



MODELO DE REDES DE NEGOCIACIÓN

VIGILADO
SUPERINTENDENCIA FINANCIERA
DE COLOMBIA



OFICINA DE
INVESTIGACIÓN
Y ANÁLISIS

I. INTRODUCCIÓN

La Bolsa de Valores de Colombia (BVC) es el principal foro de negociación y registro de operaciones sobre valores en Colombia a través de plataformas de negociación en el mercado de acciones, renta fija y derivados estandarizados. Todas las transacciones realizadas a través del sistema de negociación de la BVC se pueden entender como interconexiones entre los distintos agentes¹ que conforman el mercado de capitales colombiano. Entender y analizar la estructura de negociación del mercado de valores permite identificar características propias de negociación de los tres mercados.

Teniendo en cuenta lo anterior se construyó un modelo de redes de negociación para los mercados de renta variable, renta fija, y derivados. El modelo se sustenta en la teoría de redes, la cual permite tener una aproximación a la forma en la que negocian los distintos agentes en cada mercado. Paralelo a esto se crearon mediciones de mercado tales como índice de concentración de la red, el tamaño relativo del volumen transado, y la importancia del mercado interno para cada uno de los agentes que participan.

El objetivo de este documento es presentar el modelo construido. Para tal fin, en la segunda sección se encuentra una descripción de la teoría de redes. Luego, en la tercera sección, se realiza una breve revisión de literatura sobre algunos estudios que implementan esta teoría. En la cuarta se describe el modelo de redes de la BVC. En la quinta sección, se explica la presentación de resultados y, finalmente, en la sexta se presentan algunas consideraciones finales a tener en cuenta sobre el alcance del modelo y futuras investigaciones.

¹ Entiéndase agente como el cliente o afiliado de la BVC

II. CONCEPTOS Y DEFINICIONES GENERALES DE LA TEORÍA DE REDES

1. TEORÍA DE REDES O DE GRAFOS

La teoría de redes tiene como objetivo observar la estructura de un sistema a través de las interconexiones de sus participantes. Este proceso se realiza a través de la utilización de las matemáticas y las ciencias algorítmicas para establecer dinámicas de relación en la red.

La teoría de grafos no sólo es muy útil por la información que proporciona, sino que también resulta de fácil interpretación, dada la posibilidad de representación gráfica de los resultados. Gracias a esta teoría diferentes áreas del conocimiento han podido representar mejor algunos problemas, o simplemente reconocer las interacciones dentro de sus sistemas.

La sociología y la psicología son algunas de las principales disciplinas que han utilizado esta teoría para reconocer y representar las estructuras subyacentes de las relaciones entre personas. En el campo de la economía y las finanzas también se ha empleado como mecanismo de estudio para establecer relaciones entre distintos sistemas. Para el caso de la BVC, la teoría de redes permite establecer la manera en la que los agentes de un mercado negocian, por medio de la especificación de conexiones existentes entre los distintos actores del sistema².

2. GRÁFICA

Es cualquier representación gráfica de la red del sistema estudiado.

3. RED

Representa la interacción de los agentes del sistema estudiado.

4. AGENTES

Son los participantes del sistema.

5. NODO

Es cada conexión entre los agentes de la red.

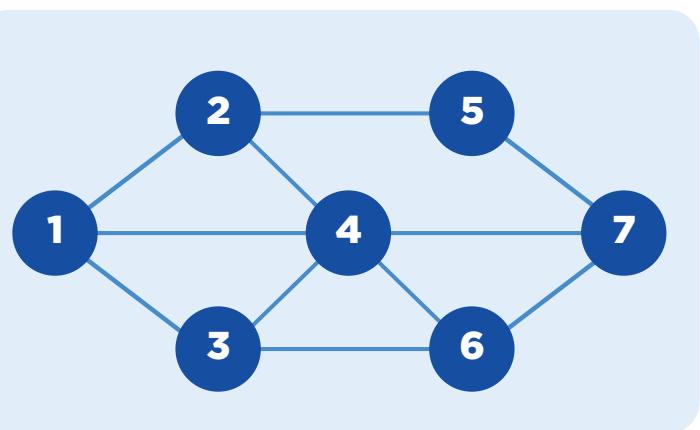


Figura 1: Representación gráfica de una red

Para este ejemplo de representación gráfica de una red, los agentes son los círculos azules enumerados de 1 a 7, y los nodos están representados por las líneas azul claro.

² En este caso, el sistema es cada uno de los mercados de valores de la BVC

III. REVISIÓN DE LITERATURA

En el sector financiero la teoría de grafos ha servido como herramienta en diversos estudios. Uno de los principales puntos de interés por parte de los académicos ha sido buscar un buen indicador para predecir y/o estimar el precio de una acción determinada, observando la forma en la que interactúan los inversionistas. Dentro de este tipo de estudios se destaca el de Zyga (2012) *"Stock market network reveals investor clustering"*, y el de Xiao-Qian Sun, Hua-Wei Shen y Xuei-Qi Cheng (2014) *"Trading Network Predicts Stock Price"*, los cuales llegan a conclusiones similares sobre la relación que existe entre la forma de interacción de los inversionistas y el movimiento de precio de una acción: Cambios fuertes en el precio de una acción suelen estar acompañados de mayor interconexión entre los agentes del mercado.

Así mismo, existen otros estudios que buscan caracterizar redes financieras con propósitos distintos a la predicción del precio de una acción, como por ejemplo, el de Gilmore, Lucey y Boscia (2010) *"Co movements in government bond markets: A minimum spanning tree analysis"* sobre la evolución de las relaciones entre el mercado de bonos y el impacto de diversificación específicamente en los mercados europeos.

Otra aproximación a sistemas financieros utilizando la teoría de redes es la del Banco de Pagos Internacionales (BIS) (2010) *"Interbanking Tiering and Money Center Banks"*,

que estudia la interacción en el mercado interbancario de Alemania, y encuentra que la mayoría de los bancos no se prestan entre ellos directamente, pero sí a través de bancos centrales que actúan como intermediarios.

En Colombia la metodología ha sido empleada por Cepeda (2008) en su trabajo *"La Topología de redes como herramientas de seguimiento en el sistema de pagos de alto valor en Colombia"*, en el cual por medio de la topología de la red logra pronosticar el impacto y la forma de propagación de riesgos financieros de diverso género y ayuda a ejemplificar la naturaleza de esta red. De esta misma forma se encuentra el estudio realizado por Pérez, León y Mariño (2015) llamado *"Aproximación a la estructura del mercado cambiario colombiano desde el análisis de redes"*, donde buscan caracterizar el mercado spot peso/dólar y forward peso/dólar colombiano, resaltando el papel que tiene la infraestructura financiera del país como generador de información estandarizada y confiable de mercado.

Dado que el objeto de estudio no ha sido trabajado para los mercados de la BVC, se torna pertinente su desarrollo y puede enmarcarse como un aporte particular a la literatura. El alcance inicial de este modelo es meramente informativo y busca describir periódicamente las características de negociación de cada uno de los mercados.

IV. MODELO DE REDES DE NEGOCIACIÓN DE LA BVC

Como se mencionó anteriormente, el modelo de redes de negociación de la BVC busca estudiar la manera cómo interactúan los distintos agentes en los tres mercados. La información que alimenta dicho modelo proviene de los sistemas transaccionales de la BVC.

A continuación se enunciarán los distintos agentes y la caracterización que el modelo permite dar en cada mercado.

i. AGENTES

Para efectos del modelo, los agentes son los afiliados de la BVC que interactúan en cada mercado.

- **Renta Fija:** Establecimientos de crédito, Bancos, Sociedades Comisionistas de Bolsa, Sociedades Fiduciarias, Compañías de Seguros y Sociedades Administradoras de Fondos de pensiones y Cesantías.
- **Renta Variable:** Sociedades Comisionistas de Bolsa.
- **Derivados:** Administradoras de fondos de pensión y cesantías, Sociedades Comisionistas de Bolsa, Sociedades Fiduciarias, Corporaciones financieras, Compañías de financiamiento y Bancos.

ii. CARACTERIZACIÓN DEL MODELO

En cada mercado, la red de negociación se puede construir en distintos niveles como se explica a continuación.

- **Renta Fija:** El modelo permite analizar la red de negociación del mercado de manera global o filtrando por tipo de deuda (Pública / Privada), tipo de operación (Contado /REPOS/SIMULTÁNEAS/TTV's), tipo de sistemas (Registro/transaccional), o por especie en particular, escribiendo el nemotécnico del título a evaluar.
- **Renta Variable:** Este mercado puede ser caracterizado de manera global, por tipo de rueda (Contado/MGC/MILA/OPA/REPO/TTV), o por especie en particular.
- **Derivados:** Al igual que los mercados anteriores se puede analizar de manera global, por tipo de rueda (Transaccional/Registro), o por la referencia del derivado (Renta Variable, Divisas, Tasa de interés) que se deseé observar.

El modelo de redes de negociación de la BVC utiliza ciertos criterios de información que buscan entender mejor las relaciones que se generan al interior de cada mercado. Esto se hace a través de métricas que proporcionan información comparable entre períodos de estudio y entre cada uno de los agentes participantes.

Los criterios escogidos para la caracterización de esta red fueron: interconexión, concentración, tamaño relativo de cada agente frente al mercado, e importancia del mercado interno general e individual.

A continuación se explicarán mejor cada uno de los cuatro criterios utilizados en el modelo:

1. INTERCONEXIÓN

Este criterio mide qué tan conectado está un agente determinado con el mercado; a través de este indicador es posible establecer qué tan relevante resulta un agente: entre más conexiones presente, más alta será su importancia sistémica.

Se entiende como conexión la interacción de un agente con otro. Cada agente puede tener hasta $n-1$ conexiones, donde n es el número total de agentes en el mercado. La conexión entre dos agentes se puede dar con cualquier operación realizada, bien sea de compra o de venta y con valor económico no nulo.

Para el cálculo de este criterio no es relevante que durante un día dos agentes hayan

negociado entre ellos más de una vez, es decir, no se cuenta por número de operaciones realizadas, sino por número de agentes con los que se negocia. Para el cálculo de las interconexiones de toda la red en un día específico t , se crea una matriz de conexiones de dimensiones $n \times n$, donde n es el número total de agentes en el periodo de cálculo T^3 . Las operaciones en las que el agente sea el comprador y el vendedor, es decir operaciones cruzadas⁴, no se tendrán en cuenta en la construcción de este criterio.

En la tabla 1 se ejemplifica el número de conexiones para un agente en un día t del periodo de estudio T . Para efecto del ejemplo, se supone que en el mercado sólo participaron cuatro agentes durante T . Los valores presentados son cifras ficticias y están dados en millones \$COP.

Tabla 1: Ejemplo del número de conexiones posibles de un agente en un día t del periodo T

		Comprador			
		Agente 1	Agente 2	Agente 3	Agente 4
Vendedor	Agente 1	Operación Cruzada	300	250	
	Agente 2	230	Operación Cruzada		140
	Agente 3	220	240	Operación Cruzada	160
	Agente 4		180	210	Operación Cruzada

Conexiones por agente en el día t del periodo T

³ T puede ser un día, una semana, un mes, un trimestre o cualquier intervalo de tiempo que el analista quiera estudiar, pero t siempre hará referencia a un día.

⁴ Una operación cruzada es aquella que realiza el afiliado con él mismo.

Conexiones por agente en el día t del periodo T

Agente 1	2
Agente 2	3
Agente 3	3
Agente 4	2

Fuente: BVC

En el caso del Agente 2, las tres conexiones resultan del siguiente conteo:

1. El Agente 2 interactúa como vendedor con el Agente 1 por un monto negociado total durante el día t de 230 millones \$COP (recordemos que esos 230 millones \$COP pueden ser el resultado de una o más operaciones durante ese día), y como comprador con el mismo agente por un monto total de 300 millones \$COP. Para efectos de las conexiones del Agente 2, estas dos posiciones representan sólo una conexión.
2. Agente 2 con Agente 3: El Agente 2 interactúa con el Agente 3 como vendedor. Esta operación es una conexión para el conteo del Agente 2.
3. Agente 2 con Agente 4: Nuevamente el Agente 2 se conecta con otro Agente tanto como comprador como vendedor, es decir tiene una conexión con el Agente 4.
4. Las operaciones cruzadas no se tiene en cuenta para este cálculo.

De esta manera, se contabiliza un total de 3 conexiones para el Agente 2 y de la misma forma se hace el conteo de las conexiones para el resto de los agentes participantes en T.

Una vez se tiene el total de conexiones en un día t del periodo T, se dividen entre el número de agentes n que participaron en T. En el modelo de la BVC, este cálculo se conoce como grado promedio de nodos (GPN), el cual mide con cuántos agentes en promedio se conecta un agente en un día típico del periodo de estudio. En nuestro ejemplo, el GPN sería 2,5 para el día t. Para el cálculo del GPN del periodo T, se promedian todos los GPN de cada día t.

2. MERCADO INTERNO

El segundo criterio mide la dependencia de los agentes con el mercado mediante la proporción que representan sus operaciones internas frente al total operado. Es decir, se mide el porcentaje de operaciones donde el agente actúa tanto de comprador como de vendedor (operaciones cruzadas), sobre el total que operó. (Gráficamente en la Tabla 1 dichas operaciones corresponden a la diagonal de la matriz de conexiones).

El indicador se calcula dividiendo el volumen negociado de operaciones cruzadas entre el volumen total negociado durante el periodo de estudio. En el caso de las entidades bancarias el indicador se calcula de manera idéntica, e identificaría la distribución con clientes no financieros en registro.

3. TAMAÑO

La característica más notoria para definir la importancia relativa de un agente dentro de una red es su volumen de negociación. Al diferenciar a los agentes por su tamaño es posible identificar cuáles tienen una participación significativamente mayor frente a los demás participantes de la red.

Este criterio responde a la suma del volumen de las operaciones en las que un agente es partícipe, bien sea del lado comprador o vendedor, y es representado gráficamente con el tamaño de la bola en la red.

4. CONCENTRACIÓN

Por último se juzga qué tan competitiva puede ser la red de negociación en términos de concentración. Este criterio se define como la cuota de mercado que un agente tiene en la red. Para efectos de la lectura de resultados se espera que se acerque cada vez más a un mercado competitivo, es decir, que el mercado no esté muy concentrado en unos pocos agentes y que el tamaño de cada uno de ellos (volumen negociado) sea relativamente parecido para todos los que interactúan en el.

Para esto se utiliza el indicador clásico de concentración, el índice de Herfindahl, el cual es calculado como la suma de los cuadrados de las participaciones de cada uno de los agentes en el total del mercado:

$$H = \sum_{i=1}^n s_i^2$$

Donde s_i representa la participación del agente i en el mercado total (en términos de monto negociado) en un día promedio del periodo estudiado, y H es el índice de concentración que es la sumatoria de la cuota de mercado al cuadrado de los n agentes participantes de la red.

Para calcular la participación de mercado de cada agente, se suma el monto de operaciones que realizó como vendedor y como comprador. El total se divide en dos y se suma al monto negociado en operaciones cruzadas del agente. Este resultado es el monto negociado de cada agente, el cual se divide entre el total negociado del mercado para hallar s_i .

Para este modelo, los resultados del índice se presentarán de forma porcentual, donde un valor cercano a 100% indicará una mayor concentración, mientras que un valor cercano a 0% indicará una menor concentración de la red. Además de estos cuatro criterios principales, se utilizan otros datos descriptivos que sirven como complemento al análisis de la red de negociación estudiada. A continuación se explicará cuales son y cómo se calculan.

1. Participantes: Muestra la cantidad de agentes que participaron en la red de negociación en el periodo establecido T .

2. Utilización de nodos: Refleja el número de nodos empleados del total de nodos posibles de la red.

$$\frac{(GPN)/2}{n-1+n-2+\dots+1}$$

Para efectos del modelo, se mostrará la utilización de nodos promedio del periodo de estudio escogido. Este criterio se calcula de la siguiente manera:

Donde $(GPN)/2$ es el grado promedio de nodos en la red dividido en dos⁵ (nodos existentes), y $n-1+n-2+...+1$ es el total de nodos posibles en la red con n igual al número total de agentes participantes.

Para el modelo de la BVC, dicho valor muestra que tanto se utiliza la red del mercado. Un 100% representaría una red en la cual todos los participantes se conectan entre sí.

- **Volumen transado \$COP:** Hace referencia al monto total promedio diario de las operaciones realizadas en el periodo T.

- **Participación mayor en volumen transado:** Establece el porcentaje que representa el volumen promedio diario del mayor nodo dentro del total transado.
- **Participación de operaciones cruzadas:** Muestra el porcentaje del volumen transado de operaciones cruzadas sobre el volumen total operado durante un día promedio del periodo analizado.

V. PRESENTACIÓN DE RESULTADOS

El siguiente ejercicio se presenta como ejemplo ilustrativo del reporte de resultados trimestrales de la red de negociación de cada mercado. El gráfico 1 representa la red de negociación de un periodo cualquiera. El eje horizontal muestra el grado promedio de nodos. El eje vertical presenta la participación de operaciones cruzadas dentro del total negociado. Por último, el volumen de las esferas mide el tamaño de cada agente, siendo éste la suma del monto de las operaciones en las que participa.

Para efectos del ejemplo, en un día promedio del periodo estudiado el agente 1 realizó operaciones con 14 participantes diferentes (GPN). Así mismo, podemos afirmar que su negociación depende en gran medida del mercado al presentar un porcentaje de operaciones cruzadas inferior al 10% del total de sus operaciones y ser el agente más grande de toda la red.

Gráfico 1: Ejemplo de resultados de una red de negociación



Fuente: BVC

Como complemento a la representación gráfica de los resultados se presenta una tabla que resume las principales estadísticas de toda la red.

⁵ Se divide en dos para evitar doble contabilidad de operaciones, ya que en una operación siempre va a haber un comprador y un vendedor.

Tabla 1: Ejemplo de resultados de una red de negociación de un mercado.

Índices (Valores promedio diarios)		Promedio 2015	Q1 2016	Rango
Métricas de nodos	Participantes	7	6	-
	Grado Promedio de nodo (GPN)	1,10	1,65	[1 - 3]
Volumen transado	Utilización de nodos	3,92%	7,85%	[3% - 12%]
	Volumen Transado (MM \$COP)	\$ 17	\$ 29	[\$10 - \$45]
Concentración de mercado	Participación Mayor en Volumen transado	25,21%	22,98%	[6,77% - 53,95%]
	Participación de cruzadas	55,31%	49,67%	[18,91% - 70,63%]
	Índice de Concentración Herfindahl (IHH)	28,04%	20,37%	[0% - 100%]

Fuente: BVC

En la tabla se presenta el número de participantes, y se agrupan los resultados obtenidos en tres niveles: nodos, volumen, y concentración. Los resultados se comparan cada trimestre con respecto a los resultados promedio del año anterior (promedio simple de los cuatro trimestres). El rango presentado comprende los valores mínimos y máximos diarios presentados para cada una de las variables de interés a lo largo del periodo, a excepción del rango obtenido para el GPN, el cual evidencia el agente de menor y mayor GPN durante del trimestre.

Se aclara que en cada presentación de resultados se realizará una explicación de las diferentes métricas analizadas en el modelo. Estos reportes son de carácter descriptivo e informativo.

VI. CONSIDERACIONES FINALES

El modelo de redes de negociación desarrollado por la BVC permite visualizar y entender cómo negocian los agentes de cada mercado durante un periodo de tiempo determinado. Resulta de gran utilidad para la BVC y para el mercado de capitales, ya que permite observar los tres mercados de la BVC en su totalidad, por tipo de rueda o especie si el analista lo requiere.

Este modelo constituye un suministro de información valiosa para la BVC y deja la puerta abierta para casos de estudio que se quieran realizar a futuro sobre los mercados. En adelante, el objetivo, en lo que respecta al modelo de redes de negociación, es realizar un seguimiento trimestral que permita analizar la evaluación de la estructura de negociación de cada mercado y genere información suficiente para enriquecer diferentes frentes de investigación.

La BVC se permite informar que la presente publicación tiene como propósito brindar información del mercado desde el análisis del volumen, monto e interconexiones de los miembros y afiliados a los sistemas de negociación y registro administrados por la BVC, y en ningún momento realiza análisis de riesgo de mercado ni de las entidades que participan en él. La información publicada es histórica con un rezago de 3 meses y no reemplaza las fuentes oficiales de información de la Bolsa.

BIBLIOGRAFÍA

Ben Craig, Goetz von Peter. October 2010. Interbanking Tiering and Money center Banks, BIS Working Papers No. 322. Monetary and Economic Department.

Cartograf. (2016). Análisis de redes. [online] Available at:
<http://www.cartograf.net/pedia/analisis-de-redes> [Accessed 16 Nov. 2016].

Cepeda, F. H. (2008). La Topología de redes como herramienta de seguimiento en el sistema de pagos de alto valor en Colombia. Departamento de servicios electrónicos y pagos, subgerencia de operación bancaria, Banco de la República Borradores de economía, No. 513

Claire Gilmore, Brian Lucey, Marian Boscia. 2010, Co movements in government bond markets: A minimum spanning tree analysis.

HENAO, Diana Carolina (2012). "La teoría de redes: aspectos claves para el análisis de la "fuga de cerebros". En: Trans-pasando Fronteras, Núm 2, pp. 97-109. Cali, Colombia: Centro de Estudios Interdisciplinarios, Jurídicos, Sociales y Humanistas (CIES),Universidad Icesi.

Krause, J., Croft, D., & James, R. (2007). Social Network Theory in the Behavioural Sciences: Potential Applications.Behavioral Ecology and Sociobiology, 62(1), 15-27. tomado de:
<http://www.jstor.org.ezproxy.javeriana.edu.co:2048/stable/25511665>

Lisa Zyga. 27 January 2012, Stock market network reveals investor clustering

Moretti, F. (2011). Network Theory, Plot Analysis. 1st ed. [ebook] Available at:
<https://litlab.stanford.edu/LiteraryLabPamphlet2.pdf> [Accessed 16 Nov. 2016].

Pérez, León y Mariño (2015). "Aproximación a la estructura del mercado cambiario colombiano desde el análisis de redes"

Utwente.nl. (2016). Network Theory and Analysis in Organizations. [online] tomado de:
https://www.utwente.nl/cw/theorieenoverzicht/Theory%20Clusters/Organizational%20Communication/Network%20Theory%20and%20analysis_also_within_organizations/

Xiao-Quian Sun, Hua-Wei Shen and Xuei-Qi, Trading Network Predicts Stock Price, Institute of