencia de múltiples conexiones en un solo nodo solo es posible si para otros nodos esta es la más importante de sus conexiones; es decir, gracias a que el grafo MST solo conserva las conexiones más relevantes para cada nodo, concentrar conexiones es un indicador inequívoco y significativo de centralidad e importancia sistémica. Por lo anterior, tal como lo resaltan Bonanno et al. (2003), la distribución de frecuencia del número de conexiones del MST permite caracterizar cuantitativamente su estructura.

Es importante notar que los clústeres parecen seguir cierto patrón, donde un establecimiento de crédito (B) o una sociedad comisionista de bolsa (C) central (i.e. de mayor diámetro) encabeza un grupo de intermediarios que, en su mayoría, corresponden a otras sociedades comisionistas de bolsa (B), fiduciarias (F), fondos de pensiones y cesantías (P) y otros intermediarios (O), que tienen un diámetro (i.e. centralidad) inferior. La excepción más evidente a este patrón es P6, que es la entidad diferente a establecimientos de crédito o sociedades comisionistas de bolsa que mayor centralidad presenta según el criterio utilizado (i.e. el promedio de la centralidad de autoridad y distribución), y que lidera un clúster, compuesto por establecimientos de crédito y fiduciarias cuya centralidad es baja en promedio.

4.2. El mercado organizado de valores de deuda pública (SEN y MEC)

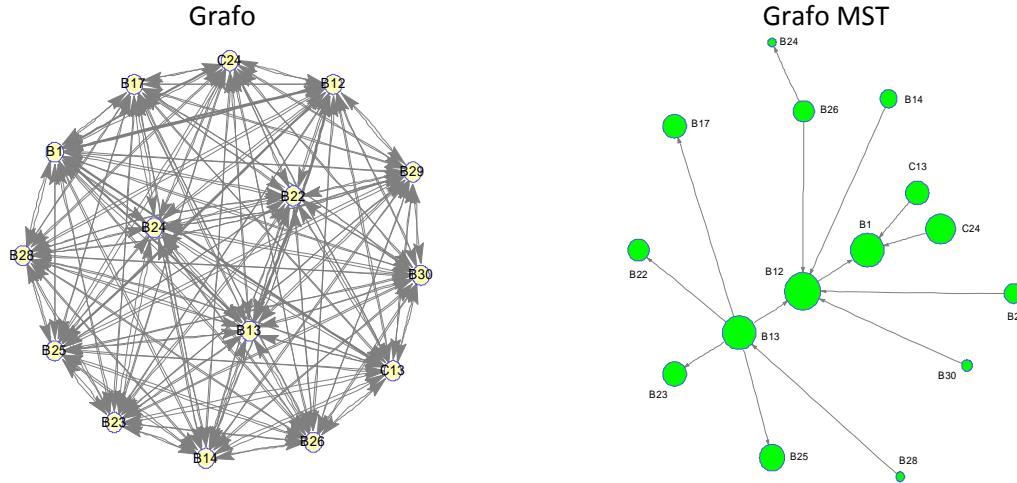
Como se describió anteriormente, en el caso del mercado organizado se cuenta con dos sistemas de negociación principales: SEN y MEC²⁷. Con base en las mismas convenciones y especificaciones previamente detalladas, el Gráfico 7 presenta el grafo (panel izquierdo) y el grafo MST (panel derecho) del SEN –primer escalón. Este sistema de negociación, al cual solamente accede un grupo de (15) instituciones pertenecientes al Programa de Creadores de Mercado para Títulos de Deuda Pública del MHCP, muestra una red completa (i.e. todos los nodos se conectan entre sí en el grafo del panel izquierdo), y donde no existen nodos que puedan ser caracterizados fácilmente como periféricos o centrales. A diferencia del OTC, en el SEN no existen operaciones cruzadas, por lo que el diámetro de los nodos del grafo (panel izquierdo) es idéntico.

Por el contrario, el grafo MST resultante de la red del SEN muestra que existe cierto grado de agrupación alrededor de B13 y B12. El grafo MST del SEN, en el que el 13,33% de las conexiones (i.e. 15 de 105 observadas) representa el 29,65% del valor de las operaciones, muestra que B13 encabeza un clúster al que pertenecen cinco participantes (B17, B28, B25, B23 y B22), mientras que B12 lidera uno con ocho participantes (B24, B26, B14, B1, C13, C24, B29, B30). Es también notorio que los nodos con mayor diámetro (B13, B12 y B1) aparecen a lo largo de la estructura del grafo MST, lo cual corrobora su rol central al interior del SEN. Sin embargo, a diferencia del grafo MST del OTC, en el SEN sólo hay un nodo particularmente alejado o periférico (B24), lo cual, a su vez, dificulta la identificación tradicional de estructuras de centro y periferia, o de clústeres.²⁸

²⁷ Existen otros sistemas de negociación, los cuales son provistos por los *brokers* (i.e. GFI, ICAP y Tradition). Dado que el SEN y el MEC representan más del 99% del valor de las transacciones del mercado de deuda pública, las redes de los *brokers* no se analizaron individualmente; no obstante, al analizar el mercado de valores de deuda pública en su conjunto, estos sistemas sí son considerados. Las transacciones del SEN corresponden al mercado secundario de TES en el “primer escalón”; en el periodo analizado no se produjeron transacciones en el “segundo escalón” del SEN.

²⁸ Este hallazgo coincide con los resultados de Laverde y Gutiérrez (2012) respecto de la dificultad de encontrar entidades sistémicamente importantes con base en las conexiones del SEN.

Gráfico 7
Grafo del mercado organizado – SEN (2012)

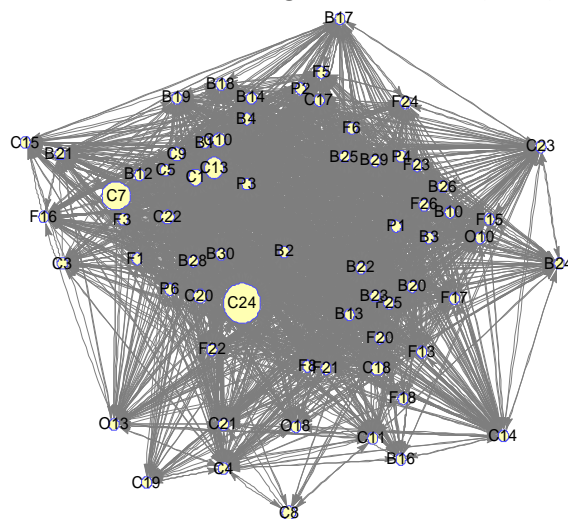


El diámetro en el grafo MST (panel derecho) corresponde al promedio de centralidad como vendedor y comprador de deuda pública en la red completa; en ambos casos la dirección de las flechas indica la entrega del título valor.

Fuente: cálculos de los autores.

El otro sistema de negociación, el MEC, se presenta en el Gráfico 8. Al igual que en el mercado OTC, a primera vista la red de intermediarios de valores analizada no es completa (i.e. no todos los nodos se conectan entre sí). Así mismo, parece existir un grupo de entidades periféricas, aunque la composición de éstas parece más heterogénea que en la red del mercado OTC. En la red del MEC también resalta el diámetro de algunos intermediarios, el cual corresponde al valor de las operaciones cruzadas que estas instituciones llevaron a cabo en el periodo analizado; no obstante, la importancia relativa de las operaciones cruzadas al interior del MEC es inferior al del mercado OTC (4,0% del valor de las operaciones del MEC de deuda pública).

Gráfico 8
Grafo del mercado organizado – MEC (2012)



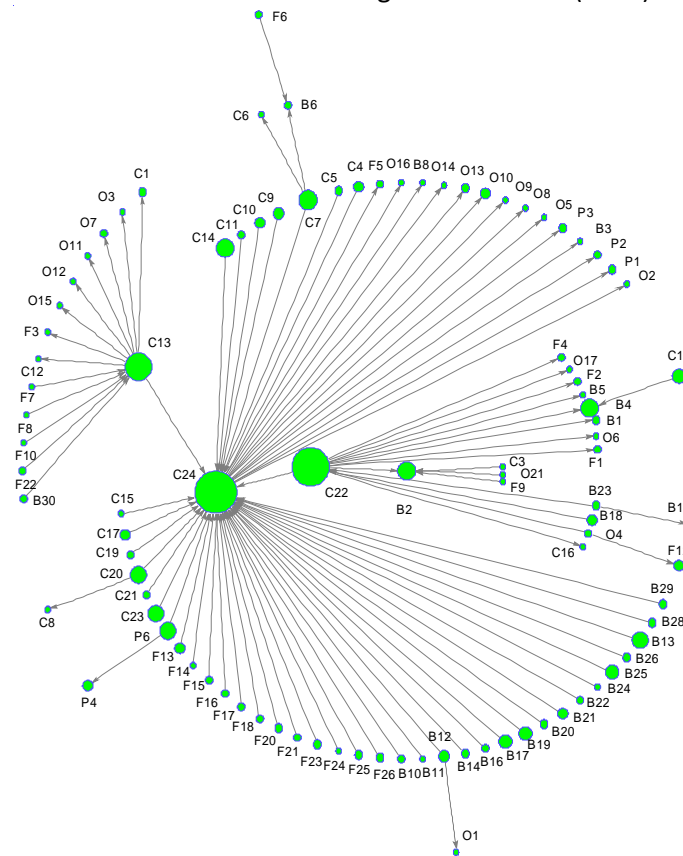
El diámetro de los nodos corresponde al volumen de operaciones cruzadas; la dirección de las flechas indica la entrega del título valor.

Fuente: cálculos de los autores.

La revisión del grafo MST del MEC²⁹ (Gráfico 9) permite encontrar algunas similitudes con el MST del OTC. Por ejemplo, ambos grafos MST presentan clústeres claramente definidos, donde C24 y C13 coinciden como líderes de éstos.

Se destaca la importancia de C24 al interior del grafo MST del MEC. Esta comisionista de bolsa concentraba el 60,4% de las conexiones directas de la red (i.e. tiene 58 conexiones directas de las 96 posibles), donde estas conexiones son heterogéneas respecto del tipo de contraparte y del tipo de operación (entrega o recibo del título valor); en ese sentido, por el número de sus conexiones durante 2012, C24 era el intermediario de valores más importante en el sistema de negociación de la BVC (i.e. MEC).

Gráfico 9
Grafo MST del mercado organizado – MEC (2012)



El diámetro de los nodos corresponde al promedio de centralidad como vendedor y comprador de deuda pública en la red completa; la dirección de las flechas indica la entrega del título valor.

Fuente: cálculos de los autores.

Se destaca también el rol de dos sociedades comisionistas de bolsa, C13 y C22, donde cada una concentra el 16,6% (i.e. 14 conexiones directas de las 96 posibles). La primera, C13, presenta una importancia relativa similar a la encontrada en el mercado OTC. La segunda, C22, tiene una mayor importancia en el MEC que en el OTC; sin embargo, es de notar que en el OTC ocupaba una

²⁹ En este caso el 4,57% de las conexiones representa el 31,3% del valor de las transacciones originales.

posición algo semejante, caracterizada por ser un nodo intermedio entre C24 y otros intermediarios de valores. Igual que en el OTC, las comisionistas de bolsa centrales al interior del grafo MST del MEC realizan operaciones de entrega y recibo de títulos valores de deuda pública en proporciones similares.

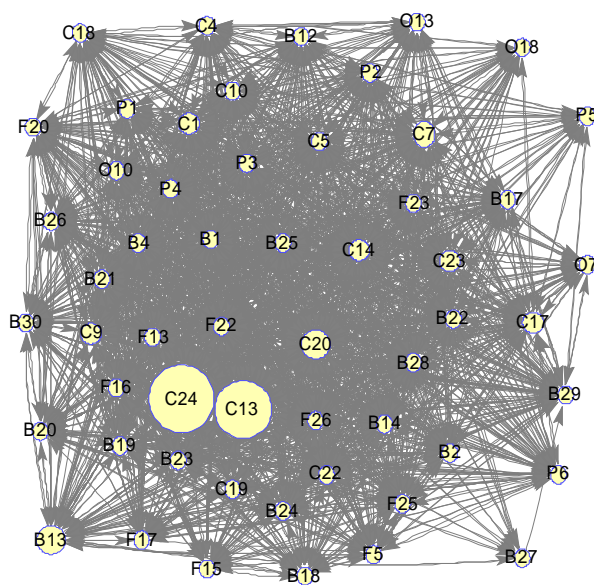
Igual que en la inspección del grafo MST del mercado OTC de deuda pública, se verifica la coincidencia entre la centralidad –de autoridad y distribución- al interior de la red completa del MEC (i.e. diámetro de los nodos) y el número de conexiones de los nodos que pueden ser considerados más importantes dentro de la estructura del grafo MST del MEC (i.e. C24, C13 y C22); una vez más, esta coincidencia concuerda con lo que Braunstein et al. (2007) y Wu et al. (2006) catalogan como la “columna vertebral” o “super-autopista” del sistema, y permite afirmar que estas entidades son los “super-propagadores” en el sentido de Markose et al. (2012).

Por último, se destaca la baja importancia de los establecimientos de crédito (B) en el MEC. En comparación con el mercado OTC o el SEN, los establecimientos de crédito no parecen ocupar un lugar importante en el MST del MEC, lo cual también es evidente en el diámetro de sus nodos.

4.3. El mercado de valores de deuda pública colombiano (organizado y OTC)

Al agregar el mercado OTC y el organizado (SEN, MEC y *brokers*) se obtiene una representación total del mercado de valores de deuda pública, el cual representa el 91% del mercado de valores colombiano. Con base en las convenciones y especificaciones antes utilizadas, el Gráfico 10 presenta el grafo del mercado de valores de deuda pública colombiano.

Gráfico 10
Grafo del mercado de valores de deuda pública (OTC + organizado, 2012)



El diámetro de los nodos corresponde al volumen de operaciones cruzadas; la dirección de las flechas indica la entrega del título valor.
Fuente: cálculos de los autores.

Como es de esperar, el grafo del mercado de valores guarda algún grado de semejanza con cada uno de los grafos que representa cada parte del mercado organizado y OTC. Por ejemplo, la red no es completa; se destaca la participación de C24 y C13 en las operaciones cruzadas³⁰; y existe cierto grado de cercanía entre C24, C13 y B13.

Igual que antes, dada la complejidad de la red, el Gráfico 11 (página siguiente) presenta el grafo MST del mercado de valores de deuda pública colombiano; en este caso el grafo MST consigue representar el 25,98% del valor total de las transacciones con el 4,58% de las conexiones originales.

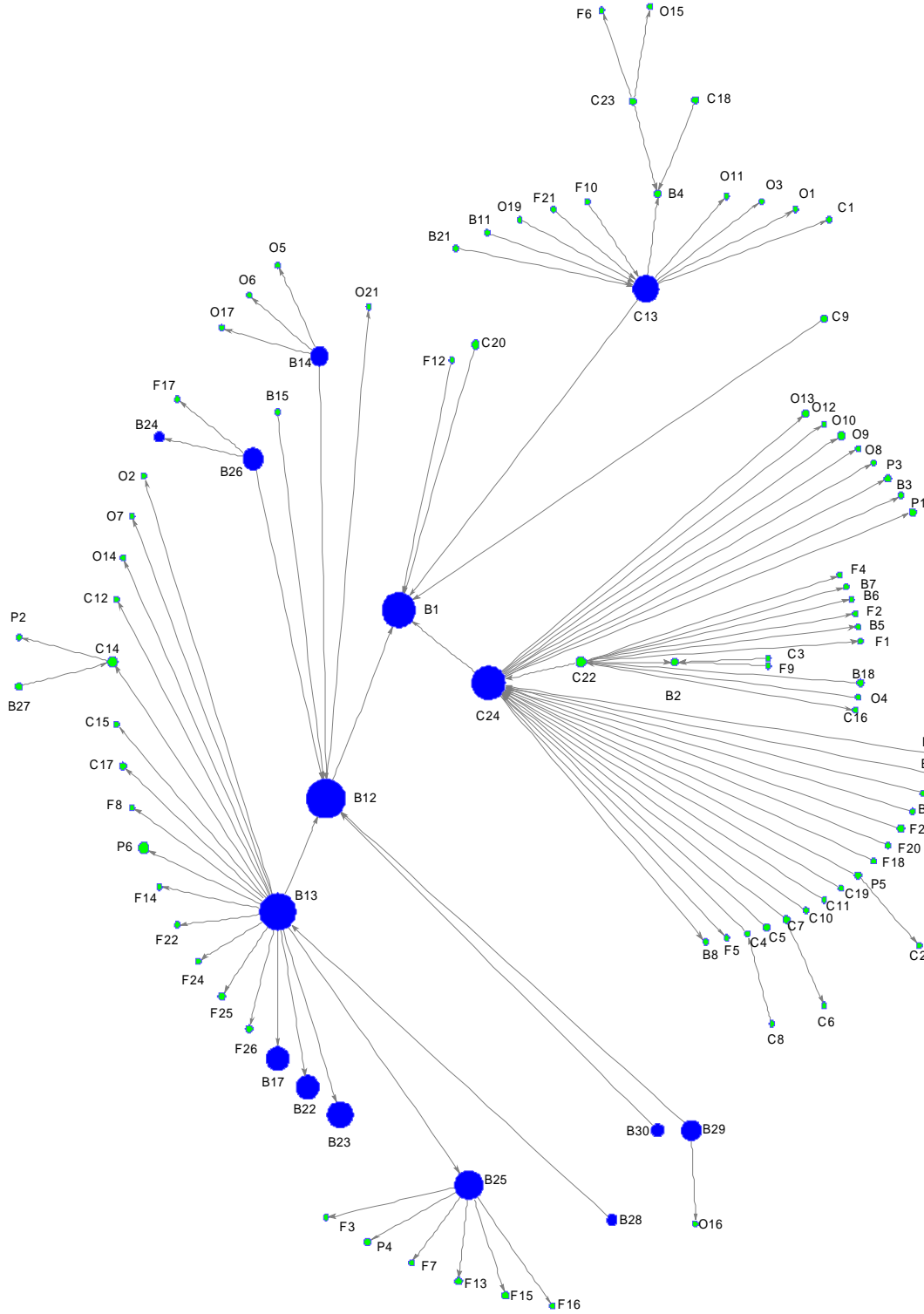
El grafo MST permite evidenciar una importante segmentación, la cual se concentra alrededor de seis entidades (B13, B12, B1, C24, C13 y B25), las cuales atraviesan –de arriba a abajo– el grafo. C24 concentra 26 conexiones directas de las 100 posibles, donde, al igual que en el caso del OTC y el MEC, el tipo de entidades con el que se conecta y el tipo de operaciones que realiza (i.e. entrega o recibo de títulos valores de deuda pública) es heterogéneo. B13 concentra 20 conexiones directas de las 100 posibles, mientras que C13, B12, B25 y B1 concentran 11, 8, 7 y 6, respectivamente.

Igual que en los otros grafos MST, el diámetro (i.e. centralidad de autoridad y distribución) de los nodos más conectados corrobora su importancia al interior de la red; en consecuencia, ambas aproximaciones coinciden en que estas entidades y sus interconexiones pueden ser consideradas como “la columna vertebral” o “super-autopista” del mercado de valores de deuda pública colombiano, donde estas entidades pueden ser consideradas como los “super-propagadores” al interior del sistema. Resalta el hecho que las seis entidades de mayor importancia en la red MST, ya sea por su diámetro o su número de conexiones, sean entidades pertenecientes al Programa de Creadores de Mercado del MHCP (nodos en azul); es decir, participantes del SEN.

De acuerdo con el grafo MST del Gráfico 11 (página siguiente), el mercado de valores colombiano durante el 2012 puede ser convenientemente caracterizado como (i) una estructura jerárquica, en la cual se destaca el rol central de unos pocos establecimientos de crédito (B25, B13, B12, B1) y sociedades comisionistas de bolsa (C13, C24); (ii) donde existen clústeres claramente liderados por dichas entidades centrales; (iii) en el que se evidencia que el SEN contribuye a la estructura jerárquica (i.e. centro-periferia) del mercado de valores de deuda pública en su conjunto; y (iv) en el que la centralidad de autoridad y distribución consigue corroborar que aquellos nodos pueden ser considerados como los pilares de la estructura del mercado de valores de deuda pública local.

³⁰ Las operaciones cruzadas representaron el 5,1% del total de las transacciones del mercado de deuda pública en el 2012.

Gráfico 11
 Grafo MST del mercado de valores de deuda pública colombiano (OTC + organizado, 2012)



El diámetro de los nodos corresponde al promedio de centralidad como vendedor y comprador de deuda pública en la red completa; la dirección de las flechas indica la entrega del título valor. Los nodos en azul corresponden a los participantes del Programa de Creadores de Mercado del SEN.

Fuente: cálculos de los autores.

La comparación entre redes muestra cierto grado de semejanza entre el MEC y el OTC, las cuales, pese a sus diferencias operativas y legales, tienen una estructura jerárquica, con clústeres relativamente bien definidos, liderados por intermediarios de valores que pueden ser catalogados como centrales por el número de sus conexiones en el grafo MST y por su centralidad de autoridad y distribución. En ambas coincide la importancia de unas pocas sociedades comisionistas de bolsa (C), mientras que la importancia de los establecimientos de crédito (B) se limita al caso del OTC.

Respecto del SEN, esta red tiene características bien diferentes a las del MEC y el OTC. La estructura del SEN no parece guardar un nivel de jerarquía similar al de las otras dos redes, ni ofrece gráficamente la posibilidad de identificar nodos céntricos o periféricos. Sin embargo, las entidades del SEN coinciden con aquellas señaladas como centrales en el OTC y en la red completa del mercado de valores (nodos en azul).

4.4. Estadísticas básicas de las redes analizadas

Como complemento al análisis topológico anterior, la Tabla 1 presenta algunas estadísticas básicas de las redes objeto de estudio. La base de datos utilizada en los análisis anteriores muestra que el mercado OTC contribuye con el 23% del valor de las transacciones del mercado de valores de deuda pública, mientras que el SEN y el MEC lo hacen con el 61% y 16%, respectivamente. El número de participantes en el OTC, el MEC y el mercado de deuda pública agregado (OTC y organizado) es similar, mientras que en el SEN es reducido dadas las condiciones de entrada a este sistema de negociación.

Respecto a la densidad de las redes analizadas, tal como se evidenció en el análisis de los grafos de cada mercado, el SEN se destaca por ser una red completa, donde se alcanza la máxima densidad (i.e. todos están conectados entre sí, y todos comparten el mismo número de conexiones); este es un caso particular en el análisis de redes –financieras o no-, ya que, por lo general, las redes no presentan tal característica. Por el contrario, el OTC y el MEC tienen una densidad relativamente baja (0,201 y 0,499, respectivamente), la cual domina la densidad del mercado de valores en su conjunto (0,435).

Consistente con la densidad de las redes analizadas, los indicadores de concentración (i.e. HHI normalizados) son particularmente bajos para el SEN, y mayores para el OTC, MEC y el mercado de valores de deuda pública en su conjunto, donde el MEC presenta la mayor concentración de todos; este resultado corrobora la particularidad de la red del SEN, ya que, por lo general, las redes financieras presentan algún grado de concentración. Lo anterior también confirma la inspección de los grafos MST del OTC y del MEC, los cuales muestran una clara concentración alrededor de unas pocas instituciones.

Tabla 1
Estadísticas básicas de las redes^a

Estadísticas básicas	OTC	SEN	MEC	Agregado (OTC + organizado)
Contribución al valor de las transacciones (promedio diario)	0,23	0,61	0,16	1,00
Número de participantes	99	15	97	101
Número promedio de conexiones (contrapartes) [desviación estándar]	19 [17]	14 [0]	43 [23]	43 [24]
Densidad (conexiones observadas / conexiones posibles)	0,201	1,000	0,499	0,435
Índice de concentración (HHI) de conexiones (Herfindahl–Hirschman Index normalizado)	0,003	0,000	0,003	0,003
Índice de concentración (HHI) de valor de trans. (Herfindahl–Hirschman Index normalizado)	0,043	0,025	0,052	0,052
Exponente α de la distribución de conexiones ^b [t-stat; R ²]	0,670 [5,88; 0,81]	-0,006 [-0,26; 0,01]	1,187 [1,35; 0,19]	0,974 [1,52; 0,22]
Exponente α de la distribución de valores de trans. ^b [t-stat; R ²]	0,101 [2,02; 0,34]	0,030 [0,54; 0,04]	0,106 [2,07; 0,35]	0,140 [1,76; 0,28]
Índice de fricción ^c (eigenvalor principal / suma de eigenvalores)	0,380	0,067	0,376	0,356

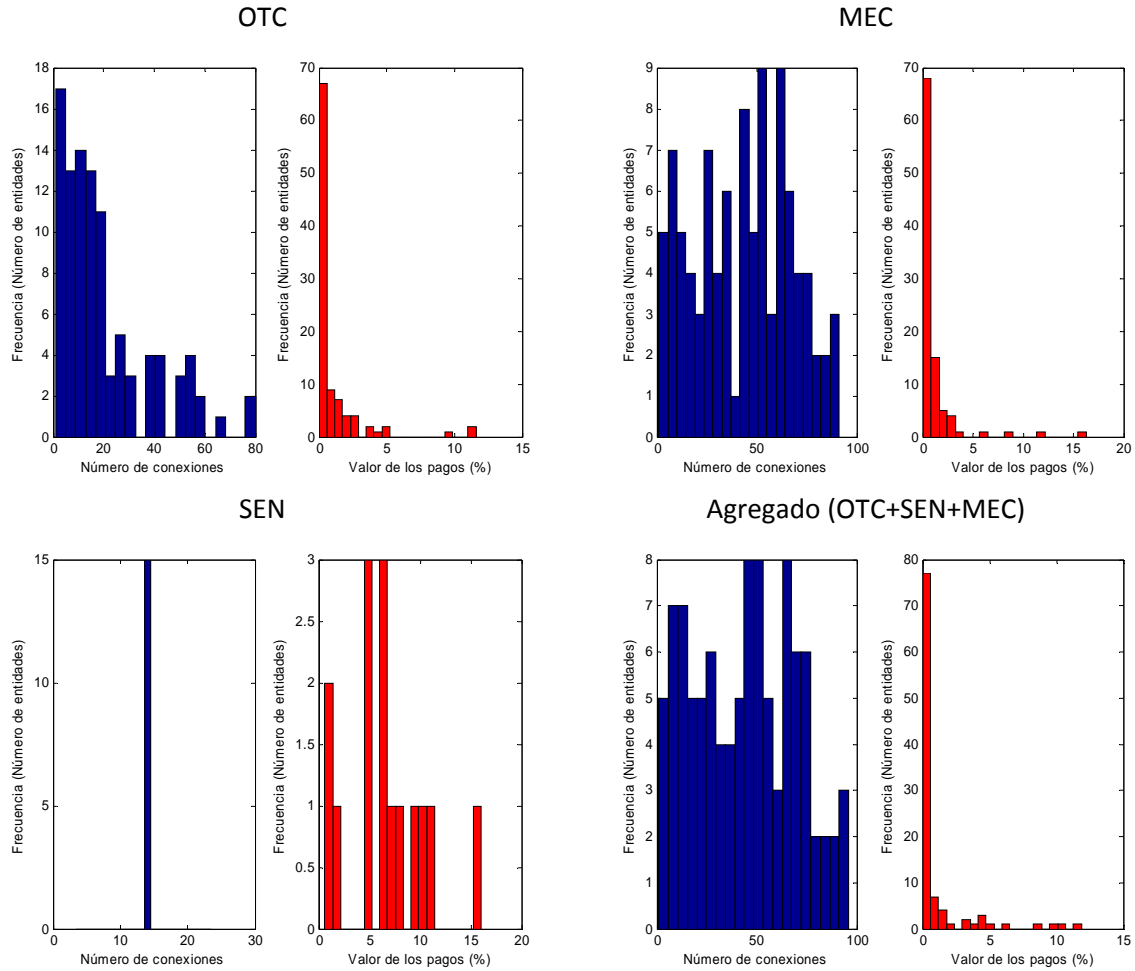
^a Estimadas con base en las redes completas (sin exclusiones); ^b Exponente que determina el orden de la distribución de tipo *power-law*, donde valores significativos y de signo positivo confirman la bondad de ajuste de dicha distribución; ^c Cociente entre el eigenvalor principal (i.e. el valor característico de la matriz) y la suma de los eigenvalores, donde mayores valores denotan mayor fricción en las conexiones. Fuente: cálculos de los autores.

Respecto del nivel de concentración de las conexiones y su valor al interior de cada red, el Gráfico 12 presenta la distribución de frecuencia observada. En cuanto a la distribución del número de conexiones (en azul), la cual es una de las más importantes características de las redes (Newman, 2010 & 2008; Kim y Jeong, 2004), se evidencia una gran disparidad entre las diferentes redes analizadas, mientras que en el caso del valor de los pagos (en rojo), se evidencia cierto grado de semejanza.

Se destaca que la red del mercado OTC es la más similar a la distribución típica (i.e. distribuciones tipo *power-law*) de las redes observadas en la vida diaria (i.e. internet, redes sociales), tanto en número como en valor de las conexiones, donde la concentración de un gran número y valor de las conexiones en un reducido número de participantes resulta en distribuciones con un fuerte sesgo positivo; por este tipo de distribución es que varios autores (León y Murcia, 2012; León y Machado, 2011; Haldane, 2009; Cepeda, 2008) han logrado caracterizar algunas redes financieras como robustas ante fallos (aleatorios uniformes), pero frágiles ante choques (determinísticos)³¹.

³¹ De acuerdo con Haldane (2009) esto explica la existencia de largos periodos de aparente robustez, donde los nodos periféricos –sistémicamente no importantes– son objeto de choques aleatorios, y cortos pero severos episodios de choques sistémicos, en los que las instituciones sistémicamente importantes amenazan la estabilidad financiera. De ahí la caracterización de Haldane de la red financiera internacional como robusta, pero frágil. Esta misma caracterización de redes no financieras (e.g. Internet, redes sociales, redes de contagio epidemiológico) es ampliamente descrita y analizada en Newman (2010 & 2008).

Gráfico 12
Distribución de frecuencia de las conexiones y del valor de las operaciones en el mercado de deuda pública



Fuente: cálculos de los autores.

El grado de semejanza de la distribución de las conexiones y del valor de las transacciones del OTC con una distribución de tipo *power-law* está dado por el exponente α de la Tabla 1. De acuerdo con Newman (2010), según la forma funcional de la distribución *power-law* [§1], el exponente α determina si p_k , que es la probabilidad de ocurrencia de un número de conexiones o de valores de transacciones k , varía como función de la potencia de k , donde C es una constante sin importancia. De acuerdo con Markose et al. (2012), de manera general, cuando $\alpha > 0$ el sistema se caracteriza por la presencia de algunos nodos muy conectados y de muchos poco conectados³².

$$p_k = Ck^{-\alpha} \quad [§1]$$

³² De acuerdo con Newman (2010), el exponente α típicamente se encuentra en el rango comprendido entre dos y tres ($2 \leq \alpha \leq 3$), aunque valores por fuera de este rango son posibles y observados ocasionalmente. Newman reporta, por ejemplo, que las redes de mensajes electrónicos (*e-mails*) entrantes/salientes tienen un parámetro de 1,5/2,0.

En el caso de la red completa del OTC el exponente α es significativo (i.e. medidos por el *t-stat* del parámetro y R^2 de la regresión³³) y del signo esperado (i.e. positivo, indicando que la probabilidad decae con el número o valor de las conexiones) para ambas distribuciones de frecuencia (i.e. número y valor de conexiones). Dicha significancia (i) confirma que hay una alta concentración en unos pocos participantes; (ii) sugiere que existe una estructura jerárquica de tipo centro – periferia; y (iii) señala que la red en cuestión puede considerarse como robusta, pero frágil. Esto coincide con la revisión de los grafos MST del OTC.

Como se indicó anteriormente, la distribución de frecuencia del valor de las entregas de valores por participante en todos los histogramas es similar, y sugiere cierto grado de coincidencia con el tipo de distribución (i.e. *power-law*) documentado en la literatura. Sin embargo, la distribución de frecuencia del número de conexiones del MEC y del agregado (i.e. organizado más OTC) difiere en algún grado de la del OTC; no obstante, la forma de la distribución, así como el signo y magnitud del exponente α del MEC y del agregado, sugieren que existe una tendencia hacia un número reducido de nodos que concentra un gran número de conexiones, aunque dicha concentración sería inferior que en el caso del OTC³⁴. Al igual que en el caso del OTC, el análisis de los grafos MST y de las distribuciones de frecuencia del MEC y el agregado coinciden.

El caso del SEN es aun más particular y contrario a lo documentado por la literatura sobre redes: la distribución del número de conexiones se concentra en un solo rango, que corresponde al número máximo de contrapartes con el que es posible conectarse, el cual es también el número promedio de conexiones de la red. En este caso el exponente α muestra que existe evidencia inequívoca de que las conexiones y los valores transados en el SEN no se ajustan a una distribución *power-law*, mientras que la coincidencia del número de conexiones de cada participante con la media de las conexiones indicaría que se trata de un caso especial de una red aleatoria³⁵.

Entonces, de acuerdo con la literatura sobre las implicaciones de la distribución de frecuencia de las conexiones como determinante de las características de las redes (Newman, 2010 & 2008), el MEC, OTC y el mercado agregado (OTC y organizado) pueden ser señalados como robustos ante

³³ La manera más común de estimar el exponente α consiste en utilizar mínimos cuadrados ordinarios sobre una transformación logarítmica de [§1] ($\ln(p_k) = \ln(C) - \alpha \ln(k)$). Sin embargo, tal como se documenta en Clauset et al. (2009), esta estimación no está exenta de problemas, y otros métodos más robustos (e.g. máxima verosimilitud) deben ser utilizados para determinar de manera completa y confiable si una variable puede ser considerada como extraída de este tipo de distribución. Dado que el objetivo de los autores no es comprobar si efectivamente la distribución *power-law* describe de manera fidedigna las variables, sino de encontrar si las variables se aproximan a algún tipo de distribución sesgada (i.e. similar a la *power-law*), la estimación se hace a través de mínimos cuadrados ordinarios; de este modo se consigue establecer si las variables cumplen, según Clauset et al. (2009), con la condición necesaria – aunque no suficiente- para caracterizar una distribución *power-law*.

³⁴ Newman (2008) destaca que la ausencia de una distribución de tipo *power-law* no implica que no haya concentración de las conexiones en unos pocos nodos; de hecho, según Newman, muchas redes de la vida real (i.e. internet, redes sociales, redes de distribución de energía eléctrica) han sido caracterizados con otros tipos de distribución que reconocen ese tipo de sesgo.

³⁵ El término “red aleatoria” se refiere a los grafos aleatorios de tipo Poisson, también conocidos como modelo Erdős-Rényi, los cuales se caracterizan –entre otras propiedades- por que la distribución de frecuencias de las conexiones no presentan sesgos significativos (Newman, 2010), su estructura no es jerárquica (Bonanno et al., 2003), y el número de conexiones de cada nodo se aproxima a la media de las conexiones de la red (Newman, 2008); respecto a esta última, ya que todos comparten el mismo número de conexiones, este sería un caso particular de una distribución de Poisson.

fallos (aleatorios), pero frágiles ante choques determinísticos. Por el contrario, en comparación con las tres redes antes mencionadas, el SEN puede ser señalado como menos robusto, pero también menos frágil, donde un fallo o un choque tienden a tener efectos similares.

En términos prácticos, que el SEN sea menos robusto se traduce en que la remoción aleatoria (i.e. uniforme) de una porción significativa de sus participantes o conexiones sí afecta de manera significativa su estructura, mientras que esa misma remoción aleatoria podría no afectar de la misma forma a las redes del OTC, MEC y el mercado agregado. Por otra parte, que las redes del OTC, MEC y el mercado agregado sean más frágiles implica que la remoción del participante más conectado afecta significativamente la estructura de la red³⁶, mientras en el SEN la misma remoción determinística no difiere mucho de una remoción aleatoria, y, por tanto, el efecto es menos significativo.

Por otra parte, el índice de fricción, el cual es estimado como el cociente entre el primer eigenvalor principal y la suma de todos los eigenvalores principales de la matriz respectiva³⁷, se encuentra acotado entre cero y uno, donde valores cercanos a cero (uno) corresponden a sistemas donde la distancia resulta en una baja (alta) resistencia o fricción para los flujos que componen la red. En este caso el SEN aparece como la red con menor fricción, lo cual indica que los flujos entre todos los participantes son particularmente ágiles. Esta baja fricción es intuitiva dado que, además de ser un mercado en el que se negocia y cumple de manera anónima (i.e. es ciego), no existen cupos de contraparte, y donde, en el marco del Programa de Creadores de Mercado del MHCP, los participantes deben cumplir con diversos indicadores de desempeño³⁸; esto, a su vez, puede explicar la ausencia de una estructura de centro – periferia en el SEN. No obstante, este bajo índice de fricción también sugiere que el SEN se aproxima a una red aleatoria, donde es difícil encontrar participantes o conexiones significativamente importantes.

El MEC y el OTC presentan índices de fricción similares, cercanos a 0,38, y similares al índice de la red agregada (0,36). El grado de alejamiento respecto del límite inferior (0) y del índice obtenido por el SEN (0,07) reflejan que estas redes presentan una mayor fricción en los flujos que conectan a los participantes. Esta mayor fricción puede explicarse a partir de la caracterización que realizan Braunstein et al. (2007) y Wu et al. (2006) de las redes MST, donde la entidad promedio del MEC, OTC y el mercado de deuda pública agregado (OTC y organizado) es periférica y, por tanto, debe utilizar “caminos” de tránsito lento, mientras que la entidad promedio del SEN dispone de “super-

³⁶ Newman (2008) documenta que si la distribución de las conexiones de una red puede ser caracterizada por como *power-law*, sin importar el exponente α , se requiere remover menos del 3% de los nodos más importantes para afectar severamente la conectividad de una red.

³⁷ Gould (1967) justifica la utilización de los eigenvalores como una medida de la fricción de la distancia entre nodos para caracterizar y comparar ciertos tipos de matrices; en ese sentido, el cociente entre el eigenvalor principal y la suma de los eigenvalores representa dicha fricción. Alternativamente, este cociente representa también la capacidad de un modelo lineal de pocos factores para caracterizar un sistema matricial, donde un bajo (alto) valor de dicho cociente representa una menor (mayor) capacidad. De este modo, como se argumenta más adelante, una mayor fricción en la red puede resultar en una más fácil caracterización de la misma.

³⁸ Por ejemplo, las obligaciones de los participantes del Programa de Creadores de Mercado del MHCP incluyen cotizar permanente y simultáneamente puntas de compra y venta en el primer escalón del mercado secundario de títulos de deuda pública (SEN), con un margen máximo entre compra y venta en emisiones abiertas y cerradas tanto en la parte larga como en la parte corta de la curva de rendimientos, entre otras.

autopistas”; desde el punto de vista operativo, la pluralidad y heterogeneidad de los participantes, así como la existencia de cupos de crédito en el OTC y el MEC, pueden ayudar a explicar esta mayor fricción. No obstante, contrario a lo que sucede con el SEN, este mayor índice de fricción del MEC y el OTC facilita la caracterización de la red, ya que las redes en cuestión se alejan de una red puramente aleatoria, y tienden a estructuras en las que un núcleo de pocas entidades concentra la mayor cantidad y volumen de operaciones.

5. Comentarios finales

En el presente trabajo se describió el mercado OTC de valores que se desarrolla en Colombia, en donde se señalan algunos elementos importantes de la regulación que permiten comprender parte de la estructura propia del mercado. En este sentido se destaca, por ejemplo, que la clasificación como operación perteneciente al mercado de valores organizado u OTC se encuentra definida estrictamente en términos del escenario o espacio en donde se cierran las operaciones.

Otro aspecto importante a resaltar es que la regulación del mercado OTC de valores en Colombia hace referencia a aspectos tales como los instrumentos, participantes, tipos de operaciones, compensación y liquidación final, entre otros. Gracias a esta regulación se cuenta con una fuente valiosa de información de mercado a través de la infraestructura financiera, más específicamente, a partir de los sistemas de registro de operaciones sobre valores y de los sistemas de compensación y liquidación.

Respecto a la dimensión del mercado OTC, este representa cerca del 28,4% del mercado de valores colombiano. En cuanto a los instrumentos, el mercado se concentra en más de un 95% en valores de renta fija, en donde, a su vez, los títulos de deuda pública TES clase B son los más representativos, con cerca del 80% del monto total registrado.

Además de describir el mercado OTC de valores colombiano, este documento se ocupó de caracterizar dicho mercado con base en algunos métodos y métricas propios del análisis de redes complejas, para luego comparar su estructura y características con las de los principales sistemas de negociación del mercado organizado (i.e. MEC y SEN) y con la estructura resultante de agregar todas las redes que componen el mercado de valores local. Para tal fin se utilizó la información correspondiente al mercado de valores de deuda pública, la cual representó el 91% del valor transado en el mercado de valores de renta fija local durante 2012.

La caracterización del mercado OTC de valores de deuda pública a través del análisis de redes permitió identificar la mayor importancia de unas pocas entidades y sus interconexiones al interior de dicho mercado (i.e. tres establecimientos de crédito y dos comisionistas de bolsa), las cuales conforman la “columna vertebral” o “super-autopista” de este mercado en el sentido expuesto por Braunstein et al. (2007) y Wu et al. (2006). La importancia de estas entidades se verificó a través de (i) el análisis gráfico de su rol en la estructura jerárquica más sencilla que mejor caracteriza al mercado en su conjunto (i.e. *minimal spanning tree* – MST); (ii) la posición y el número de conexiones que mantiene al interior de dicha estructura jerárquica; y (iii) su

centralidad como vendedor-comprador de títulos de deuda pública (i.e. centralidad de autoridad y distribución).

La caracterización del mercado OTC de valores de deuda pública también permitió encontrar que es una estructura jerárquica (i.e. no aleatoria), muy similar a aquellas documentadas en la literatura sobre redes financieras y de la vida diaria (i.e. Internet, redes sociales), donde se destaca la concentración del número y valor de las conexiones en los participantes que ocupan posiciones de importancia al interior del sistema por su centralidad. El resultado de la caracterización permitió confirmar la significancia de las distribuciones sesgadas, de tipo *power-law*, para describir las conexiones y valor de las transacciones de la red del mercado OTC de valores de deuda pública en el 2012, por lo que esta red puede ser convenientemente descrita como robusta, pero frágil.

Con fines comparativos se realizó la misma caracterización para las redes que resultan del SEN, MEC y del mercado de valores de deuda pública en su conjunto (i.e. OTC y organizado). Al identificar la “columna vertebral” o “super-autopista” de cada mercado se verificó que algunos intermediarios de valores cumplen un rol significativo en todas las redes, mientras que otros lo hacen solo en alguna(s) de ellas.

De esta comparación se pueden destacar tres hallazgos: (i) la semejanza estructural entre el mercado OTC y el MEC, donde ambas redes son poco densas, constan de centros y periferias bien definidos³⁹, con estructuras que, de acuerdo con varios autores (León y Murcia, 2012; León y Machado, 2011; Newman, 2010 & 2008; Haldane, 2009; Cepeda, 2008), pueden resultar en sistemas robustos pero frágiles; (ii) las particularidades de la red del SEN, que la muestran como un sistema más denso, más homogéneo, mejor conectado y menos concentrado (i.e. sin centros y periferias claros), que, en contraposición con las otras redes, y según la literatura, posiblemente puede ser caracterizado como el menos frágil, pero también el menos robusto; (iii) pese a que el SEN es el sistema menos jerárquico, el SEN contribuye de manera decisiva a la estructura jerárquica (i.e. centro-periferia) del mercado de valores de deuda pública en su conjunto; y (iv) la no-linealidad en la agregación de las redes analizadas, lo cual se evidencia numéricamente en que la red del mercado de valores de deuda pública en su conjunto se asemeja más a las redes del OTC y del MEC, pese a que el SEN es el más representativo (61%) en términos de contribución al valor de las operaciones.

Juntos, estos tres hallazgos son particularmente importantes para las autoridades financieras, así como para los intermediarios de valores y para los emisores de títulos de deuda pública (e.g. MHCP). Implican que la red del SEN, pese a contribuir con más de la mitad del volumen de transacciones del mercado de deuda pública local, no es representativa de la estructura de la red agregada de dicho mercado, por lo que utilizar el SEN como su *benchmark* es inconveniente, en especial si de mediciones de riesgo sistémico o de la importancia de la conectividad se trata⁴⁰. En ese sentido, caracterizar y analizar el mercado de deuda pública colombiano exige utilizar la red completa del mercado de deuda pública (i.e. OTC y organizado).

³⁹ Este resultado es consistente con Saade (2010), quien concluyó que el MEC (transaccional y registro) durante el periodo 2006-2010 se caracteriza por ser fuertemente concentrado y con bajo nivel de conectividad.

⁴⁰ Es el caso de Laverde y Gutiérrez (2012).

Estos tres hallazgos resultan, a su vez, en varios retos y posibles trabajos derivados de este documento. El primero, con base en los indicios de robustez y fragilidad de las redes del OTC, MEC y del mercado de valores de deuda pública agregado, consiste en señalar que las autoridades deben concentrar sus esfuerzos (i.e. la intensidad de la regulación, supervisión y seguimiento) en aquellos participantes que son centrales o sistémicamente importantes. Intuitivamente, enmarcado en la literatura sobre redes de contagio (Newman, 2010 & 2008; Markose et al., 2012; Haldane, 2009), la estructura del mercado de valores de deuda pública sugiere que la mejor alternativa para “inmunizar” al sistema es enfocarse en las entidades sistémicamente importantes, lo cual exige de metodologías apropiadas e información adecuada para determinar dicha importancia⁴¹, así como de cambios en la aproximación a la manera de realizar la regulación, supervisión y seguimiento de las entidades que resulten importantes.

El segundo consiste en verificar la reconfiguración de mediano y largo plazo de las redes del mercado de valores de deuda pública después de la liquidación de Interbolsa. Un trabajo en ese sentido es de particular importancia puesto que, al igual que en el caso de *Long-Term Capital Management* en 1998, descartar la importancia de Interbolsa por la ausencia de quiebras como consecuencia de su liquidación puede ser errado⁴².

El tercer reto consiste en ampliar la muestra de mercados financieros analizados con este tipo de metodologías de análisis de redes, así como profundizar en la implementación de metodologías cada vez más avanzadas. En este sentido, en atención a la información disponible, los autores contemplan desde ya la realización de un ejercicio que contribuya al análisis de las estructuras del mercado cambiario y del sistema de pagos de alto valor; analizar mercados para los cuales no se cuenta con información desagregada (i.e. deuda corporativa, acciones) requerirán de la colaboración de las infraestructuras –privadas- correspondientes. Así mismo, los autores tienen previsto explorar otras metodologías –menos restrictivas⁴³- para filtrar de información de sistemas complejos que permitan caracterizar de mejor manera las redes analizadas.

El cuarto consiste en ahondar en la estructura básica de las redes aquí analizadas. Por ejemplo, en las redes del mercado de valores de deuda pública se consideraron las operaciones de compra-venta y la constitución de las simultáneas de manera agregada; pese a que en ambos tipos de

⁴¹ Algunos desarrollos metodológicos para la identificación de instituciones e infraestructuras financieras sistémicamente importantes en el mercado local han sido propuestos por León y Machado (2011), León y Murcia (2012) y León y Pérez (2013). Respecto a la existencia de información adecuada, se resalta la importancia general de los repositorios de transacciones (*trade repositories*) y, en particular, de contar con un sistema de registro centralizado de operaciones de derivados no financieros sometidos a la reglamentación del MHCP.

⁴² Por ejemplo, Greenspan (1998) resalta los posibles efectos sistémicos que hubiesen surgido en el caso de no haberse estructurado el rescate –privado- de *Long-Term Capital Management* en septiembre de 1998, entidad no bancaria que se caracterizaba por su tamaño, conectividad y complejidad, pero cuyo rescate y posterior liquidación no derivó en quiebra alguna. Otro caso similar en la literatura financiera es el de Drexel-Burnham-Lambert, la firma de intermediación de bonos más importante del mundo a finales de los ochentas, cuya quiebra en 1990 no se replicó entre sus contrapartes, pero sí generó traumatismos en los mercados de bonos corporativos (Pozen, 2010), fue importante por su interdependencia para los sistemas de pago, compensación y liquidación (Gup, 1998) y resultó en cambios significativos en la estructura del mercado (Livingston y Williams, 2007).

⁴³ La principal ventaja del MST es también su principal desventaja: su simplicidad. Otras metodologías evitan que el número de conexiones resultante sea estrictamente ($N - 1$), con lo que buscan hacer menos drástico y más informativo el filtrado de la red original.

operación hay una entrega de título a cambio de dinero, es bien conocido que cada tipo de operación tiene unos objetivos o fundamentales diferentes, donde distintos tipos de intermediarios de valores pueden actuar de manera disímil en ambos tipos de operación. Así mismo, realizar un análisis comparativo entre las estructuras jerárquicas de entrega (en el cuerpo del documento) y de recibo (en el anexo) de títulos de valores de deuda pública puede ser informativo sobre el rol y la importancia inter-redes (i.e. *cross-system risk*) de algunos participantes de este mercado.

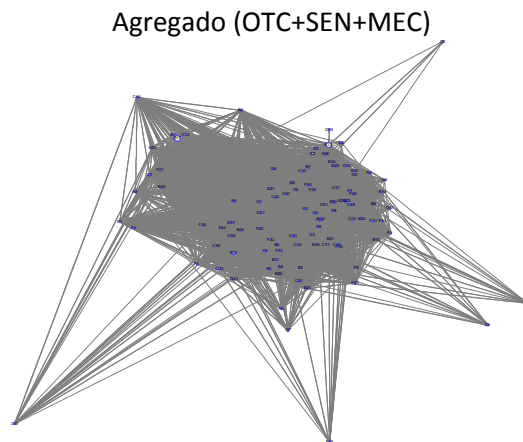
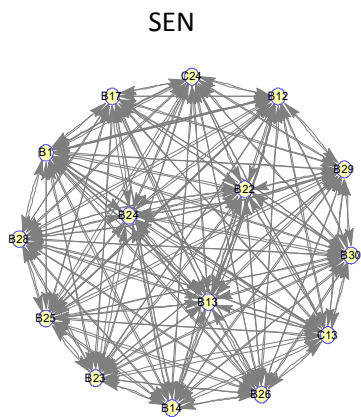
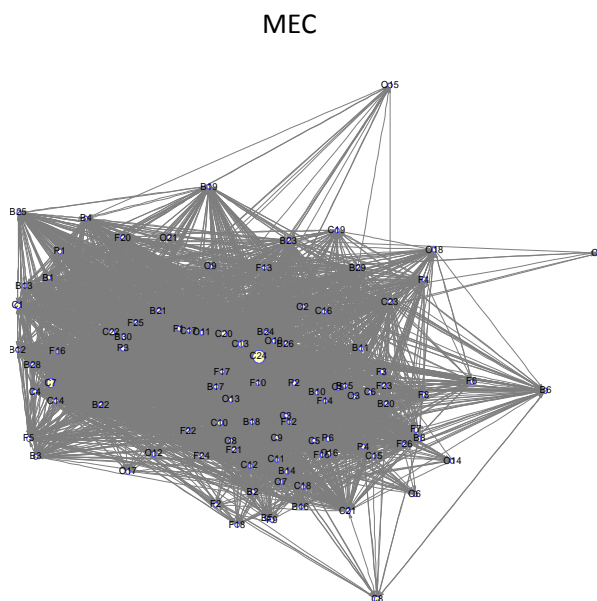
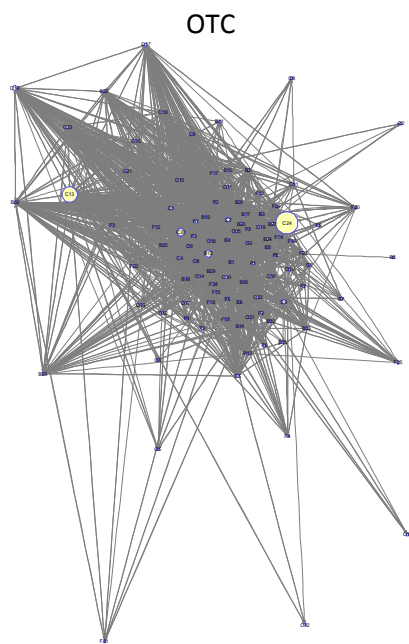
6. Bibliografía

- Banco de la República (BR), *Reporte de Sistemas de Pago*, Banco de la República, 2012.
- Bolsa de Valores de Colombia (BVC), *Mercado de Renta Fija Colombiano Evolución y Diagnóstico*, Estudios Técnicos - Bolsa de Valores de Colombia, 2012.
- Bonanno, G.; Caldarelli, G.; Lillo, F.; Mantegna, R.N., "Topology of correlation-based minimal spanning trees in real and model markets", *Physical Review E*, No.68, 2003.
- Braithwaite, T., "Finance: elusive information", *Financial Times*, February 15th, 2011.
- Braunstein, L.A.; Wu, Z.; Chen, Y.; Buldyrev, S.V.; Kalisky, T.; Sreenivasan, S.; Cohen, R.; López, E.; Havlin, S.; Stanley, E., "Optimal path and minimal spanning trees in random weighted networks", *International Journal of Bifurcation and Chaos*, Vol.17, No.7, 2007.
- Cepeda, F.H., "La topología de redes como herramienta de seguimiento en el Sistema de Pagos de Alto Valor en Colombia", *Borradores de Economía*, No.513, Banco de la República, 2013.
- Clauset, A.; Shalizi, C.R.; Newman, M.E.J., "Power-law distributions in empirical data", *SIAM Review*, No.4, Vol.51, 2009.
- Gilmore, C.G.; Lucey, B.M.; Boscia, M.W., "Comovements in government bond markets: a minimum spanning tree analysis", *Physica A*, No.389, 2010.
- Gould, P.R., "On the geographical interpretation of eigenvalues", *Transactions of the Institute of British Geographers*, No.42, 1967.
- Greenspan, A., "Private-sector refinancing of the large hedge fund, Long-Term Capital Management", Testimony of Chairman Alan Greenspan before the Committee on Banking and Financial Services, U.S. House of Representatives, October 1st, 1998.
- Gup, B.E., *Bank failures in the major trading countries of the world: causes and remedies*, Quorum Books, 1998.
- Haldane, A.G., "Rethinking the financial network", *Speech delivered at the Financial Student Association (Amsterdam, Netherlands)*, April, 2009.
- Hawkesby, C.; Marsh, I.W.; Stevens, I., "Comovements in the prices of securities issued by large complex financial institutions", *Working Paper*, No.256, Bank of England, 2005.
- Kim, D.-H. y Jeong, H., "Scale-free spanning trees of complex networks", *Journal of the Korean Physical Society*, Vol.44, No.3, 2004.
- Kim, D.-H.; Son, S.W.; Ahn, Y.-Y.; Kim, P.J.; Eom, Y.-H.; Jeong, H., "Underlying scale-free trees in complex networks", *Progress of Theoretical Physics Supplement*, No.157, 2005.
- Kleinberg, J.M., "Authoritative sources in a hyperlinked environment", *Proceedings of the ACM-SIAM Symposium on Discrete Algorithms*, 1998.
- Kruskal, J.B., "On the Shortest Spanning Subtree of a Graph and the Traveling Salesman Problem", *Proceedings of the American Mathematical Society*, No.1, Vol.7, 1956.
- Langville, A.N. y Meyer, C.D.D., *Google's PageRank and beyond: the science of search engine rankings*, Princeton University Press, 2012.
- Laverde, M. y Gutiérrez, J., "¿Cómo caracterizar entidades sistémicas?: Medidas de Impacto

- Sistémico para Colombia”, *Temas de Estabilidad Financiera*, No.65, Banco de la República, mayo, 2012.
- León, C. y Machado, C., “Designing and expert knowledge-based systemic importance index for financial institutions”, *Borradores de Economía*, No.669, Banco de la República, 2011.
- León, C. y Murcia, A., “Systemic importance index for financial institutions: a principal component analysis approach”, *Borradores de Economía*, No.741, Banco de la República, 2012.
- León, C. y Pérez, J., “Authority centrality and hub centrality as metrics of systemic importance of financial market infrastructures”, *Borradores de Economía*, No.754, Banco de la República, 2013.
- Livingston, M. y Williams, G., “Drexel Burnham Lambert’s bankruptcy and the subsequent decline in underwriter fees”, *Journal of Financial Economics*, No.84, 2007.
- Mantegna, R.N., “Hierarchical structure in financial markets”, *The European Physical Journal B*, No.11, 1999.
- Markose, S.; Giansante, S.; Shaghghi, A.R., “‘Too interconnected to fail’ financial network of US CDS market: topological fragility and systemic risk”, *Journal of Economic Behavior & Organization*, No.83, 2012.
- Marsh, I.W.; Stevens, I.; Hawkesby, C., “Large complex financial institutions: common influences on asset price behaviour?”, *Financial Stability Review*, Bank of England, December, 2003.
- Newman, M.E.J., “The physics of networks”, *Physics Today*, No.33, 2008.
- Newman, M.E.J., *Networks*, Oxford University Press, 2010.
- Onnela, J.-P.; Chakraborti, A.; Kaski, K.; Kertész, J.; Kanto, A., “Dynamics of market correlations: Taxonomy and portfolio analysis”, *Physical Review E*, No.68, 2003.
- Pozen, R, *Too big to save? How to fix the U.S. financial system*, John Wiley & Sons, 2010.
- Saade, A., “Estructura de red del Mercado Electrónico Colombiano (MEC) e identificación de agentes sistémicos según criterios de centralidad”, *Temas de Estabilidad Financiera*, Banco de la República, 2010.
- Wu, Z.; Braunstein, L.A.; Havlin, S.; Stanley, H.E., “Transport in weighted networks: partition into superhighways and roads”, *Physical Review Letters*, No.96, 2006.

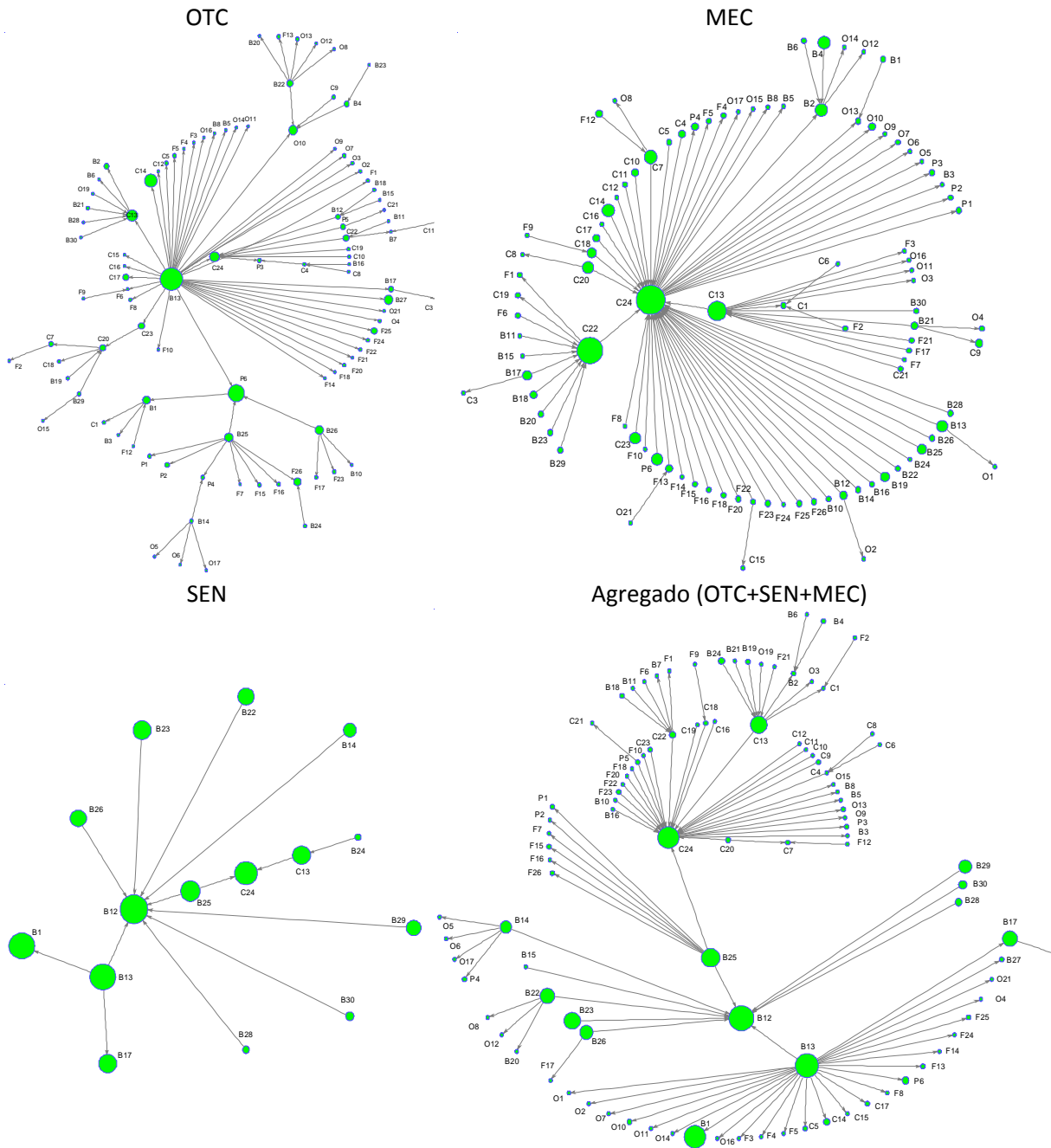
7. Anexos

7.1. Grafos (sin exclusiones)



Fuente: cálculos de los autores.

7.2. Grafos MST (Recibos de títulos valores)



Fuente: cálculos de los autores.