

Por:  
Clara Lía Machado  
Carlos León  
Miguel Sarmiento  
Freddy Cepeda  
Orlando Chipatecua  
Jorge Cely

Núm. 627  
2010

# Borradores de ECONOMÍA



# **Riesgo Sistémico y Estabilidad del Sistema de Pagos de Alto Valor en Colombia: Análisis bajo Topología de Redes y Simulación de Pagos <sup>†</sup>**



*Clara Lía Machado*

*Carlos León*

*Miguel Sarmiento*

*Freddy Cepeda*

*Orlando Chipatecua*

*Jorge Cely*

*Banco de la República*

*Colombia*

---

<sup>†</sup> La serie Borradores de Economía es una publicación de la Subgerencia de Estudios Económicos del Banco de la República. Los trabajos son de carácter provisional, las opiniones y posibles errores son responsabilidad exclusiva de los autores y sus contenidos no comprometen al Banco de la República ni a su Junta Directiva. Los resultados de este documento son estrictamente académicos. De estos no se puede inferir el comportamiento o calidad crediticia de alguna de las entidades analizadas. Los resultados y opiniones no constituyen, de manera alguna, una recomendación o evaluación por parte del Banco de la República, la Junta Directiva del Banco de la República o los autores.

# Riesgo Sistémico y Estabilidad del Sistema de Pagos de Alto Valor en Colombia: Análisis bajo Topología de Redes y Simulación de Pagos <sup>† ‡</sup>

Clara Lía Machado, Carlos León, Miguel Sarmiento,  
Freddy Cepeda, Orlando Chipatecua y Jorge Cely <sup>§</sup>  
Banco de la República

## Resumen

Este documento estudia la estabilidad del sistema de pagos (SP) de alto valor en Colombia (CUD) ante el incumplimiento de una entidad sistémicamente importante, y evalúa la capacidad de respuesta de las entidades afectadas a partir de la utilización de sus recursos y a través de los mecanismos de liquidez que brinda el Banco de la República. De acuerdo con la literatura reciente, las entidades sistémicamente importantes se identifican bajo el concepto de *too-connected-to-fail* (TCTF) para diferentes escenarios de volatilidad del mercado de TES y de actividad del SP.

La estabilidad del SP se evalúa mediante Topología de Redes (TR) y un Modelo de Simulación de Pagos (MSP), el cual incorpora un algoritmo de resolución de colas recursivo tipo FIFO (*First In First Out*) y un algoritmo de compensación multilateral. Los resultados de la TR sugieren que el CUD es una red de tamaño mediano, robusta, estable y concentrada. El MSP mostró, además, que variables como los saldos de las entidades en el CUD, la oportunidad de las transacciones intradía, y la concentración de liquidez, inciden sobre el número de entidades afectadas.

Se encontró que la mayoría de las entidades cuenta con mecanismos que les permiten solventar la iliquidez temporal en el SP. Sin embargo, existen entidades que, por su estructura y especialidad de su negocio, deben hacer un mayor esfuerzo en la administración del riesgo de liquidez.

**Palabras Clave:** Sistema de Pago, Riesgo Sistémico, Topología de Redes, Modelos de Simulación, Política Monetaria, Prestamista de Última Instancia, *too-connected-to-fail*.

**Clasificación JEL:** E58, E44, C63, G21, D85.

---

<sup>†</sup> Los resultados de este documento son estrictamente académicos. De estos no se puede inferir el comportamiento o calidad crediticia de alguna de las entidades analizadas. Los resultados y opiniones no constituyen, de manera alguna, una recomendación o evaluación por parte del Banco de la República, la Junta Directiva del Banco de la República o los autores.

<sup>‡</sup> Los autores agradecen los comentarios realizados por los miembros de la Junta Directiva del Banco de la República, así como las sugerencias de Gerardo Hernández, Hernando Vargas, José Tolosa y Dairo Estrada. Los autores agradecen de manera especial las orientaciones metodológicas y el apoyo de Joaquín Bernal para el desarrollo del presente documento. Las opiniones y posibles errores son responsabilidad exclusiva de los autores.

<sup>§</sup> Los autores son, en su orden, Jefe de Apoyos de Liquidez y Control de Riesgos (AL&CR) del Departamento de Operaciones y Desarrollo de Mercados, [cmachafi@banrep.gov.co](mailto:cmachafi@banrep.gov.co); Investigador del Departamento de Reservas Internacionales, [cleonrin@banrep.gov.co](mailto:cleonrin@banrep.gov.co); Profesional Especializado de AL&CR, [nsarmipa@banrep.gov.co](mailto:nsarmipa@banrep.gov.co); Profesional Experto del Departamento de Servicios Electrónicos y Pagos, [fcepedlo@banrep.gov.co](mailto:fcepedlo@banrep.gov.co); Profesional Líder de AL&CR, [ochipape@banrep.gov.co](mailto:ochipape@banrep.gov.co); y Profesional Experto de AL&CR, [jcelyfe@banrep.gov.co](mailto:jcelyfe@banrep.gov.co).

## 1. Introducción

La reciente crisis financiera internacional ha puesto en evidencia que los bancos centrales deben contar con mecanismos para hacer frente a las diferentes amenazas que pueden afectar la liquidez del sistema de pagos (SP) y, como consecuencia, la estabilidad del sistema financiero (Sarkar, 2009; Cecchetti y Disyatat, 2009). Al estar basados en la interacción entre sus participantes, los SP conforman redes expuestas a diversos riesgos, siendo uno de los más importantes el riesgo sistémico. La incidencia que ello tiene sobre la estabilidad financiera y la transmisión de la política monetaria son algunas de las razones que explican el interés de los bancos centrales por promover los objetivos de seguridad y eficiencia en los SP<sup>1</sup>.

Las fuentes de amenazas a la estabilidad del SP son diversas, y comprenden casos tales como la concentración voluntaria o precautelada de liquidez por parte de una entidad para reducir su exposición al riesgo de mercado o crédito, así como la proveniente de la incapacidad de pago como consecuencia de un fallo operativo o la cesación de pagos generada por un tercero.

En condiciones normales se sugiere que la liquidez del banco central sea transmitida a las entidades financieras participantes de las Operaciones de Mercado Abierto (OMA), quienes a su vez, a través del mercado interbancario, deben distribuir parte de la liquidez al resto del sistema financiero (Bernanke y Gertler, 1995). Sin embargo, en momentos de acentuada iliquidez la acción del banco central se amplía a través de otros mecanismos, tales como los apoyos transitorios de liquidez (ATL), instrumento mediante el cual los bancos centrales, en cumplimiento de su función de prestamista de última instancia (PUI), pueden apoyar a entidades solventes con el fin de solucionar problemas temporales de iliquidez<sup>2</sup>.

Para mitigar las amenazas sobre el SP y minimizar el contagio al resto del sistema financiero, las entidades participantes en los SP emplean generalmente tres estrategias para la consecución de recursos: (i) realizar operaciones en el mercado monetario, principalmente en el colateralizado; (ii) liquidar inversiones, y (iii) solicitar recursos al banco central a través de sus facilidades de liquidez.

En el caso colombiano las entidades financieras pueden optar por cualquiera de las tres estrategias. En cuanto a las operaciones del mercado monetario, las entidades pueden acudir al mercado interbancario (no colateralizado) para realizar préstamos entre ellas. Adicionalmente, pueden acceder al mercado colateralizado para realizar operaciones temporales (repos y simultáneas).

Por su parte, entre las facilidades del banco central se destacan (i) las OMA para brindar liquidez a nivel macro a través de subastas y ventanillas; (ii) las facilidades propias del SP (repo intradía); (iii) la figura de los repos *overnight* (provenientes de repos intradía o

---

<sup>1</sup> Schmitz (2006) y Bernal (2009) presentan de manera detallada la relación entre la política monetaria y los SP.

<sup>2</sup> Una discusión sobre la utilización del mecanismo de PUI en situaciones de crisis financiera puede verse en Flannery (1996). Por su parte, Repullo (2005) muestra que, en contraste con la percepción general, la existencia del mecanismo de PUI no incrementa los incentivos para que las entidades financieras tomen mayores riesgos, siempre y cuando existan unas tasas de interés elevadas que penalicen el uso de este instrumento.

de compensación) y, (iv) en desarrollo de su función de PUI, los ATL, mecanismo que busca preservar la estabilidad financiera.

En este contexto, el objetivo del presente documento es estudiar la estabilidad del SP de alto valor en Colombia (Cuentas de Depósito - CUD) ante un eventual incumplimiento por parte de una entidad sistémicamente importante, la cual se fundamenta en su conexión con los demás participantes del SP, lo que la literatura ha denominado como *too-connected-to-fail* (TCTF). Posteriormente se evalúa la capacidad de respuesta de las entidades afectadas directa e indirectamente por el incumplimiento, ya sea empleando sus propios recursos o los mecanismos de acceso con que cuentan en el Banco de la República (BR).

El estudio se realiza bajo la combinación de dos enfoques. Bajo un enfoque similar al empleado en trabajos recientes para SP en Estados Unidos, Reino Unido y Australia (Afonso y Song Shin, 2010; Becher *et al.*, 2008; Merrouche y Schanz, 2010; Docherty y Wang, 2009), se aplica la Topología de Redes (TR) para caracterizar el CUD como una red y estimar su estabilidad ante un ataque. Esta caracterización permite distinguir objetivamente los participantes más importantes del mercado (nodos) en términos de valor enviado y recibido, y del número de entidades con las que mantiene relaciones de pago (conexiones), al tiempo que permite cuantificar el efecto directo de un ataque (eliminación de nodos) sobre la solidez de la red de pagos.

El segundo enfoque consiste en aplicar un Modelo de Simulación de Pagos (MSP) para un SP de alto valor tipo LBTR (Liquidación Bruta en Tiempo Real), el cual incorpora dos algoritmos: (i) un algoritmo de resolución de colas recursivo tipo FIFO (*First In First Out*) para resolver aquellas órdenes de pagos que, por insuficiencia de saldo, no pudieron ser resueltas de forma inmediata, y que debieron ingresar en cola de espera<sup>3</sup>, y (ii) un algoritmo de compensación multilateral, el cual cruza obligaciones pendientes de pago entre entidades a determinadas horas del día. Este enfoque se asimila al del simulador de SP desarrollado por el Banco de Finlandia (BoF PSS2), diseñado para evaluar el efecto potencial de una falla en el SP interbancario<sup>4</sup>.

Por tanto, el MSP pretende replicar la operatividad actual del CUD y, por esta vía, simular el efecto directo e indirecto de un incumplimiento sobre el SP. Los resultados de la simulación se presentan a través de varios indicadores que permiten identificar (i) la magnitud del incumplimiento en relación al valor de mercado del portafolio de inversión de TES; (ii) la capacidad de respuesta de las entidades luego de acceder a los mecanismos de provisión de liquidez, tales como las OMA y los ATL.

El documento se compone de seis secciones, incluida esta introducción. En la segunda sección se presenta una descripción del SP de alto valor de Colombia (CUD). En la tercera se describen los mecanismos de liquidez del BR, y se analiza su utilización por parte de las entidades participantes en el SP. En la cuarta se analiza el comportamiento de la red de pagos de alto valor y se determinan los periodos críticos de estudio, así como las entidades sistémicamente importantes para estos según el concepto de TCTF.

---

<sup>3</sup> Cabe mencionar que en adición al esquema de liquidación LBTR, el CUD dispone de algoritmos más complejos que el FIFO aquí considerado para la resolución de las operaciones en cola, como son el FIFO *by-pass* con prioridades, y de liquidación en bloque de operaciones mediante compensación multilateral.

<sup>4</sup> Heijmans (2009) y McVanel (2007) aplican el BoF PSS2 para Países Bajos y Canadá, respectivamente.

En la quinta sección se presentan los supuestos y los resultados de las dos aproximaciones metodológicas (TR y MSP). En la sexta sección se analizan los resultados. Finalmente, se presentan algunas conclusiones y líneas de acción a seguir.

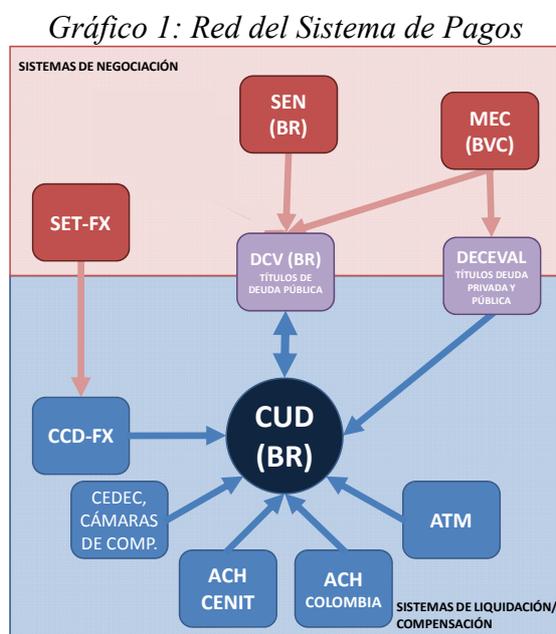
## 2. El sistema de pagos de alto valor en Colombia

Un SP es aquel conjunto de instrumentos, procedimientos y normas para la transferencia de fondos entre los participantes del sistema, por lo que la efectividad y estabilidad de los mercados financieros depende de su buen funcionamiento.

En la actualidad, dada la importancia que revisten los sistemas de liquidación y pagos de alto valor sobre la estabilidad financiera, en la mayoría de países los bancos centrales son los propietarios y operadores de estos sistemas de importancia sistémica, los cuales emplean la liquidación de valores brutos y en tiempo real como principal esquema de liquidación<sup>5</sup>.

La importancia sistémica de un SP depende de las funciones que cumple al interior del país. Según el BIS (2001), un SP de importancia sistémica es aquel que cumple por lo menos con una de las siguientes características: (i) es el único SP de un país, o es el principal SP en términos del valor agregado de los pagos; (ii) principalmente maneja pagos de alto valor individual, y (iii) es usado para la liquidación de transacciones del mercado financiero o para la liquidación de otros sistemas de pago<sup>6</sup>.

En Colombia el BR es el administrador del único SP de alto valor, denominado Sistema de Cuentas de Depósito (CUD) (Gráfico 1).



<sup>5</sup> El Banco Mundial, en una encuesta practicada en el año 2008 a 142 bancos centrales acerca de sus SP, encontró que 112 de los SP de alto valor liquidan sus operaciones bajo el esquema de LBTR, y que de estos 108 (96%) son operados por el banco central (World Bank, 2009). Un estudio más detallado sobre la operación de los SP y su relación con las demás funciones de los bancos centrales puede verse en Galán y Sarmiento (2007).

<sup>6</sup> En el Anexo 1 se presenta un análisis de la evolución reciente de los sistemas de pago.

Tal como se presenta en el Gráfico 1, el SP dispone de una infraestructura de comunicaciones de red centralizada, bajo la cual el CUD opera como un núcleo que mantiene comunicación con los demás participantes, donde el participante que genera la mayor actividad es el Depósito Central de Valores (DCV) del BR<sup>7</sup>.

Desde su puesta en funcionamiento en septiembre de 1998, el CUD ha operado bajo el esquema de LBTR<sup>8</sup>. Durante el 2009 transaron en el CUD 160 participantes, con un promedio diario de \$27,9 billones (b), donde los bancos comerciales (BC) y las firmas comisionistas de bolsa (CB) fueron los más activos al concentrar el 75% del valor de las operaciones, con \$15,6b y \$5,3b, respectivamente (Cuadro 1).

*Cuadro 1: Entidades participantes en el CUD (2009)*

Tipo de entidad	Entidades Participantes	Monto transado (mm\$)			
		Promedio diario	Máximo diario	Promedio mensual	Part. %
Bancos Comerciales (BC)	18	15.591,39	32.797,16	315.725,62	55,76%
Compañías de Financiamiento Comercial (CFC)	26	131,71	437,08	2.667,07	0,47%
Corporaciones Financieras (CF)	3	1.571,37	5.052,62	31.820,23	5,62%
Administradoras de Fondos de Pensiones y Cesantías (AFP)	6	695,21	1.764,15	14.077,94	2,49%
Comisionistas de Bolsa (CB)	32	5.323,92	8.455,88	107.809,33	19,04%
Sociedades Fiduciarias (SF)	26	1.731,45	3.092,30	35.061,85	6,19%
Aseguradoras (AS)	15	119,84	250,89	2.426,74	0,43%
Instituciones Oficiales Especiales (IOE) 1/	7	288,48	1.640,29	5.841,76	1,03%
Cooperativas Financieras (COF)	8	8,78	39,85	177,70	0,03%
Otros 2/	19	2.497,66	8.711,52	50.577,63	8,93%
<b>Total</b>	<b>160</b>	<b>27.959,81</b>			<b>100,00%</b>

1/ Incluye: Bancoldex, Findeter, FEN, Finagro, Icetex, Fonade, Fogafin, Fogacoop, FNA e ISS.

2/ Incluye: Banco de la República, Dirección General de Crédito Público y del Tesoro Nacional (DGCPTN), 3 Capitalizadoras, Depósito Central de Valores (DECEVAL), Ascredibanco, Cámara de Compensación de Divisas, Cámara de Riesgo Central de Contraparte, 4 Operadores de Información, 6 Operadores de Información de la Seguridad Social no Bancarios, Casas de Cambio y ACH Colombia.

Fuente: Banco de la República, cálculos de los autores.

Como se aprecia en el Cuadro 1, a diferencia de SP de otros países (v.g. CHAPS Sterling del Reino Unido), el CUD es un sistema de participación directa, donde cualquier tipo de entidad financiera puede mantener depósitos y hacer transacciones con otros participantes sin requerir de un agente o intermediario. Por eso el CUD cuenta con un considerable número de participantes, representativos de todos los tipos de entidad; en comparación, según Becher *et al.* (2008b), el CHAPS Sterling del Reino Unido se caracteriza por tener más de 4.000 entidades que participan –indirectamente- a través de 15 miembros o participantes directos<sup>9</sup>, quienes cumplen funciones de agencia para que los demás realicen sus pagos.

El CUD ha presentado un permanente crecimiento en el volumen y el valor de las operaciones, alcanzando a representar en términos mensuales 1,71 veces el PIB (septiembre y octubre de 2009, Gráfico 2).

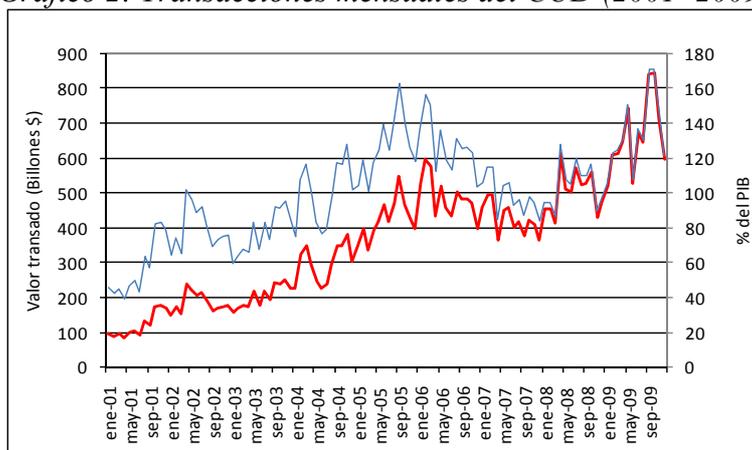
Por lo anterior, y de acuerdo con los parámetros señalados por el BIS (2001), el CUD clasifica como un SP de importancia sistémica para Colombia, razón por la cual el BR realiza un permanente monitoreo para evaluar su operatividad y eficiencia.

<sup>7</sup> La organización y el desarrollo de los SP en Colombia se presenta en Banco de la República (2010).

<sup>8</sup> El mecanismo LBTR es característico de los SP administrados por los bancos centrales, donde el registro y cumplimiento son procesados de manera inmediata y simultánea en las cuentas que tienen las entidades en el banco central.

<sup>9</sup> De acuerdo con Becher *et al.* (2008b), entre los 15 miembros directos del CHAPS Sterling se destaca la actividad de cuatro de ellos, quienes realizan la mayoría de las transacciones de dicho SP.

Gráfico 2: Transacciones mensuales del CUD (2001- 2009)



Fuente: Banco de la República y DANE, cálculos de los autores.

### 3. Los mecanismos de provisión de liquidez del Banco de la República

Cuando las entidades participantes en el SP tienen problemas temporales de liquidez pueden acudir a los recursos del BR a través de diferentes mecanismos, lo cual se enmarca dentro del esquema de inflación objetivo ampliado, en donde la estabilidad del sistema financiero juega un papel esencial. Los mecanismos de provisión de liquidez del BR se pueden agrupar según su objetivo, así: (i) Liquidez macroeconómica a través de las OMA; (ii) para el SP, mediante el repo intradía (con posibilidad de conversión a *overnight*), y (iii) para la estabilidad financiera, la cual se materializa por medio de la función de PUI a través de los ATL. A continuación se describe cada uno de estos mecanismos.

#### a. Liquidez macro: Operaciones de Mercado Abierto (OMA)

Al igual que en la mayoría de los bancos centrales que siguen un esquema de inflación objetivo, las OMA son el principal instrumento de política monetaria del BR. Estas operaciones se dividen en transitorias (repo) y definitivas, por medio de compras o ventas de títulos del portafolio de regulación monetaria. El BR mantiene abiertas las ventanillas de expansión y contracción monetaria, con el fin de que las entidades financieras puedan solicitar (o depositar) de forma “ilimitada” la liquidez que requieran por un día.

Para tal fin, el BR ha definido un corredor de tasas de intervención, así: (i) tasa mínima de expansión, que es la tasa mínima a la que se suministran recursos por medio de una subasta; (ii) tasa máxima de expansión, conocida como la tasa Lombarda de expansión (ventanilla); (iii) la tasa máxima de contracción, que es la máxima tasa a la que se captan recursos del mercado a través de subasta, y (iv) la tasa mínima de contracción, a la cual se reciben recursos sin un límite de monto, conocida como la tasa Lombarda de contracción. El objetivo del corredor es garantizar que las subastas de expansión y contracción mantengan en equilibrio la oferta y demanda esperada de base monetaria, mientras que a través de las ventanillas Lombardas se busca satisfacer necesidades (o captar excesos) de liquidez imprevistas (Anexo 2).

Las operaciones monetarias se llevan a cabo por medio de los agentes colocadores de OMA (ACO), los cuales han sido seleccionados teniendo en cuenta tres criterios principalmente: (i) contribución a la transmisión de la política monetaria; (ii) riesgo crediticio al que se encontraría expuesto el BR con las posibles contrapartes, y (iii) la estabilidad del SP.

Al cierre de mayo de 2010 el conjunto de ACO se encontraba conformado por 97 entidades, de las cuales para operaciones de expansión transitoria los BC y las corporaciones financieras (CF) son las entidades más activas, seguidas de las CB y las sociedades fiduciarias (SF)<sup>10</sup>. En cuanto a la magnitud de las operaciones de expansión transitoria durante 2009 y primeros cinco meses del 2010, se observó que, en promedio, durante un día las entidades solicitaron al BR alrededor de \$2,9b, de los cuales el 89% correspondió a los BC (Cuadro 2).

*Cuadro 2: Utilización de las OMA por tipo de entidad (enero 2009- mayo 2010)\*  
-Operaciones de expansión transitoria-*

Agentes Colocadores de OMA (ACO)	Entidades autorizadas (A) *	Entidades Participantes (B) *	Part. % (B/A)	Monto transado (mm\$) 2/			
				Promedio diario (C)	Máximo diario (D)	Promedio mensual (E)	Part. % (C)
Bancos Comerciales (BC)	16	16	100%	2,615.12	9,772.50	79,376.59	88.71%
Compañías de Financiamiento Comercial (CFC)	17	9	53%	7.30	56.00	143.08	0.25%
Corporaciones Financieras (CF)	3	2	67%	245.80	636.70	7,171.48	8.34%
Administradoras de Fondos de Pensiones y Cesantías (AFP)	6	0	0%	-	-	-	0.00%
Comisionistas de Bolsa (CB)	25	24	96%	57.69	289.12	1,751.05	1.96%
Sociedades Fiduciarias (SF)	21	10	48%	22.01	237.60	653.91	0.75%
Instituciones Oficiales Especiales (IOE) 1/	7	1	14%	-	-	-	0.00%
Cooperativas Financieras (COF)	2	0	0%	-	-	-	0.00%
<b>Total</b>	<b>97</b>	<b>62</b>	<b>64%</b>	<b>2,947.92</b>			<b>100%</b>

\*/ Entidades autorizadas para realizar operaciones monetarias con el BR.

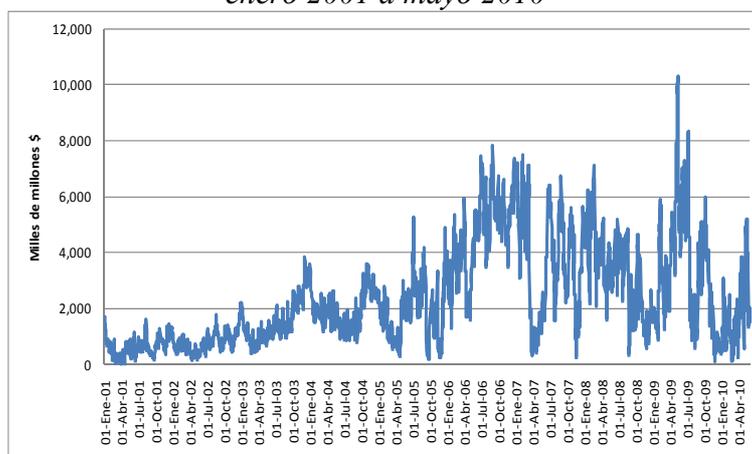
1/ Incluye: Bancoldex, Findeter, FEN, Finagro, Fogafin e ISS, de las cuales únicamente Bancoldex se encuentra autorizada para operaciones de expansión transitoria.

2/ Incluye subasta, ventanilla y overnight.

Fuente: Banco de la República, cálculos de los autores.

Respecto a la utilización de las OMA, como respuesta a las tensiones de liquidez derivadas de la crisis financiera internacional, se encontró una expansión monetaria por parte del BR desde 2006, acentuándose entre 2008 y 2009 (Gráfico 3).

*Gráfico 3: Utilización de las OMA del Banco de la República  
-enero 2001 a mayo 2010-*



Incluye: operaciones de expansión transitoria (subasta, ventanilla y overnight).

Fuente: Banco de la República, cálculos de los autores.

<sup>10</sup> A partir de agosto de 2002 las CB y SF fueron autorizadas para realizar operaciones de expansión transitoria.

El acceso a las OMA requiere del cumplimiento de indicadores que permitan identificar oportunamente la solvencia de las entidades. En el caso de los establecimientos de crédito (BC, CFC, CF, COF), la norma establece que estas entidades no pueden mantener repos de expansión con el BR que, en promedio durante los últimos 14 días calendario, representen un monto superior al 35% del saldo promedio de sus depósitos. Para las sociedades de servicios financieros (SSF) la regla aplica de la misma forma, aunque el indicador de referencia varía según el tipo de entidad, así: (i) el límite para las AFP y CB es el patrimonio técnico, y (ii) para las SF corresponde a la suma del capital pagado y la reserva legal<sup>11</sup>.

#### **b. Liquidez para el sistema de pagos: repo intradía y *overnight***

Con el fin de aliviar las tensiones de liquidez en el SP, el BR implementó dos instrumentos complementarios a las OMA: el repo intradía y el repo *overnight*. El intradía, que comenzó a operar en enero de 2001, es empleado por las entidades para cubrir sus faltantes de liquidez durante el día de operaciones, y tiene un costo de 0,1% sobre el valor del repo.

A partir de mayo de 2001 entró en funcionamiento la facilidad del repo *overnight*, la cual opera bajo dos modalidades: (i) por repo intradía, que se genera automáticamente al cierre del sistema cuando la entidad no cancela dicha operación, y (ii) por repo de compensación, cuando los BC no cuentan con los recursos suficientes para cubrir la compensación de cheques. En ambos casos el costo de esta facilidad es la tasa Lombarda de expansión más 100 pb.

El Gráfico 4 muestra que durante los últimos años se ha observado una utilización activa de estos instrumentos por parte de los ACO, donde el más empleado es el repo intradía, el cual pasó de \$1,7b en promedio mensual durante 2001 a \$11,2b en los primeros cinco meses de 2010. Al examinar el tipo de entidad que utiliza estos mecanismos, se observa que en el 2009 y parte del 2010 el 52% de las entidades autorizadas utilizó el repo intradía para cubrir sus operaciones en el CUD, donde se destacan por su participación los BC, CB, CF y SF.

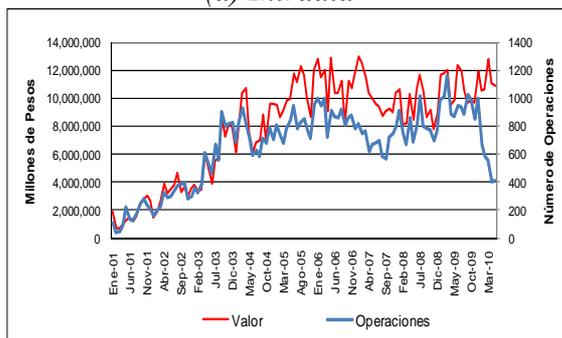
Respecto al volumen de operaciones, el promedio diario fue de \$506,2mm y los tipos de entidad con mayor valor utilizado fueron las SF y los BC, con 58,3% y 19,1%, respectivamente, diferencia que se explica por la posibilidad de estos últimos de emplear de manera alterna recursos de encaje para cubrir sus pagos, siempre y cuando cumplan con el promedio bisemanal de encaje. Igualmente cabe mencionar respecto a las CB (cuya participación promedio en el valor utilizado alcanza el 10%), que muchas de sus operaciones son cumplidas a través de los BC, que son entidades que mantienen en sus cuentas la liquidez de dichos intermediarios.

---

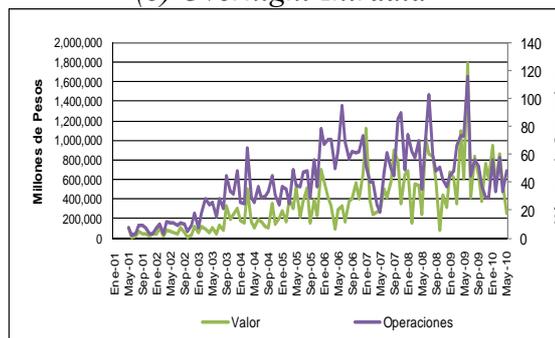
<sup>11</sup> El BR admite como colateral para las operaciones de expansión monetaria únicamente títulos de deuda pública de la Nación a los cuales se les aplica un *haircut* dependiendo de su liquidez.

Gráfico 4: Promedio mensual transado por repo intradía y overnight -enero 2001 a mayo 2010-

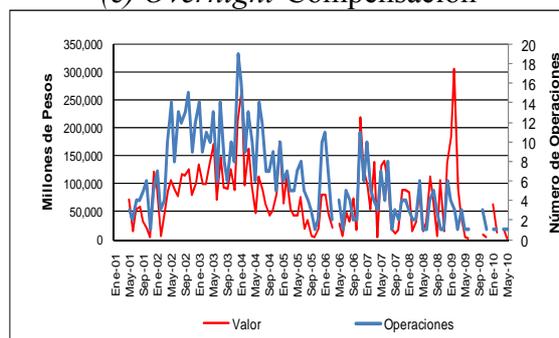
(a) Intradía



(b) Overnight-Intradía



(c) Overnight-Compensación



Fuente: Banco de la República, cálculos de los autores

Por otra parte, el repo *overnight*, tanto por intradía como por compensación, presentó una menor utilización por parte de las entidades autorizadas (31% y 10% respectivamente), lo cual obedece en parte al mayor costo frente al repo intradía. Asimismo, se observa que la demanda de recursos en ambos instrumentos se concentró principalmente en los BC (Cuadro 3)<sup>12</sup>.

Cuadro 3: Utilización del repo intradía y overnight (enero 2009- mayo 2010)

Tipo de entidad	Entidades autorizadas	Repo Intradía						Repo Overnight							
		Entidades Participantes			Miles de millones \$			Intradía			Compensación				
		No.	%	Promedio diario (A)	Máximo diario (B)	Part. % (A)	No.	%	Promedio diario (A)	Máximo diario (B)	Part. % (A)	Entidades Participantes 2/	Promedio diario (A)	Máximo diario (B)	Part. % (A)
Bancos Comerciales (BC)	16	13	81.3	96.50	800.00	19.1%	8	50.0	141.08	500.00	94.7%	10	37.15	305.00	100.0%
Compañías de Financiamiento Comercial (CFC)	17	1	5.9	0.12	20.00	0.0%	2	11.3	4.47	20.00	3.0%	-	-	-	0.0%
Corporaciones Financieras (CF)	3	2	66.7	52.87	212.50	10.4%	0	0.0	-	-	0.0%	-	-	-	0.0%
Fondos de Pensiones y Cesantías (AFP)	6	1	16.7	1.50	1.50	0.3%	0	0.0	-	-	0.0%	-	-	-	0.0%
Comisionistas de Bolsa (CB)	25	19	76.0	51.24	193.79	10.1%	16	64.0	2.11	29.27	1.4%	-	-	-	0.0%
Sociedades Fiduciarias (SF)	21	12	57.1	295.07	606.20	58.3%	4	19.0	1.27	9.50	0.9%	-	-	-	0.0%
Instituciones Oficiales Especiales (IOE) 1/	7	2	28.6	8.90	95.00	1.8%	0	0.0	-	-	0.0%	-	-	-	0.0%
Cooperativas Financieras (COF)	2	0	0.0	-	-	0.0%	0	0.0	-	-	0.0%	-	-	-	0.0%
<b>Total</b>	<b>97</b>	<b>50</b>	<b>51.5</b>	<b>506.20</b>	<b>..</b>	<b>100%</b>	<b>30</b>	<b>30.9</b>	<b>148.93</b>	<b>..</b>	<b>100%</b>	<b>10</b>	<b>37.15</b>	<b>..</b>	<b>100%</b>

1/ Incluye: Bancoldex, Findeter, FEN, Finagro, Icetex, Fonade, Fogafin, Fogacoop, FNA e ISS.

2/ La facilidad del repo overnight por compensación es únicamente para los bancos comerciales.

Fuente: Banco de la República, cálculos de los autores.

<sup>12</sup> Las entidades autorizadas para el repo intradía son todos los ACO autorizados para realizar operaciones de expansión transitoria y FINAGRO. Las características generales de estas operaciones se presentan en el Anexo 2.

### **c. Liquidez para la estabilidad financiera: Apoyos Transitorios de Liquidez (ATL)**

Con el fin de minimizar el riesgo de contagio y mantener la estabilidad del sistema financiero, los bancos centrales cuentan con la función de PUI, que les permite, bajo condiciones especiales, otorgar los recursos requeridos por una entidad que afronte un problema temporal de liquidez (Meltzer, 1986)<sup>13</sup>.

En Colombia esta facilidad se denomina ATL, y es exclusiva para los establecimientos de crédito (EC), los cuales pueden acceder al BR bajo dos circunstancias: necesidades de efectivo y defecto en la cuenta de depósito. La primera modalidad se puede utilizar en aquellas circunstancias en que la entidad afronta una necesidad transitoria de liquidez, que estima subsanar dentro de un plazo inicial de 30 días, con posibilidad de prórroga.

El ATL por defecto en la cuenta de depósito busca solventar pérdidas transitorias de liquidez de un EC como consecuencia del incumplimiento en el pago de obligaciones contraídas a su favor por otro EC que haya incurrido en cesación de pagos o que se deriven de dicha situación; apoyo que se otorga por 30 días improrrogables. En el caso de las dos modalidades de ATL la lista de títulos admisibles es más amplia que la considerada para las OMA, pues en adición a los títulos de deuda pública de la Nación se aceptan otros provenientes de inversiones financieras, incluyendo aquellos representativos de cartera (pagarés).

Con el objetivo de reducir el riesgo moral sin afectar la operatividad del instrumento, el BR considera *ex-ante* los requerimientos financieros, legales y administrativos que deben cumplir las entidades solicitantes de los recursos, de acuerdo con el marco de la regulación prudencial que exige la Superintendencia Financiera de Colombia (SFC). Adicionalmente, el BR estableció que los EC pueden acceder a los recursos de ATL hasta por un monto igual al 15% del máximo nivel registrado de los pasivos para con el público dentro de los 15 días calendario anteriores a la fecha de ingreso al apoyo<sup>14</sup>.

Cabe mencionar que la función de PUI reviste su importancia en los periodos de crisis del sistema financiero. Al respecto, Uribe (2006) muestra que el oportuno otorgamiento de ATL por parte del BR a varios EC en 1982 y 1998 fue fundamental para evitar un colapso de mayor magnitud en el SP, lo cual permitió reducir el riesgo de contagio al resto del sistema financiero.

## **4. Evaluación del riesgo sistémico y la estabilidad de la red de pagos de alto valor**

Los SP sistémicamente importantes son cruciales para la economía, y su seguridad y eficiencia deben ser objetivos de política pública (BIS, 2001). Si los riesgos en el SP no son atenuados adecuadamente, esto podría resultar en la transmisión de un choque financiero de una entidad a otra, lo cual, a su vez, puede amenazar los mercados

---

<sup>13</sup> Flannery (1996) y Rochet y Vives (2004) abordan la relación entre la función de PUI y la estabilidad del SP.

<sup>14</sup> Con el fin de asegurar el normal funcionamiento del SP, el Comité de Intervención Monetaria y Cambiaria del BR podrá, en casos excepcionales, autorizar que se otorgue un monto superior al máximo mencionado.

monetarios y financieros, locales y externos. Con base en el BIS (2001), la Tabla 1 muestra los tipos de riesgo a los que se encuentra expuesto un SP.

*Tabla 1: Principales riesgos de un sistema de pagos*

<b>Riesgo de crédito</b>	Incapacidad de una entidad para cumplir totalmente con sus obligaciones financieras dentro del SP, ya sea en el presente o en cualquier momento del futuro.
<b>Riesgo de liquidez</b>	Insuficiencia de fondos por parte de una entidad, que le impide cumplir con sus obligaciones financieras dentro del SP en la forma y momento debidos, aunque pueda hacerlo en algún momento del futuro.
<b>Riesgo legal</b>	Riesgo derivado de un marco legal deficiente o de incertidumbres jurídicas que causen o exacerben los riesgos de crédito o liquidez.
<b>Riesgo operativo</b>	Se presenta cuando factores funcionales, tales como fallos técnicos o errores de operación, causen o exacerben los riesgos de crédito o liquidez.
<b>Riesgo sistémico</b>	Incapacidad de uno de los participantes para cumplir con sus obligaciones, o una alteración en el propio SP, que puede resultar en la incapacidad de otros participantes del SP o de instituciones financieras en otras partes del sistema financiero para cumplir con sus obligaciones al momento de su vencimiento. Tal incumplimiento podría causar problemas crediticios o de liquidez generalizados, que podrían amenazar a su vez la estabilidad del sistema o de los mercados financieros.

Fuente: BIS (2001), compilación de los autores.

Respecto al objetivo de seguridad de los SP, el BIS (2001) señala que es necesario identificar y entender cómo los diferentes tipos de riesgo pueden surgir o transmitirse al interior del sistema, así como determinar quién los sufre. Una vez analizados y evaluados apropiadamente, se deben crear mecanismos adecuados y efectivos para supervisarlos, administrarlos y controlarlos.

Bajo este enfoque, en adelante este documento se ocupa de evaluar el riesgo sistémico del SP siguiendo la definición del BIS: el efecto sobre el SP que puede generar uno o varios participantes al incumplir con sus obligaciones, que a su vez puede ocasionar la incapacidad de otros para cumplir con sus compromisos en el SP<sup>15</sup>.

#### **a. Selección de los escenarios y de las entidades sistémicamente importantes**

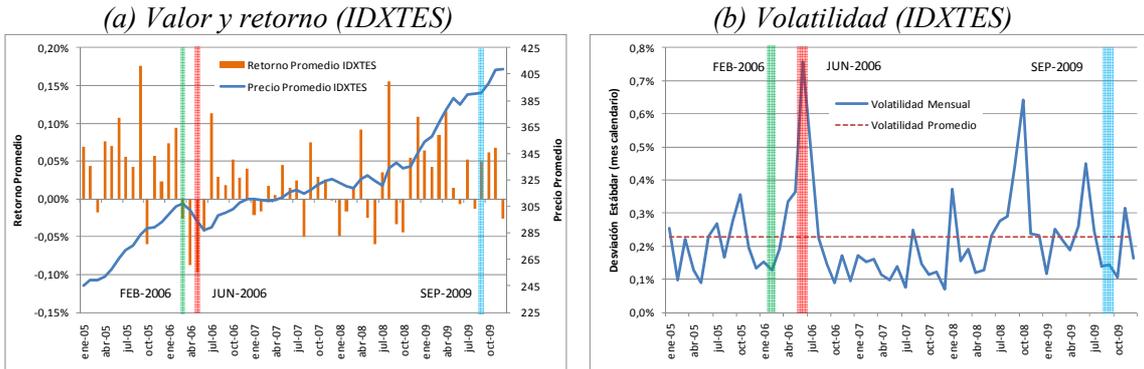
Para evaluar el riesgo sistémico, así como la posible amenaza a la estabilidad del SP y a los mercados financieros, se definieron tanto los periodos, como las entidades a ser evaluadas y analizadas. Con base en criterios de liquidez y actividad del mercado TES se seleccionaron tres periodos representativos de transacciones del CUD. Posteriormente, para los mismos periodos, se seleccionaron las cuatro entidades de mayor importancia sistémica dentro del CUD.

De acuerdo con lo anterior, como periodo representativo de alta volatilidad (estrés en el mercado de TES) se seleccionó el mes de junio de 2006, el cual correspondió a un periodo de importante caída en el precio de los TES y baja liquidez en el mercado, con características muy similares a las de agosto de 2002<sup>16</sup>. Para el escenario de liquidez (auge en el mercado de TES) se tomó un episodio con cuatro meses de anterioridad al período representativo de alta volatilidad, es decir febrero de 2006.

<sup>15</sup> Cabe mencionar que las fuentes de riesgo que pueden llevar al incumplimiento (v.g. riesgo de crédito, de liquidez, legal, operativo) no son evaluadas, ni tampoco se mide su probabilidad de ocurrencia y, por tanto, se asume el incumplimiento como dado y se evalúa exclusivamente su impacto al interior del SP.

<sup>16</sup> Con base en el índice de renta fija (IDXTES) de Reveiz y León (2008), agosto de 2002 corresponde a un retorno de -2,82% (-10,5 desviaciones estándar) y junio de 2006 a -2,26% (-8,4 desviaciones estándar).

Gráfico 5: Índice representativo del mercado de deuda pública interna (IDXTES) y periodos seleccionados



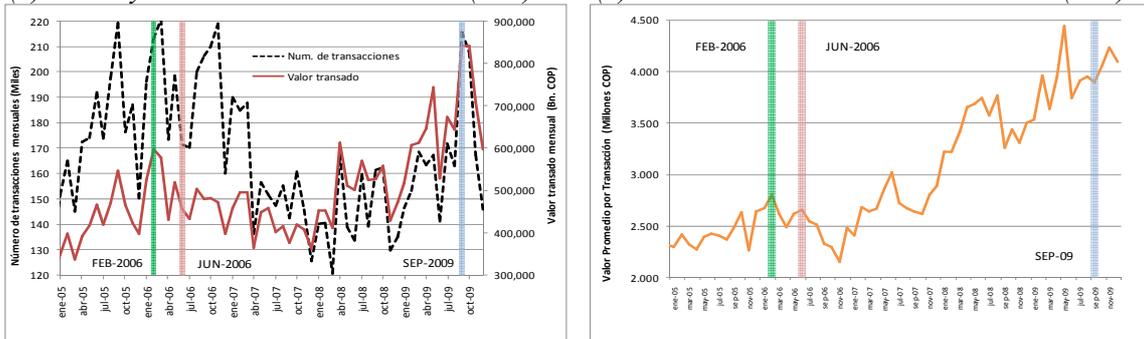
Fuente: Elaboración de los autores con base en Reveiz y León (2008)

En el panel (b) del Gráfico 5 se corroboran las mencionadas propiedades: el mes de junio de 2006 es representativo de un periodo de alta volatilidad en el mercado de TES, mientras que el mes de febrero de 2006 corresponde a una volatilidad inferior a la volatilidad promedio para la muestra.

Adicionalmente se tomó el mes en el cual el CUD presentó el mayor volumen transado desde su creación (alta actividad), septiembre de 2009, periodo en el cual las transacciones alcanzaron \$841,5b (170,7% del PIB) y 215.776 transacciones, que corresponden a un promedio diario de \$38,2b (7,8% del PIB) y de 9.808 transacciones (Gráfico 6). Es importante resaltar que los periodos escogidos capturan efectivamente diferentes entornos de volatilidad y liquidez del mercado, lo cual permitirá evaluar de mejor manera la dinámica de la estabilidad del SP.

Gráfico 6: Transacciones en el CUD y periodos seleccionados

(a) Valor y Número de Transacciones (mes) (b) Valor de la Transacción Promedio (mes)



Fuente: Elaboración de los autores con base en CUD.

El Cuadro 4 muestra el volumen y el valor de las operaciones realizadas en el CUD para los periodos anteriormente señalados, en términos absolutos y relativos al PIB. De igual manera se evidencia que el aumento en el valor de las transacciones en el CUD ha sido mayor que el crecimiento del número de transacciones, lo que resulta en un aumento en el valor de la transacción promedio, el cual pasó de \$1.975 millones durante el 2001 a \$3.952 durante 2009.

*Cuadro 4: Transacciones realizadas en el CUD en los periodos seleccionados*

Periodos seleccionados		Auge en el mercado de TES (Feb -2006)		Estrés en el mercado de TES (Ago -2006)		Alta actividad en el CUD (Sep -2009)	
		Número	Valor (\$bn)	Número	Valor (\$bn)	Número	Valor (\$bn)
Total del Periodo	Total	229.525	647,5	187.376	505,4	215.776	841,5
	% del PIB		168,9%		131,8%		170,7%
Promedio Diario	Total	10.433	29,4	8,517	23,0	9.808	38,2
	% del PIB		7,7%		6,0%		7,8%

(\*) El valor del PIB corresponde al publicado por el DANE para el final de cada año.

Fuente: Elaboración de los autores.

Una vez seleccionados los periodos se diseñó un método para la construcción de un día típico de operaciones en el CUD. El proceso consistió en tomar muestras mensuales de transacciones en el CUD para identificar las principales características de las transacciones en cada periodo. Luego, mediante *Bootstrap* (resampléo) se estimó un “día promedio” de operaciones. La utilización de un “día promedio” así estimado, en vez de un día en particular, hace más robusta la caracterización de la estabilidad de la red del SP en diferentes entornos, ya que preserva las condiciones del periodo (v.g. la estacionalidad intradía), al tiempo que mitiga la incidencia de operaciones de poca frecuencia pero alta magnitud de algunos participantes (v.g. Dirección General de Crédito Público y del Tesoro Nacional).

Finalmente, con el propósito de identificar y ordenar las entidades más conectadas del SP en los periodos seleccionados, se construyó un índice basado en la participación de cada entidad en el valor transado total y la participación de cada entidad en el número de conexiones totales<sup>17</sup>. Este índice sirve de aproximación a la noción de riesgo sistémico basado en el concepto de *too-connected-to-fail* (TCTF)<sup>18</sup>.

El Cuadro 5 muestra los resultados del índice para las primeras veinte entidades<sup>19</sup>. Estas veinte entidades, que representan el 13,2% de las participantes en el CUD, concentran el 61,7% del valor transado y el 44,8% de las transacciones. Entre las primeras veinte entidades de mayor importancia sistémica según el concepto de TCTF se encuentran doce BC, siete CB y una CF, que corresponden con el 60%, 35% y 5% de las veinte entidades, respectivamente (Gráfico 7).

<sup>17</sup> En este índice la entidad que mayor participación tiene en el valor transado total obtiene un puntaje de 100; las siguientes, por regla de tres, obtienen una calificación acotada entre  $0 < x < 100$ . La agregación resulta de la suma del índice obtenido por cada entidad para ambas categorías, el cual se utiliza nuevamente como base para calcular un índice general o agregado. Se excluyó del análisis a participantes como Deceval y la Dirección General de Crédito Público y del Tesoro Nacional. Sus características justifican un estudio especial para evaluar su impacto sistémico.

<sup>18</sup> Los trabajos de Tarashev *et al.* (2009) y Chan-Lau (2010), entre otros, desarrollan el enfoque de TCTF, que busca orientar la regulación financiera hacia la imposición de requerimientos de capital a las entidades más conectadas por ser las que generan un mayor riesgo sistémico.

<sup>19</sup> Las transacciones de cada entidad corresponden a las de esta y las de aquellas que fueron objeto de algún proceso de fusión, absorción o compra.

*Cuadro 5: Entidades de mayor importancia sistémica en el CUD  
-veinte primeras, según el concepto de TCTF-*

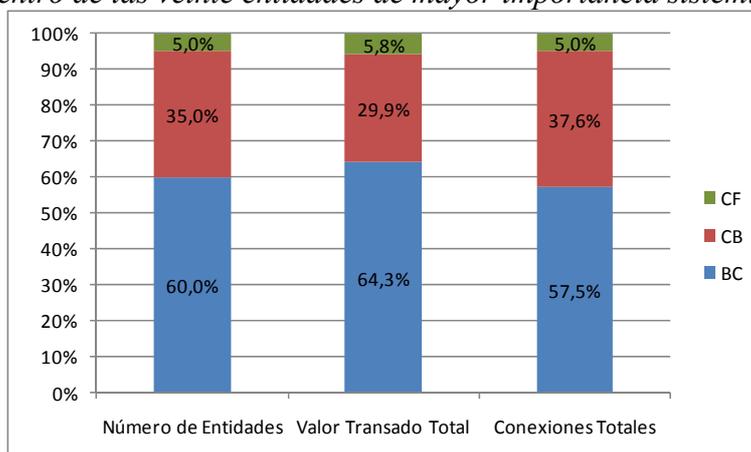
Entidad	Valor Transado total*		Conexiones totales**		Agregado		Clasificación por Importancia Sistémica
	Participación (%)	Puntaje (Base 100)	Participación (%)	Puntaje (Base 100)	Suma de Puntajes	Puntaje (Base 100)	
ENT1	8,4%	100	3,5%	100	200	100	1
ENT2	7,1%	85	3,1%	87	139	70	2
ENT3	6,6%	78	2,8%	78	127	63	3
ENT4	4,9%	58	2,6%	72	107	53	4
ENT5	5,0%	60	2,5%	70	106	53	5
ENT6	3,7%	44	2,7%	77	101	50	6
ENT7	2,3%	27	2,7%	77	89	44	7
ENT8	3,6%	43	2,2%	63	88	44	8
ENT9	2,8%	33	2,0%	55	74	37	9
ENT10	3,1%	36	1,8%	51	72	36	10
ENT11	1,3%	15	2,4%	67	71	35	11
ENT12	3,0%	36	1,6%	46	67	34	12
ENT13	1,1%	14	2,1%	61	64	32	13
ENT14	1,0%	11	2,2%	62	64	32	14
ENT15	1,2%	15	2,0%	57	62	31	15
ENT16	1,1%	13	1,9%	54	58	29	16
ENT17	0,6%	7	2,0%	56	56	28	17
ENT18	1,0%	12	1,8%	52	55	28	18
ENT19	2,5%	30	1,3%	36	54	27	19
ENT20	1,5%	18	1,5%	44	53	26	20

(\*) Las primeras veinte entidades concentran el 61,7% del valor transado total del CUD.

(\*\*) Las primeras veinte entidades concentran el 44,8% del total de conexiones del CUD.

Fuente: Elaboración de los autores.

*Gráfico 7: Participación por tipo de entidad  
-dentro de las veinte entidades de mayor importancia sistémica-*

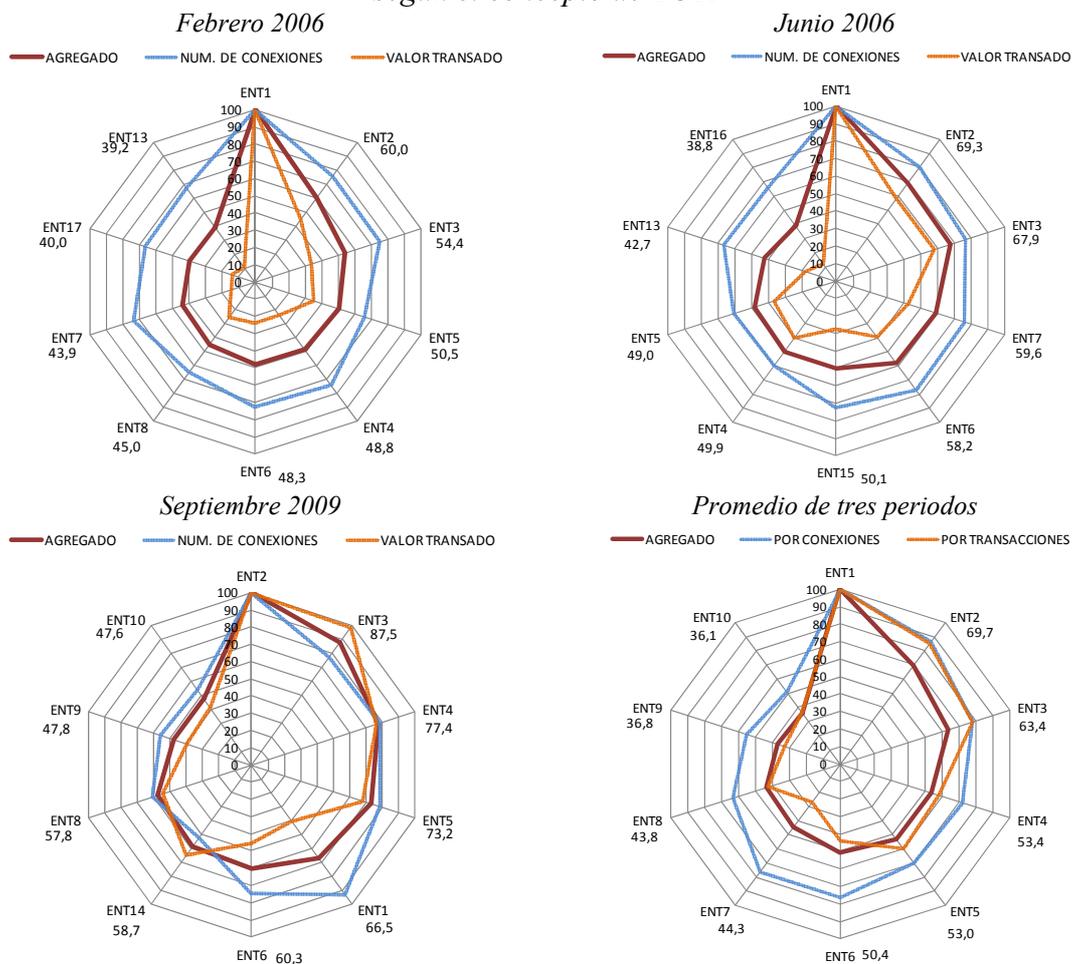


Fuente: Elaboración de los autores.

Tal como se evidencia en el Gráfico 7, los BC son las entidades de mayor importancia sistémica según el concepto de TCTF, aunque se destaca la importancia de las CB. Igualmente, el índice confirma una concentración de la red, pues las diez primeras entidades explican el 47,4% del valor transado y el 26% de las conexiones totales.

El Gráfico 8 muestra la conformación del índice de importancia sistémica para las diez primeras entidades en los tres periodos y como promedio de estos, donde se evidencia que las seis primeras del promedio aparecen en los periodos seleccionados. Esto indicaría que, pese a lo diferente de las características de cada escenario, las entidades de mayor riesgo sistémico según el concepto de TCTF son relativamente estables a través del tiempo.

*Gráfico 8: Ranking de las 10 entidades sistémicamente importantes en el CUD -según el concepto de TCTF-*



Fuente: Elaboración de los autores.

Con el fin de realizar ataques sobre el SP se seleccionaron las primeras cuatro entidades de mayor importancia sistémica según el concepto de TCTF (v.g. ENT1, ENT2, ENT3, ENT4), lo cual resultó en una muestra que contiene dos tipos de entidad: BC y CB. En las siguientes secciones se analizará el efecto sistémico que tendría un ataque sobre cada una de las cuatro entidades seleccionadas, donde los resultados se presentarán como un promedio por tipo de entidad.

### **b. Enfoque estático: Topología de Redes**

La Topología de Redes (TR) es una metodología propia de la física estadística que tiene por objeto entender y analizar la estructura y funcionamiento de redes complejas. Aplicaciones recientes muestran su utilidad para analizar el comportamiento de los SP

ante tensiones de liquidez. En particular, los trabajos de Soramäki *et al.* (2006) y Bech y Garrat (2006) utilizan TR para caracterizar el SP de los Estados Unidos (Fedwire)<sup>20</sup>, mientras que Ianoka *et al.* (2004) lo aplican al SP de Japón (BoJ-Net). Para el caso colombiano, Cepeda (2008) presenta una aplicación de la topología de redes para el CUD, en la cual cuantifica el resultado de incumplimientos en la estabilidad del SP.

Una red, como la conformada en un SP, se compone de un conjunto de nodos o vértices (participantes en el CUD) y de conexiones o enlaces (relaciones de pago) entre pares de nodos. Las conexiones entre nodos pueden ser dirigidas o no, y pueden tener ponderaciones (por valor o volumen de los pagos) que reflejan la fortaleza o peso del vínculo que se establece (Anexo 3).

De esta forma se tiene que el SP está constituido por nodos o participantes, que son aquellas entidades que lo conforman y realizan transacciones entre sí, donde estas últimas se conocen como conexiones o vínculos, las cuales varían de acuerdo con su dirección (originador-destinatario) y su magnitud (monto). Con base en esta caracterización es posible estudiar las propiedades de la red, que se observan a través de los parámetros de distancia promedio, diámetro y conectividad (Tabla 2)<sup>21</sup>.

*Tabla 2: Parámetros de la topología de redes*

<b>Distancia promedio</b>	Se refiere al promedio del menor número de conexiones o vínculos necesarios para conectar dos nodos, y denota qué tan cercanos se encuentran los nodos en una red.
<b>Diámetro</b>	Corresponde a la máxima distancia entre dos nodos, y permite establecer el número de conexiones (relaciones de pago) necesarias bajo las cuales dos nodos (participantes) cualesquiera podrían relacionarse.
<b>Conectividad</b>	Se refiere al cociente entre el número de conexiones observadas en la red y el número de conexiones posibles en la misma. Captura la densidad de la red, es decir, refleja que tan interconectados se encuentran los nodos en la red.

Fuente: Autores, con base en Cepeda (2008).

En este contexto, la aproximación a la estabilidad del SP basada en la TR busca caracterizar el CUD como una red, para luego estimar su estabilidad ante escenarios de posibles incumplimientos. Inicialmente se realizó el cálculo de los parámetros descritos en la Tabla 2 para la red de pagos conformada por el CUD en cada uno de los períodos escogidos (días promedio). El siguiente paso fue recalcular los parámetros de la red luego de someterla al incumplimiento de un nodo seleccionado, eliminando las transacciones originadas por dicha entidad, pero conservando las órdenes de recibo de fondos que realizan sus contrapartes; en este sentido, el incumplimiento de una entidad seleccionada se denomina “ataque”.

Para cada periodo se diseñaron cuatro escenarios de incumplimiento, donde cada uno corresponde a una entidad que deja de realizar sus pagos. Los escenarios de ataque son interpretados como de naturaleza estática, toda vez que consideran la totalidad de las transacciones enviadas/recibidas durante el día promedio seleccionado, sin tener en cuenta la secuencia con la que se realizan, ni evaluar si los saldos en las cuentas de los participantes son suficientes para realizar sus pagos. El supuesto de suficiencia de saldos permite que, tras el ataque, algunos nodos o participantes se mantengan

<sup>20</sup> Sobre la caracterización del sistema bancario se destacan las aplicaciones de Lublőy (2006) para Hungría, y de Boss *et al.* (2004) para medir el riesgo sistémico del sistema bancario austriaco.

<sup>21</sup> En este documento solo se utilizan los conceptos básicos de TR aplicadas al análisis de la estabilidad del SP. Cepeda (2008) describe y utiliza otros conceptos adicionales.

“artificialmente” conectados a la red de pagos por sus obligaciones de pago a la entidad atacada o a otros nodos sobrevivientes, aunque no cuenten en algunos casos con la liquidez suficiente para realizar sus transacciones.

De esta forma, el ejercicio consiste en evaluar el cambio en los parámetros de la red, así como el efecto sobre el monto transado y el número de entidades desconectadas, como consecuencia del incumplimiento de un participante del SP. Tal como lo señala Becher *et al.* (2008), si la red es robusta y estable, es de esperar que el ataque tenga efectos reducidos en los otros participantes; esto es, que las propiedades de la red no sean significativamente diferentes en comparación a un escenario sin ataque.

El Cuadro 6 muestra los resultados del ejercicio, y en el Cuadro 7 se presentan como variaciones frente al escenario original. Se observa que el efecto sobre la red varía dependiendo del tipo de entidad atacada y del periodo seleccionado. Es así como en los escenarios de auge y estrés, el ataque sobre las CB genera un mayor efecto sobre la red, mientras que en el periodo de mayor actividad en el SP los BC presentaron el mayor efecto.

Se observa que el ataque sobre las CB en febrero de 2006 (escenario de auge) generó un mayor efecto promedio en términos de disminución del monto transado (8,5%) frente al derivado del ataque a los BC (5,9%), el cual también se vio reflejado en la caída del número de transacciones (7,4% y 4,7%, respectivamente). En ese mismo periodo los ataques sobre las entidades no causaron mayores cambios en distancia y diámetro, aunque si disminuciones importantes en conectividad.

*Cuadro 6: Resultados de los ataques sobre la estabilidad de la red de pagos (CUD)  
-por tipo de entidad atacada-*

Tipo de Entidad	Estadísticas de actividad de red (transacciones)				Estadísticas de topología de redes								
	Monto		Número		Distancia	Diámetro	Conectividad	Nodos (número)					
	Miles de millones COP	Porcentaje	Transacciones	Porcentaje				Participantes	Reciben & envían	Solo envían	Solo reciben	No reciben ni envían	
<b>febrero-06</b>													
Original	24.422,0	100,0%	9.400	100,0%	2,04	5	60,6%	125	109	9	7	0	
Bancos Comerciales	22.983,6	94,1%	8.961	95,3%	2,05	5	57,8%	125	109	10	7	0	
Comisionistas de Bolsa	22.343,1	91,5%	8.706	92,6%	2,05	5	56,2%	125	109	9	8	0	
<b>junio-06</b>													
Original	15.477,0	100,0%	7.377	100,0%	2,10	4	46,1%	127	110	13	4	0	
Bancos Comerciales	14.467,7	93,5%	7.017	95,1%	2,13	5	43,8%	127	110	13	5	0	
Comisionistas de Bolsa	14.374,7	92,9%	6.843	92,8%	2,12	4	42,8%	127	109	14	4	1	
<b>septiembre-09</b>													
Original	31.612,5	100,0%	9.257	100,0%	2,15	5	49,7%	137	125	6	6	0	
Bancos Comerciales	28.724,6	90,9%	8.644	93,4%	2,16	5	46,4%	137	124	7	7	0	
Comisionistas de Bolsa	29.902,7	94,6%	8.770	94,7%	2,17	5	47,1%	137	125	7	6	0	

Fuente: Elaboración de los autores.

*Cuadro 7: Resultados de los ataques sobre la estabilidad de la red de pagos (CUD)  
-por tipo de entidad atacada, variaciones-*

Tipo de Entidad	Estadísticas de actividad de red (transacciones)				Estadísticas de topología de redes								
	Monto		Número		Distancia	Diámetro	Conectividad	Nodos (número*)					
	Miles de millones COP	Porcentaje	Transacciones	Porcentaje				Participantes	Reciben & envían	Solo envían	Solo reciben	No reciben ni envían	
<b>febrero-06</b>													
Bancos Comerciales	- 1.438,5	-5,9%	- 439	-4,7%	0,01	0	-2,8%	0	-1	1	0	0	
Comisionistas de Bolsa	- 2.079,0	-8,5%	- 695	-7,4%	0,01	0	-4,5%	0	-1	0	1	0	
<b>junio-06</b>													
Bancos Comerciales	- 1.009,3	-6,5%	- 361	-4,9%	0,03	1	-2,3%	0	-1	0	1	0	
Comisionistas de Bolsa	- 1.102,3	-7,1%	- 535	-7,2%	0,01	0	-3,3%	0	-1	1	0	1	
<b>septiembre-09</b>													
Bancos Comerciales	- 2.887,9	-9,1%	- 613	-6,6%	0,01	0	-3,3%	0	-2	1	1	0	
Comisionistas de Bolsa	- 1.709,8	-5,4%	- 488	-5,3%	0,02	0	-2,6%	0	-1	1	0	0	

(\*) Cifras redondeadas al entero más próximo.

Fuente: Elaboración de los autores.

Por su parte, el incumplimiento de las CB en junio de 2006 (escenario de estrés) generó que el monto transado y el número de transacciones disminuyeran en menor medida que en el escenario anterior (7,1% y 7,2%, respectivamente). La distancia se incrementó en 0,01, el diámetro no varió y la conectividad es la más baja de los tres periodos (42,8%). Se destaca que el incumplimiento de las CB genera una pérdida marginal en la estabilidad de la red, aunque ocasiona que una entidad participante quede desconectada de la red, es decir, no recibe ni realiza pagos dentro del SP.

Respecto del período de acentuada actividad en la red (septiembre de 2009), el incumplimiento promedio de los BC muestra que la actividad en el SP disminuye en 9,1% y 6,6% en términos de monto transado y número de transacciones, respectivamente. La distancia se incrementa en 0,01, el diámetro permanece igual y la conectividad disminuye en 3,3%. A diferencia del periodo anterior, no resultaron nodos desconectados.

En el Cuadro 8 se presenta el resultado promedio de los ataques por tipo de entidad en los tres periodos seleccionados. Se observa que los BC son las entidades que generan mayor efecto sistémico en términos del volumen transado, ya que de incumplir con sus pagos, generarían una disminución promedio de 7,2% en el monto transado en el CUD, frente al 7,0% que generan las CB. Sin embargo, en términos de número de transacciones las CB presentan un mayor efecto, ya que éstas caen en promedio 6,6%, frente a 5,4% de los BC. Respecto a la conectividad de la red, el ataque a las CB genera una caída promedio de 3,5%, superior a la generada por el ataque a los BC (2,8%).

*Cuadro 8: Estabilidad de la red de pagos (CUD) en los tres periodos seleccionados -resultado promedio por tipo de entidad atacada, variaciones-*

Tipo de Entidad	Monto		Número		Distancia	Diámetro	Conectividad	Nodos (número*)				
	Miles de millones COP	Porcentaje	Transacciones	Porcentaje				Participantes	Reciben & envían	Solo envían	Solo reciben	No reciben ni envían
Bancos Comerciales	- 1.778,6	-7,2%	471	-5,4%	0,02	0	-2,8%	0	-1	1	0	0
Comisionistas de Bolsa	- 1.630,4	-7,0%	572	-6,6%	0,01	0	-3,5%	0	-1	0	0	0

(\*) Cifras redondeadas al entero más próximo.

Fuente: Elaboración de los autores.

### **c. Enfoque dinámico: Modelo de Simulación de Pagos y Topología de Redes**

El uso de la TR permite caracterizar y analizar la estructura y funcionamiento de redes complejas. Sin embargo, esta aproximación, en su forma básica, puede tener ciertas limitaciones. Tal como fue presentado hasta ahora, el ataque consistió en remover un nodo o participante como originador de transacciones bajo los supuestos según los cuales, las demás entidades están en capacidad de cumplir con sus obligaciones y además no tienen conocimiento del incumplimiento de la entidad atacada.

Relajar el primer supuesto implica reconocer que la capacidad de las entidades para realizar sus transacciones depende del saldo inicial que poseen en el CUD al principio del día, así como de las transacciones que les significan entradas y salidas de recursos durante el día, donde la oportunidad de cada transacción es relevante en la capacidad de cada entidad para responder por sus obligaciones. Por su parte, relajar el segundo

requeriría asumir supuestos adicionales sobre la capacidad de información y de reacción por parte de las entidades no atacadas; razón por la cual este se mantuvo<sup>22</sup>.

Los ejercicios de simulación brindan información adicional que resulta valiosa para el manejo de la liquidez en el SP por parte del banco central. Al respecto, Leinonen y Soramäki (2005) sugieren que un análisis de simulación sobre las transacciones del SP permite, entre otros aspectos: (i) cuantificar el resultado de la alteración de los flujos de pagos; (ii) determinar el resultado en las colas de pagos y en los requerimientos de liquidez como consecuencia de la alteración de los flujos de pagos, y (iii) cuantificar la necesidad de liquidez *overnight*, o el valor y número de transacciones que quedarían sin realizar si no existe liquidez adicional disponible. De esta forma, la simulación de un sistema complejo permite acceder a información que no está disponible a través de aproximaciones estadísticas o econométricas tradicionales. Por estas razones, con el fin de realizar un análisis de naturaleza dinámica, que capture el resultado en el nivel de liquidez a través del día, se complementa la aproximación basada en TR con un modelo de simulación de pagos (MSP) para las operaciones del CUD.

Bajo este enfoque, el cual consiste en la comparación de la liquidez en un escenario base con la liquidez en un escenario en el cual se produjo un ataque sobre una entidad, se captura el efecto directo e indirecto del ataque, donde este último es aquel causado por tener conexiones con una entidad previamente afectada. Posteriormente, se evalúa la capacidad de respuesta de las entidades de acuerdo con su estructura financiera y con sus posibilidades de acceso al BR ante ataques al SP. Basado en la TR, se presenta una comparación de la red antes y después del ataque realizado a través del MSP.

El MSP utiliza como escenario base los saldos iniciales y las transacciones del CUD para los tres periodos seleccionados. Los escenarios base son comparados con escenarios de ataque, en los cuales se supone el incumplimiento a partir de las 9:00am de una de las cuatro entidades seleccionadas de acuerdo con su grado de conectividad. El parámetro de comparación será la variación, entre el escenario base y el simulado, de los pagos en cola de espera (PCE) no resueltos que mantiene cada entidad al finalizar el día.

La dinámica del MSP se presenta en el Gráfico 9, donde se observa que la simulación parte de los saldos iniciales que tienen las entidades en sus cuentas de depósito (saldo inicial), los cuales son afectados durante el día por las transacciones registradas cronológicamente en el CUD.

Dado que se busca simular un SP de alto valor LBTR, solo se puede llevar a cabo una transacción si existen los fondos suficientes en la cuenta de depósito de la entidad que efectúa el pago; de no existir fondos suficientes, se lleva a una cola de pagos pendientes por realizar. Estos pagos en cola de espera (PCE) se realizarán en la medida en que la entidad reciba recursos suficientes para efectuar todos o algunos de estos pagos, para lo cual se diseñó un algoritmo de resolución de colas (ARC).

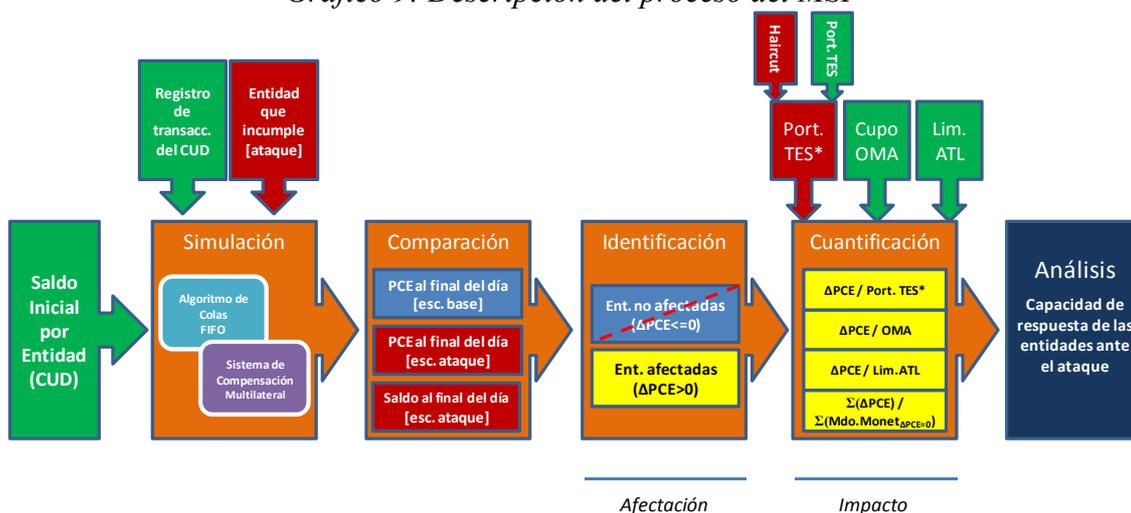
El ARC escogido se basa en el sistema FIFO (*First In First Out*), que es el algoritmo más utilizado<sup>23</sup>. Cada vez que se registra una transacción, el algoritmo evalúa si la

---

<sup>22</sup> Para ello se requeriría de un estudio más extenso donde se identifiquen las condiciones de la información en el mercado (v.g. existencia de asimetrías, manejo de la información intra-grupo, y estrategia de reacción por tipo de entidad o entidad particular), lo cual excede el alcance del presente estudio.

entidad que recibió recursos tiene PCE y si el nuevo saldo es suficiente para cumplir con alguna de estas transacciones, donde el algoritmo respeta el orden de llegada de las transacciones pendientes de pago. En el caso en que sea posible realizar una de las transacciones pendientes de pago, esta queda registrada como una nueva transacción, la cual a su vez hace que el ARC vuelva a buscar si la entidad que recibió recursos tiene PCE y si el nuevo saldo es suficiente para cumplir con algunas de las transacciones pendientes, y así sucesivamente<sup>24</sup>.

Gráfico 9: Descripción del proceso del MSP



Fuente: Elaboración de los autores

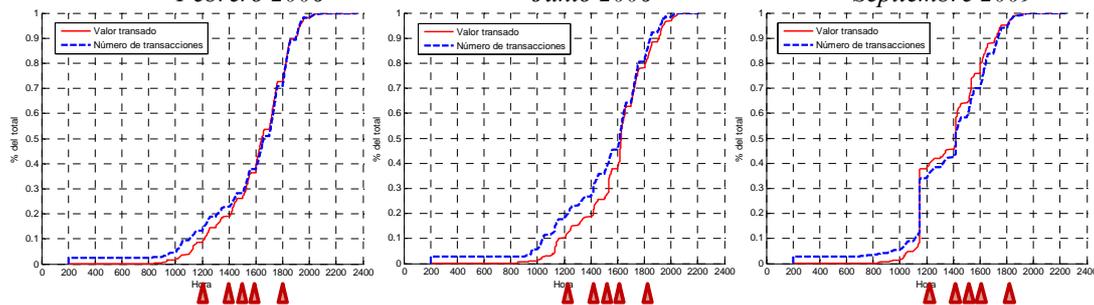
Con el fin de hacer más eficiente el manejo de la liquidez en la red se utilizó un algoritmo tipo compensación multilateral que cruza los PCE de las entidades en varios momentos del tiempo. Para ello se seleccionaron cinco neteos multilaterales durante el día de operaciones, los cuales se realizan durante los periodos de mayor operación intradía (Gráfico 10). De esta forma se generan ahorros de liquidez en el CUD que permiten una mayor capacidad de resolución de PCE para las entidades participantes, así como una mayor eficiencia en el uso de la liquidez en la simulación<sup>25</sup>.

<sup>23</sup> Leinonen y Soramäki (2005) documentan la existencia de otros tipos de algoritmos, entre los que destacan aquellos que dan prioridad a transacciones de menor tamaño, así como los que le permiten al originador de la transacción otorgar una preferencia a cada transacción; este último caso es el del CUD en Colombia y el del CHAPS del Reino Unido. Por su simplicidad, y por la dificultad para determinar la prioridad dada por cada participante en el registro de las transacciones del CUD, se utilizó un sistema basado en FIFO.

<sup>24</sup> Jurgilas y Martín (2010) presentan desarrollos recientes para el manejo de la liquidez en los sistemas de pago RTGS y la implementación de diferentes algoritmos para optimizar la liquidez de estos SP.

<sup>25</sup> La compensación multilateral se realiza siguiendo el enfoque empleado en el DCV con las transacciones provenientes del SEN. En el MSP se realiza en las siguientes horas: 12:00, 14:00, 15:00, 16:00 y 18:00.

Gráfico 10: Periodos de compensación multilateral seleccionados en el MSP



Fuente: Elaboración de los autores

En el ejercicio de MSP se aplica la TR a las simulaciones de las transacciones del CUD con y sin ataque, y se presenta la caracterización de la red. Para ello, el Cuadro 9 presenta la comparación de los resultados bajo los dos enfoques, lo cual permite evaluar el efecto directo e indirecto de los incumplimientos sobre la liquidez del SP. Se evidencia que bajo el MSP la disminución de la actividad de la red es más pronunciada, tanto en monto transado como en el número de transacciones; este resultado es el esperado, por cuanto el MSP, a diferencia del enfoque básico de la TR, considera los efectos directos e indirectos del ataque.

Cuadro 9: Comparación de los resultados promedio  
-por tipo de entidad atacada, variaciones-

Metodología	Tipo de Entidad	Estadísticas de actividad de red (transacciones)				Estadísticas de topología de redes								
		Monto		Número		Distancia	Diámetro	Conectividad	Nodos (número*)					
		Miles de millones COP	Porcentaje	Transacciones	Porcentaje				Participantes	Reciben & envían	Solo envían	Solo reciben	No reciben ni envían	
Enfoque Estático - Topología de Redes (TR)	Bancos Comerciales	- 1.778,6	-7,2%	- 471	-5,4%	0,017	0	-2,8%	0	-1	1	0	0	
	Comisionistas de Bolsa	- 1.630,4	-7,0%	- 572	-6,6%	0,015	0	-3,5%	0	-1	0	0	0	
Enfoque Dinámico - TR sobre simulaciones	Bancos Comerciales	- 2.541,2	-11,0%	- 997	-11,7%	0,019	0	-3,6%	0	-1	1	0	0	
	Comisionistas de Bolsa	- 2.679,5	-12,8%	- 1.415	-16,8%	0,024	0	-5,0%	0	-1	0	0	0	

(\*) Otras redondeadas al entero más próximo.

Mientras en el modelo de TR el incumplimiento de los BC representó en promedio (para los tres periodos escogidos) un descenso del 7,2% y 5,4% en el monto y número de operaciones de la red, bajo el MSP, estos ataques resultaron en una menor dinámica del orden del 11% y 11,7% respectivamente. Asimismo, en el caso de las CB el resultado sobre la red generó una reducción del monto transado de 7% a 12,8%, y una reducción de 6,6% a 16,8% en el número de transacciones.

En cuanto a las características de los nodos, el ataque a las entidades seleccionadas bajo el modelo dinámico no solo resulta en una sensible reducción de la actividad, sino igualmente en mayores distancias y menor conectividad.

## 5. Resultados de la simulación: efecto sistémico y suficiencia de los mecanismos de liquidez del BR

La dinámica del SP ante la ocurrencia de un evento de incumplimiento por parte de una o varias entidades se puede capturar mediante la variación de los (PCE) de cada una de las entidades que efectuaron transacciones en ese día. El análisis de esta dinámica permite: (i) identificar las entidades que al ser atacadas generan implicaciones significativas en la estabilidad de la red; (ii) identificar aquellas entidades que resultan afectadas de manera directa e indirecta; (iii) cuantificar el impacto de un

incumplimiento en la liquidez individual y sistémica; (iv) aproximar la capacidad del mercado monetario para mitigar el efecto de los ataques, y (v) analizar la capacidad de las entidades para enfrentar la inestabilidad haciendo uso tanto de su portafolio de títulos de deuda pública de la Nación (en adelante portafolio de TES), como de las facilidades de liquidez del BR, distinguiendo los resultados por clase de entidad.

Por tanto, la variación de los PCE de cada entidad al final del día permite cuantificar el faltante de liquidez que una entidad enfrentaría, y que podría subsanar a través de su portafolio de inversiones en TES y/o de las facilidades de liquidez del BR. Bajo este enfoque, un aumento de los PCE de una entidad significa que esta ha sido afectada, dado que el saldo inicial y los pagos recibidos de terceros fueron insuficientes para atender sus obligaciones de pago, lo cual se deriva del incumplimiento por parte de la entidad seleccionada o como resultado del incumplimiento de otras entidades, las cuales se vieron afectadas por el incumplimiento de la primera.

De no producirse cambio alguno en los PCE para una entidad significaría que esa entidad no dejó de recibir pagos como consecuencia directa o indirecta de la simulación, o que esa entidad, pese a dejar de recibir pagos como consecuencia directa o indirecta del ataque, contaba con un saldo inicial en el CUD o una estructura de pagos que le permitió conservar el mismo nivel de PCE; en estos casos, para efectos del análisis, no se considera como afectada.

El resultado de la simulación se analiza para cada grupo de entidades, así: (i) establecimientos de crédito (EC), conformado por bancos comerciales (BC), corporaciones financieras (CF) y compañías de financiamiento comercial (CFC); (ii) sociedades de servicios financieros (SSF), donde se encuentran las sociedades fiduciarias (SF), administradoras de fondos de pensiones (AFP) y los comisionistas de bolsa (CB).

Con el fin de evaluar la magnitud del impacto sobre la liquidez de las entidades participantes en el SP, se diseñaron indicadores que relacionan el incremento en los PCE como proporción de las siguientes variables: (i) valor de mercado del portafolio de TES; (ii) límite de liquidez en OMA, y (iii) límite de liquidez en ATL. Adicionalmente se identificaron al final del ejercicio las entidades no afectadas y con saldos positivos en el CUD, y se estimó si esta liquidez disponible podría mitigar el aumento de los PCE resultado de los ataques (Anexo 5).

En el caso del primer indicador, la variación de los PCE con respecto al valor de mercado del portafolio de TES se aproxima al concepto de liquidez potencial, ya que indicaría si la venta de dicho portafolio o su utilización como colateral permitirían cubrir las obligaciones pendientes de pago en el CUD. Para el efecto se utiliza un factor de descuento sobre el valor de mercado del portafolio registrado ante la SFC, que corresponde al máximo porcentaje de *haircut* utilizado por el BR (actualmente, 3%)<sup>26</sup>.

El segundo indicador corresponde a la liquidez que puede obtener una entidad en operaciones de expansión transitoria con el BR, el cual aplica tanto para las OMA

---

<sup>26</sup> Es decir, utilizar el  $(1-\alpha)$  del valor de mercado del portafolio de TES registrado ante la SFC, donde  $\alpha$  corresponde al máximo porcentaje de *haircut* utilizado por el BR (actualmente, 3%). Esto brinda mayor cercanía con lo que puede ser un escenario de estrés y a su vez, proporciona resultados más conservadores.

(subasta y ventanilla) como para el repo intradía y *overnight*. Este límite corresponde al 35% de los pasivos sujetos a encaje (PSE) para los EC; al valor del capital más la reserva legal para las SF, y al patrimonio técnico para las AFP y CB<sup>27</sup>.

El tercer indicador hace referencia a los recursos a los cuales pueden acceder los EC a través del mecanismo de ATL, cuyo límite corresponde al 15% del máximo nivel registrado de los pasivos para con el público dentro de los 15 días calendario anteriores a la fecha de ingreso al apoyo<sup>28</sup>. Los dos últimos indicadores permiten evaluar si los límites actualmente establecidos para OMA y ATL son suficientes para que el BR pueda atender las necesidades de liquidez en los escenarios establecidos.

Por último, la variación de los PCE como proporción de la liquidez disponible busca llamar la atención sobre la capacidad de las entidades que participan en el mercado monetario para enfrentar problemas de liquidez, sin recurrir a la venta de activos o a las facilidades de liquidez que ofrece el BR.

A continuación se describe el resultado de las simulaciones sobre los meses de febrero de 2006, junio de 2006 y septiembre de 2009, correspondientes a escenarios de auge en el mercado de TES, estrés y elevada actividad en el CUD, respectivamente. Luego de esta descripción, en el último numeral de esta sección se comparan y analizan los resultados.

#### **a. Escenario 1: auge en el mercado de TES (febrero de 2006)**

Los resultados muestran que, en promedio, el incumplimiento de una de las cuatro entidades en este escenario afectó al 41,3% de los participantes en el CUD. En el Gráfico 11 se presentan los resultados de la simulación en el escenario de auge sobre cada una de las cuatro entidades seleccionadas, donde se relaciona la variación de los PCE con respecto al valor de mercado del portafolio de TES (eje horizontal), y a la variación de los PCE sobre el límite para acceder a OMA de expansión transitoria con el BR (eje vertical).

En este sentido, las entidades que se ubiquen en el cuadrante superior derecho presentan la situación más crítica frente a las dos variables consideradas, ya que sus necesidades de liquidez no alcanzarían a ser cubiertas ni por su portafolio disponible de TES, ni por los recursos de OMA. Por su parte, aquellas entidades que se ubiquen en el recuadro sombreado alcanzarían a cubrir sus PCE después de los ataques.

Se observa que las entidades más afectadas fueron, en todos los ataques, las SF y las CB. Asimismo, se evidencia que la entidad que generó la mayor inestabilidad promedio sobre el SP fue ENT1, que propició el incremento en los PCE para el 48.5% de las entidades que participaron en el SP. Le siguió en magnitud el ataque sobre el ENT2, ENT3 y ENT4, que afectaron al 38%, 32% y 32%, respectivamente.

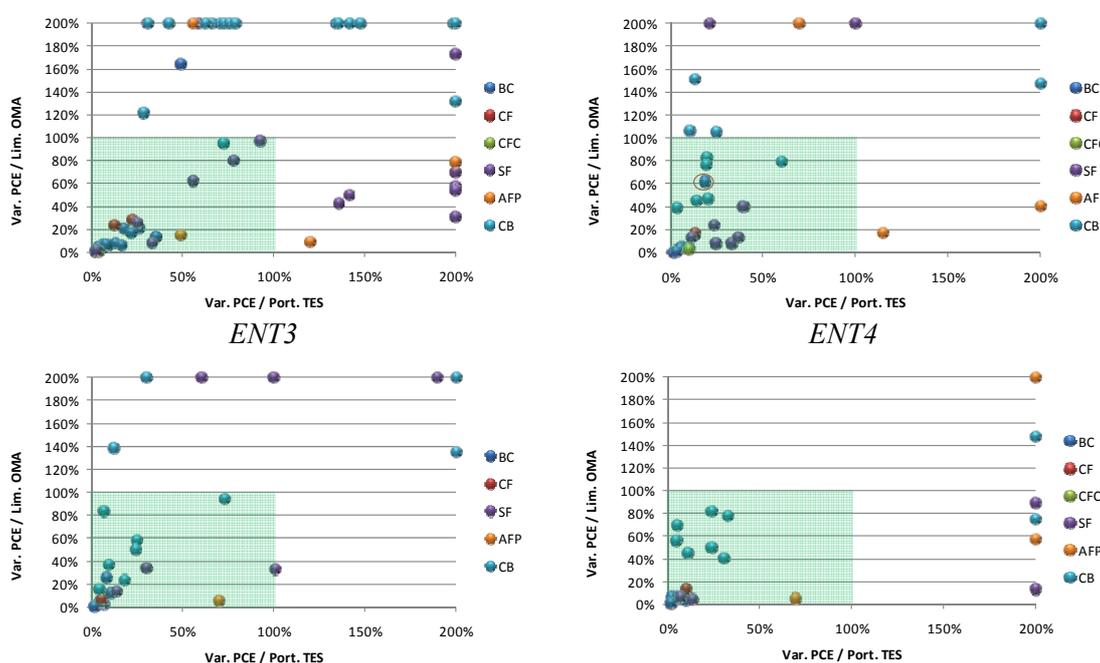
---

<sup>27</sup> El límite se aplica para todas las operaciones de expansión transitoria (subasta y ventanilla). En el caso de la subasta, este documento supone que el cupo permite que todas las entidades puedan acceder a la liquidez hasta por el límite máximo permitido; en la realidad existen, entre otros, límites a la concentración de la subasta por entidad.

<sup>28</sup> Los ATL solo pueden ser utilizados por los establecimientos de crédito (BC, CF y CFC), tal como lo señala la Constitución de 1991 (Art. 373). Esta facilidad del banco central obedece a que los EC captan recursos del público para realizar una transformación de plazos en donde se exponen a tensiones de liquidez, en las cuales el banco central actúa como PUI para solventarlas.

Al examinar el impacto de los ataques según la clase de entidad, se aprecia que, si bien la mayoría de los BC y CF exhibieron un incremento en sus PCE, estos cuentan con suficiente liquidez debido a su elevado portafolio de TES, así como al nivel de pasivos sujetos a encaje (PSE), hecho que les facilita un mayor acceso al mecanismo de OMA del BR. Respecto a las SSF, tanto las AFP como las SF presentan debilidades en relación con la utilización de su portafolio de TES, mientras las CB presentan restricciones en términos del límite de acceso a OMA. Lo anterior se explica en parte porque sólo se consideran los portafolios de posición propia, lo cual afecta esencialmente a las entidades que manejan un alto volumen de terceros.

*Gráfico 11: Resultado del ataque a entidades seleccionadas\*  
-Escenario de auge en el mercado de TES, febrero de 2006-*



*\*/ La variación de los PCE con respecto al valor de mercado del portafolio de TES y al límite de OMA se truncó a 200%.  
Fuente: Elaboración de los autores.*

## **b. Escenario 2: Estrés en el mercado de TES (junio de 2006)**

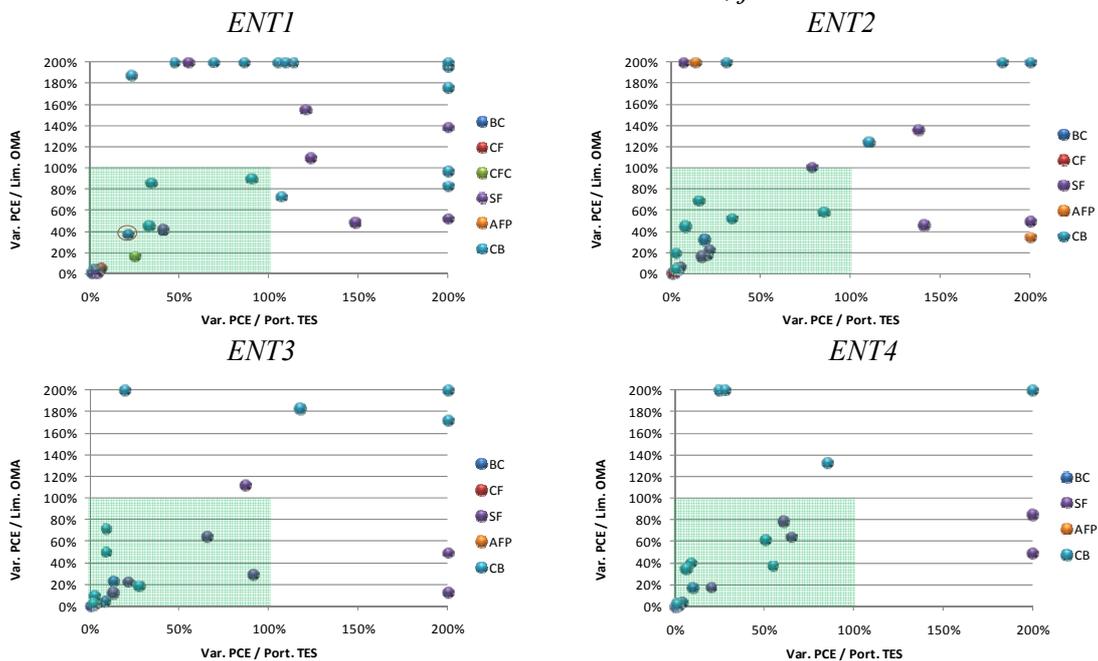
La característica de este escenario es la presencia de una alta aversión al riesgo por parte de los participantes del mercado. A diferencia del escenario anterior, en el cual el mercado de TES se encontraba en pleno auge, las nuevas condiciones pertenecen a una fase de fuerte descenso en el valor de mercado de los títulos de renta fija local, la cual tuvo su inicio en marzo de 2006.

Por lo anterior, los escenarios de febrero de 2006 y junio de 2006 corresponden a entornos diferentes del mercado de capitales local, en el que en tan sólo cuatro meses el mercado de TES sufrió una desvalorización cercana al 10% (Gráfico 5). Dicho paso, de un entorno de auge a uno de desvalorización, igualmente estuvo acompañado de una menor dinámica del SP. Al comparar el número de transacciones y el valor transado en ambos escenarios se evidencia que se pasó de 9.400 a 7.377 transacciones (-21,5%), y de \$24,4b a \$15,5b transados (-36,5%) (Cuadro 6). Así mismo, en cuanto a las

características del SP entre ambos escenarios, se puede observar que la distancia entre nodos aumentó, mientras que la conectividad disminuyó, lo cual sugeriría en principio que las propiedades intrínsecas de la red implicarían una mayor vulnerabilidad del sistema<sup>29</sup>.

Los resultados de las simulaciones arrojaron para el escenario de crisis un menor número de entidades afectadas (Gráfico 12), demostrando así el mayor peso que ejercieron los factores diferentes a las propiedades básicas de la red. Las entidades seleccionadas generaron un choque menor, donde resultaron afectadas en promedio el 33,9% de las entidades participantes en el CUD, frente al 41,3% afectado en el escenario de auge.

*Gráfico 12: Resultado del ataque a entidades seleccionadas\*  
-Escenario de estrés en el mercado de TES, junio de 2006-*



*\*/ La variación de los PCE con respecto al valor de mercado del portafolio de TES y al límite de OMA se truncó a 200%.  
Fuente: Elaboración de los autores.*

ENT1 y ENT2 generaron la mayor afectación en este escenario, hecho que condujo a que el 47,5% y 31,3% de las entidades participantes en el CUD experimentaran un aumento en los PCE, respectivamente. En orden de importancia siguieron los efectos causados por el ENT3 y la ENT4, entidades que al ser atacadas afectaron en ambos casos a cerca del 30,3% y 25,2% de los participantes. En cuanto al nivel general de afectación, se tiene que, si bien parece contrario a la intuición que durante un periodo de estrés la consecuencia de un choque en el SP sea inferior, el menor nivel de actividad y de número de participantes en el CUD sustenta este hecho.

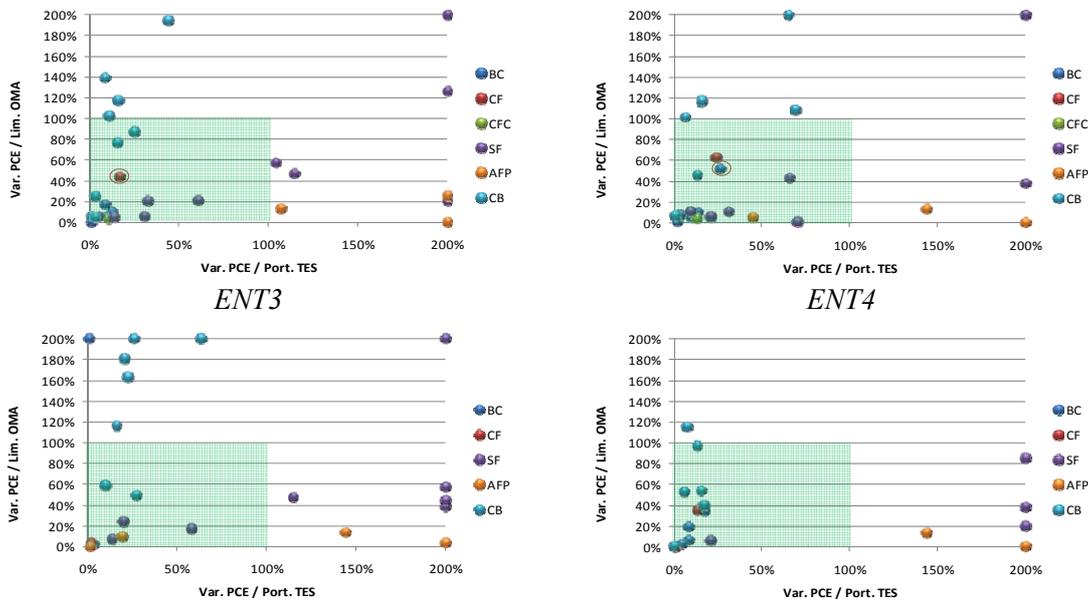
<sup>29</sup> En ejercicios anteriores los autores encontraron que este tipo de cambios en las propiedades de la red también se hizo presente en la transición del auge de la primera mitad del 2002 a la crisis de la segunda mitad del mismo año.

**c. Escenario 3: Máximo volumen transado en el SP (septiembre de 2009)**

El tercer escenario corresponde al mes de septiembre de 2009, periodo en el cual se presentó el máximo valor transado en el CUD desde sus inicios. En este período la red continuó exhibiendo un incremento en la distancia, aunque una mayor conectividad. Las nuevas propiedades de la red, unidas a la premisa de que en periodos de alta actividad del SP el resultado de un incumplimiento por parte de un participante de importancia sistémica tiende a magnificarse, debería mostrar una red más vulnerable que en los escenarios anteriores.

No obstante, los resultados de la simulación muestran que los incumplimientos de las entidades seleccionadas en este periodo afectaron en promedio sólo al 22,6% de las entidades participantes en el CUD, nivel inferior al 41,3% y 33,9% presentado en los escenarios de auge y estrés en el mercado de TES, respectivamente (Gráfico 13).

*Gráfico 13: Resultado del ataque a entidades seleccionadas \*  
-Escenario de máximo volumen transado en el SP, septiembre de 2009-*



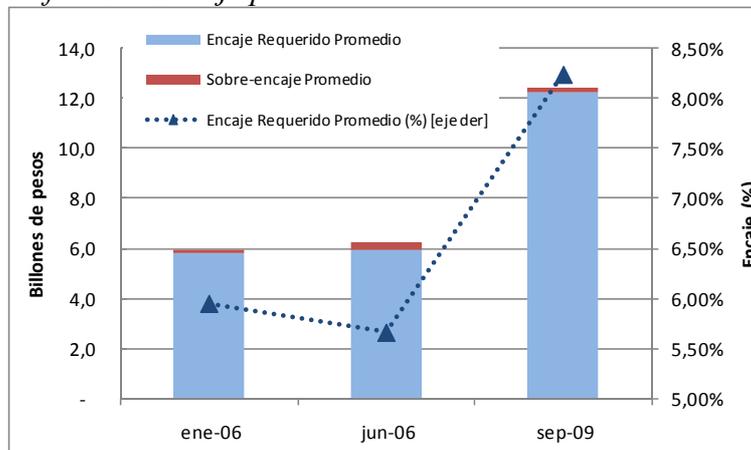
*\*/ La variación de los PCE con respecto al valor de mercado del portafolio de TES y al límite de OMA se truncó a 200%.  
Fuente: Elaboración de los autores.*

La explicación a este resultado se fundamenta en un mayor saldo inicial de los participantes en el CUD. Mientras que en los escenarios de auge y estrés el saldo inicial de las entidades en el CUD registró montos por \$2.4b y \$1.6b, en el escenario de máximo volumen transado el saldo ascendió a \$6.6b, lo cual brinda protección adicional al SP ante el incumplimiento de una entidad, y resulta en un menor número de entidades afectadas.

Cabe mencionar que durante este periodo los EC mantuvieron mayores niveles de depósitos en el CUD por el aumento en el encaje requerido promedio, el cual pasó de 5,95% de los pasivos sujetos a encaje en febrero de 2006, al 5,66% en junio de 2006, y al 8,24% en septiembre de 2009. En el Gráfico 14 se aprecia que el encaje total promedio, correspondiente a la suma del encaje requerido promedio y el sobre-encaje

promedio, pasó de \$5,8b y \$6,0b en enero y junio de 2006, respectivamente, a \$12,2b en septiembre de 2009. El mayor nivel de encaje implicó un mayor nivel de depósitos en el CUD<sup>30</sup>, lo que resultó en que los EC pudieran enfrentar de mejor manera los ataques realizados.

Gráfico 14: Encaje promedio de establecimientos de crédito



Fuente: Elaboración de los autores.

#### d. Efecto sistémico sobre el SP

La combinación del enfoque de TR y el MSP permite identificar la importancia de algunas variables adicionales a las propiedades de la red, que pueden mitigar o potenciar el efecto sistémico de un ataque sobre la estabilidad de la misma, y que condicionan la capacidad de respuesta de las entidades ante dichos eventos. Se observa que la estabilidad de la red de pagos no sólo depende de las propiedades básicas de la misma (distancia, diámetro y conectividad), calculadas mediante la topología de redes. Igualmente depende de la actividad que presente la red (cantidad de participantes, número de transacciones, valor transado y saldos iniciales del CUD), de la especialidad de cada negocio, de las estrategias empleadas por las entidades participantes de acuerdo con la coyuntura de liquidez del momento, y de su propia normatividad según la regulación pertinente.

Se encontró que el efecto de los factores externos puede dominar a la influencia de las propiedades intrínsecas de la red. Es así como en el escenario de estrés en el mercado de TES, la baja actividad de la red fue una variable determinante para mitigar el choque de los incumplimientos, mientras que en el escenario de máximo volumen transado, el saldo inicial en el CUD fue la variable que contrarrestó de forma importante el incremento en los PCE generados por los ataques.

Esta situación se evidencia en el Cuadro 10, donde se presentan los resultados de los incumplimientos para cada escenario seleccionado. Se observa que en el escenario de auge (febrero de 2006) se presentó la mayor afectación sobre el SP, donde se afectó al

<sup>30</sup> La metodología de cálculo bisemanal de encaje da la posibilidad para que los EC utilicen recursos de reserva para necesidades de liquidez, siempre y cuando cuenten al final de la bisemana con una posición promedio positiva. En este sentido, la eficiencia operacional del CUD es esencial para el funcionamiento fluido del mercado monetario, en el cual se redistribuyen fondos entre entidades con excesos de encaje y aquellas con defecto de encaje.

41,3% de los participantes en el CUD, frente al 33,9% y al 22,6% de los escenarios de estrés y máximo volumen, respectivamente.

*Cuadro 10: Resultados de los ataques en los periodos seleccionados -promedio de los cuatro incumplimientos, por escenario-*

FEBRERO DE 2006 (AUGE)		BC	CFC	CF	AFP	SF	CB	Total (*)
Número de Entidades Participantes		17	19	2	6	25	31	100,0 ±
Saldo Inicial en el CUD (\$mm., fin de mes)		2.042,1	104,3	21,2	0,1	9,5	181,7	2.358,8 ±
Valor de Mercado Port. TES (\$mm., fin de mes •)		25.189,7	543,9	1.053,8	90,7	304,4	2.174,2	29.356,8 ±
Variación de los PCE (\$mm.)		898,99	0,71	123,59	140,04	145,38	568,03	1.876,8 ±
Promedio de Ent. Afectadas (% participantes)		55,9%	3,9%	62,5%	62,5%	46,0%	46,8%	41,3% ‡
Utilización Requerida Port. TES (%)	(Media)	7,5%	67,8%	11,1%	5410,8%	516,6%	141,6%	512,0% ‡
	(Máximo)	48,4%	258,7%	21,8%	26605,7%	9752,3%	1497,5%	26605,7% §
Utilización Requerida OMA (%)	(Media)	10,0%	1,3%	15,8%	24,9%	137,4%	230,7%	109,7% ‡
	(Máximo)	165,0%	2,9%	28,9%	78,7%	1734,9%	4186,7%	4186,7% §
Utilización Requerida ATL (%)	(Media)	19,2%	102,1%	37,2%				61,6% ‡
	(Máximo)	103,5%	399,3%	69,8%				399,3% §

JUNIO DE 2006 (CRISIS)		BC	CFC	CF	AFP	SF	CB	Total (*)
Número de Entidades Participantes		16	20	2	6	23	32	99,0 ±
Saldo Inicial en el CUD (\$mm.)		1.360,8	101,1	47,4	0,2	45,3	41,2	1.596,0 ±
Valor de Mercado Port. TES (\$mm., fin de mes •)		33.612,6	590,5	826,6	71,7	352,4	2.434,5	37.888,3 ±
Variación de los PCE (\$mm.)		488,04	0,98	17,13	21,35	113,43	398,18	1.039,1 ±
Promedio de Ent. Afectadas (% participantes)		56,3%	2,5%	66,7%	25,0%	35,9%	40,6%	33,9% ‡
Utilización Requerida Port. TES (%)	(Media)	3,5%	200,5%	2,5%	203,1%	727,9%	2652,0%	1079,8% ‡
	(Máximo)	21,5%	1579,2%	5,7%	396,3%	15916,4%	191641,1%	191641,1% §
Utilización Requerida OMA (%)	(Media)	4,9%	4,3%	2,8%	35,0%	92,9%	240,5%	103,1% ‡
	(Máximo)	37,5%	17,1%	5,7%	35,0%	978,6%	3321,4%	3321,4% §
Utilización Requerida ATL (%)	(Media)	12,7%	26,9%	12,5%				20,2% ‡
	(Máximo)	103,5%	179,4%	30,4%				179,4% §

SEPTIEMBRE DE 2009 (ALTA ACTIVIDAD)		BC	CFC	CF	AFP	SF	CB	Total (*)
Número de Entidades Participantes		16	22	3	6	24	32	103,0 ±
Saldo Inicial en el CUD (\$mm.)		5.962,9	424,9	106,2	4,1	0,8	99,0	6.597,9 ±
Valor de Mercado Port. TES (\$mm., fin de mes •)		27.213,2	535,7	1.354,7	236,9	391,9	3.488,3	33.220,8 ±
Variación de los PCE (\$mm.)		481,50	1,09	163,26	85,55	95,09	299,72	1.126,2 ±
Promedio de Ent. Afectadas (% participantes)		25,0%	2,3%	33,3%	54,2%	30,2%	22,7%	22,6% ‡
Utilización Requerida Port. TES (%)	(Media)	7,6%	6,0%	13,9%	102,7%	446581,5%	19,2%	104072,6% ‡
	(Máximo)	26,4%	13,0%	24,0%	272,5%	4384820,5%	69,3%	4384820,5% §
Utilización Requerida OMA (%)	(Media)	10,6%	2,3%	36,8%	8,0%	53,3%	101,2%	47,5% ‡
	(Máximo)	52,4%	4,9%	63,7%	26,1%	502,1%	286,4%	502,1% §
Utilización Requerida ATL (%)	(Media)	27,0%	5,3%	83,4%				19,5% ‡
	(Máximo)	139,2%	11,6%	144,3%				144,3% §

No se consideran las entidades cuya naturaleza no se enmarca dentro de los tipos de entidad señalados. Los cálculos de la Utilización Requerida sólo incluyen a las entidades con Portafolio de TES y límite de OMA superior a cero.

(\*) El total corresponde a la suma aritmética de los tipos de entidad (±); al promedio ponderado por número de entidades (‡), y al máximo de entre los tipos de entidad (§).

(•) Corresponde a la proporción (1-0) del valor de mercado del portafolio de TES, donde 0 corresponde al máximo haircut vigente aplicado por el Banco de la República.

Fuente: Elaboración de los autores.

En todos los periodos las entidades más impactadas ante los ataques son las CB y las SF. Adicionalmente, estos fueron los tipos de entidad donde, con mayor frecuencia, la variación en PCE superó al portafolio de TES y al límite de OMA.

Las CB se ven impactadas por el límite de OMA y las SF por su portafolio de TES. Estos resultados obedecen en gran medida a su especialidad de negocio, dado que las CB manejan un portafolio en posición propia mayor al que manejan por este concepto las SF<sup>31</sup>. Por consiguiente, al observar el comportamiento de la red en los diferentes escenarios, si bien el efecto contagio depende de factores externos a las propiedades de

<sup>31</sup> Es preciso mencionar que en el caso de los portafolios de terceros no es posible utilizarlos como garantía para cumplimiento de obligaciones de la entidad dadas las normas de separación contable, conflictos de interés e intencionalidad de la operación entre la sociedad y sus fondos. La única posibilidad de utilización de los mismos como garantía de una obligación se circunscribe al 30% del activo de la cartera colectiva, con el único objetivo de solucionar problemas de liquidez específicos de dicha cartera, tales como solicitud de retiros o atención de gastos.

la red, como el nivel de actividad y los saldos iniciales en el CUD, existen otros como la propia especialización de las entidades y su normatividad.

Al examinar el resultado de los ataques durante los tres periodos seleccionados por tipo de entidad (Cuadro 11), se observa que el ataque a las CB afectó en promedio al 34,3% de las entidades, mientras que el ataque a los BC afectó al 30,2%. Se destaca que las entidades más afectadas en los ataques fueron las CF, seguidas de las CB y las AFP. Al igual que en el análisis por periodos, las CB y SF resultan ser las entidades más impactadas en su liquidez. El ataque a las CB generó que en promedio las CB presentaran una variación en los PCE superior al portafolio de TES y al límite de OMA, situación similar a la presentada por las CFC y las AFP.

*Cuadro 11: Resultados los ataques por tipo de entidad atacada -promedio de los tres escenarios, por incumplimiento de entidad-*

PROMEDIO DE BANCOS COMERCIALES	BC	CFC	CF	AFP	SF	CB	Total (*)
Variación de los PCE (\$mm.)	495,88	0,88	113,26	78,72	106,20	408,23	1.203,17 <sup>□</sup>
Entidades Afectadas (% ent. participantes)	45,8%	13,4%	58,3%	55,6%	36,1%	31,8%	30,2% <sup>†</sup>
Utilización Requerida Port. TES • (%)	(Media)	6,2%	5,5%	10,4%	1259,0%	190,3%	142,1% <sup>‡</sup>
	(Máximo)	22,4%	12,0%	20,4%	6836,3%	2122,1%	8239,9% <sup>§</sup>
Utilización Requerida OMA (%)	(Media)	8,5%	2,0%	22,8%	13,4%	77,5%	64,1% <sup>‡</sup>
	(Máximo)	57,2%	4,6%	54,2%	24,4%	547,9%	770,0% <sup>§</sup>
Utilización Requerida ATL (%)	(Media)	20,2%	4,7%	53,6%			13,8% <sup>‡</sup>
	(Máximo)	121,3%	10,7%	122,8%			123,9% <sup>§</sup>

PROMEDIO DE COMISIONISTAS DE BOLSA	BC	CFC	CF	AFP	SF	CB	Total (*)
Variación de los PCE (\$mm.)	749,80	0,98	109,03	95,35	116,91	567,99	1.640,06 <sup>□</sup>
Entidades Afectadas (% ent. participantes)	47,9%	2,5%	54,2%	48,6%	43,8%	49,0%	34,3% <sup>†</sup>
Utilización Requerida Port. TES • (%)	(Media)	6,2%	177,4%	9,6%	2002,5%	244407,5%	59089,1% <sup>‡</sup>
	(Máximo)	33,1%	918,9%	17,6%	19941,1%	2197286,4%	2288230,8% <sup>§</sup>
Utilización Requerida OMA (%)	(Media)	8,5%	3,0%	16,2%	26,2%	96,7%	124,5% <sup>‡</sup>
	(Máximo)	100,1%	8,6%	32,2%	68,0%	1356,8%	2582,7% <sup>§</sup>
Utilización Requerida ATL (%)	(Media)	19,1%	84,9%	40,2%			54,8% <sup>‡</sup>
	(Máximo)	98,4%	289,4%	75,0%			289,4% <sup>§</sup>

No se consideran las entidades cuya naturaleza no se enmarca dentro de los tipos de entidad señalados. Los cálculos de la Utilización Requerida sólo incluyen a las entidades con Portafolio de TES y límite de OMA superior a cero.

(\*) El total corresponde a la suma aritmética de los tipos de entidad (□); a la razón entidades afectadas como proporción de total de entidades (†); al promedio ponderado por número de entidades (‡), y al máximo de entre los tipos de entidad (§).

(•) Corresponde a la proporción (1-a) del valor de mercado del portafolio de TES, donde a corresponde al máximo haircut vigente aplicado por el Banco de la República.

Fuente: Elaboración de los autores.

Por su parte, el ataque a los BC presentó un impacto similar sobre las SF y AFP. Es importante mencionar que las AFP tienen una reducida actividad en el CUD (Cuadro 1), al tiempo que no recurren de manera habitual a operaciones de expansión transitoria de liquidez, lo que puede explicarse por el volumen y liquidez de los recursos que administran<sup>32</sup>. Asimismo, se encontró que una proporción importante de las entidades que presentaron un mayor aumento en sus PCE cuentan con alternativas para resolver los problemas de liquidez generados por los ataques, ya sea a través del portafolio de TES disponible o las facilidades de OMA y ATL; este es el caso de los BC y las CF (Anexo 4).

Es importante resaltar que al realizar el ejercicio para determinar la liquidez disponible en el CUD luego de los ataques, en la mayoría de los casos se podrían solucionar buena parte de las necesidades de liquidez antes de recurrir al BR, siendo más evidente en el escenario de septiembre de 2009 (Anexo 5). Sin embargo, aspectos como la concentración voluntaria o precautar de recursos en momentos de acentuada iliquidez,

<sup>32</sup> Cabe recordar que las SSF no cuentan con acceso a ATL.

así como la presencia de cupos al interior del mercado, dificultan su eficiente distribución.

## 6. Conclusiones

El sistema de pagos de alto valor de Colombia (CUD) ha presentado en los últimos años un crecimiento sustancial, no sólo en el valor de las operaciones realizadas, el cual alcanzó un máximo histórico en septiembre de 2009, sino también respecto al número de transacciones (en promedio, cerca de diez mil por día), y al creciente número de participantes, el cual llegó a 160 entidades durante dicho año. Por ello, el CUD clasifica dentro de los parámetros del BIS como un SP de importancia sistémica para Colombia, por lo que su buen funcionamiento facilita la integración del mercado monetario, al tiempo que se constituye en un elemento esencial para la transmisión de la política monetaria. Por estas razones, el BR realiza un permanente monitoreo del mismo para evaluar su operatividad y eficiencia.

En ese sentido, con el fin de medir la estabilidad de la red, se examinó el comportamiento del CUD ante un ataque a una entidad que puede ser considerada como TCTF. Con el propósito de realizar dicho ataque se seleccionaron tres escenarios que capturaron diferentes entornos de volatilidad del mercado de TES y de actividad en el SP, los cuales correspondieron a los meses de febrero y junio de 2006, y septiembre de 2009. Luego, con base en estos meses, se estimó el comportamiento de un día típico o promedio para tales periodos, para lo cual se utilizó la metodología de *bootstrap*.

Así mismo, con base en la actividad del CUD durante tales escenarios, se diseñó un índice de importancia sistémica, fundamentado en la participación de cada entidad en el valor transado y en el número de conexiones en el CUD. De las veinte entidades que componen la clasificación antes mencionada se escogieron las primeras cuatro entidades, con lo cual se obtuvieron dos tipos de entidad: BC y CB. Se encontró que, si bien el tamaño de la entidad influye en la clasificación (lo cual corresponde al concepto de *too-big-to-fail*), los factores de actividad en el mercado y conexión al interior de la red son igualmente ponderantes en la definición de importancia sistémica.

La estabilidad de la red se evaluó bajo dos enfoques complementarios. Por una parte, el enfoque de TR determinó que se cuenta con una red de tamaño mediano, robusta y estable, aunque concentrada, donde, en general, se encontró una relación directa entre la actividad de la red (número y valor de transacciones) y la estabilidad de la misma.

Por su parte, el MSP, a diferencia del enfoque estático (TR), no sólo consideró los efectos directos que generó el incumplimiento de una entidad sobre aquellas con que esta tiene conexiones, sino que también capturó los efectos indirectos del mismo. Se encontró que factores diferentes a la actividad de la red y sus propiedades básicas, tales como los saldos iniciales que mantienen las entidades en el CUD, la oportunidad de las transacciones durante el día, y la forma como las entidades concentran su liquidez, inciden sobre el número de entidades afectadas en las simulaciones, así como en la relación entre los PCE y las fuentes de liquidez de dichas entidades.

Se destaca la importancia de las CB, las cuales, por su participación en los pagos que realiza al sistema financiero, así como por el alto número de conexiones que mantiene

dentro de la red, deben ser consideradas como de importancia sistémica. En promedio, para los escenarios y entidades consideradas, un incumplimiento de las CB afecta al 34,3% de las entidades participantes en el SP, mientras que el incumplimiento de los BC afecta al 30,2%.

En cuanto a los escenarios analizados, el de mayor afectación resultó ser el periodo de auge en el mercado de TES (febrero 2006), en donde en promedio se afectó al 41,3% de las entidades. Respecto de las entidades participantes, las CB y las SF resultaron ser consistentemente las más afectadas, superando su portafolio de TES y el límite de acceso a OMA<sup>33</sup>.

Por tanto, si bien la TR muestra una red relativamente estable, igualmente se evidencia la situación particular de las CB y SF. Respecto a las CB, no sólo resultan ser las entidades más impactadas ante un ataque, sino que una proporción significativa de las entidades consideradas como sistémicamente importantes de acuerdo con el concepto de TCTF corresponden a este tipo de entidad (Gráfico 7). Cabe advertir que gran parte del comportamiento de tales entidades obedece a la especialidad de su negocio, las actividades y el acceso a la liquidez que permite la normatividad.

Los resultados del ejercicio muestran que existen entidades que, por su estructura y especialidad de su negocio, deben hacer un mayor esfuerzo en la administración del riesgo de liquidez. Este y otros resultados son de utilidad para las autoridades encargadas de la regulación prudencial y el seguimiento a entidades financieras, así como para el seguimiento del SP de alto valor.

Finalmente, este ejercicio se constituye en punto de partida para dos temas futuros de investigación. El primero consiste en profundizar en el debate actual sobre las bondades, limitaciones y sinergias resultantes de aproximarse a temas de estabilidad financiera desde el enfoque de “entidades muy grandes para caer” (*too-big-to-fail*), frente al nuevo concepto de “entidades muy conectadas para caer” (TCTF).

El segundo consiste en evaluar el esquema de participación –directa- en el CUD, el cual, como se mencionó anteriormente, permite que cualquier tipo de entidad financiera pueda mantener depósitos y hacer transacciones con otros participantes del SP sin requerir de un agente o intermediario. De acuerdo con los resultados anteriormente presentados, y a diferencia de ejercicios similares realizados para SP de participación indirecta (Becher *et al.* 2008b), un ataque sobre una entidad sistémicamente importante en el CUD no trae como consecuencia la desconexión de un número significativo de entidades del SP; este resultado, aunque preliminar, es notable, y requiere de una mayor profundización.

---

<sup>33</sup> En general, los CB y las SF, participan en promedio en el 25,23% del monto transado en el SP.

## 7. Referencias

- Afonso, G.A, and H. Song Shin. (2010) “Precautionary Demand and Liquidity in Payment Systems”, Federal Reserve Bank of New York Staff Reports, No. 352, August.
- Banco de la República. (2010) *Reporte de los Sistemas de Pago*, Subgerencia de Operación Bancaria, Banco de la República, Junio. [http://www.banrep.gov.co/documentos/publicaciones/Rep\\_sit\\_pag/2009/Rep\\_Sistemas\\_pago.pdf](http://www.banrep.gov.co/documentos/publicaciones/Rep_sit_pag/2009/Rep_Sistemas_pago.pdf)
- Bech, M. y Atalay, E. (2008) “The Topology of the Federal Funds Market”, *Federal Reserve Bank of New York Staff Report*, No 354, November.
- Bech, M. y Garrat, R. (2006) “Illiquidity in the interbank payment system following Wide-Scale Disruptions”, *Federal Reserve Bank of New York Staff Report*, No 239, March.
- Becher, C., Galbiati, M., Tudela, M. (2008b) “The timing and funding of CHAPS Sterling payments”, *FRNBY Economic Policy Review*, September.
- Becher, C., Millard, S., Soramäki, K. (2008) “The network topology of CHAPS Sterling”, *Working Paper*, No. 355, Bank of England, November.
- Bernal, J. (2009) “Money markets, monetary policy and payment systems: policy issues for central banks in times of turbulence” *Journal of payments strategy and systems*, Vol.3, No., November.
- Bernanke, B. y Gertler, M. (1995) "Inside the Black Box: The Credit Channel of Monetary Policy Transmission", *Journal of Economic Perspectives*, American Economic Association, Vol. 9(4), pages 27-48, Fall.
- BIS (2001) “Principios Básicos para los sistemas de pago de importancia sistémica” Comité de Sistemas de Pago y Liquidación (CPSS), Banco de Pagos Internacionales, enero.
- Boss, M., Elsinger, H., Summer, M., Thurner, S. (2004) “An empirical analysis of the network structure of the Austrian Interbank market”, *Financial Stability Report*, No.7, ONB.
- Cattaneo, M.D., R.K. Crump, y M. Jansson (2010) “Bootstrapping Density-Weighted Average Derivatives”, Staff Reports, Federal Reserve Bank of New York, No. 452, May.
- Cecchetti, S.G. y Disyatat, P. (2009) “Central Bank Tools and Liquidity Shortages”, Presentado en Federal Reserve Bank of New York Conference on Central Bank Liquidity Tools, 19-20 February 2009.
- Cepeda, F. (2008) “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.
- Chan-Lau, J.A (2010) “Regulatory Capital Charges for Too-Connected-to-Fail Institutions: A Practical Proposal”, IMF Working Paper, Western Hemisphere Department, WP/10/98, April.

- Docherty, P. y Wang, G. (2009) "Using synthetic data to evaluate the impact of RTGS on systemic risk in the Australian payments system", *Journal of Financial Stability* (in press).
- Estrada, D. y Morales, P. (2009) "La estructura del mercado interbancario y del riesgo de contagio en Colombia" *Estabilidad Financiera*, No. 17, Banco de España, pp. 93-114, Madrid, Noviembre.
- Flannery, M.J. (1996) "Financial crises, payment system problems, and discount window lending", *Journal of Money, Credit and Banking*, Vol. 28, No. 4(2), November.
- Galán, J. y M. Sarmiento. (2007) "Staff, Functions, and Staff Costs at Central Banks: An International Comparison with a Labor-demand Model", *Money Affairs*, Centro de Estudios Monetarios Latinoamericanos (CEMLA), Vol. XX, No. 2, pp. 131-180, México D.F., Julio.
- Heijmans, R. (2009) "Simulations in the Dutch interbank payment system: A sensitivity analysis", *DNB Working Paper*, No. 199, De Nederlandsche Bank.
- Ianoka, H., Ninomiya, T., Taniguchi, K., Shimizu, T., Takayasu, H. (2004) "Fractal network derived from banking transaction – An analysis of network structures formed by financial institutions-", *Bank of Japan Working Paper Series*, No. 04-E-04, April.
- Jurgilas, M. y Martin, A. (2010) "Liquidity-Saving Mechanisms in Collateral-Based RTGS Payment Systems" *New York Federal Reserve Staff Reports*, No. 438, March.
- Leinonen, H. y Soramäki, K. (2005) "Simulating interbank payment and securities settlement mechanisms with the BoF-PSS2 simulator", en Leinonen, H. (Ed.), *Liquidity, risks and speed in payment and settlement systems – a simulation approach*, Bank of Finland Studies, E:31.
- Lublóy, Á. (2006) "Topology of the Hungarian large-value transfer system", *Magyar Nemzeti Bank Occasional Paper*, No.57.
- McVanel, D. (2007) "The impact of unanticipated defaults in Canada's Large Value Transfer System", *Working Paper*, No.05-25, Bank of Canada.
- Meltzer, A (1986) "Financial Failures and Financial Policies", en G.G Kaufamn y R.C Kormendi (Eds), *Deregulating Financial Services: Public Policy in Flux*, Cambridge, Massachusetts, Ballinger.
- Merrouche, O. y Schanz, J. (2010) "Banks' intraday liquidity management during operational outages: Theory and evidence from the UK payment system", *Journal of Banking & Finance*, No. 34 (2010), pp. 314-323.
- Repullo, R. (2005). "Liquidity, Risk Taking, and the Lender of Last Resort", *International Journal of Central Banking*, Vol. 1(2), September.
- Reveiz, A. y León, C. (2008) "Índice representativo del mercado de deuda pública interna: IDXTES", *Borradores de Economía*, No. 488, Banco de la República.
- Rochet, J.C. y Vives, X. (2004) "Coordination Failures and the Lender of Last Resort: Was Bagehot Right After All?", *Journal of the European Economic Association*, MIT Press, vol. 2(6), pp.1116-1147, December.

- Sarkar, A (2009) “Liquidity Risk, Credit Risk, and the Federal Reserve’s Responses to the Crisis”, *Federal Reserve Bank of New York Staff Report*, No. 389, Federal Reserve Bank of New York, September.
- Schmitz, S. (2006) “How payment Systems affect monetary policy?”, *Central Banking*, Vol. 17, No. 2, November.
- Soramäki, K., Bech, M., Arnold, J., Glass, R., Beyeler, W., (2006) “The topology of interbank payments flow”, *Federal Reserve Bank of New York Staff Report*, No 243, March.
- Tarashev, N., C. Borio, and K. Tsatsaronis. (2009) “The Systemic Importance of Financial Institutions”, *BIS Quarterly Review*, pp. 75–87, September.
- Uribe, J.D. (2006) “El Banco de la República y su Función de Prestamista de Última Instancia”, Nota Editorial, *Revista del Banco de la República*.
- World Bank (2009) “The evolution of Real-Time Gross Settlement”, World Bank, Financial Infrastructure Series, February.

## **Anexo 1.**

### *Recuadro A1. Evolución reciente de los Sistemas de Pago*

De acuerdo con Leinonen y Soramäki (2005), un SP se encarga de realizar transferencias entre bancos o entidades financieras (v.g. pagos de créditos, débitos directos, pagos de cheques), y se puede clasificar de acuerdo con su naturaleza privada o pública, y según el monto que manejan en cada transacción. Respecto a la primera clasificación, generalmente los SP son de carácter público, en cabeza del banco central, donde el activo utilizado para el cumplimiento son las obligaciones emitidas por este, quien, en comparación con una entidad privada, es neutral, tiene un riesgo de crédito prácticamente inexistente, además de contar con la posibilidad de poner a disposición recursos en desarrollo de su función de PUI.

Con relación al monto de las transacciones, el SP puede ser minorista (bajo valor) o de alto valor, donde este último se caracteriza por procesar transacciones cuyos montos son de alta cuantía, las cuales requieren de complejos mecanismos de administración del riesgo y de la liquidez del sistema. Por su parte, los sistemas de pago de bajo valor son menos complejos de administrar y con menores riesgos. A este respecto, Galán y Sarmiento (2007) encontraron una tendencia hacia la participación de entidades privadas (asociaciones de bancos) en la administración y operación de los sistemas de pago de bajo valor, lo cual permite que el banco central se concentre en los sistemas de pago de alto valor y en la supervisión de la red de pagos.

Otra manera de caracterizar los SP es con respecto a la forma de procesar los pagos (Leinonen y Soramäki, 2005). La forma tradicional consistía en el procesamiento al final del día por lotes netos de transacciones, en el cual los pagos se agrupaban en lotes diarios y eran procesados en los días siguientes, donde usualmente tomaba de uno a tres días para completar el proceso. Hoy en día los ciclos de procesamiento se han reducido a periodos cortos (v.g. 30 minutos), en lo que se conoce como sistemas DNS (Deferred Net Settlement).

Sin embargo, como consecuencia de los avances tecnológicos, en la actualidad se impone el procesamiento en tiempo real, el cual permite procesar las transacciones de manera individual e inmediata. Este tipo de SP, en el cual las transacciones se procesan en tiempo real, puede clasificarse en dos tipos: RTGS (Real-Time Gross Settlement) y CNS (Continuous Net Settlement). En el primero, característico de los sistemas administrados por los bancos centrales, el registro y cumplimiento son procesados de manera inmediata y simultánea en las cuentas que tienen las entidades en el banco central, mientras que en el segundo, característico de los sistemas privados, se realiza el registro inmediatamente, pero el cumplimiento se puede realizar, por ejemplo, hasta el final del día.

## Anexo 2.

Tabla A1: Instrumentos de irrigación de liquidez del BR al sistema financiero (junio 30 de 2010)

Variable	Liquidez Macro	Liquidez Sistema de Pagos		Liquidez Estabilidad Financiera
	OMA	Intradía RI	Overnight ROI	ATL
Alcance	Instrumento de intervención monetaria	Función sistema de pagos, liquidación de valores y compensación cheques	Conversión repo Intradía. Overnight por compensación	E.C. con pérdidas transitorias de liquidez; Necesidades de Efectivo y Defecto en la Cuenta de Depósito
Mecanismo	Subastas y ventanilla	Sistema DCV	Sistema DCV	Solicitud individual
Límite	35% PSE (EC) Capital + Reserva Legal (SF) Patrimonio Técnico (FPyC, y SCB)	35% PSE (OMA y RI) Capital + Reserva Legal Patrimonio Técnico	Conversión repo Intradía 35% PSE Capital + Reserva Legal Patrimonio Técnico <b>Overnight por compensación (Solo bancos)</b> Menor valor entre 35% PSE y (faltante +10% canje al cobro)	15% de pasivos con el público
Usuario	ACO	ACO	ACO	Establecimientos de crédito
Costo	<b>Expansión:</b> Subasta: 3.0%-4.0% Ventanilla: 4.0% <b>Contracción:</b> <b>Depósitos Remunerados:</b> Subasta: 2.95%-3.00% Ventanilla: 2.00%	0.1% efectivo sobre el valor nominal de cada utilización.	Ventanilla + un punto porcentual: 5.0%	Ventanilla + 375 pb: 4.0% + 3.75% = 7.75% UVR * 8.5% 1.83% * 8.5% = 10.49% <b>Costos indirectos</b> - EC No pueden otorgar más cartera - Existe control diario de información del EC por parte del BR
Plazo	<b>Expansión:</b> 1 día <b>Depósitos Remunerados:</b> 1, 7, 14, 30, 60 y 90 días.	Menor a 1 día	1 día	30 a 180 días
Títulos Admisibles	Títulos deuda pública	Títulos deuda pública	Títulos deuda pública	Títulos valores de contenido crediticio (orden de preferencia)

Nota: Pasivos Sujetos a Encaje (PSE); Agente Colocador de OMA (ACO); Establecimientos de Crédito (EC), Fiduciarias (SF), Comisionistas de Bolsa (SCB), entre otros.

Fuente: DODM- Banco de la República. Cálculos de los autores.

Tabla A2. Instrumentos de liquidez para el Sistema de Pagos

Instrumento	Tasa de Interés	Horario de la Operación	Retrocesión
Repo Intradía	0.1% sobre el valor del Repo	7:30 am - 8:00 pm	08:00 p.m.
Conversión del Repo Intradía en Repo Overnight	Lombarda + 100 p.b.	8:45 am - 9:00 am	06:00 p.m.
Repo por Faltante en Compensación /Aumento de Saldo	Lombarda + 100 b.p.	Postura 8:45 a.m. 9:00 a.m. Aprobación 9:00 -9:15 cumplimiento 9:15 - 9:30	06:00 p.m.

Fuente: Banco de la República.

### Anexo 3.

#### Recuadro A2. Topología de redes para caracterizar un sistema de pagos

Formalmente, y siguiendo el enfoque de Bech y Atalay (2008), una red dirigida y con conexiones ponderadas,  $N$ , se define por:

- (1) Un conjunto  $V(N)$  de  $n$  nodos (vértices)
- (2) Un conjunto de  $E(N)$  de  $m$  enlaces (lazos o flechas)
- (3) Un mapeo  $w: E(N) \rightarrow IR$ .

Cada uno de sus nodos se identifica por un valor entero  $i = 1, 2, \dots, n$ ; las conexiones son identificadas por la pareja  $(i, j)$  que representa la existencia de una conexión del nodo  $i$  al nodo  $j$ , donde  $w(i, j)$  es el peso o ponderación asociado a dicho enlace.

A su vez, pueden existir conexiones a sí mismo o bucles  $(i, i)$  y/o múltiples conexiones  $(i_1, j_1)$  y  $(i_2, j_2)$ , entre nodos.

Cuando no existen conexiones múltiples (o si éstas se pueden agrupar), entonces se puede representar completamente una red dirigida y de conexiones ponderada mediante una matriz de ponderaciones  $W$ , donde cada elemento  $w_{ij} = w(i, j)$  es el peso de la conexión del nodo  $i$  al nodo  $j$ .

En el caso de la red de transferencias de pago, si el ponderador considerado es el valor de los pagos esta matriz reflejaría el valor de los pagos enviados (conexión) del originador (nodo origen) al destinatario (nodo destino). Algunas veces puede ser útil considerar la versión de la red no ponderada.

Una forma de representación conveniente de una red no ponderada es la matriz de adyacente, una matriz de  $n \times n$  denotada por  $A$  tal que:

$$(4) \quad A_{ij} = 1 \text{ si } |w_{ij}| > \text{umbral}; \quad 0 \text{ en otro caso.}$$

El conjunto de nodos antecesores de  $i$  se define como:

$$(5) \quad P_i = \{j: (j, i) \in E(N)\}$$

El de sucesores de  $i$  esta dado por:

$$(6) \quad S_i = \{j: (i, j) \in E(N)\}.$$

Por lo tanto el conjunto de vecinos de  $i$  se definiría como:

$$(7) \quad N_i = P_i \cup S_i.$$

#### Anexo 4.

Tabla A4. Proporción de entidades cuyo aumento en PCE excedió las fuentes de liquidez potencial

FEBRERO DE 2006 (AUGE)								
TIPO DE ENTIDAD ATACADA	INDICADOR	BC	CFC	CF	AFP	SF	CB	Total (*)
BANCOS COMERCIALES	Utilización Requerida Port. TES > 100%•	0,0%	0,0%	0,0%	62,5%	38,6%	25,0%	24,3%
	Utilización Requerida OMA >100%	0,0%	0,0%	0,0%	50,0%	54,0%	45,8%	34,3%
	Utilización Requerida ATL > 100%	5,6%	0,0%	0,0%				1,3%
COMISIONISTAS DE BOLSA	Utilización Requerida Port. TES > 100%•	0,0%	50,0%	0,0%	58,3%	65,7%	39,2%	39,5%
	Utilización Requerida OMA >100%	3,6%	50,0%	0,0%	41,7%	41,4%	52,9%	36,8%
	Utilización Requerida ATL > 100%	3,6%	50,0%	0,0%				2,5%

JUNIO DE 2006 (CRISIS)								
TIPO DE ENTIDAD ATACADA	INDICADOR	BC	CFC	CF	AFP	SF	CB	Total (*)
BANCOS COMERCIALES	Utilización Requerida Port. TES > 100%•	0,0%	0,0%	0,0%	83,3%	31,0%	37,7%	26,2%
	Utilización Requerida OMA >100%	0,0%	0,0%	0,0%	83,3%	23,8%	47,3%	27,8%
	Utilización Requerida ATL > 100%	5,0%	0,0%	0,0%				1,7%
COMISIONISTAS DE BOLSA	Utilización Requerida Port. TES > 100%•	0,0%	25,0%	0,0%	100,0%	58,6%	39,6%	36,5%
	Utilización Requerida OMA >100%	0,0%	25,0%	0,0%	50,0%	32,1%	58,6%	35,4%
	Utilización Requerida ATL > 100%	4,5%	25,0%	0,0%				2,1%

SEPTIEMBRE DE 2009 (ALTA ACTIVIDAD)								
TIPO DE ENTIDAD ATACADA	INDICADOR	BC	CFC	CF	AFP	SF	CB	Total (*)
BANCOS COMERCIALES	Utilización Requerida Port. TES > 100%•	0,0%	0,0%	0,0%	83,3%	39,3%	0,0%	22,6%
	Utilización Requerida OMA >100%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	17,1%	57,9%	23,2%
	Utilización Requerida ATL > 100%	10,0%	0,0%	100,0%				6,0%
COMISIONISTAS DE BOLSA	Utilización Requerida Port. TES > 100%•	0,0%	0,0%	0,0%	33,3%	37,5%	0,0%	29,1%
	Utilización Requerida OMA >100%	16,7%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	8,3%	18,0%
	Utilización Requerida ATL > 100%	16,7%	0,0%	0,0%				2,2%

Fuente: Cálculo de los autores.

## Anexo 5.

### *Recuadro A3: Utilización requerida de liquidez del mercado monetario*

Una vez analizado el impacto de los ataques sobre la red de pagos y sobre las entidades participantes surge el cuestionamiento sobre cómo se distribuiría la liquidez si el mercado monetario funcionara de forma eficiente. Es decir, como se distribuiría la liquidez entre las entidades que resultaron con excedentes al final del día y las que quedaron deficitarias.

Para ello, en la ecuación (8) se presenta el cálculo del indicador de liquidez requerida (R) en donde un valor de  $R < 1$  indica que el saldo final de las entidades no afectadas potencialmente podría cubrir la variación de los PCE, y en caso contrario ( $R > 1$ ), el saldo de las no afectadas no podría cubrir la variación de los PCE.

$$R = \frac{\sum(\Delta PCE)}{\sum SaldoFinal CUD_{\Delta PCE=0}} \quad (8)$$

En la Tabla se presenta el cálculo del indicador para cada uno de los periodos seleccionados. Se observa que en el escenario de auge (febrero 2006) el ataque a los BC generó en promedio un  $R=1,40$ , lo cual indica que la variación de los PCE es 1,4 veces superior al valor del saldo de las entidades cuyo PCE no aumentó. Por tanto, la liquidez remanente no alcanzaría para cubrir los faltantes de las entidades, en cuyo caso éstas deberían acudir a los recursos del BR. En este mismo periodo, el ataque a las CB generaría un impacto muy superior ( $R=7,49$ ), lo que sugiere un requerimiento significativo de la liquidez del BR.

Para el escenario de estrés (junio 2006) las necesidades de liquidez se reducen frente al escenario anterior. Finalmente, en el escenario de alta actividad en el CUD se observa una liquidez suficiente para enfrentar el aumento en los PCE

*Utilización requerida de liquidez del mercado monetario*

	feb-06	jun-06	sep-09
Bancos Comerciales	1,40	1,02	0,45
Comisionistas de Bolsa	7,49	2,00	0,14

Calculado como Total Variación PCE / Total Saldo Final CUD; el denominador resulta de la sumatoria de los saldos en el CUD de las entidades que al final del día tuvieron PCE=0.  
No se consideran las entidades cuya naturaleza no se enmarca dentro de los tipos de entidad señalados (BC, CF, CFC, AFP, SF, CB).

*Fuente: Cálculo de los autores*

Es así como se evidencia que una mejor redistribución de la liquidez en el mercado monetario podría cubrir (en algunos escenarios) los incrementos presentados en los PCE en situaciones de iliquidez por el incumplimiento de un participante. No obstante, cabe mencionar que en momentos de acentuada iliquidez las entidades tienden a reducir su actividad en el SP, tal como lo mostraron las estadísticas de topología de redes.