



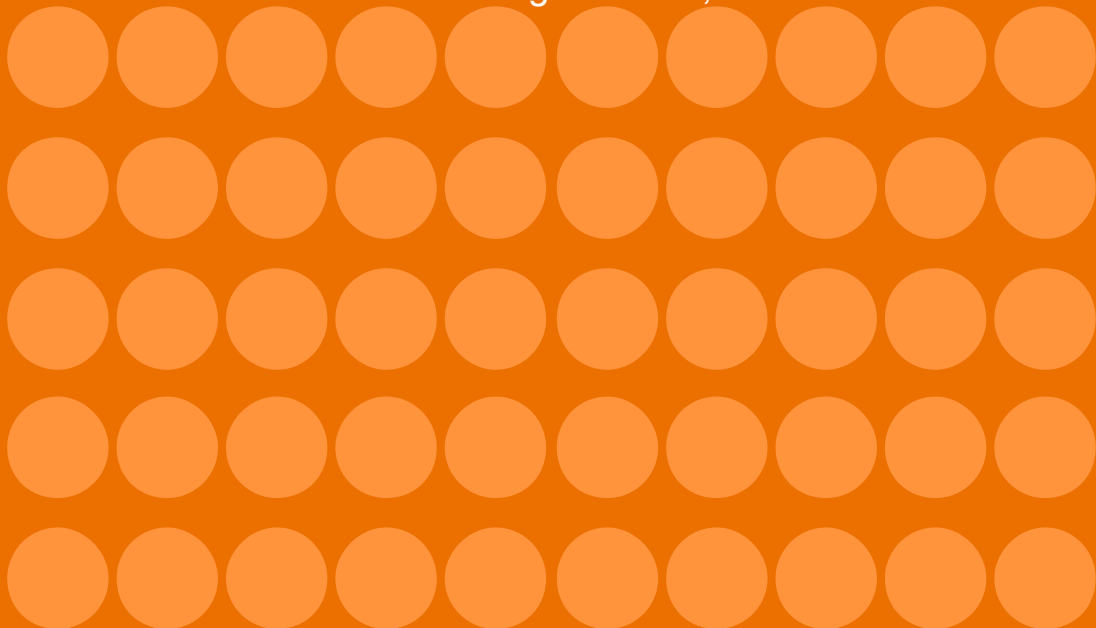
**CENTRO DE
ESTUDIOS
MONETARIOS
LATINOAMERICANOS**
Asociación Regional de Bancos Centrales

ESTUDIOS

Riesgo de fondeo, riesgo de liquidez y relación de solvencia en un modelo de espirales de liquidez

Daniel Esteban Osorio Rodríguez

Premio de Banca Central Rodrigo Gómez, 2008



**RIESGO DE FONDEO, RIESGO
DE LIQUIDEZ Y RELACIÓN DE
SOLVENCIA EN UN MODELO
DE ESPIRALES DE LIQUIDEZ**

Daniel Esteban Osorio Rodríguez

*Riesgo de fondeo, riesgo de liquidez
y relación de solvencia en un modelo
de espirales de liquidez*

PREMIO DE BANCA CENTRAL RODRIGO GÓMEZ, 2008

Primera edición, 2011

© Centro de Estudios Monetarios Latinoamericanos, 2011
Durango núm. 54, México, D. F., 06700
Derechos reservados conforme a la ley
ISBN 978-607-7734-01-7

Impreso y hecho en México
Printed and made in Mexico

Presentación

En septiembre de 1970 los gobernadores de los bancos centrales latinoamericanos, con el fin de honrar la memoria de don Rodrigo Gómez, director general del Banco de México, establecieron un premio anual para estimular la elaboración de estudios que fueran de interés para los bancos centrales de la región. El CEMLA se complace en publicar el trabajo *Riesgo de fondeo, riesgo de liquidez y relación de solvencia en un modelo de espirales de liquidez*, de Daniel Esteban Osorio Rodríguez, que obtuvo el Premio Rodrigo Gómez 2008.

Este trabajo explora la mecánica del riesgo de liquidez que enfrentan los bancos cuando éste surge como consecuencia de la exacerbación del riesgo de fondeo. Para ello, utiliza una versión ampliada del modelo de Estrada y Osorio (2006). El mecanismo es el siguiente: cuando los tesoreros enfrentan escasez de recursos líquidos, recurren a la liquidación de parte de su cartera de inversiones, que produce que enfrenten una caída en su precio si la liquidez del mercado es escasa. Lo anterior genera una espiral de liquidez si las inversiones se valoran en el balance a precios de mercado. Las simulaciones del modelo exploran el efecto de la demanda de crédito, la volatilidad de los depósitos, el capital y la relación de solvencia mínima sobre la espiral de liquidez. El modelo logra explicar la relación positiva entre tamaño de mercado y precio que se observa en los episodios de espirales de liquidez, y permite cuestionar tanto la existencia del impacto de mercado (*market impact*) como la relevancia del concepto de *muy grande para quebrar* (too big to fail) cuando el riesgo de fondeo es idiosincrásico y no sistémico.

Al editar en español e inglés esta investigación el CEMLA espera que su difusión represente una contribución para los estudiosos del tema.

Daniel Esteban Osorio Rodríguez es analista, del Departamento de Estabilidad Financiera, del Banco de la República, de Colombia. El autor agradece a Darío Estrada por haber dado origen a esta agenda, así como por su constante apoyo, motivación y promoción. Asimismo, agradece al personal del Departamento de Estabilidad Financiera del Banco de la República, de Colombia, a los asistentes al foro *Micro-models of systemic risk* del Banco de Inglaterra, a Héctor Cadena y a Juanita González Uribe por útiles trabajos, discusiones y comentarios sobre la mecánica del riesgo de liquidez. El autor es el único responsable por las opiniones y errores aquí contenidos.

1. Introducción

Tradicionalmente, el riesgo de liquidez ha estado asociado a la posibilidad de que una entidad financiera enfrente tal escasez de recursos líquidos que sea incapaz de cumplir con sus obligaciones con los depositantes. Esta idea ha inspirado no solamente las técnicas más comunes de medición del riesgo de liquidez sino también los esquemas regulatorios puestos en marcha para enfrentarlo.¹

Sin embargo, tanto la experiencia reciente como la complejidad y el desarrollo de las actividades de los bancos ha permitido cuestionar esa concepción tradicional del riesgo de liquidez.² En particular, la idea tradicional de faltantes de recursos líquidos ha pasado a estar definida como *riesgo de fondeo (funding risk)* mientras que el riesgo de liquidez se ha redefinido como la posibilidad de que un banco sea *incapaz de liquidar una posición activa de forma oportuna y a un precio razonable*.³

En la actualidad existe un amplio consenso tanto acerca de la distinción entre fondeo y liquidez como de la importancia

¹ Con respecto a la medición tradicional del riesgo de liquidez, ver por ejemplo la sección de riesgo de liquidez del Reporte de Estabilidad Financiera del Banco de la República (Banco de la República, 2006a). La actual circular 100 de la Superintendencia Financiera de Colombia (diseñada para regular el riesgo de liquidez), así como las sugerencias que da el Comité de Basilea para administrar el riesgo de liquidez (Comité de Supervisión Bancaria de Basilea –BCBS–, 2000) son dos ejemplos de cómo esa concepción tradicional del riesgo ha tenido influencia sobre la regulación.

² Las experiencias que han permitido este cuestionamiento han ocurrido tanto en países desarrollados (como la crisis de liquidez del fondo *Long Term Capital Management* –LTCM– ocurrida en 1998; ver Banco de Pagos Internacionales –BIS–, 1999a) como en países emergentes (como se verá en la sección empírica de este artículo). La complejidad de las actividades a las que se hace referencia son en particular las asociadas con la capacidad de los bancos de invertir en instrumentos financieros distintos de los tradicionales de intermediación financiera (títulos de deuda pública, derivados, etcétera).

³ La definición es de Muranaga y Ohsawa (1997) (traducción y destacado añadido). Para un ejemplo de la distinción actual entre riesgo de fondeo y riesgo de liquidez, ver Brunnermeier y Pedersen (2005).

que tienen estos riesgos. Por ejemplo, de acuerdo con Bangia, Diebold, Schuermann y Stroughair (1998), si se incorpora el riesgo de liquidez en las mediciones tradicionales de riesgo de mercado, el riesgo total que enfrentan las entidades (para el caso de ciertas posiciones) es cerca de un 21% más alto.

Por otra parte, la experiencia del sistema financiero colombiano durante 2002 y 2006 es dicente a este respecto. Durante esos años el sistema experimentó dificultades que se manifestaron de forma particular sobre el precio de mercado de los títulos de deuda pública, que es el instrumento del mercado financiero más importante del sistema bancario.

En lo que concierne al riesgo de fondeo, existe una vasta literatura que muestra los canales por intermedio de los cuales este riesgo puede convertirse en riesgo sistémico y amenazar la estabilidad financiera. Sin embargo, la literatura que explora la mecánica del riesgo de liquidez es escasa. Aún más escasos son los trabajos que estudian la interacción entre el riesgo de fondeo y el de liquidez en la generación de crisis financieras.

El objetivo de esta tesis es precisamente contribuir al entendimiento de la mecánica del riesgo de liquidez, mostrando en particular la posibilidad de que este surja como consecuencia del riesgo de fondeo. El mecanismo que permite lo anterior es el siguiente: cuando las entidades financieras enfrentan ciertas necesidades de liquidez volátiles, algunas de ellas pueden eventualmente verse abocadas a una escasez de recursos líquidos (riesgo de fondeo). Para superar este problema, las entidades intentan liquidar algunas posiciones activas. En caso de que la demanda de estas posiciones no sea perfectamente elástica, las liquidaciones potencialmente afectan el precio de mercado de estas posiciones. Además, si las posiciones se valoran en el balance a precios de mercado (*mark-to-market*), dicha caída del precio afecta el valor de la cartera de todas las entidades del sistema, por lo cual el riesgo de liquidez se transmite de unas entidades a otras. Esta propagación refuerza la incapacidad de las entidades de enfrentar la volatilidad, lo cual lleva a lo que se conoce como una *espiral de liquidez* (Brunnermeier y Pedersen, 2005).

Este enfoque permite alcanzar tres objetivos secundarios. Primero, logra explicar las regularidades observadas en el

sistema colombiano en 2002 y 2006. Segundo, tras mostrar la interacción entre los riesgos de fondeo y liquidez, evalúa la sensibilidad del mecanismo a diferentes variables financieras y herramientas de regulación. Finalmente, permite resaltar la importancia de la liquidez del mercado: si el mercado es muy líquido, la capacidad potencial de una entidad de alterar el precio de mercado es bajo. Si, por el contrario, la liquidez del mercado es baja, una liquidación no podrá hacerse sin impactar el precio.⁴ En este último caso, el impacto sobre el precio depende directamente del tamaño de la liquidación.

Para racionalizar el mecanismo y cumplir sus objetivos, este trabajo propone simular una versión ampliada del modelo de Estrada y Osorio (2006). En particular, el modelo aquí presentado difiere de aquel en tanto incluye capital patrimonial (lo cual lo hace más realista al permitir que se analice el efecto de la regulación sobre el riesgo de liquidez) y supera algunas de sus limitaciones.

El presente documento se divide en cinco secciones, la primera de las cuales es esta introducción. La segunda sección revisa la literatura disponible en torno tanto al funcionamiento del riesgo de fondeo como al de liquidez. La tercera sección presenta la experiencia de Colombia en 2002 y 2006, mientras que la cuarta sección desarrolla y simula el modelo. La quinta sección presenta algunas reflexiones finales a manera de conclusión.

⁴ Como se mostrará, esta liquidez del mercado depende asimismo de la intensidad del riesgo de fondeo.

2. Revisión de la literatura

2. 1. Riesgo de fondeo

De manera arbitraria, la literatura que intenta explicar la aparición del riesgo de fondeo y los mecanismos por intermedio de los cuales este riesgo degenera en una espiral de liquidez puede clasificarse en dos grupos (ver Furfine, 1999; y, Estrada y Osorio, 2006).

El primer grupo de trabajos enfatiza el hecho de que la naturaleza misma del negocio bancario lo hace susceptible a corridas bancarias por parte de los depositantes. En otras palabras, la transformación de pasivos de corto plazo en activos de largo plazo llevada a cabo por los bancos hace que, en ciertos casos, si un grupo de depositantes decide retirar sus depósitos, el banco no tenga recursos líquidos con los cuales cumplir su obligación con ellos. Es en este sentido que la naturaleza de los bancos implica para estos un elevado riesgo de fondeo. En el modelo original de Diamond y Dybvig (1983), pese a que el banco permite una mejor administración del riesgo para el agregado de la economía, está expuesto a un posible equilibrio en el cual los depositantes pierden la confianza en el sistema y retiran simultáneamente sus recursos sin que el banco pueda pagarles.⁵

El trabajo de Gorton (1988) critica la existencia de equilibrios múltiples y propone que las corridas bancarias a las que se exponen los bancos son el resultado de decisiones de optimización de los depositantes. De acuerdo con el autor, la corrida bancaria no tiene nada especial: simplemente es la respuesta racional de individuos ante información negativa que altera sus percepciones frente al riesgo del sistema financiero.

El segundo grupo de trabajos comparte el mismo punto de partida: los bancos están por definición expuestos a riesgo de fondeo. Para ellos, sin embargo, el riesgo de fondeo se convierte en un problema sistémico sólo cuando *los problemas de*

⁵ El de Diamond y Dybvig es un modelo de equilibrios múltiples con un único banco. Uno de estos equilibrios es la corrida bancaria y los autores nunca hacen explícito qué puede originar este equilibrio.

una entidad (o de un pequeño número de ellas) se transmite a otras debido a la presencia de interconexiones financieras entre ellas (Furfine, 1999, p. 1). En otras palabras, cuando existen exposiciones crediticias en el mercado interbancario, los problemas de un banco se transmiten a otros si este cesa los pagos sobre sus obligaciones interbancarias.

El trabajo más relevante de este grupo es el de Allen y Gale (2000), para quienes la intensidad del riesgo de fondeo y del contagio depende estrechamente de la completitud del mercado interbancario. El riesgo sólo se materializa en quiebras cuando el mercado de crédito interbancario es incompleto. La importancia del crédito interbancario en la propagación del riesgo de fondeo para algunos autores es tal que la misma definición de riesgo sistémico es poco más que ese mecanismo (ver Rochet y Tirole, 1996). Por su parte, Freixas, Parigi y Rochet (2000) estudian los efectos que tiene sobre este conjunto de fenómenos la intervención del banco central, no solamente en su papel de coordinador del mercado sino como ente liquidador en caso de presentarse alguna quiebra en el sistema.

Estas cuestiones son analizadas también por Iori, Jafarey y Padilla (2003) en el entorno de un modelo microeconómico simulable cuyo punto de partida es la identidad del balance general de las entidades financieras. Para estos autores, los bancos enfrentan volatilidad en el pasivo de su hoja de balance (resultado directo del comportamiento volátil de los depósitos).⁶ Esta volatilidad puede eventualmente generar escasez de recursos líquidos para las entidades, quienes intentan resolver el problema endeudándose con otros bancos en el mercado de crédito interbancario. Este tipo de modelo, como se verá, inspira el ejercicio presentado en este documento.

El hilo conductor detrás de todos los trabajos de este segundo grupo es en síntesis el siguiente: el problema del riesgo de fondeo puede resolverse si existe un mercado de créditos interbancario al cual acudir en caso de escasez de recursos

⁶ La volatilidad de los depósitos es menos importante en el caso de entidades con captaciones masivas, como las antiguas corporaciones de ahorro y vivienda (CAV) en Colombia. Sin embargo, existe un consenso alrededor del hecho de que los bancos comerciales tradicionales enfrentan una elevada volatilidad de los depósitos.

líquidos. Sin embargo, la presencia de este mercado tiene el problema de que hace al sistema vulnerable al contagio de los problemas de fondeo.

Desde el punto de vista empírico, los fenómenos que estudian estos dos grupos de trabajos no tienen un soporte sólido. Los trabajos empíricos sobre corridas bancarias han encontrado que estos episodios ocurren únicamente de forma aislada, y en la mayoría de los casos los retiros más grandes se observan en aquellos bancos que tenían problemas de fondeo aún antes de la corrida. Además, las corridas bancarias no parecen afectar al conjunto del sistema, sino únicamente a un cierto número de entidades aisladas en períodos de tiempo muy específicos (es decir, las corridas bancarias no parecen ser contagiosas).⁷

Por su parte, según Cifuentes, Ferrucci y Shin (2005), casi ningún estudio empírico encuentra significativo el contagio del riesgo de fondeo a través de las exposiciones crediticias interbancarias.⁸ A esto contribuye la baja participación del endeudamiento interbancario en los pasivos totales del sistema financiero.

2. 2. Riesgo de liquidez

La poca relevancia empírica de la literatura sobre el riesgo de fondeo ha estimulado el desarrollo de algunos trabajos que examinan el riesgo de liquidez que enfrentan las entidades del sistema financiero. Tras esta literatura subyace la idea de que los bancos no solamente cumplen una función de transformación de plazos, sino que también intervienen en los mercados en la compra y venta de instrumentos financieros. Si las entidades utilizan estas operaciones para enfrentar otros riesgos (como el riesgo de crédito, el riesgo cambiario y el riesgo de mercado), existe la posibilidad de que las acciones de un grupo de entidades perturben el funcionamiento normal de los mercados financieros, y por lo tanto las acciones de otras entidades.

⁷ Entre los trabajos empíricos más importantes sobre corridas bancarias, ver Dwyer y Hasan (1994), Gorton (1988) y Calomiris y Mason (2000). Para un útil resumen, ver De Bandt y Hartmann (2000).

⁸ Ver Furfine (1999) y Boss, Elsinger, Summer y Thurner (2005) para estudios empíricos.

La mecánica del riesgo de liquidez se explora desde una perspectiva teórica en el trabajo de Cifuentes, Ferrucci y Shin (2005). Allí, los bancos acuden a la venta de instrumentos financieros (activos no líquidos) cuando el cese de pagos interbancarios de una entidad afecta su relación de solvencia. Como la demanda por instrumentos financieros no es perfectamente elástica, esta venta reduce el precio de mercado de los instrumentos y por tanto el valor de la cartera de todos los bancos del sistema.⁹ Como es evidente, el riesgo de liquidez está latente en la medida en que las entidades no son capaces de obtener un precio *razonable* por sus instrumentos financieros.¹⁰

De acuerdo con Bervas (2006), este mecanismo depende crucialmente de la liquidez del mercado. De acuerdo con el autor, cuando las entidades cuentan con una cantidad amplia de activos líquidos como el efectivo (el riesgo de fondeo es bajo) la liquidez del mercado es alta en la medida en que ellas pueden absorber una venta sin mayores traumatismos para el vendedor.

Desde el punto de vista empírico no existen trabajos que evalúen la intensidad del fenómeno mencionado. Sin embargo, se han observado algunos esfuerzos para medir de manera adecuada el riesgo de liquidez que enfrentan los intermediarios financieros, llegando al resultado de que este riesgo puede ser significativo para las entidades.¹¹ Adicionalmente, las autoridades regulatorias internacionales han adquirido hace poco tiempo conciencia sobre el peligro que representa el riesgo de liquidez en los sistemas actuales.¹² Este conjunto de estudios y discusiones presenta la relevancia empírica del riesgo de liquidez.

⁹ El trabajo de Plantin, Saprà y Shin (2005) utiliza este argumento para cuestionar el esquema de valoración a precios de mercado utilizado en varios países (incluido Colombia) para registrar el valor de las posiciones del libro de tesorería.

¹⁰ El trabajo de Schnabel y Shin (2004) utiliza un marco de análisis similar para explicar la crisis financiera de 1763 en Europa Occidental.

¹¹ Ver Bangia *et al.* (1998), Hisata e Yamai (2000), Dowd (2005), y Muranaga y Ohsawa (1997).

¹² Para tener una idea sobre la discusión internacional en torno a la regulación del riesgo de liquidez, ver BIS (1999b), Upper (2000) y los capítulos sobre liquidez de BIS (2002).

2. 3. Limitaciones

La literatura teórica sobre el riesgo de liquidez enfrenta dos limitaciones. La primera de ellas consiste en que la propagación del riesgo está condicionada a la presencia de ciertos mecanismos restrictivos. En Cifuentes, Ferrucci y Shin (2005), ese mecanismo es la relación de solvencia mínima, que exige a los bancos vender en caso de no poder cumplirla. En el caso del trabajo sobre riesgo de mercado de Estrada y Osorio (2006), las simulaciones del modelo imponen necesariamente una crisis de fondeo artificial en el primer período. La segunda limitación consiste en que la fuente inicial de aparición del riesgo de liquidez (es decir, aquello que genera ventas de instrumentos) no está modelada explícitamente; en otras palabras, la perturbación inicial en estos trabajos es la desaparición súbita de un banco. Pese a que es claro que esta desaparición genera riesgo de liquidez, no lo es la causa de por qué ocurre.

El ejercicio desarrollado en este documento intenta superar estas dos limitaciones. En primer lugar, desarrolla un modelo que incluye la relación de solvencia para mostrar que aun si el requerimiento mínimo de solvencia es cero, el riesgo de liquidez sigue latente. Simultáneamente, levanta el supuesto de la crisis de liquidez en el primer período hecho por Estrada y Osorio (2006). Y en segundo término, incorpora el riesgo de fondeo como fuente inicial del riesgo de liquidez. De esta forma no sólo modela la fuente de perturbación inicial que da origen a ventas de instrumentos por parte de los bancos, sino que interrelaciona el riesgo de liquidez con el riesgo de fondeo, al mostrar cómo el primero puede originarse en el segundo.

Debido a la escasa relevancia empírica de las corridas bancarias y del contagio en el mercado de crédito interbancario, el modelo no tiene en cuenta estos elementos. En este sentido, los resultados de las simulaciones del modelo permitirán afirmar que las crisis de liquidez se observan aun en ausencia de aquellos elementos.

Como se mencionó en la introducción, el modelo que se propone más adelante está diseñado no solamente para superar estas limitaciones sino también para explicar algunos hechos sugeridos por la experiencia colombiana en 2002 y

D. E. Osorio Rodríguez

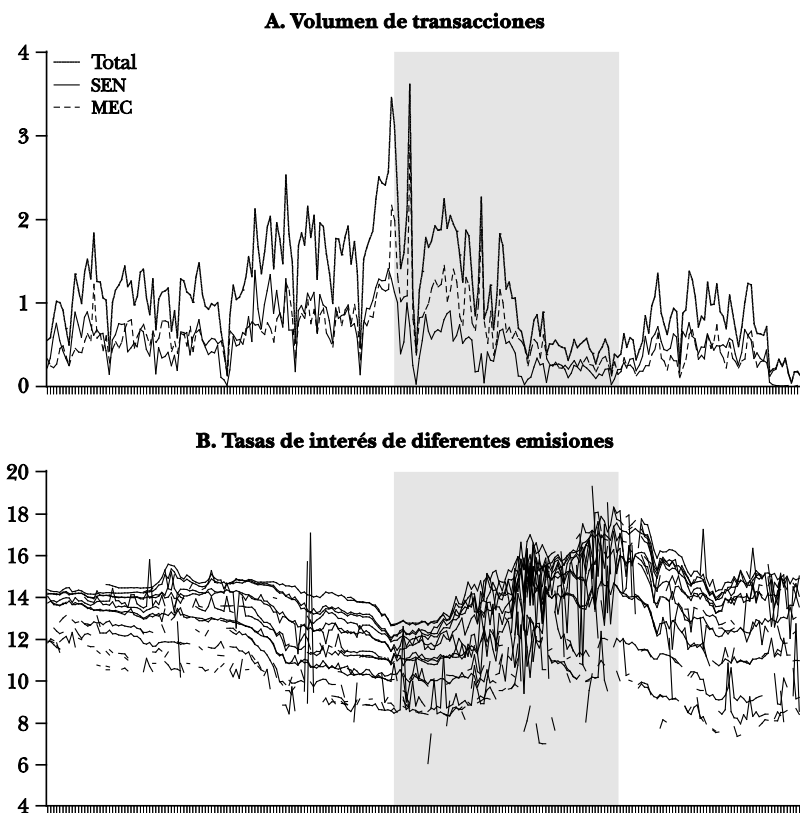
2006. Por tal motivo, antes de presentar el modelo, es necesario revisar estas regularidades empíricas.

3. Episodios de desvalorización de las inversiones en Colombia

El sistema financiero colombiano ha experimentado recientemente dos episodios de turbulencia que se han manifestado en particular en los mercados de títulos de deuda pública antes que en la calidad de la cartera de los bancos. En otras palabras, estas crisis se han presentado en un ambiente en el cual el riesgo de crédito ha sido bajo.

La primera de estas crisis ocurrió durante el período comprendido entre el 26 de junio de 2002 y el 2 de octubre del mismo año. La gráfica I (panel A) presenta la evolución del

GRÁFICA I. EL MERCADO DE TÍTULOS DE DEUDA PÚBLICA: 2002 (ÁREA SOMBRADA: 26 DE JUNIO - 2 DE OCTUBRE)



FUENTE: Banco de la República.

tamaño (medido como monto total transado) de los dos mercados más importantes de títulos de deuda pública durante todo el año 2002, con el período de crisis sombreado.¹³ Como se observa en la gráfica, el tamaño del mercado cayó más del 90% durante el período de crisis, pasando de 3.6 billones de pesos a 0.34 billones. El panel B de la misma gráfica presenta la evolución de las tasas de las diferentes emisiones de títulos de deuda pública. Casi sin excepción, las tasas de los títulos se elevaron durante la crisis, lo cual equivale a decir que los precios de los títulos cayeron. En síntesis, la crisis de 2002 exhibió una relación directa entre el tamaño del mercado y el precio de los títulos.

Similar experiencia se repitió en el período que va del 22 de febrero de 2006 al 27 de junio del mismo año.¹⁴ La gráfica II presenta de nuevo tanto el tamaño de los mercados (panel A) como las tasas de los títulos (panel B) para el período comprendido entre el 2 de enero de 2006 y el 15 de noviembre del mismo año. Si bien el tamaño del mercado es más grande en el año 2006 en comparación con lo registrado en el 2002 (monto promedio de 6.3 billones de pesos en 2006 y de 1.1 billones en 2002), las tendencias de esta crisis son las mismas. El tamaño total de los dos mercados cayó un 86% (de 16.4 billones a 2.1 billones), al mismo tiempo que las tasas subían en promedio cerca de 300 puntos básicos (pb).

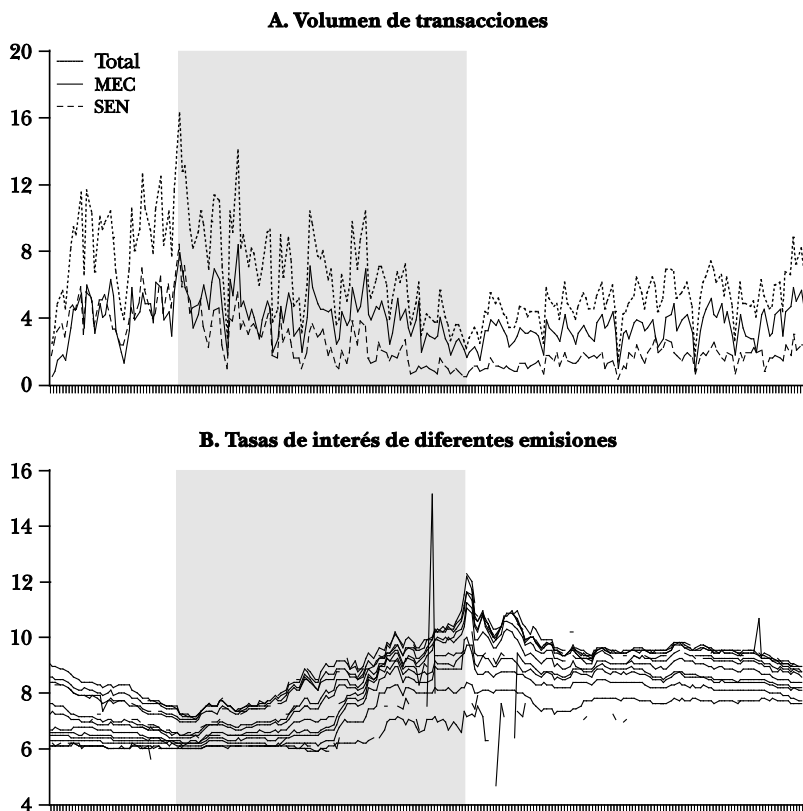
En conclusión, la experiencia colombiana sugiere que, en un ambiente de escaso o nulo riesgo de crédito, las dificultades cuyo origen reside en los mercados de activos negociables (como los títulos de deuda pública) se manifiestan principalmente en una caída del tamaño del mercado acompañada por una caída de los precios.

El modelo que se presenta en la siguiente sección, cuyo objetivo es entender la mecánica de la interacción entre el riesgo de fondeo y el riesgo de liquidez, debe estar en capacidad

¹³ Los dos mercados más importantes de títulos de deuda pública en Colombia actúan en los ambientes electrónicos del Sistema Electrónico de Negociación (SEN) administrado por el Banco de la República y del Mercado Electrónico Colombiano (MEC) administrado por la Bolsa de Valores de Colombia.

¹⁴ Para un análisis de las causas y efectos de este episodio de crisis sobre la estabilidad y los riesgos del sistema financiero colombiano, ver Banco de la República (2006b).

GRÁFICA II. EL MERCADO DE TÍTULOS DE DEUDA PÚBLICA: 2006 (ÁREA SOMBRADA: 22 DE FEBRERO - 27 DE JUNIO)



FUENTE: Banco de la República.

de reproducir las regularidades de las *crisis de mercado* analizadas en esta sección. Con esta óptica, si el modelo logra reproducir estos fenómenos, es posible decir que la mecánica que explora el modelo puede ser utilizada para comprender estos eventos financieros de la historia reciente en Colombia. Como se verá, este es el caso del modelo en cuestión, cuya estructura y desarrollo es presentada en la siguiente sección.

4. Un modelo microeconómico de espirales de liquidez

4. 1. Generalidades

Con el fin de levantar las restricciones impuestas por la literatura y replicar la relación directa entre tamaño y precio de mercado, en esta sección se presenta un modelo microeconómico que persigue capturar el comportamiento del tesorero de un banco representativo en el corto plazo.¹⁵ Esto último quiere decir que el ejercicio de modelación busca incorporar los objetivos y las restricciones que enfrenta el tesorero en un horizonte de tiempo de un día. El modelo está basado en el trabajo de Estrada y Osorio (2006), el cual se amplía con la inclusión de capital patrimonial y relación de solvencia.¹⁶

En este modelo, las restricciones que representa el corto horizonte de tiempo para el tesorero del banco son las siguientes. En primera instancia, en un horizonte de tiempo corto el tesorero no puede cambiar las tasas de interés sobre los contratos de cartera y depósitos pactados. Por este motivo, el modelo supone que las tasas de interés son exógenas y constantes. En segundo término, el objetivo único del tesorero es cumplir con sus obligaciones con los depositantes. Es importante resaltar que, en este contexto, el objetivo del tesorero no es necesariamente consistente con el objetivo de los accionistas del banco. Mientras que estos últimos persiguen maximizar las utilidades del banco en un determinado horizonte de tiempo, el tesorero solo se preocupa por que el banco cuente con los recursos líquidos necesarios para financiar sus operaciones normales (por ejemplo, el otorgamiento de

¹⁵ Usualmente las actividades de tesorería son llevadas a cabo por un comité compuesto por varias personas al interior de un banco. En el caso de este artículo, supondremos que el comité de tesorería puede reducirse a un único tesorero.

¹⁶ Asimismo, el código empleado en este trabajo permite seguir al comportamiento individual de cada uno de los bancos del sistema financiero, lo cual será utilizado más adelante en las simulaciones. El trabajo de Estrada y Osorio (2006) no analiza la individualidad de los bancos sino únicamente la estructura agregada del sistema.

créditos). De manera que, si bien la labor del tesorero es necesaria en la función objetivo de los accionistas, es claro que sus objetivos no necesariamente coinciden con los de aquellos por lo menos en el corto plazo.¹⁷

El tesorero actúa esencialmente en un ambiente volátil. En particular, tanto el lado activo del balance (desembolsos de cartera) como el lado pasivo (depósitos) presentan un comportamiento estocástico. Esta característica da origen al riesgo de fondeo y puede llevar a que los recursos líquidos no sean suficientes para cumplir las obligaciones del banco con los depositantes. En este caso, como el modelo excluye un mercado interbancario de créditos, el tesorero intenta resolver el problema por intermedio de la venta de parte de su cartera de inversiones no líquidas en el mercado financiero. Con el objetivo de simplificar el análisis, el modelo supone que esta cartera está compuesta por un único activo negociable (que se puede asemejar a un título de deuda pública).¹⁸ La eventual necesidad de vender hace que la entidad experimente un alto riesgo de liquidez, en la medida en que si la liquidez del mercado es reducida, puede llevar a cabo la venta sólo aceptando una caída drástica del precio de mercado. En caso de no poder resolver el problema de fondeo, el banco entra en quiebra y es liquidado.

Finalmente, es claro que la intervención de las autoridades económicas puede eliminar la aparición misma del riesgo de fondeo. Por ejemplo, si la red de seguridad del sistema financiero incluye los apoyos de liquidez del banco central, los tesoreros pueden acudir a este último para resolver el problema de fondeo. De manera similar, en presencia de un seguro

¹⁷ Todas estas razones de corto plazo hacen deseable un modelo microeconómico intradía en contraposición a un modelo de optimización en un contexto de equilibrio general de largo plazo como aquel propuesto por Goodhart, Sunirand y Tsomocos (2006). El modelo intradía captura con mayor precisión la racionalidad del tesorero, mientras que un modelo de equilibrio general es más apropiado para caracterizar los objetivos de los accionistas del banco.

¹⁸ Si bien la regulación actual en muchos países estipula que los activos líquidos incluyen los títulos de deuda pública, es claro que de ninguna manera estos comparten la misma liquidez que el efectivo. Precisamente, esta tesis intenta mostrar que estos títulos implican un riesgo de liquidez para la entidad, lo cual no es el caso con el dinero en la caja del banco.

de depósitos, los recursos para pagar a los depositantes podrían obtenerse de este seguro, para cuyo acceso el banco debe pagar una prima. De manera que, para analizar la mecánica pura del riesgo de fondeo, es necesario aislar estos elementos. Por tal motivo, el modelo no incorpora ninguna red de seguridad.

4. 2. El modelo

Al final del período de tiempo t , el sistema financiero está compuesto por un número finito de bancos, N_t , indexados por el superíndice k , donde $k \in 1, 2, 3, 4, \dots, N_t$.

La estructura del balance general del banco k al finalizar el período t es la siguiente:¹⁹

<i>Activos</i>	<i>Pasivos y patrimonio</i>
Cartera de créditos (L_t^k)	Depósitos (D_t^k)
Encaje bancario (βD_t^k)	Capital patrimonial (E_t^k)
Cartera de inversión en el activo negociable ($p_t A_t^k$)	
Efectivo (M_t^k)	

Puede notarse que la cartera de inversión en el activo negociable se compone de cierta cantidad de títulos A_t^k valorada al precio de mercado unitario del activo, p_t . De acuerdo con Cifuentes, Ferrucci y Shin (2005), al ser esta cartera el único elemento del balance valorado a precios de mercado, implícitamente se supone que no existe un mercado en el que se transen el volumen de depósitos o la cartera de créditos.²⁰

De acuerdo con la identidad básica del balance general de los establecimientos bancarios (esto es, la igualdad entre los activos y la suma de los pasivos y el capital patrimonial) al final del período t se cumple:

$$(1) \quad M_t^k + L_t^k + p_t A_t^k + \beta D_t^k = D_t^k + E_t^k .$$

¹⁹ β es el coeficiente de encaje requerido ($\beta \in [0, 1]$).

²⁰ En los mercados financieros desarrollados existen varios instrumentos derivados por intermedio de los cuales es posible vender y comprar parte de la cartera de un banco. El desarrollo de estos instrumentos es casi nulo en la gran mayoría de mercados emergentes, por lo cual suponer que ese mercado no existe no se aleja demasiado de la realidad.

Y, por ende, que al final del período $t-1$ debe cumplirse lo siguiente:

$$(2) \quad M_{t-1}^k = D_{t-1}^k(1 - \beta) + E_{t-1}^k - L_{t-1}^k - p_{t-1}A_{t-1}^k.$$

La expresión (2) indica la cantidad de efectivo que el tesorero ha dejado para el principio del período t al final de $t-1$.

4. 2. 1. El riesgo de fondeo

Al principio del período t , estando en posesión de una cantidad de efectivo igual a M_{t-1}^k , el tesorero del banco k enfrenta dos flujos que dan origen al riesgo de fondeo. Primero, el tesorero enfrenta volatilidad en sus depósitos. Este modelo supone que los depósitos agregados (exógenos) de la economía se reparten entre los bancos, lo cual puede estar asociado en la práctica a que tanto los depositantes como los bancos se encuentran dispersos en varias regiones geográficas, y que aquellos depositan su dinero en el banco de su región (ver Estrada, 2001). Como los depositantes migran período a período, los depósitos de cada banco cambian permanentemente.

Para entender la repartición de los depósitos agregados y, por ende, la evolución de los depósitos individuales en este modelo, es útil pensar en dos casos extremos. Primero, si suponemos que ningún depositante migra de región, los depósitos agregados se repartirían entre los bancos de forma equitativa.²¹ En este caso, los depósitos individuales del período t no serían volátiles y estarían dados por:

$$(3) \quad D_t^k = \frac{D_{t-1}}{N_{t-1}},$$

donde D_{t-1} corresponde a los depósitos agregados al cierre de $t-1$ y, por consiguiente, al principio de t . Si por el contrario todos los depositantes migrasen de forma estocástica, la repartición de los depósitos agregados cambiaría período tras período y los depósitos serían muy volátiles. En este caso, los depósitos individuales del período t serían:

²¹ Este sería el caso de bancos de igual tamaño. Cuando existe heterogeneidad en el tamaño de los bancos, como se analizará más adelante, la repartición será distinta.

$$(4) \quad D_i^k = \varepsilon_i^k D_{i-1},$$

donde ε_i^k es el porcentaje de los depósitos agregados que, por las migraciones, llega al banco k . Este porcentaje ε_i^k se distribuye de manera uniforme y satisface $\sum_k^{N_i} \varepsilon_i^k = 1$. En la práctica, es claro que cierto porcentaje de los depositantes migran mientras otros no lo hacen. Por tal motivo, los depósitos del banco k en el período t están dados por una combinación lineal de los dos extremos presentados en (3) y (4):

$$(5) \quad D_i^k = \sigma_d \varepsilon_i^k D_{i-1} + (1 - \sigma_d) \frac{D_{i-1}}{N_{i-1}},$$

donde $\sigma_d \in [0,1]$ caracteriza la combinación lineal y puede interpretarse como el porcentaje de la población total que migra (y que, por ende, cambia de banco).²²

El segundo flujo que enfrenta el tesorero al principio del período t está compuesto por los ingresos y egresos del estado de pérdidas y ganancias. Desde el punto de vista de los ingresos, el modelo supone, con el fin de simplificar el análisis, que ni la cartera de inversión en el activo negociable ni el encaje requerido le generan ingresos al banco.²³ El modelo supone que el activo negociable no tiene vencimiento, por lo cual la totalidad de la cartera de inversiones en el mismo hace parte del libro de tesorería y no se mantiene hasta el vencimiento. De manera que el único componente del activo que

²² Como se mencionó anteriormente, este modelo excluye la presencia de corridas bancarias a la Gorton (1988): los depositantes retiran recursos de un banco y lo depositan en otro como consecuencia de migraciones geográficas y no como respuesta racional ante nueva información sobre la situación financiera del banco (pues la información sobre la posición de riesgo del banco k no se ha liberado). Además, los depositantes no retiran –en el agregado– recursos del sistema. Como se verá, la evolución de los depósitos agregados únicamente dependerá del costo de liquidar los bancos en quiebra.

²³ A partir de información proveniente del estado de pérdidas y ganancias de las entidades con corte a junio de 2006, la cartera de créditos representa cerca del 60% de los ingresos financieros totales del sistema, mientras que la cartera de inversiones generó sólo el 12% de los ingresos (ver Banco de la República, 2006b). Esta información es consistente con el supuesto de que el activo negociable no genera ingreso en comparación con la cartera, y se asemeja al supuesto de que el activo negociable es un título de deuda pública sin cupones a perpetuidad.

es productivo es la cartera de créditos. El modelo supone que tanto el interés como el principal de la cartera se pagan dos períodos después de que el banco haya efectuado el desembolso. En consecuencia, el ingreso del banco en el período t es:

$$(6) \quad (1 + \rho_t)^2 w_{t-2}^k,$$

donde ρ_t es la tasa de interés efectiva por período que el banco cobra sobre los desembolsos hechos dos períodos atrás, w_{t-2}^k . Debido a que la tasa de interés pasiva también es exógena, los egresos del banco por concepto de intereses están dados por:

$$(7) \quad r_d D_{t-1}^k.$$

Es importante notar que las expresiones (6) y (7) sugieren una brecha entre ingresos y gastos, pues mientras la cartera se paga con dos períodos de rezago, los intereses sobre los depósitos se pagan período a período. Debido a la presencia de esta brecha es que los flujos del estado de pérdidas y ganancias contribuyen a la aparición del riesgo de fondeo.^{24, 25}

Debido a la reasignación de los recursos entre los bancos por parte de los depositantes y a la realización del estado de pérdidas y ganancias, el tesorero observa cómo su cantidad de efectivo se ve modificada al interior del período. En resumen, la cantidad de efectivo intraperíodo está dada por:

$$(8) \quad \widehat{M}_t^k = M_{t-1}^k + (D_t^k - D_{t-1}^k)(1 - \beta) + (1 + \rho_t)^2 w_{t-2}^k - r_d D_{t-1}^k.$$

En palabras, el efectivo intraperíodo es el efectivo al principio del período, al cual se suma el aumento en los depósitos (neto de encaje) y las utilidades del período t . Sustituyendo M_{t-1}^k de la expresión (2):

$$(9) \quad \widehat{M}_t^k + \beta D_t^k = D_t^k + E_t^k - (p_{t-1} A_{t-1}^k) - L_{t-1}^k + (1 + \rho_t)^2 w_{t-2}^k - r_d D_{t-1}^k.$$

²⁴ En este sentido, este modelo captura la esencia del negocio bancario enfatizada por Diamond y Dybvig (1983): la transformación de pasivos de corta duración en activos de larga duración.

²⁵ Debido a que las inversiones en el activo negociable están valoradas a precios de mercado, los bancos también deberían recibir ingresos (o pérdidas) por concepto de la valoración de estas inversiones. Este modelo excluye estos ingresos (o egresos) suponiendo que los accionistas del banco capturan estas ganancias (o las reponen en caso de ser pérdidas).

El lado izquierdo de esta expresión (compuesto por la suma del efectivo intraperíodo y el encaje) representa los recursos líquidos con los que cuenta el banco para cumplir con sus obligaciones con los depositantes que corresponden únicamente al pago de intereses sobre los depósitos. Si los recursos líquidos son negativos ($\widehat{M}_i^k + \beta D_i^k < 0$):

$$(10) \quad D_i^k + E_{i-1}^k - (p_{i-1} A_{i-1}^k) - L_{i-1}^k + (1 + \rho_l)^2 L_{i-2}^k < r_d D_{i-1}^k,$$

lo cual implica que el banco no está en capacidad de pagar sus compromisos con los depositantes debido a la carencia de recursos líquidos con los cuales hacerlo.²⁶ En consecuencia, en la situación en la cual los recursos líquidos son negativos, el riesgo de fondeo latente para el tesorero se materializa en una escasez de liquidez. Si, por el contrario, los recursos líquidos son positivos ($\widehat{M}_i^k + \beta D_i^k > 0$), el banco experimenta un exceso de liquidez.

Debido a que este modelo no incluye un mercado interbancario de créditos, los bancos con escasez de liquidez no pueden resolver su problema endeudándose con otros bancos. Sin embargo, tienen la posibilidad de vender (a bancos con exceso de liquidez) parte de su cartera de inversión en el activo no negociable en un mercado interbancario de activos negociables. Y así como en Allen y Gale (2000) el mercado de crédito interbancario está sujeto a un *trade-off*, en este modelo el mercado interbancario de activos también lo está: pese a que puede servir para resolver la escasez de liquidez de algunos bancos, supone para el conjunto del sistema la aparición del riesgo de liquidez. Antes de presentar cómo surge este riesgo es necesario caracterizar el mercado interbancario de activos.

4. 2. 2. El mercado del activo negociable

Una vez que los tesoreros han observado su posición de recursos líquidos (y, por ende, su capacidad o incapacidad de

²⁶ Nótese que las obligaciones del banco se presentan en términos de pago de intereses y no de principal a los depósitos que retiran los migrantes. Sin embargo, la expresión (10), al incluir el cambio en los depósitos de la expresión (8) sugiere que la incapacidad del banco incluye el efecto de los retiros de depósitos.

pagar a los depositantes) el sistema bancario se divide en dos grupos de bancos: aquellos con exceso y aquellos con escasez de liquidez. Los segundos pueden resolver su problema vendiendo activos negociables a los primeros. Sin embargo, la compra de los activos por parte de estos últimos está restringida no sólo por el exceso de liquidez sino por la relación de solvencia mínima establecida por el regulador. En este modelo, el regulador exige que, para el final de cada período, la relación entre el capital patrimonial y los activos riesgosos del banco sea mayor a un porcentaje \bar{e} .²⁷ De acuerdo con lo anterior, debe cumplirse para el final de todo t :

$$(11) \quad \frac{E_t^k}{L_t^k + p_t A_t^k} \geq \bar{e},$$

donde \bar{e} es la relación de solvencia mínima establecida por el regulador.²⁸ Si los accionistas del banco no inyectan capital (como es usual en el corto plazo), el capital patrimonial permanece constante, por lo que $E_t^k = E^k$. Debido a la presencia de la relación de solvencia, los bancos pueden clasificarse no en dos sino en cuatro grupos.²⁹ Cuando se analiza cada uno de estos grupos por separado, resulta más sencillo caracterizar el mercado de activos.

■ **Bancos con escasez de liquidez e insolvencia:** Este grupo de bancos suma a su problema de fondeo la violación intraperíodo de la relación de solvencia:

²⁷ Por activos riesgosos se hace referencia a aquellos activos que generan riesgo de fondeo (cartera) y riesgo de liquidez (activos negociables). Como en este modelo ni el riesgo de mercado ni el riesgo de crédito están presentes, son éstos los únicos activos que generan requerimientos de capital patrimonial.

²⁸ Esta forma de la relación de solvencia está basada en lo sugerido por el Comité de Supervisión Bancaria de Basilea (ver BIS, 2004) y por Cifuentes, Ferrucci y Shin (2005). La expresión (11) supone implícitamente que tanto la cartera como el activo negociable comparten la misma ponderación de riesgo. El denominador contiene únicamente los activos que generan riesgo a las entidades. En el contexto del esquema de Basilea I, $\bar{e}=8\%$.

²⁹ Es importante aclarar que los flujos de depósitos y de pérdidas y ganancias ocurren simultáneamente, por lo cual el tesorero puede conocer al mismo tiempo su posición de liquidez y su relación de solvencia. Por tanto, el tesorero evalúa a cuál de los cuatro grupos pertenece evaluando de forma simultánea tanto su posición de liquidez como su relación de solvencia.

$$(12) \quad \frac{E^k}{L_{t-1}^k + p_{t-1}A_{t-1}^k} < \bar{e}, \widehat{M}_t^k + \beta D_t^k < 0.$$

Puede notarse que la relación de solvencia es intraperíodo en tanto se calcula con los activos en $t-1$. Debido a que la regulación exige que la relación de solvencia se cumpla *al final del período*, el tesorero debe actuar con el fin de superar el problema. En este caso, ambos problemas llevan a la entidad a vender activos negociables (reducir A_{t-1}^k). La cantidad que necesita vender un banco k en esta situación, s_t^k , es la cantidad que resuelve los dos problemas simultáneamente. La cantidad que solo resuelve el problema de fondeo (s_{ff}^k) es equivalente a la escasez de liquidez:

$$(13) \quad s_{ff}^k = -\frac{\widehat{M}_t^k + \beta D_t^k}{p_{t-1}}.$$

La cantidad se calcula utilizando el precio de mercado del activo negociable en $t-1$, es decir, antes de que abra el mercado. Por su parte, la cantidad que solo resuelve el problema de solvencia (s_{ts}^k) es aquella que devuelve al mínimo regulatorio a la relación de solvencia:³⁰

$$(14) \quad \frac{E^k}{L_{t-1}^k + p_{t-1}(A_{t-1}^k - s_{ts}^k)} = \bar{e} \Rightarrow s_{ts}^k = \frac{L_{t-1}^k \bar{e} + p_{t-1} A_{t-1}^k \bar{e} - E^k}{p_{t-1} \bar{e}}.$$

En consecuencia, en esta situación, la cantidad de activos negociables que debe vender el banco k [donde k satisface (12)] es:

$$(15) \quad s_t^k = \max[s_{ts}^k, s_{ff}^k].$$

■ Bancos con escasez de liquidez y solvencia:

$$(16) \quad \frac{E^k}{L_{t-1}^k + p_{t-1}A_{t-1}^k} \geq \bar{e}, \widehat{M}_t^k + \beta D_t^k < 0.$$

En esta situación, pese a que el banco k es solvente, necesita vender activos líquidos para superar el problema de liquidez, en una cantidad igual a la escasez de liquidez:

³⁰ Ver Cifuentes, Ferrucci y Shin (2005).

$$(17) \quad s_t^k = s_{tj}^k = -\frac{\widehat{M}_t^k + \beta D_t^k}{p_{t-1}},$$

$\forall k$ que satisface (16).

■ Bancos con exceso de liquidez e insolvencia:

$$(18) \quad \frac{E^k}{L_{t-1}^k + p_{t-1}A_{t-1}^k} < \bar{e}, \quad \widehat{M}_t^k + \beta D_t^k > 0.$$

Si bien el banco k en esta situación tiene un exceso de liquidez y, por ende, de efectivo, no puede usarlo directamente para mejorar su relación de solvencia (pues el efectivo no enfrenta riesgo de liquidez y no hace parte del denominador de la relación). Únicamente puede solucionar su problema a través de la venta de activos negociables. En este caso, la cantidad necesaria de ventas del banco k que satisface (18) es igual a aquella que devuelve la relación de solvencia al mínimo regulatorio:

$$(19) \quad s_t^k = s_{ts}^k = \frac{L_{t-1}^k \bar{e} + p_{t-1}A_{t-1}^k \bar{e} - E^k}{p_{t-1} \bar{e}}.$$

■ Bancos con exceso de liquidez y solvencia:

Las tres situaciones anteriores conforman el grupo de bancos del sistema que acuden al mercado interbancario de activos negociables con el fin de vender posiciones en el activo negociable. El grupo de bancos que compra estos activos se caracteriza por presentar la siguiente situación:

$$(20) \quad \frac{E^k}{L_{t-1}^k + p_{t-1}A_{t-1}^k} \geq \bar{e}, \quad \widehat{M}_t^k + \beta D_t^k > 0.$$

Los recursos que estos bancos destinan a la compra de activos negociables conforman en este modelo la *liquidez del mercado*. La liquidez del mercado no está dada exclusivamente por el monto de los excesos de liquidez de estos bancos. Debido al riesgo de liquidez que implica para los bancos la tenencia de posiciones en activos negociables y a la ausencia de riesgo de crédito, estos prefieren desembolsar cartera con sus excesos de liquidez.³¹ Los desembolsos están restringidos en

³¹ En otras palabras, el tesorero no analiza cuál cartera le genera mayor

este modelo debido a que la demanda de crédito es inelástica (pues la demanda agregada de crédito de la economía es exógena en el corto plazo). De igual forma que los depositantes, los demandantes de crédito se encuentran distribuidos en diversas regiones geográficas y migran de forma estocástica. En este sentido, la demanda de crédito que llega al banco k en el período t está dada por:

$$(21) \quad o_t^k = \sigma_o v_t^k \Omega + (1 - \sigma_o) \frac{\Omega}{N_t},$$

donde σ_o es el porcentaje de demandantes de crédito que migra y Ω es la demanda agregada de crédito de la economía. Si el exceso de liquidez del banco k no es suficiente para satisfacer su demanda de crédito, los desembolsos estarán limitados al exceso de liquidez. Además, los desembolsos implican una reducción de la relación de solvencia en tanto aumentan la cartera de créditos. Por tanto, la cantidad desembolsada está restringida también por la solvencia. Si la relación de solvencia no fuera nunca una restricción, la cantidad desembolsada estaría dada por:

$$(22) \quad w_{if}^k = \min\{\max[0, \widehat{M}_t^k], o_t^k\}.$$

Puede notarse que el exceso de liquidez no incluye el encaje, pues los bancos en una situación positiva no usan el encaje extendiendo créditos. Si, en cambio, los recursos líquidos no fuesen una restricción, los desembolsos estarían dados por el monto que redujera al mínimo regulatorio la relación de solvencia (restringido por la demanda):

$$(23) \quad \frac{E^k}{(L_{t-1}^k + w_{is}^k) + p_{t-1} A_{t-1}^k} = \bar{e} \Rightarrow w_{is}^k = \min\left[\frac{E^k - L_{t-1}^k \bar{e} - p_{t-1} A_{t-1}^k \bar{e}}{\bar{e}}, o_t^k\right]$$

Las restricciones impuestas por la demanda de crédito, la relación de solvencia y el exceso de liquidez hacen que la cantidad desembolsada por el banco k que satisface (20) en definitiva sea:

$$(24) \quad w_t^k = \min[w_{is}^k, w_{if}^k].$$

rentabilidad, sino cuál cartera le representa menor riesgo. La ausencia de riesgo de crédito es un supuesto que encuentra justificación en la experiencia de crisis financieras de 2002 y 2006 en Colombia.

Si, después de los desembolsos, el banco k mantiene algo del exceso de liquidez y su relación de solvencia no es restrictiva, dedica los recursos sobrantes a la compra de activos negociables en el mercado interbancario. Las cantidades que potencialmente comprará este banco están dadas entonces por:

$$(25) \quad b_t^k = \min \left[\frac{\widehat{M}_t^k - w_t^k}{p_{t-1}}, \frac{E^k - L_{t-1}^k \bar{e} - p_{t-1} A_{t-1}^k \bar{e} - w_t^k \bar{e}}{\bar{e} p_{t-1}} \right].$$

El segundo componente del mínimo de la ecuación (25) es la cantidad máxima de compras de activos que reduciría la relación de solvencia al mínimo dado que ya se efectuó cierta cantidad de desembolsos. La expresión (25) constituye entonces la liquidez de mercado de los activos negociables. En otras palabras, la liquidez de mercado está totalmente determinada en este modelo por la demanda de activos negociables de los bancos que disfrutaban de holgura tanto en la posición de fondeo como en la de solvencia.

Un elemento de esta liquidez del mercado será útil más adelante: si la demanda de crédito agregada de la economía es grande, los desembolsos serán potencialmente grandes y ello afecta en forma negativa la liquidez del mercado. Por su parte, la relación de solvencia no tiene un efecto lineal sobre la liquidez del mercado.³²

Los cálculos sobre ventas necesarias (por parte de los tres primeros grupos de bancos) y liquidez de mercado (por parte del último grupo) conforman respectivamente la oferta y la demanda del mercado de activos negociables. La concurrencia de estas ofertas y demandas permite establecer un nuevo precio de mercado para el activo negociable.

El mercado del activo negociable durante el período t está caracterizado por una matriz de transacciones X_t de dimensiones $N_0 \times N_0$ cuyos elementos x_{ij} corresponden a una

³² De hecho, puede demostrarse que la primera derivada del segundo elemento del máximo en (25) es $\frac{-E^k}{p_{t-1} \bar{e}^2}$, expresión no lineal en \bar{e} . En consecuencia, existe un tramo en el cual la relación de solvencia ejerce un efecto positivo sobre la liquidez del mercado y un tramo en el que el efecto es negativo. Esta no linealidad será analizada con detenimiento en las simulaciones del modelo.

transacción de activos negociables en la que el banco i vende y el banco j compra.³³

Debido a que la cantidad de ventas necesarias está predefinida al igual que la liquidez del mercado con anterioridad al momento de efectuar las transacciones, es posible que el mercado de activos no se vacíe en tanto algunos bancos pueden quedarse sin vender todo lo que necesitaban para superar sus problemas de liquidez o de solvencia. Asimismo, existe la posibilidad de que la liquidez del mercado no se agote en la compra de activos.³⁴ En este sentido, el precio de mercado que se establece en el mercado del activo negociable no tiene como objetivo vaciar el mercado. Este precio está dado por la siguiente expresión:

$$(26) \quad p_i = p_{t-1} e^{-\left(\sum_{j=1}^{N_i} s_i^j - \sum_{j=1}^{N_i} b_i^j\right)}.$$

Como se observa en esta expresión (inspirada en Cifuentes, Ferrucci y Shin, 2005), el exceso de oferta en el mercado (ventas menos compras potenciales de activos) ejerce un impacto negativo sobre el precio del activo negociable. Al nuevo precio p_i se pactan todos los intercambios de cantidades de activos de la matriz X_i . La idea de un mercado que no se vacía puede sonar en principio extraña. Sin embargo, la expresión

³³ Estos elementos de la matriz X_i deben satisfacer las siguientes condiciones de viabilidad: *i*) $x_{ij} \leq \min[s_i^j, b_i^j] \forall i, j \in [1, \dots, N_0]$, lo que quiere decir que cada transacción corresponde al mínimo de la oferta y la demanda individual, $\sum_{j=1}^{N_i} x_{ij} \leq s_i^i$; *ii*) lo que significa que las ventas totales iniciales pueden ser menores a las necesarias (más sobre esto adelante); y, *iii*) $\sum_{j=1}^{N_i} x_{ij} \leq A_{i-1}^i$ lo cual quiere decir que las ventas totales de cualquier banco no pueden exceder el tamaño de su cartera de activos negociables (los bancos no pueden vender en corto el activo negociable). Un ejemplo de la matriz X_i con cinco bancos es el siguiente:

		Compradores				
		Banco ₁	Banco ₂	Banco ₃	Banco ₄	Banco ₅
Vendedores	Banco ₁	0	0	0	0	0
	Banco ₂	100	0	100	0	0
	Banco ₃	0	0	0	0	0
	Banco ₄	100	0	0	0	100
	Banco ₅	0	0	0	0	0

En esta matriz, los bancos 2 y 4 venden una cantidad total de 400 activos a los bancos 1, 3 y 5, quienes no realizan ventas.

³⁴ Ver ítem (ii) en la nota al pie 33.

(26) está diseñada para modelar explícitamente la imperfección del mercado de activos negociables. De acuerdo con las gráficas presentadas en los paneles B de la sección 2, existen emisiones de títulos de deuda pública para las cuales no existe mercado en ciertos días del año. Esta no existencia de mercado temporal puede capturarse con un mecanismo de precios que no vacía el mercado, por lo cual algún banco puede encontrarse eventualmente en una situación en la que el mercado está *cerrado* para sus ventas.

Como ya se mencionó, la demanda de activos negociables depende negativamente de la demanda agregada de crédito de la economía. Por tanto, un aumento de esta última conlleva un mayor exceso de oferta y, por consiguiente, una caída en el precio de mercado. De igual manera, debido a que la demanda es menor, el tamaño del mercado se reduce (es decir, la suma de los elementos de X_t es menor). Este modelo captura en consecuencia la relación directa entre tamaño de mercado y precio que sugiere la sección siguiente. De esta manera, la mecánica presentada en este modelo es útil para explicar aquellas experiencias.

Finalmente, a partir de las transacciones en X_t , la cartera de activos negociables con el que todo banco k cierra el período t está dado por la cartera inicial más las compras netas:³⁵

$$(27) \quad A_t^k = A_{t-1}^k + \sum_{i=1}^{N_0} x_{ik} - \sum_{j=1}^{N_0} x_{kj}.$$

4. 2. 3. El riesgo de liquidez y la espiral de liquidez

En el contexto de este modelo, el riesgo de liquidez surge de manera natural en el proceso por el cual las entidades resuelven su problema de fondeo o de solvencia. Una vez el riesgo de fondeo se ha materializado en una situación de escasez de liquidez, la entidad busca resolver esta dificultad en el mercado. Sin embargo, su capacidad de resolverlo está limitada en la medida en que la liquidez de mercado (es decir, la demanda por los activos negociables) no es infinita. El riesgo

³⁵ Esta es una expresión general para todos los bancos. Sin embargo, es claro que un banco determinado no puede comprar y vender activos negociables de manera simultánea.

de liquidez en el sentido de Muranaga y Ohsawa (1997) está presente en este modelo de dos formas: en primer lugar, si la liquidez de mercado es menor a la oferta de activos, las entidades no obtienen un precio razonable por sus inversiones sino un precio descontado.³⁶ Y en segundo lugar, es posible que un banco en problemas no pueda vender sus activos (el mercado puede no vaciar un exceso de oferta). En este sentido, la definición de riesgo de liquidez de Muranaga y Ohsawa (1997) está asociada con el desequilibrio en el mercado. La imposibilidad de liquidar una posición a cualquier precio es, evidentemente, un resultado del desequilibrio en el mercado de activos. Esta dimensión de desequilibrio en la definición misma del riesgo de liquidez justifica también el no vaciado de los mercados que puede presentarse en el modelo.

En esta última situación, si tras el cierre del mercado (que se da o bien porque la liquidez del mercado se agota o porque la oferta se acaba cuando todos los bancos venden lo necesario) un banco permanece con el problema de escasez de liquidez o de solvencia, entra en quiebra, es liquidado, desaparece del sistema y su valor de liquidación se reparte entre sus depositantes. Estos, a su vez, redepositan los recursos en los restantes bancos del sistema. De acuerdo con esto, los depósitos agregados de la economía al cerrar el período t (y por tanto el determinante fundamental de los depósitos individuales en $t+1$) son:

$$(28) \quad D_t = D_{t-1} + \sum_{j \in B} \{ \widehat{M}_t^j + \gamma [E_k + L_t^j + p_t A_t^j] - D_t^j \},$$

donde B es el conjunto de bancos que entraron en liquidación al cierre del período t y $(1-\gamma)$ es el costo de la liquidación del banco, que es llevada a cabo por parte del regulador. En otras palabras, a los depósitos agregados se resta la diferencia entre los depósitos del banco y el valor de liquidación del mismo. Este último componente es lo que recuperan los depositantes del banco, por lo que aquella resta indica la pérdida o

³⁶ Note que este riesgo no corresponde a riesgo de mercado, pues estas fluctuaciones que sufre el precio no se deben al funcionamiento normal del mercado sino a la estrechez de la liquidez del mismo en una situación en la cual un grupo de bancos acude al mercado a resolver problemas en materia de fondeo.

ganancia de recursos de los depositantes en la liquidación del banco.

El período t finaliza del todo cuando los tesoreros de los bancos que no entraron en quiebra dejan para el principio del período $t+1$ la siguiente cantidad de efectivo, dada por la identidad del balance general y análoga a la ecuación (2):

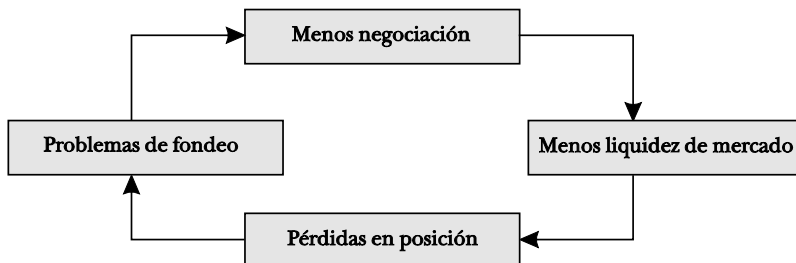
$$(29) \quad M_t^k = D_t^k(1 - \beta) + E_k - L_t^k - p_t A_t^k.$$

Sin embargo, los efectos de los riesgos no se hacen sentir únicamente en el número de quiebras al finalizar cada período, sino que tienen una dimensión dinámica: observe que en la ecuación (29) la cartera de inversiones en activos negociables se valora al nuevo precio de mercado, p_t , de acuerdo con las reglas de valoración antes mencionadas. Si un exceso de oferta en el período t genera una caída en el precio del activo negociable, ello reducirá el valor de la cartera de inversiones del conjunto de bancos del sistema. De esta forma, el sistema será más vulnerable al riesgo de liquidez en el período $t+1$, en la medida en que su cartera para enfrentar problemas de fondeo vale menos.

En este sentido, el riesgo de liquidez en el período t exacerba el riesgo de liquidez en el período $t+1$, y así sucesivamente, conformando lo que Brunnermeier y Pedersen (2005) definen como una espiral de liquidez, que se presenta en la gráfica III.

En este sentido este modelo ha permitido entender la forma en la que el riesgo de fondeo se transforma en riesgo de liquidez y en la que esta interacción afecta la estabilidad financiera. Este modelo presenta un canal alternativo que supera algunas limitaciones de la literatura tradicional y que replica con mayor precisión la evidencia empírica.

GRÁFICA III. ESPIRAL DE LIQUIDEZ



Con el objetivo de explorar numéricamente en mayor detalle tanto la interacción de los riesgos como la espiral de liquidez, a continuación se presentan varios ejercicios de simulación del modelo presentado en esta sección. Asimismo, los ejercicios permitirán detenerse en el efecto que sobre estos fenómenos tienen distintos valores de los parámetros relevantes (estática comparativa). Además, permitirán explorar la distinción entre las crisis de solvencia y las crisis de liquidez (útil en el diseño de estrategias de política financiera) y la noción normativa de si un banco particular es demasiado grande para que las autoridades económicas permitan su quiebra (*Too big to fail?*).

4. 3. Simulaciones

En esta sección se llevaron a cabo cuatro grupos de simulaciones. El primer conjunto de simulaciones presenta la mecánica básica del modelo en un ambiente de bancos homogéneos que sirve como marco de referencia a las siguientes simulaciones. La simulación básica parte del supuesto de que en $t = 0$ los bancos comparten el mismo tamaño del balance general.

Posteriormente, se presenta el efecto que tienen un conjunto de parámetros relevantes sobre la mecánica básica en dos escenarios: el primero de ellos corresponde a una estructura inicial de bancos homogéneos como en el caso de la simulación básica. El segundo escenario evalúa la robustez del caso homogéneo introduciendo una estructura inicial de bancos heterogéneos.

Un tercer conjunto de simulaciones permite discernir si, en el contexto de este modelo existen diferencias entre crisis de liquidez y solvencia.³⁷ Este ejercicio es relevante en la medida en que la intervención teórica de una red de seguridad compuesta por diversas autoridades económicas para evitar crisis financieras depende crucialmente de esta distinción.

Finalmente, se explora la posibilidad de que la quiebra de un banco grande tenga efectos sistémicos, en el espíritu de la

³⁷ Existe cierto consenso alrededor de la idea de que los problemas de liquidez pueden presentarse en ausencia de problemas de solvencia y viceversa.

idea de que un banco puede ser demasiado grande para quebrar. En otras palabras, la quiebra de un banco grande puede conducir a la quiebra de un número mayor de entidades. Esta fuente de riesgo sistémico puede ser explorada mediante simulaciones del modelo.

Pese a las diferencias tanto en objetivos como en condiciones iniciales, todos los ejercicios comparten las siguientes características: en razón a que el modelo incluye componentes estocásticos, cada resultado es el promedio de 1,000 simulaciones del modelo. Por otra parte, en cada uno de ellos el efecto de los riesgos en términos del tamaño de la espiral de liquidez será medido como el número de bancos que sobreviven en cada período. Adicionalmente, cada ejercicio simula 250 períodos de tiempo.³⁸ Por último, las simulaciones utilizan los parámetros subyacentes presentados en el cuadro 1.

Con el objeto de generar ingresos para los bancos en el primer período de la simulación ($t = 0$), se ha supuesto que la cartera de los bancos se constituyó con iguales desembolsos en períodos anteriores al inicio de la simulación ($w_{-1}^k = w_{-2}^k = 500$). Asimismo, la relación de solvencia mínima está tomada del caso colombiano (9%).³⁹

³⁸ Con respecto al funcionamiento del código empleado en las simulaciones del modelo, este sigue básicamente seis pasos. Primero, calcula la posición de recursos líquidos para cada banco en el sistema. Segundo, calcula las ventas necesarias y compras potenciales de los bancos teniendo en cuenta las restricciones de solvencia y de fondeo (en otras palabras, divide el sistema en los cuatro grupos antes mencionados). Tercero, el código toma un banco cuyas ventas puedan realizarse (esto es, cuyas ventas satisfagan el ítem (iii) de la nota al pie 33) y abre el mercado de activos: este banco contacta aleatoriamente otro banco del sistema, con el que pactará una transacción si este demanda activos negociables. Esta transacción se ejecuta al nuevo precio del mercado (26). Si las ventas potenciales no se han agotado, el banco contacta otro banco aleatoriamente y así en lo sucesivo hasta resolver su problema. Cuarto, el código escoge otro banco con ventas realizables y repite el tercer paso. Quinto, el mercado cierra cuando la liquidez del mercado se agota (algunos bancos quiebran) o bien cuando todas las ventas necesarias se hayan realizado. Sexto, se actualizan los depósitos agregados de la economía para el siguiente período. El código para la simulación del modelo fue escrito en Ox versión 3.40 (ver Doornik, 2002).

³⁹ El Comité de Basilea ha sugerido históricamente para los países del G10 una relación de solvencia mínima equivalente al 8%.

CUADRO 1. PARÁMETROS SUBYACENTES BÁSICOS

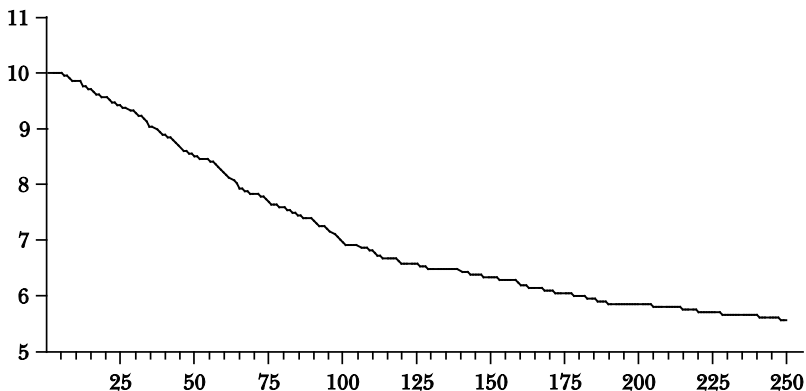
	10 homogéneos
N_0	
D_0^k	3,000
L_0^k	1,000
w_{-1}^k	500
w_{-2}^k	500
A_0^k	1,000
E^k	500
P_0	1
β	0.2
σ_d	0.5
ρ_l	0.5
r_d	0.03
\bar{e}	0.09
σ_o	0.5
Ω	17,000

4. 3. 1. El caso básico

La gráfica IV presenta los resultados de las simulaciones de la versión básica del modelo en términos del número de bancos sobrevivientes en cada período de tiempo. De estar compuesto por diez bancos en $t = 0$, el sistema financiero experimenta progresivamente la quiebra de entidades financieras hasta estabilizarse en promedio en un sistema con un poco más de cinco bancos, lo que quiere decir que la espiral de liquidez termina con cerca de la mitad de los bancos iniciales. Esta reducción en el tamaño del sistema es evidente también en varias variables agregadas.

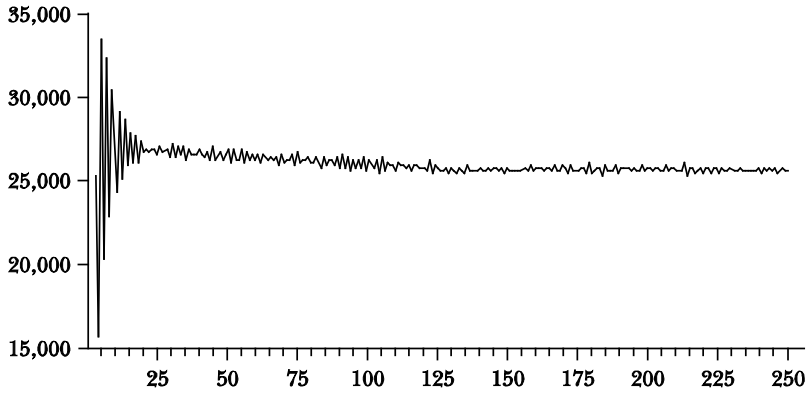
Cada uno de los paneles de la gráfica V presenta una determinada variable agregada del sistema financiero. El panel

GRÁFICA IV. SIMULACIÓN BÁSICA: BANCOS SOBREVIVIENTES

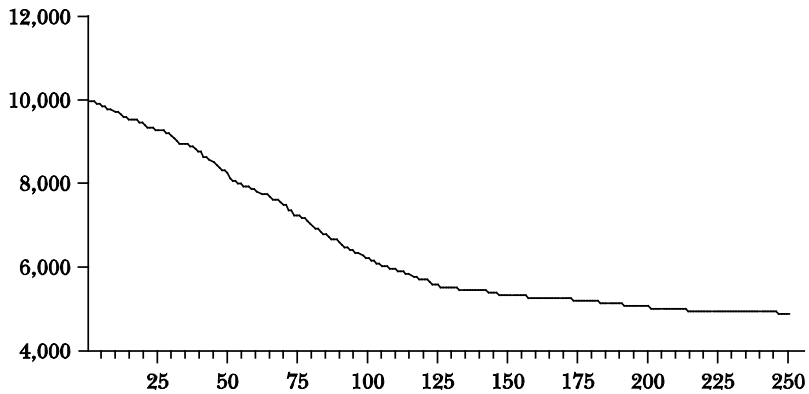


GRÁFICA V. SIMULACIÓN BÁSICA: AGREGADOS FINANCIEROS

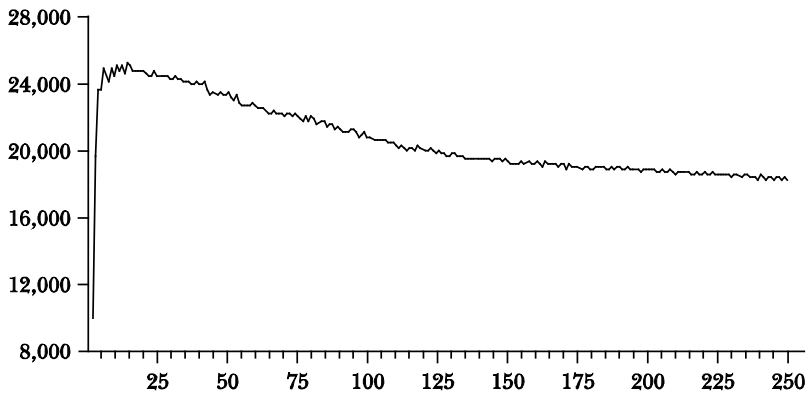
Posición de recursos líquidos intraperíodo (en miles)



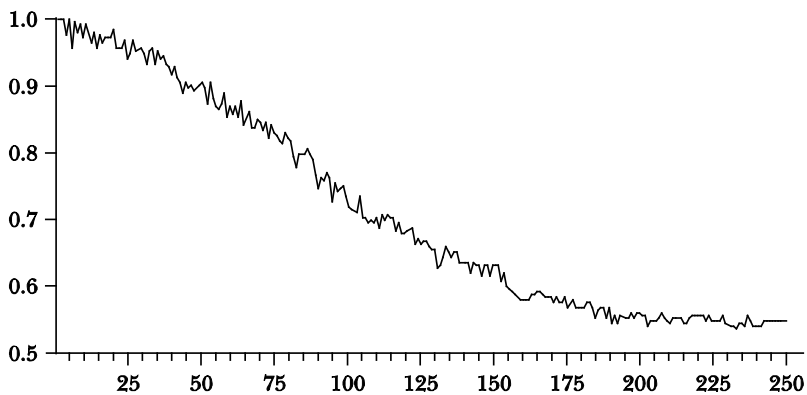
Cartera de activos negociables (en miles)



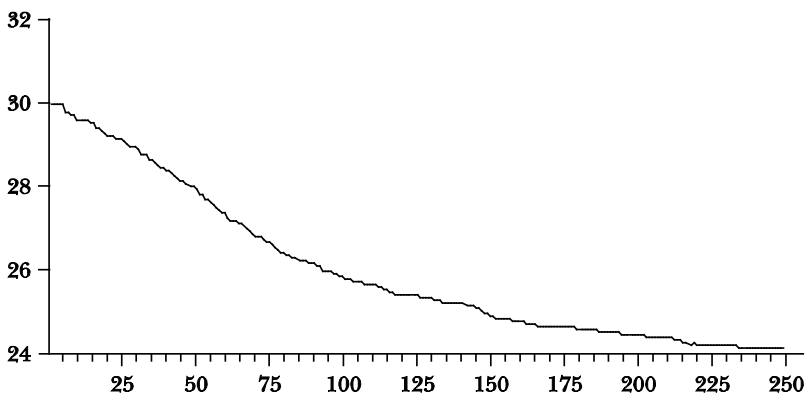
Cartera (en miles)



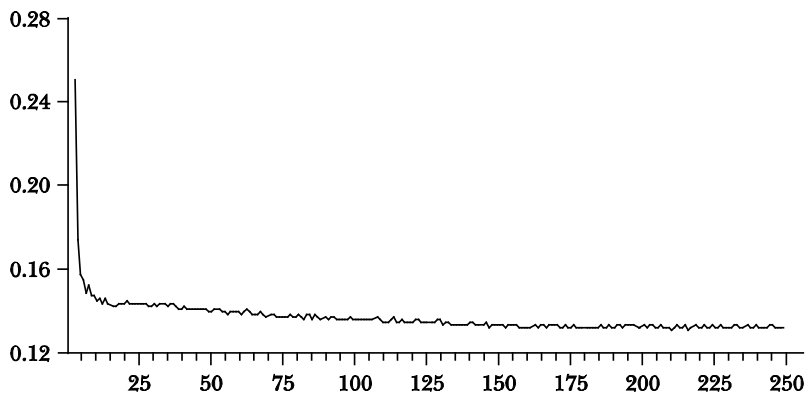
Precio



Depósitos (en miles)



Relación de solvencia



superior izquierdo de la gráfica presenta la posición agregada de recursos líquidos en cada período del tiempo. Como se observa, la volatilidad de los depósitos y de la cartera se traduce en una excesiva volatilidad inicial de los recursos líquidos agregados (y, por tanto, de la liquidez del mercado).

Esta variabilidad de la liquidez de mercado se refleja a su vez en una caída progresiva del precio de mercado (panel superior derecho) hasta un nivel cercano a la mitad del inicial después de cerca de 200 períodos. En este sentido, el riesgo de fondeo (volatilidad en posición de recursos líquidos) se transforma en riesgo de liquidez en la medida en que no es posible obtener un precio razonable por los activos negociables en el mercado. Los dos paneles muestran que el precio se estabiliza algún tiempo después de que los recursos líquidos lo hagan, lo que sugiere que el efecto del riesgo de fondeo tiene algún grado de persistencia sobre el riesgo de liquidez.

El panel central izquierdo muestra cómo, debido al riesgo de liquidez y a la liquidación de los bancos que entran en quiebra, la cartera de inversiones en el activo negociable se reduce con el tiempo y se estabiliza simultáneamente con el precio y los recursos líquidos. Precisamente esta caída del valor de la cartera de activos negociables caracteriza la espiral de liquidez. De igual manera se reducen con el tiempo los depósitos agregados y la cartera agregada (paneles central derecho e inferior izquierdo). En síntesis, estas crisis provocan una consolidación del sistema financiero en tanto el sistema se estabiliza en un número de bancos menor que se encuentra mejor preparado para enfrentar los riesgos de fondeo y liquidez debido no sólo a la estabilización de los recursos líquidos agregados sino a la holgura en la relación de solvencia promedio. Como se observa en el panel inferior derecho de la gráfica, la relación de solvencia promedio para los cerca de cinco bancos sobrevivientes es superior a la mínima (9%) en cerca de cuatro puntos porcentuales.

4. 3. 2. Sistema bancario homogéneo

Con los resultados obtenidos en la simulación de la estructura básica del modelo en mente, es necesario evaluar la sensibilidad que tienen los fenómenos descritos a distintos valores de los parámetros relevantes. En el caso del sistema

homogéneo de la simulación básica, la gráfica VI presenta la sensibilidad de las quiebras ante distintos valores de la demanda de crédito Ω (panel superior izquierdo), la volatilidad de los depósitos σ_d (superior derecho), el capital patrimonial E^k (inferior izquierdo) y la relación de solvencia mínima \bar{e} (inferior derecho).

El panel superior izquierdo se concentra en los primeros períodos de la crisis financiera. Allí se evidencia lo mencionado anteriormente: una mayor demanda de crédito, al reducir el tamaño de la liquidez de mercado, tiene un impacto negativo sobre el número de bancos sobrevivientes. Existen niveles de Ω lo suficientemente bajos (hasta $\Omega = 13,000$) que inclusive permiten que ninguna entidad quiebre.

Un resultado que sugiere la intuición es el efecto de la volatilidad de los depósitos, capturada mediante σ_d . Una mayor volatilidad de los depósitos se traduce en una intensificación del riesgo de fondeo por intermedio de los mecanismos ya discutidos, exacerba el riesgo de liquidez y se traduce en un mayor número de quiebras. Si σ_d es menor a 0.2, ningún banco quiebra, en razón a que el riesgo de fondeo es muy bajo.

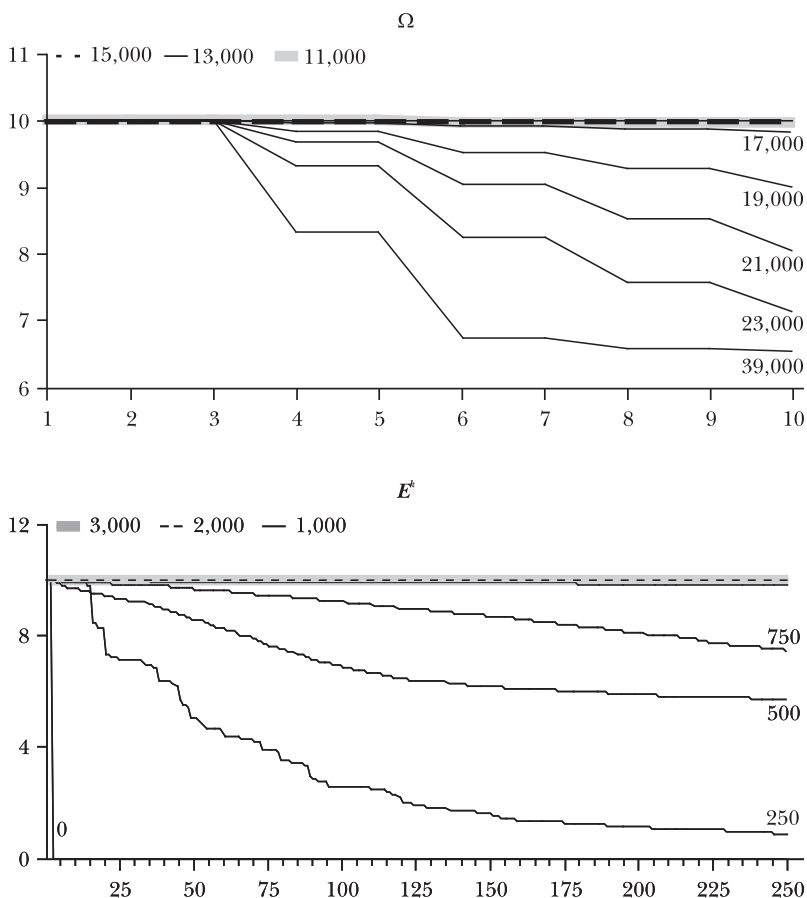
Asimismo, un mayor capital patrimonial se traduce en una mejor posición de recursos líquidos al interior del período [ver expresión (9)], por lo que existe una relación negativa entre capital y número de quiebras.

Finalmente, como se mencionó en la nota al pie 32, el efecto de la relación de solvencia sobre el número de quiebras no es lineal. De acuerdo con el panel inferior derecho de la gráfica VI, un aumento de la relación de solvencia mínima en el rango de 0% a 25% reduce el número de quiebras en tanto restringe la adopción de riesgos por parte de los bancos del sistema financiero. Si la relación de solvencia sube demasiado (hasta 30%), ese efecto de restricción de riesgos se ve superado por el efecto astringente que genera la relación de solvencia sobre la liquidez del mercado, lo cual ocasiona que la crisis financiera sea de tal magnitud que ningún banco sobreviva pasados pocos períodos de tiempo.

4. 3. 3. Sistema bancario heterogéneo

Los resultados obtenidos en la subsección anterior pueden ser sensibles a la estructura inicial del sistema (es decir, a la

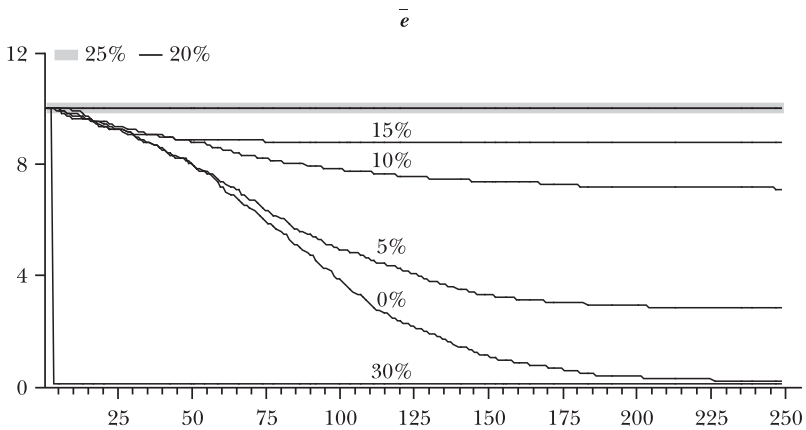
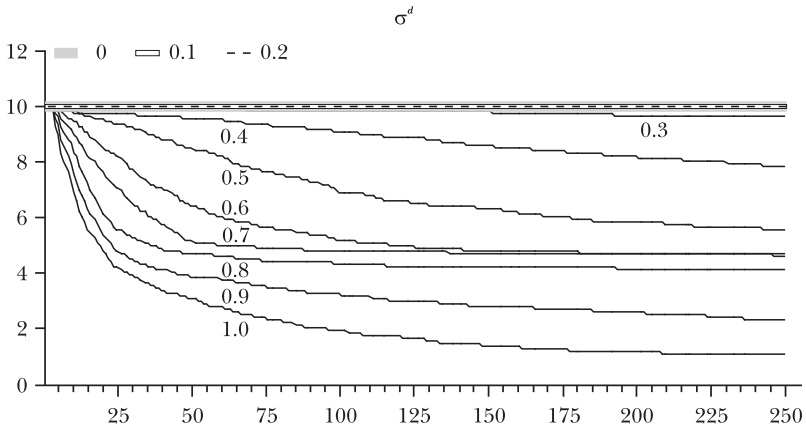
GRÁFICA VI. SIMULACIÓN CON BANCOS HOMOGÉNEOS



estructura de bancos exactamente iguales). Una razón podría ser que en la realidad existen bancos grandes y pequeños cuyas quiebras tienen impactos diferentes sobre el sistema y que absorben de forma distinta tanto la volatilidad del balance general como la liquidez del mercado.

Esta inquietud obliga a realizar el mismo ejercicio de la sección anterior conforme a una estructura inicial heterogénea, definida aleatoriamente de acuerdo con una distribución uniforme.

En presencia de una estructura inicial heterogénea, es difícil suponer que (en ausencia de volatilidad de depósitos y de demandas de crédito individuales) los depósitos agregados y



la demanda agregada de crédito se repartan prorrata entre los bancos (al fin y al cabo algo hace que los bancos grandes continúen siendo grandes). Por tal motivo, en estas simulaciones, las expresiones (5) y (21) se modifican de la siguiente manera:

$$(30) \quad D_t^k = \sigma_d \varepsilon_t^k \theta_t^k D_{t-1} + (1 - \sigma_d) \theta_t^k \frac{D_{t-1}}{N_{t-1}},$$

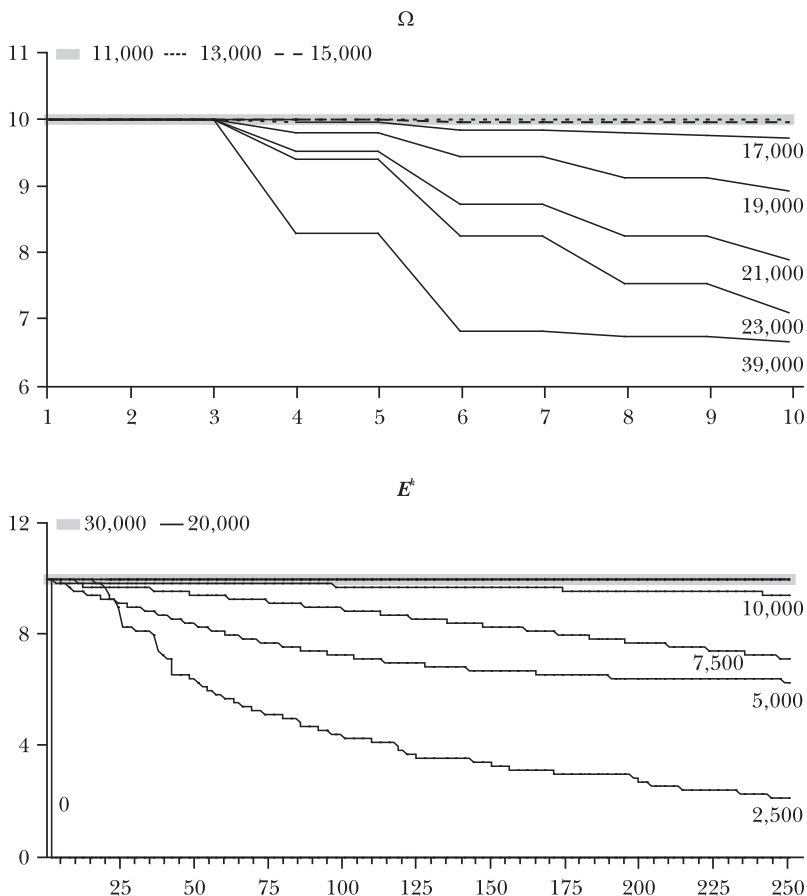
y:

$$(31) \quad o_t^k = (1 - \sigma_o) \psi_t^k \frac{\Omega}{N_t} + v_t^k \psi_t^k \sigma_o \Omega,$$

donde θ_t^k y ψ_t^k son los porcentajes de los depósitos y de la cartera del sistema financiero respectivamente que representa el banco k . Para cada una de las mil simulaciones en cada uno de los ejercicios de sensibilidad, los porcentajes θ_0^k y ψ_0^k para todo banco k son aleatorios y satisfacen $\sum_{k=1}^{N_0} \theta_t^k = 1$, $\sum_{k=1}^{N_0} \psi_t^k = 1$.

Utilizando estas nuevas expresiones, la gráfica VII presenta los resultados de las simulaciones con distintos parámetros. Como se observa en cada uno de los paneles, los resultados son los mismos que en el caso homogéneo, por lo que es posible decir que los resultados de sensibilidad son robustos a la estructura inicial de los bancos. Por este motivo no resulta de

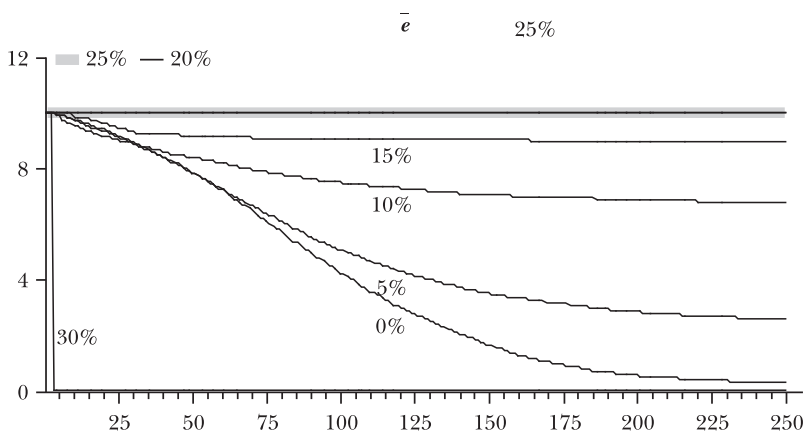
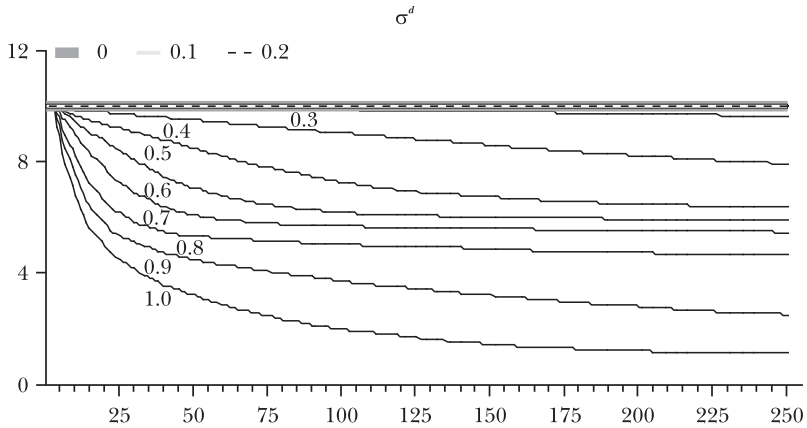
GRÁFICA VII. SIMULACIÓN CON BANCOS HETEROGÉNEOS



especial interés detenerse más en la interpretación de las sensibilidades.

4. 3. 4. La distinción entre problemas de solvencia y problemas de liquidez

El modelo presentado en la sección anterior ha supuesto que el banco central no interviene –por intermedio de la inyección de efectivo al sistema– para evitar las crisis financieras por espirales de liquidez. Por este medio, el banco central puede convertirse en garante de la suficiencia de la liquidez del mercado. Una buena razón para justificar este supuesto



puede partir de la base de que los bancos centrales dan mayor ponderación en su función de pérdida a la inflación que a la estabilidad del sistema financiero. Si ello es cierto, el rescate del sistema sólo puede hacerse a costa de mayor inflación, evento no deseable por el banco central.⁴⁰

Sin embargo, en el evento de que el banco central quisiese salvaguardar la estabilidad financiera haciendo uso de su función de prestamista de última instancia, debe evaluar si los problemas de los bancos son problemas de liquidez o de solvencia. En el primer caso, el banco central encontraría justificación para actuar, mientras que si las entidades se ven involucradas en problemas de solvencia, el banco central no les facilitaría recursos líquidos.

Debido a que los resultados son robustos a la estructura inicial, en este ejercicio se usa una estructura homogénea (como la del caso básico) para evaluar si, en el contexto de espirales de liquidez, los problemas de fondeo son asimismo problemas de solvencia. Para ello, la gráfica VIII muestra la evolución de la relación de solvencia promedio de uno de los diez bancos iniciales (escogido al azar) en los veinte períodos anteriores a su quiebra.⁴¹

De las mil simulaciones llevadas a cabo, el banco escogido quebró 429 veces. Como se observa en la gráfica, durante los 16 primeros períodos de los 20 anteriores a la liquidación del banco la relación de solvencia exhibe un comportamiento estable (promedio de 13.5%). Tres períodos antes de la liquidación la relación se eleva por encima del 16% en promedio. Finalmente, un período antes de la bancarrota la relación de solvencia cae por debajo del nivel promedio observado varios períodos atrás. De hecho, en 39 de las simulaciones la relación de solvencia del banco cae por debajo del mínimo regulatorio (9%).

Si el banco central desea rescatar el banco con problemas y

⁴⁰ Para una lectura de este *trade-off* entre inflación e inestabilidad financiera en el contexto del riesgo de mercado en Colombia, ver Vargas y Departamento de Estabilidad Financiera (2006). Para el caso internacional, ver Borio y Lowe (2002).

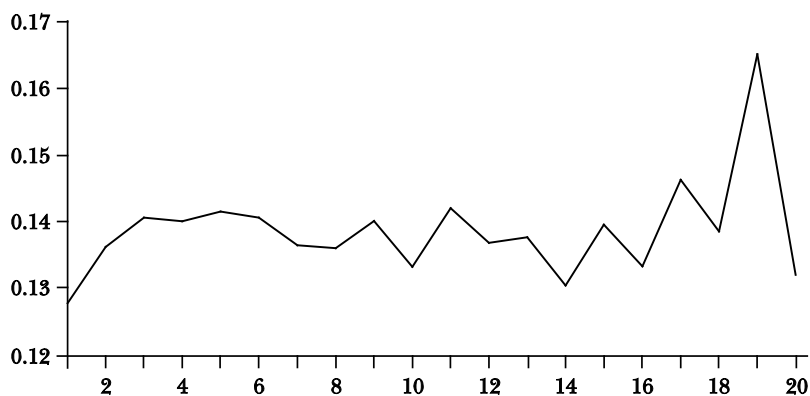
⁴¹ En este caso, se llevan a cabo mil simulaciones para todos los bancos. Posteriormente se escoge de los 10 bancos uno al azar, y se promedian las relaciones de solvencia de los últimos 20 períodos de vida de aquellas simulaciones en las que aquel banco quebró.

centra su atención en el último período podría llegar a la conclusión de que el banco es insolvente y, por ende, de que la crisis observada es producto de la insolvencia y no de la liquidez. Por su parte, un análisis más detallado que incorpore información de períodos anteriores sugeriría que la crisis no corresponde a un fenómeno persistente de baja solvencia sino a una crisis de la liquidez del mercado. En este último caso, la intervención de las autoridades monetarias encuentra su justificación en episodios en los cuales la liquidez del mercado se reduce súbitamente.

4. 3. 5. Too big to fail?

De acuerdo con Goodhart y Huang (1999), existen razones teóricas para justificar el rescate de un banco grande en estado de crisis con el objetivo de evitar que su quiebra genere un impacto significativo sobre el conjunto del sistema financiero. Empleando simulaciones del modelo presentado anteriormente, es posible evaluar la importancia de este temor en el contexto de crisis por espirales de liquidez.

GRÁFICA VIII. SOLVENCIA CONTRA PROVISIÓN DE FONDOS



Para ello, es necesario establecer, en el marco de las simulaciones, qué es un banco grande. En este caso, nuevamente se hace uso de la robustez de los resultados con respecto a la estructura inicial de las entidades financieras con el objetivo de simplificar el análisis y el código de la simulación. En particular, se emplea como estructura inicial la estructura del sistema bancario colombiano al finalizar septiembre de

2006.⁴² A partir de aquella estructura, es posible ordenar los bancos de acuerdo con su tamaño y con base en ese ordenamiento, definir de manera realista un banco grande.⁴³

Para evaluar si la quiebra de los bancos grandes tiene el potencial de afectar al conjunto del sistema financiero, se define la estructura inicial utilizando datos del sistema colombiano para alimentar θ_0^k y ψ_0^k en las expresiones (30) y (31). A continuación, se asigna una volatilidad de los depósitos $\sigma_d^k = 1$ para bancos grandes y $\sigma_d^k = 0$ para bancos pequeños. En este sentido, la volatilidad de los depósitos recae totalmente en los bancos grandes. Finalmente, se observa el efecto que esta concentración de la volatilidad tiene sobre el sistema en términos del número de quiebras.

De acuerdo con un grupo de autores,⁴⁴ un banco particular que acude al mercado de activos a liquidar cierta porción de su cartera ejerce un efecto negativo sobre el precio que depende de la cantidad de activos por liquidar. Este efecto individual sobre el precio se conoce como *impacto de mercado*. Si la volatilidad se concentra en los bancos grandes, eventualmente sólo estos enfrentarán la necesidad de vender. A partir de la simulación del modelo con la volatilidad concentrada en los bancos grandes es entonces posible conocer, en determinado período de tiempo, el impacto de mercado de los bancos grandes.

El primer ejercicio emplea los parámetros básicos concentrando la volatilidad de los depósitos exclusivamente en el banco más grande del sistema (Bancolombia).⁴⁵ El panel izquierdo de la gráfica IX presenta los resultados de este ejercicio en términos del número de quiebras. Al final de los 250

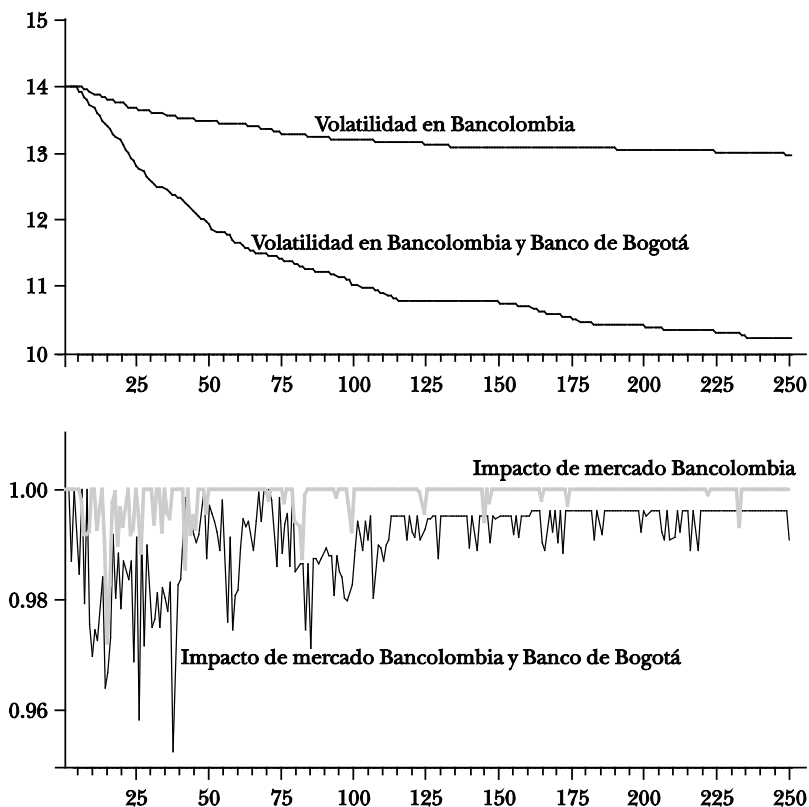
⁴² Con información de la Superintendencia Financiera de Colombia con corte a septiembre de 2006, el sistema bancario colombiano estaba compuesto por 14 entidades, cuyos activos sumaban cerca de 106.1 billones de pesos.

⁴³ De acuerdo con el tamaño de los depósitos, el orden de los bancos en el sistema colombiano es: Bancolombia, Banco de Bogotá, BBVA, Davivienda, Banco de Occidente, Banco Agrario, Banco Popular, Granbanco, Citibank, Banco Santander, Banco de Crédito, Standard Chartered, Megabanco, Banistmo, ABN Amro Bank.

⁴⁴ Ver por ejemplo Hisata e Yamai (2000).

⁴⁵ En este caso, el único parámetro que toma un valor distinto es Ω (30 billones de pesos).

GRÁFICA IX. TOO BIG TO FAIL? IMPACTO DE MERCADO?



períodos, en promedio, únicamente un banco entra en quiebra (Bancolombia). Lo anterior sugiere que, en el caso de esta estructura, el banco grande no genera ningún efecto sistémico. Esta conclusión se refuerza si se analiza el panel derecho de la gráfica, que presenta el impacto de mercado de Bancolombia. Como se ve, en los primeros períodos el precio cae un poco más de dos puntos porcentuales; sin embargo, el precio se recupera pronto a su nivel inicial. Por lo tanto, el impacto de mercado en el largo plazo es cero para este banco.⁴⁶

Finalmente, un segundo ejercicio concentra la volatilidad en los dos bancos más grandes del sistema (Bancolombia y

⁴⁶ En palabras de Hisata e Yamai (2000), el impacto de mercado es únicamente temporal, sin tener un efecto permanente sobre el precio. Sin embargo, su magnitud temporal es despreciable.

Banco de Bogotá). El panel izquierdo de la gráfica muestra que el número de quiebras es cercano a cuatro en este caso, lo que significa que además de los dos bancos grandes, cerca de dos bancos quiebran en promedio. Además de la quiebra de estos cuatro bancos, el impacto sobre el resto del sistema es nulo. Por su parte, el impacto de mercado temporal es mayor que en el caso del primer ejercicio, y tiene un efecto permanente menor a un punto porcentual.⁴⁷

En síntesis, la quiebra del banco (o de los dos bancos) más importante del sistema no tiene ningún efecto de largo plazo sobre la estabilidad del sistema bancario como un todo, si bien puede ocasionar la quiebra de un número pequeño de entidades. Este resultado puede interpretarse en el contexto de las ideas de Diamond y Dybvig (1983). En el modelo de estos autores, únicamente existe un banco, que se asimila al conjunto del sistema financiero y sobre el cual recae toda la volatilidad. En otras palabras, el riesgo de fondeo en Diamond y Dybvig (1983) es un evento que ocurre sobre todo el sistema. En el caso de este modelo, un evento de ese estilo corresponde al resultado analizado anteriormente cuando $\sigma_d^k = 1 \forall k$. Por el contrario, si el riesgo no es sistémico sino idiosincrásico (es decir, característico de un banco individual para el cual $\sigma_d^k = 1$) en el contexto de las espirales de liquidez, los bancos no generan efectos sistémicos negativos y su impacto de mercado en el largo plazo es cercano a cero.

⁴⁷ Es importante aclarar que la utilización de esta estructura no significa que las simulaciones indiquen lo que potencialmente puede ocurrir con los bancos en Colombia, pues los parámetros subyacentes del modelo no han sido calibrados para el sistema colombiano.

5. Conclusiones

Este trabajo ha presentado la posibilidad de que el riesgo de fondeo que enfrentan los bancos genere, por intermedio del mercado de activos negociables, riesgo de liquidez. La interacción entre estos riesgos tiene la capacidad de generar espirales de liquidez, con la consecuente liquidación de entidades bancarias y de pérdidas de recursos para los depositantes. Al hacerlo, este trabajo ha superado algunas de las limitaciones encontradas en la literatura tradicional y ha encontrado un mecanismo por el cual pueden explicarse ciertas regularidades observadas en los eventos de turbulencia financiera recientes en Colombia.

Es importante enfatizar algunas de las implicaciones de política que sugieren los fenómenos aquí estudiados. En primer lugar, existe un alto margen para la intervención de las autoridades económicas y regulatorias en la solución a este tipo de eventos, conformando lo que se conoce como red de seguridad. De acuerdo con lo encontrado, si se toma en cuenta un horizonte de tiempo relativamente largo, las crisis de liquidez no son producto de la insolvencia de las entidades. En este sentido, por ejemplo, el banco central (como componente de la red de seguridad, debe inyectar recursos líquidos al sistema para evitar que un problema de liquidez termine por generar la bancarrota de las instituciones financieras. Es por esta razón que el banco central debe establecer los mecanismos de seguimiento de la liquidez del mercado que le entreguen la información necesaria para intervenir.

En segundo lugar, los resultados encontrados permiten inferir que la autoridad regulatoria debe tener presente el efecto que tiene la relación de solvencia sobre el riesgo de liquidez que enfrentan los bancos. Si la autoridad desea incrementar los requerimientos de capital de las entidades, en la práctica eleva la relación de solvencia. Si el aumento es grande, la liquidez del mercado puede secarse súbitamente y, por tanto, el riesgo de liquidez se hace más importante.⁴⁸

⁴⁸ Este comentario adquiere importancia a la luz de las nuevas

Como se analizó, la liquidez del mercado de los bancos permite absorber un choque idiosincrásico sobre un banco grande sin mayores traumatismos. Sin embargo, en la práctica no es posible inferir a partir de ello que las autoridades no debieran preocuparse por evitar la quiebra de bancos grandes. Lo anterior se debe a que la quiebra de un banco grande tiene efectos sistémicos que van más allá del ambiente simple que representa el modelo. Por ejemplo, en la práctica las exposiciones crediticias en el mercado interbancario hacen necesaria la intervención de las autoridades en caso de que un banco grande enfrente dificultades.

Es necesario reconocer por último una limitación empírica que enfrenta este trabajo y que hace parte de la agenda de investigación futura. La evidencia empírica utilizada como punto de partida en el diseño del modelo es únicamente descriptiva y no el resultado de una rigurosa estrategia econométrica. Lo anterior es causa directa de las limitaciones de la información disponible: la información de transacciones de mercado individuales de los sistemas SEN y MEC no están disponibles para el público, por lo cual es muy difícil analizar en un ambiente riguroso la relación entre riesgo de fondeo y de liquidez para los bancos individuales. En la medida en que esta información pueda hacerse pública, será posible probar con mayor confiabilidad los resultados sugeridos por este modelo.

regulaciones en materia de riesgo de mercado y riesgo de crédito diseñadas por la Superintendencia Financiera de Colombia y que se pondrán en marcha en los primeros meses de 2007.

Referencias

- Allen, F., y D. Gale (2000), "Financial contagion", *Journal of Political Economy*, vol. 108, n^o 1, febrero, pp. 1-33.
- Banco de la República (2006a), *Reporte de Estabilidad Financiera*, Banco de la República, marzo.
- Banco de la República (2006b), *Reporte de Estabilidad Financiera*, Banco de la República, septiembre.
- Banco de Pagos Internacionales (1999a), *A review of financial markets events in autumn 1998*, Committee on the Global Financial System Publications, octubre.
- Banco de Pagos Internacionales (1999b), *How should we design deep and liquid markets? The case of government securities*, Committee on the Global Financial System Publications, octubre.
- Banco de Pagos Internacionales (2002), *Risk measurement and systemic risk*, Committee on the Global Financial System Publications, octubre.
- Banco de Pagos Internacionales (2004), *International Convergence of Capital Measurement and Capital Standards: a Revised Framework*, Committee on the Global Financial System Publications, n^o 107, junio.
- Bangia, A., F. Diebold, T. Schuermann y J. Stroughair (1998), *Modeling Liquidity Risk, With Implications for Traditional Market Risk Measurement and Management*, Center for Financial Institutions, Wharton School Center for Financial Institutions, diciembre (Working Paper, n^o 99-06).
- Bervas, A. (2006), "Market liquidity and its incorporation into risk management", *Financial Stability Review*, Banque de France, n^o 8, mayo.
- Borio, C., y P. Lowe (2002), *Asset prices, financial and monetary stability: exploring the nexus*, BIS (BIS Working Paper, n^o 114).
- Boss, M., H. Elsinger, M. Summer y S. Thurner (2005), *An empirical analysis of the network structure of the austrian interbank market*, Oesterreichische Nationalbank (Financial Stability Report, n^o 7, pp. 77-87).
- Brunnermeier, M., y L. H. Pedersen (2005), *Market liquidity*

- and funding liquidity*, texto mimeografiado, Princeton University, agosto.
- Calomiris, C., y J. Mason (2000), *Causes of U.S. bank distress during the depression*, NBER, septiembre (Working Paper, nº 7919).
- Cifuentes, R., G. Ferrucci y H. Shin (2005), *Liquidity risk and contagion*, Bank of England (Working Paper Series, nº 264).
- Comité de Supervisión Bancaria de Basilea (2000), *Sound Practices for Managing Liquidity in Banking Organisations*, BIS BCBS Publications, febrero.
- De Bandt, O., y P. Hartmann (2000), *Systemic risk: a survey*, European Central Bank, noviembre (Working Paper Series, nº 35)
- Diamond, D., y P. Dybvig (1983), "Bank runs, deposit insurance, and liquidity", *Journal of Political Economy*, vol. 91, nº 3, junio, pp. 401-19.
- Doornik, J. A. (2002), *Object-Oriented Matrix Programming Using Ox*, 3^{ra} edición, Timberlake Consultants Press, Londres y Oxford; (www.nuff.ox.ac.uk/Users/Doornik).
- Dowd, K. (2005), *Measuring market risk*, 2^a edición, John Wiley Sons, Ltd, West Sussex.
- Dwyer, G., e I. Hasan (1994), "Bank runs in the free banking period", *Journal of Money, Credit and Banking*, vol. 26, nº 2, mayo, pp. 271-88.
- Estrada, D. (2001), *Reserve requirements, systemic risk and inter-bank market*, tesis doctoral, Universitat Autònoma de Barcelona, International Doctoral Program in Economic Analysis.
- Estrada, D., y D. Osorio (2006), *A market risk approach to liquidity risk and financial contagion*, Banco de la República, marzo (Borradores de economía, nº 384).
- Freixas, X., B. Parigi y J. Rochet (2000), "Systemic risk, inter-bank relations and liquidity provision by the central bank", *Journal of Money, Credit and Banking*, vol. 32, nº 3, parte 2, agosto, pp. 611-38.
- Furfine, C. (1999), *Interbank exposures: quantifying the risk of contagion*, BIS, junio (Working Papers, nº 70).
- Goodhart, C., P. Sunirand y D. Tsomocos (2006), "A time series analysis of financial fragility in the UK banking system", *Annals of Finance*, Springer, vol. 2, nº 1, enero, pp. 1-21.
- Goodhart, C., y H. Huang (1999), *A model of the lender of last*

- resort*, Financial Markets Group, London School of Economics (Discussion Paper, n^o 313).
- Gorton, G. (1988), "Banking panics and business cycles", *Oxford Economic Papers*, vol. 40, n^o 4, pp. 751-81
- Hisata, Y., e Y. Yamai (2000), "Research Toward the Practical Application of Liquidity Risk Evaluation Methods", *Monetary and Economic Studies*, Institute for Monetary and Economic Studies, Bank of Japan, vol. 18, n^o 2, pp. 83-127.
- Iori, G., S. Jafarey y F. Padilla (2003), *Interbank lending and systemic risk*, Society for Computational Economics (Computing in Economics and Finance 2001, n^o 6).
- Muranaga, J., y M. Ohsawa (1997), *Measurement of liquidity risk in the context of market risk calculation*, Bank of Japan, Institute for Monetary and Economic Studies.
- Plantin, G., H. Sapra y H. Shin (2005), "Marking to market, liquidity and financial stability", *Monetary and Economic Studies*, Institute for Monetary and Economic Studies, Bank of Japan, vol. 23, n^o S-1, octubre, pp. 133-55.
- Rochet, J., y J. Tirole (1996), "Interbank lending and systemic risk", *Journal of Money, Credit and Banking*, vol. 28, n^o 4, parte 2, noviembre, pp. 733-62.
- Schnabel, I., y H. Shin (2004), "Liquidity and contagion: the crisis of 1763", *Journal of the European Economic Association*, vol. 2, n^o 6, pp. 929-68.
- Upper, C. (2000), *Measuring liquidity under stress*, BIS (BIS Papers Series, n^o 2).
- Vargas, H. y Departamento de Estabilidad Financiera (2006), *El riesgo de mercado de la deuda pública: una restricción a la política monetaria? El caso colombiano*, Banco de la República, marzo (Borradores de Economía, n^o 382).

FUNDING RISK, LIQUIDITY RISK
AND THE SOLVENCY RATIO IN
A LIQUIDITY SPIRAL MODEL

Daniel Esteban Osorio Rodríguez

*Funding risk, liquidity risk
and the solvency ratio
in a liquidity spiral
model*

CENTRAL BANK AWARD RODRIGO GÓMEZ, 2008

1. Introduction

Liquidity risk has traditionally been associated with the possibility that a financial entity may confront a shortage of liquid funds such that it is unable to meet its obligations to depositors. This notion lies behind the most common techniques for measuring liquidity risk, as well as the regulatory regimes that have been put in place to mitigate it.¹

Nevertheless, recent experience as well as the complexity and the development of banking activities have brought this traditional concept of liquidity risk into question.² In particular, the traditional notion of a shortage of liquid funds has come to be defined as funding risk meanwhile the liquidity risk has been redefined as *the risk of being unable to liquidate an active position in a timely manner at a reasonable price*.³

There is currently a broad consensus both as to the distinction between *funding* and liquidity, as well as to the importance attached to these risks. According to Bangia, Diebold, Schuermann and Stroughair (1998), for example, if liquidity risk is incorporated to the traditional measures of market

¹ With respect to the traditional measurement of liquidity risk, see for example the section on liquidity risk in the Banco de la República's Financial Stability Report (Banco de la República, 2006a). Current Circular 100 issued by the Financial Superintendent of Colombia (designed to regulate liquidity risk), together with the suggestions provided by the Basel Committee for managing liquidity risk (Basel Committee on Banking Supervision, 2000), are two examples of how this traditional concept of risk has influenced the regulation.

² The episodes giving rise to this questioning have occurred both in developed countries (such as the liquidity crisis of the *Long Term Capital Management* –LTCM– Fund in 1998, see Bank for International Settlements, 1999a) and in emerging markets (as shall be seen in the empirical section of this paper). The complex activities referred to are basically those associated with a bank's ability to invest in financial instruments other than those traditional to financial intermediation (public debt securities, derivatives, etc.).

³ The definition is by Muranaga and Ohsawa (1997) (author's underlining). For an example of the current distinction between *funding* risk and liquidity risk, see Brunnermeier and Pedersen (2005).

risk, the total risk faced by entities (for the case of certain positions) increases by close to 21%.

Separately, the experience of the Colombian financial system during 2002 and 2006 is also telling in this respect. During these years the system underwent difficulties that specifically impacted the market price of government bonds, which are the most important financial instrument in the banking system.

There is a vast literature dealing with funding risk which details the various channels through which this risk may become systemic and threaten financial stability. However, there is not much literature that explores the mechanics of liquidity risk. And there are very few papers which study the interaction between funding risk and liquidity risk in the generation of financial crises.

The aim of this thesis is precisely to contribute to a better understanding of the mechanics of liquidity risk, and in particular to demonstrate that it may arise as a consequence of funding risk. The mechanism that allows for the latter is as follows: when financial entities face volatile liquidity needs, some of them may eventually have a shortage of liquid funds (funding risk). In order to overcome this problem, these entities attempt to liquidate certain active positions. In the case where the demand for these positions is not perfectly elastic, these liquidations may potentially affect the market price of those positions. Moreover, if these positions are valued in the balance sheet at market prices (mark-to-market), the fall in prices affects the value of the portfolios of all entities in the system, such that the liquidity risk is transmitted from one entity to another. This propagation further erodes the ability of entities to handle volatility, leading to what is known as a liquidity spiral (Brunnermeier and Pedersen, 2005).

This approach allows to achieve three secondary objectives. First, it provides an explanation of the regularities observed in the Colombian system in 2002 and 2006. Second, after demonstrating the interaction between funding and liquidity risks, it assesses the sensitivity of the mechanism to different financial variables and regulatory instruments. Finally, it emphasises the importance of market liquidity: if the market is very liquid, there is limited potential for an entity to influence the market price. If, on the contrary, market liquidity is

low, any liquidation will necessarily impact the price.⁴ In the latter case, the impact on prices shall depend directly on the volume liquidated.

In order to rationalize the mechanism and attain its objectives, the paper proposes an extension of the Estrada and Osorio (2006) model. In particular, the model presented herein differs from the original in that it includes net worth (which makes it more realistic by allowing for the analysis of regulatory effects on liquidity risk) and overcomes some of its limitations.

The paper is divided into five sections, including this introduction. The second section revise the literature available on the workings of both funding and liquidity risk. The third section presents Colombia's experiences in 2002 and 2006, while the fourth section develops and simulates the model. The fifth section concludes by presenting some final reflections.

⁴ As will be shown, such market liquidity also depends on the intensity of funding risk.

2. Review of the literature

2. 1. Funding risk

The literature that attempts to explain the appearance of funding risk and the mechanisms by which this risk degenerates into a liquidity spiral can arbitrarily be classified in two groups (see Furfine, 1999; and, Estrada and Osorio, 2006).

The first group of papers emphasises the fact that the very nature of banking makes it susceptible to runs by depositors. In other words, the transformation of short term liabilities into long term assets performed by banks causes them –in some cases– if a group of depositors decide to withdraw their deposits, the bank may not have the liquid resources to honor its obligations with them. It is in this sense that the nature of banking implies a high funding risk. In the original Diamond and Dybvig model (1983), even though the bank enables better risk management for the aggregate economy, it is exposed to a possible equilibrium in which depositors lose faith in the system and simultaneously withdraw their funds without the bank being able to pay them.⁵

Gorton's (1988) work criticises the existence of multiple equilibria and suggests that the runs that banks are exposed to come about as the result of optimization decisions by depositors. According to the author, there is nothing special about bank runs: they are simply the rational response of individuals to negative information which alters their perception of financial system risk.

The second group of papers shares the same starting point: banks are by definition exposed to funding risk. However, funding risk only becomes a systemic problem for them when the problems of one entity (or a small number of entities) are transmitted to others because of financial interconnections between them (Furfine, 1999, p. 1). In other words, in the presence of credit exposures in the interbank market, if one

⁵ The Diamond and Dybvig model is one of multiple equilibria with a single bank. One of these equilibria is a bank run, although the authors never explain exactly what may give rise to this equilibrium.

bank defaults on its interbank obligations its problems can be transmitted to the others.

The most relevant paper in this group is by Allen and Gale (2000), for whom the intensity of funding risk and contagion is closely related to the completeness of the interbank market. The risk only materialises as a bankruptcy when the interbank credit market is incomplete. Some authors assign such importance to interbank credit in the propagation of funding risk that their definition of systemic risk amounts to little more than this mechanism (see Rochet and Tirole, 1996). For their part, Freixas, Parigi and Rochet (2000) study the effects that central bank intervention has on this set of phenomena, not only in its role as market coordinator but also as settlement agent when there is a bankruptcy in the system.

These topics are also analysed by Iori et al. (2003) in the framework of a microeconomic simulation model that starts out from the general balance sheet identity for financial entities. For these authors, banks face volatility on the liability side of their balance sheet (as the direct consequence of deposit volatility).⁶ This volatility may eventually generate a shortage of liquid funds for the entities, who may attempt to solve the problem by borrowing from other banks in the interbank credit market. As shall be seen, it is this type of model that has inspired the exercise undertaken in this paper.

In short, the common thread in all the papers of this second group is as follows: funding risk can be resolved if there is recourse to an interbank loan market in cases of liquidity shortages. However, it is the existence of this market which makes the system vulnerable to contagion from funding problems.

Since an empirical point of view, the phenomena analysed by either of these groups of papers do not have a solid basis. Empirical work on bank runs has found that these episodes occur only in an isolated manner, and that in most cases the largest withdrawals take place in those banks which already had funding problems prior to the onset of the run. Fur-

⁶ Deposit volatility is less important in the case of entities with massive deposits, such as the late Corporaciones de Ahorro y Vivienda (CAV, entities for savings and housing) in Colombia. Nevertheless, there is consensus in that traditional commercial banks face high deposit volatility.

thermore, bank runs do not appear to impact the entire system but only a given number of isolated entities during very specific periods of time (i.e., bank runs do not appear to be contagious).⁷

For their part, Cifuentes et al. (2005) state that almost no empirical study finds a significant contagion of funding risk through interbank credit exposure.⁸ This in part can be traced to the low share of interbank credit in the total liabilities of the financial system.

2. 2. Liquidity risk

The lack of empirical relevance of the literature on funding risk has stimulated the development of some papers which examine the liquidity risk faced by financial system entities. Underlying this literature is the notion that banks do not only fulfill a maturity transformation function, but that they also participate in the markets for the buy and sell of financial instruments. If the entities use these transactions to cover for other risks (such as credit risk, exchange rate risk and market risk), there is the potential for the actions of a group of entities to disturb normal market operations and thus influence the actions of others.

The liquidity risk mechanic is explored from a theoretical approach in the paper by Cifuentes et al. (2005). Here, banks resort to the sale of financial instruments (non-liquid assets) when their solvency ratio is affected by another entity's default in the interbank market. Since the demand for financial instruments is not perfectly elastic, these sales reduce the market price of the instruments and, consequently, the portfolio value of all banks in the system.⁹ Clearly, there is a latent liquidity risk in the extent of that entities are unable to obtain a *reasonable price* for their financial instruments.¹⁰

⁷ For the more important empirical work on bank runs, see Dwyer and Hasan (1994), Gorton (1988) and Calomiris and Mason (2000). For a useful summary, see De Bandt and Hartmann (2000).

⁸ See Furfine (1999) and Boss et al. (2005) for empirical studies.

⁹ Plantin, Sapra and Shin (2005) use this argument to question the method of market price valuation employed in various countries (including Colombia) to register the value of positions in firms' books.

¹⁰ Schnabel and Shin (2004) employ a similar analytical framework to

According to Bervas (2006), this mechanism depends crucially on market liquidity. When entities hold a large amount of liquid assets such as cash (funding risk is low), market liquidity is high insofar as that they can absorb a sale without undue stress to the seller.

There are no empirical studies that evaluate the intensity of the above-mentioned phenomenon. There have been some efforts, however, to properly measure the liquidity risk faced by financial intermediaries, with the conclusion that this risk can be significant for these entities.¹¹ In addition, international regulatory authorities have recently become aware of the threat that liquidity risk poses to the current systems.¹² This body of papers and discussions clearly reinforces the empirical relevance of liquidity risk.

2. 3. Limitations

The theoretical literature on liquidity risk faces two limitations. The first one is, the propagation of risk is conditioned by the presence of certain restrictive mechanisms. In Cifuentes et al. (2005), this mechanism is the minimum solvency ratio which requires banks to sell if they cannot meet it. In the paper on market risk by Estrada and Osorio (2006), the model simulations necessarily impose an artificial funding crisis during the first period. The second limitation is that, the original source for the appearance of liquidity risk (i.e. that which generates the sale of financial instruments) is not explicitly modeled; in other words, the initial disturbance in these papers is the sudden fall of a bank. While it is clear that this fall generates liquidity risk, it is not clear why it occurs.

The exercise undertaken in this paper attempts to overcome these two limitations. First of all, it develops a model that includes the solvency ratio to show that –even if the minimum solvency requirement is zero– latent liquidity risk

explain the 1763 financial crisis in Western Europe.

¹¹ See Bangia et al. (1998), Hisata and Yamai (2000), Dowd (2005), and Muranaga and Ohsawa (1997).

¹² For an idea of the international discussion regarding the regulation of liquidity risk, see Bank for International Settlements (1999b), Upper (2000) and the chapters on liquidity for Bank for International Settlements (2002).

persists. At the same time, it relaxes Estrada and Osorio's (2006) assumption of a liquidity crisis during the first period. Secondly, it incorporates funding risk as the initial source of liquidity risk. In this way, not only the initial disturbance which gives rise to banks' sales of financial instruments is modeled, but liquidity risk is interrelated to funding risk by demonstrating how the former may be caused by the latter.

Given the scarce empirical relevance of bank runs and contagion in the interbank loan market, these elements are not included in the model. In view of this, the simulation results for the model allow us to state that liquidity crises may be observed even in the absence of these elements.

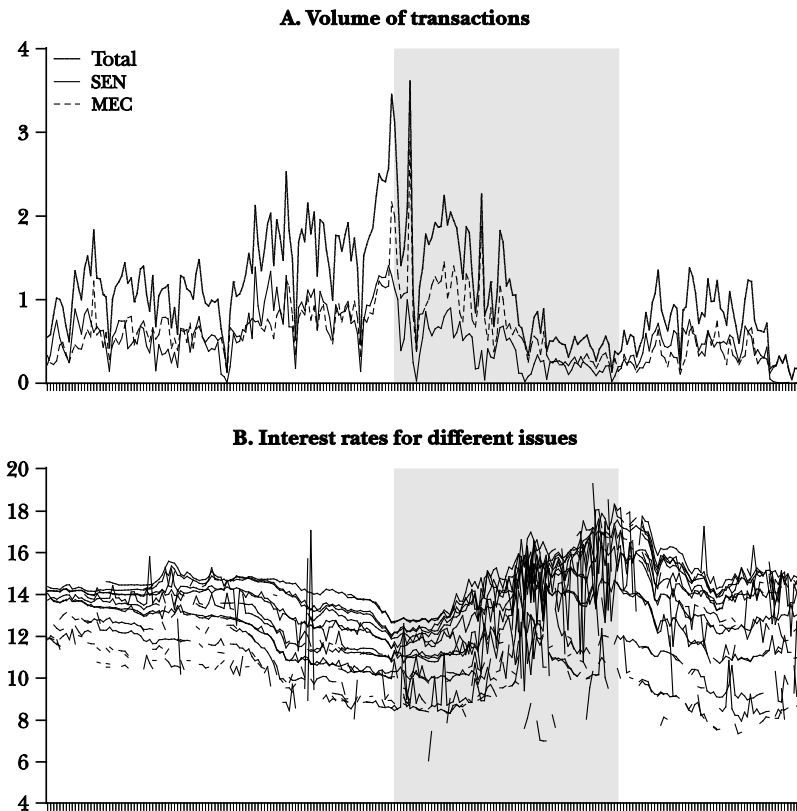
As mentioned in the introduction, the model proposed below is designed not only to overcome these limitations, but also to explain certain facts suggested by the Colombian experiences of 2002 and 2006. Before presenting the model, therefore, a review of these empirical regularities is called for.

3. Episodes of investment depreciation in Colombia

The Colombian financial system recently experienced two episodes of turbulence that were reflected for the most part in the market for government bonds rather than in the quality of bank portfolio. In other words, these crises came about in an environment of low credit risk.

The first of these crises occurred during the period from June 26 to October 2, 2002. Figure 1 (panel A) shows the evolution in size (measured as total value transacted) of the two major markets for public debt securities during all of 2002,

FIGURE 1. PUBLIC DEBT SECURITIES, 2002

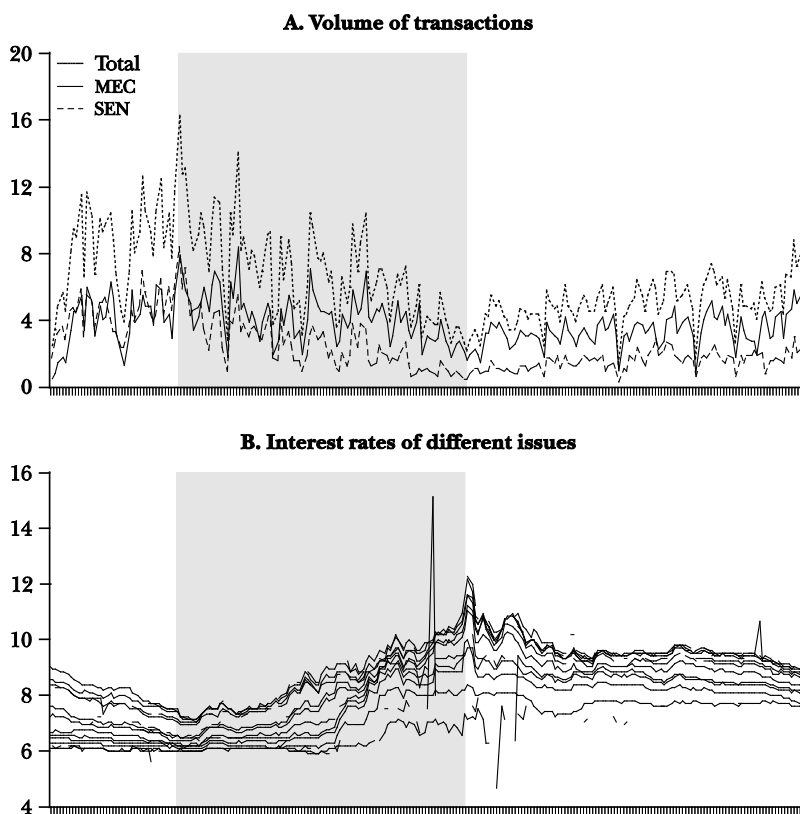


SOURCE: Banco de la República.

NOTE: Shaded area goes from June 26 to October 2.

with the crisis period shaded.¹³ As can be seen from the figure, market size fell by more than 90% during the crisis period from 3.6 trillion to 0.34 trillion pesos. Panel B in the same figure shows the evolution of rates for the different issues of public debt securities. Almost without exception the rates on the securities increased throughout the crisis, which is equivalent to a fall in its price. In short, the 2002 crisis shows a direct relationship between market volume and the price of securities.

FIGURE 2. THE MARKET FOR PUBLIC DEBT SECURITIES, 2006



SOURCE: Banco de la República.

NOTE: Shaded area goes from February 22 to June 27.

¹³ The two major markets for public debt securities in Colombia are electronic: the Electronic Trading System (SEN) managed by Banco de la República, and the Colombian Electronic Market (MEC) managed by the Colombian Securities Exchange.

A similar experience reoccurred during the period from February 22 to June 27, 2006.¹⁴ Figure 2 again presents market volume (panel A) and bond yields (panel B) for the period January 2 to November 15, 2006. While market size is larger in 2006 than in 2002 (an average volume of 6.3 trillion versus 1.1 trillion pesos, respectively), the trends for this crisis are the same. The combined volume of both markets fell by 86% (from 16.4 trillion to 2.1 trillion), while on average yields rose by 300 basis points.

In summary, the Colombia experience suggests that –in an environment of low or negligible credit risk– the problems originating in negotiable asset markets (such as for public debt securities) usually express themselves as a fall in market volume accompanied by a decline in prices.

The model that is presented in the following section, whose aim is to understand the mechanics of interaction between funding risk and liquidity risk, must be able to replicate the regularities of the market crises analysed in this section. From this viewpoint, if the model is able to replicate these phenomena, one could state that the mechanics explored by the model may be used to understand these financial events in Colombia's recent history. As shall be seen, such is the case for the model at hand, whose structure and development is presented in the following section.

¹⁴ For an analysis of the origins of this crisis episode and its effects on stability and risks in the Colombian financial system, see Banco de la República (2006b).

4. A microeconomic model of liquidity spirals

4. 1. General issues

A microeconomic model that seeks to emulate the short-run behavior of a treasurer from a representative bank is presented in this section, with the aims of lifting the restrictions imposed by the literature and replicating the direct relationship between market volume and price.¹⁵ This implies that the modelling exercise seeks to incorporate the objectives and restrictions confronting a treasurer over a one-day time horizon. The model is based on the paper by Estrada and Osorio (2006), which is extended by the inclusion of net worth and the solvency ratio.¹⁶

In this model the restrictions representing the treasurer's short time horizon are as follows: first, under a short time horizon a treasurer cannot modify the interest rates on portfolio contracts and agreed deposits; therefore, the model assumes that interest rates are exogenous and constant; second, the treasurer's only goal is to fulfill his obligations to depositors. It is important to emphasise that in this context the treasurer's goal may not necessarily be consistent with the objectives of bank shareholders. While the latter seek to maximise bank profits over a given time horizon, the treasurer is concerned only with the bank having sufficient liquid funds needed to finance its regular transactions (e.g. granting loans). So that, even though the treasurer's activity is necessary for the shareholders' objective function, it is clear that his objectives do not necessarily coincide with theirs, at least in the short run.¹⁷

¹⁵ Treasury activities are usually undertaken by a committee comprising various bank staff members. For the purposes of this paper we may assume that the treasury committee may be reduced to one person.

¹⁶ In addition, the coding employed in this paper allows for individual monitoring of each bank in the financial system, a feature that will be used further ahead in the simulations. The paper by Estrada and Osorio (2006) does not analyse banks individually, but only the aggregate structure of the system.

¹⁷ All these short run reasons call for an intraday microeconomic model,

The treasurer moves into an essentially volatile environment. Specifically, both the asset side (portfolio disbursements) and liability side (deposits) of the balance sheet are subject to stochastic behavior. This aspect gives rise to funding risk which may result in liquid assets being insufficient to meet the bank's obligations to depositors. In the case at hand, since the model excludes an interbank loan market, the treasurer attempts to solve the problem by selling a portion of the non-liquid investment portfolio in financial markets. In order to simplify the analysis, the model assumes that the portfolio consists of a single negotiable asset (similar to a government bond).¹⁸ The eventual need to sell exposes the entity to a high liquidity risk, in the measure that low market liquidity may result in the sale taking place only at a drastically reduced market price. If the bank cannot resolve this funding problem, it goes bankrupt and gets liquidated.

Finally, it is clear that intervention by the economic authorities can eliminate the very appearance of funding risk. For example, if the financial system safety net includes liquidity support by the central bank, treasurers may resort to the latter to resolve the funding risk problem. Similarly, the existence of a deposit insurance scheme can provide the funds with which to pay depositors, subject to the payment of an insurance premium by the bank. In order to analyse the pure mechanics of funding risk, therefore, these elements must be isolated. For this reason the model excludes any type of safety net.

4. 2. The model

At the end of time period t the financial system a finite

as opposed to an optimization model in a long run general equilibrium framework, such as that proposed by Goodhart et al. (2006). An intraday model can simulate a treasurer's rationality with greater precision, while a general equilibrium model is more appropriate for characterising the goals of bank shareholders.

¹⁸ Even though current regulation in many countries stipulates that government bonds are included within liquid assets, it is clear that in no way do they enjoy the same degree of liquidity as cash. It is precisely the purpose of this thesis to show that these securities imply a liquidity risk to the entity, which is not the case with cash in the bank's vault.

number of banks N^t super-indexed by k where $k \in 1, 2, 3, 4, \dots, N^t$.

The structure of bank k 's balance sheet at the end of period t is as follows:¹⁹

<i>Assets</i>	<i>Liabilities and net worth</i>
Loan portfolio (L_t^k)	Deposits (D_t^k)
Required reserves (βD_t^k)	Net worth (E_t^k)
Investment portfolio in negociable asset ($p_t A_t^k$)	
Cash (M_t^k)	

It should be noted that the investment portfolio in the negociable asset is composed of a given quantity of securities A_t^k valued at the unit market price for the asset, p_t . As in Cifuentes, Ferrucci and Shin (2005), since this portfolio is the only balance sheet item valued at market prices it is implicitly assumed there is no market in which the volume of deposits or the loan portfolio is traded.²⁰

Applying the basic balance sheet identity for banks (i.e. assets are equal to the sum of liabilities and net worth), the following holds true at the end of period t :

$$(1) \quad M_t^k + L_t^k + p_t A_t^k + \beta D_t^k = D_t^k + E_t^k .$$

And therefore, at the end of period $t-1$ the following must also hold:

$$(2) \quad M_{t-1}^k = D_{t-1}^k(1 - \beta) + E_{t-1}^k - L_{t-1}^k - p_{t-1} A_{t-1}^k .$$

Equation (2) expresses the amount of cash provided for the beginning of period t by the treasurer at the end of period $t-1$.

4. 2. 1. *Funding risk*

At the outset of period t , with an amount of cash equal to M_{t-1}^k , the treasurer at bank k faces two flows which give rise to

¹⁹ β is the reserve requirement coefficient, such that $\beta \in (0, 1)$.

²⁰ In developed financial markets there are various derivative instruments by which it is possible to buy or sell a portion of a bank's portfolio. Since these instruments are virtually non-existent in emerging markets, the assumption that there is no such market does no injustice to reality.

funding risk. In the first place, the treasurer faces deposit volatility. The model assumes that aggregate deposits (exogenous) in the economy are distributed among banks, which in practice may be associated with the fact that both depositors and banks find themselves dispersed with different geographical regions, and the former deposit their money in the bank of their region (see Estrada, 2001). Since depositors migrate within each period, each bank's deposits are subject to continuous change.

In order to understand the distribution of aggregate deposits, and therefore the evolution of individual deposits in this model, it is useful to think in terms of two polar cases. First, if we assume there is no migration within periods, aggregate deposits will be distributed equitably among banks.²¹ In such a case, individual deposits for period t will not be volatile and may be expressed as:

$$(3) \quad D_t^k = \frac{D_{t-1}}{N_{t-1}},$$

where D_{t-1} represents aggregate deposits at the close of $t-1$ and therefore at the beginning of t . If, on the other hand, all depositors migrate stochastically, then the distribution of aggregate deposits shall vary from period to period and deposits will be very volatile. In this case, individual deposits for period t shall be:

$$(4) \quad D_t^k = \varepsilon_t^k D_{t-1},$$

where ε_t^k is the percentage of aggregate deposits that reaches bank k as a result of migration. This percentage ε_t^k has a uniform distribution and meets the condition $\sum_k^N \varepsilon_t^k = 1$. In practice, it is clear that only a certain percentage of depositors migrate, while others do not. In view of the above, deposits for period t at bank k are given by a linear combination of the polar cases presented under (3) and (4):

$$(5) \quad D_t^k = \sigma_d \varepsilon_t^k D_{t-1} + (1 - \sigma_d) \frac{D_{t-1}}{N_{t-1}},$$

²¹ This would be the case with banks of equal size. When banks differ in size, as will be seen below, the distribution will be different.

where $\sigma_d \in (0,1)$ represents the linear combination and can be thought of as the percentage of total population that migrates (and therefore changes banks).²²

The second flow faced by the treasurer at the outset of period t comprises income and expenditure from the income statement. From the income viewpoint, in order to simplify the analysis the model assumes that neither the investment portfolio in the negotiable asset nor required reserves generate any income for the bank.²³ The model assumes that the negotiable asset has no maturity, and that the entire investment portfolio forms part of the treasury book and is not held until maturity. Thus, the only productive part of the asset sheet is the loan portfolio. The model assumes that both the interest and principal on this portfolio is paid back two periods after disbursement by the bank. Consequently, the bank's income in period t is:

$$(6) \quad (1 + \rho_t)^2 w_{t-2}^k,$$

where ρ_t is the effective interest rate charged per period by the bank for the disbursements made two periods back, w_{t-2}^k . Since the deposit rate is also exogenous, bank outflows on account of interest payments are:

$$(7) \quad r_d D_{t-1}^k.$$

It is important to note that equations (6) and (7) suggest a gap between income and expenditure, since while the portfolio

²² As mentioned above, this model excludes the possibility of Gorton (1988)-type runs: depositors withdraw funds from one bank and deposit them in another as a result of geographical migration and not as a rational response to new information on the financial situation of the bank (since information on the risk position of bank k has not been made public). In addition, in the aggregate depositors do not withdraw funds from the system. As shall be seen, the evolution of aggregate deposits will depend only on the liquidation cost of failed banks.

²³ Information on entities' income statements as from June 2006 shows that the loan portfolio accounted for about 60% of total financial income of the system, while the investment portfolio generated only 12% of income (see Banco de la República, 2006b). This information is compatible with the assumption that, in comparison to the portfolio, negotiable assets do not generate income, and is similar to the assumption that the negotiable asset is a perpetual government bond stripped of coupons.

is paid with a two-period lag the interest on deposits must be paid each period. It is due to the existence of this gap that the flows in the income statement contribute to the appearance of funding risk.^{24, 25}

Given the redistribution of funds among banks by depositors and the materialization of the income statement, the treasurer observes how the quantity of cash varies within each period. In short, the intra-period quantity of cash is given by:

$$(8) \quad \widehat{M}_t^k = M_{t-1}^k + (D_t^k - D_{t-1}^k)(1 - \beta) + (1 + \rho_l)^2 w_{t-2}^k - r_t D_{t-1}^k.$$

In other words, intra-period cash is initial period cash plus the increase in deposits (net of reserve requirements) and the profits in period t . Substituting M_{t-1}^k from equation (2):

$$(9) \quad \widehat{M}_t^k + \beta D_t^k = D_t^k + E_t^k - (p_{t-1} A_{t-1}^k) - L_{t-1}^k + (1 + \rho_l)^2 w_{t-2}^k - r_d D_{t-1}^k.$$

The left-hand-side of this equation (comprising the sum of intra-period cash and required reserves) represents the liquid funds available to the bank to comply with obligations due to depositors, which consist only of interest payments on deposits. If liquid funds are negative ($\widehat{M}_t^k + \beta D_t^k < 0$):

$$(10) \quad D_t^k + E_{t-1}^k - (p_{t-1} A_{t-1}^k) - L_{t-1}^k + (1 + \rho_l)^2 L_{t-2}^k < r_d D_{t-1}^k,$$

implying that the bank is not in a position to honor its obligations to depositors due to a lack of liquid funds.²⁶ Therefore in a situation where liquid funds are negative, the latent funding risk for the treasurer takes the form of a liquidity shortage. If on the contrary liquid funds are positive ($\widehat{M}_t^k + \beta D_t^k > 0$), the bank experiences excess liquidity.

²⁴ In this sense the model captures the essence of banking stressed by Diamond and Dybvig (1983): the transformation of short term liabilities into long term assets.

²⁵ Given that investment in the negotiable asset is valued at market prices, banks should also be subject to profits (or losses) due to the valuation of these investments. The model excludes the possibility of profits (or losses) by assuming that they are appropriated (or reimbursed) by bank shareholders.

²⁶ It should be noted that the bank's obligations are shown in terms of interest payments rather than on the principal of deposits withdrawn by migrants. However, by including the change in deposits from equation (8), equation (10) suggests that the bank's incapacity includes the effect of deposit withdrawals.

Since the model does not include an interbank loan market, banks facing liquidity shortages cannot solve their problems by borrowing from other banks. However, they do have the possibility of selling part of their investment portfolio in the negotiable asset to other banks (those with excess liquidity) in an interbank negotiable asset market. Just as in Allen and Gale (2000) the interbank loan market is subject to a trade-off, so is the interbank asset market in this model: although it may serve to solve the liquidity problem for some banks, for the system as a whole it implies the existence of liquidity risk. Before explaining how this risk arises, the interbank asset market must be described.

4. 2. 2. The negotiable asset market

Once treasurers have been able to observe their liquid fund position (and therefore their capacity or incapacity to pay depositors), the banking system divides into two groups of banks: those with excess liquidity and those with a liquidity shortage. The latter may solve their problem by selling negotiable assets to the former. However, the purchase of these assets by the former is limited not only by their excess liquidity, but also by the minimum solvency requirement established by the regulator. In this model, the regulator requires that at the end of each period the ratio of shareholder capital to risk assets in the bank not fall below a given percentage e .²⁷ Accordingly, the following must hold at the end of each period t :

$$(11) \quad \frac{E_t^k}{L_t^k + p_t A_t^k} \geq \bar{e},$$

where \bar{e} is the minimum solvency ratio required by the regulator.²⁸ If bank shareholders do not inject capital (as is usually the case in the short run), shareholder capital remains constant

²⁷ Risk assets are those which generate funding risk (loan portfolio) and liquidity risk (negotiable assets). Since there is no market risk or credit risk in the model, these are the only assets that generate capital requirements.

²⁸ This type of solvency ratio is based on the recommendations of the Basel Bank Supervisory Committee (see Bank for International Settlements, 2004) and by Cifuentes et al. (2005). Equation (11) implicitly assumes that both the loan portfolio and the negotiable asset are assigned the same risk weighting. In the framework of Basel I, $\bar{e} = 8\%$.

and thus $E_t^k = E^k$. In the light of the solvency ratio, banks may now be classified in four rather than two groups.²⁹ It is easier to describe the asset market by analyzing each of these groups separately.

■ Insolvent banks facing liquidity shortages. This group of banks compounds its funding problem with an intra-period violation of its solvency ratio:

$$(12) \quad \frac{E^k}{L_{t-1}^k + p_{t-1}A_{t-1}^k} < \bar{e}, \quad \widehat{M}_t^k + \beta D_t^k < 0.$$

It should be noted that the solvency ratio is only intra-period when it is calculated with assets at $t-1$. Since regulation requires that the solvency ratio hold at the end of the period, the treasurer must act in order to overcome the problem. In this case both problems lead the entity to sell negotiable assets (to reduce A_{t-1}^k). The amount that bank k needs to sell in this situation, s_{lf}^k , is that which solves both problems simultaneously. The amount which merely resolves the liquidity problem (s_{lf}^k) is equal to the liquidity shortage:

$$(13) \quad s_{lf}^k = -\frac{\widehat{M}_t^k + \beta D_t^k}{p_{t-1}}.$$

Note that the amount is calculated employing the market price of the negotiable asset at time $t-1$, i.e. before the market opens. Next, the amount that solves only the solvency problem (s_{ls}^k) is that which returns the solvency ratio to its minimum requirement.³⁰

$$(14) \quad \frac{E^k}{L_{t-1}^k + p_{t-1}(A_{t-1}^k - s_{ls}^k)} = \bar{e} \Rightarrow s_{ls}^k = \frac{L_{t-1}^k \bar{e} + p_{t-1} A_{t-1}^k \bar{e} - E^k}{p_{t-1} \bar{e}}.$$

Consequently, under this situation the amount of negotiable assets to be sold by bank k [where k satisfies (12)] is:

²⁹ It is important to clarify that deposit and profit & loss flows take place simultaneously, so that at any given time the treasurer is aware both of the liquidity position and the solvency ratio. Therefore the treasurer can assess which of the four groups the bank fall into by simultaneously evaluating the liquidity position and the solvency ratio.

³⁰ See Cifuentes et al. (2005).

$$(15) \quad s_t^k = \max[s_{is}^k, s_{if}^k].$$

- Solvent banks facing liquidity shortages.

$$(16) \quad \frac{E^k}{L_{t-1}^k + p_{t-1}A_{t-1}^k} \geq \bar{e}, \widehat{M}_t^k + \beta D_t^k < 0.$$

In this situation, even though the bank is solvent, it must sell liquid assets in order to overcome the liquidity problem in an amount equal to the liquidity shortfall:

$$(17) \quad s_t^k = s_{if}^k = -\frac{\widehat{M}_t^k + \beta D_t^k}{p_{t-1}},$$

$\forall k$ satisfying (4.16).

- Insolvent banks with excess liquidity:

$$(18) \quad \frac{E^k}{L_{t-1}^k + p_{t-1}A_{t-1}^k} < \bar{e}, \widehat{M}_t^k + \beta D_t^k > 0.$$

Although in this situation bank k has excess liquidity, and therefore excess cash, it cannot employ it directly to improve its solvency ratio (since cash faces no liquidity risk and does not form part of the ratio's denominator). It can only solve its problem via the sale of negotiable assets. In this case, the amount bank k must sell to satisfy (18) is that which returns the solvency ratio to the regulatory minimum:

$$(19) \quad s_t^k = s_{is}^k = \frac{L_{t-1}^k \bar{e} + p_{t-1}A_{t-1}^k \bar{e} - E^k}{p_{t-1} \bar{e}}.$$

- Solvent banks with excess liquidity.

The three previous situations make up the group of banks within the system that participate in the interbank negotiable asset market with the purpose of selling positions in the negotiable asset. The group of banks which purchases these assets may be described by the following situation:

$$(20) \quad \frac{E^k}{L_{t-1}^k + p_{t-1}A_{t-1}^k} \geq \bar{e}, \widehat{M}_t^k + \beta D_t^k > 0.$$

In this model, the funds which these banks apply to the

purchase of negotiable assets provide the market liquidity. Market liquidity is not, however, determined strictly by the amount of these banks' excess liquidity. Given the liquidity risk to banks implied by their positions in negotiable assets, together with the absence of credit risk, they prefer to disburse loans with their excess liquidity.³¹ In this model disbursements are constrained by an inelastic loan demand (since the aggregate demand for credit in the economy is exogenous in the short run). As with depositors, the demand for loans is distributed among different geographic regions and migrates stochastically. Thus, the loan demand faced by bank k in period t is:

$$(21) \quad o_t^k = \sigma_o v_t^k \Omega + (1 - \sigma_o) \frac{\Omega}{N_t},$$

where σ_o is the percentage of potential borrowers that migrate and Ω is the aggregate loan demand in the economy. If bank k 's excess liquidity is not enough to satisfy its demand for loans, disbursements will be limited to the excess liquidity. Furthermore, disbursements imply a deterioration of the solvency ratio since they produce an increase in the loan portfolio. Therefore the amount disbursed is also constrained by solvency. If the solvency ratio were not a constraint, the amount disbursed would be given by:

$$(22) \quad w_{if}^k = \min\{\max[0, \widehat{M}_t^k], o_t^k\}.$$

Note that excess liquidity does not include required reserves, since banks in a positive situation do not employ reserves to grant loans. If, on the other hand, liquid funds were not a constraint, disbursements would equal the amount that reduces the solvency ratio to its regulatory minimum (constrained by demand):

$$(23) \quad \frac{E^k}{(L_{t-1}^k + w_{is}^k) + p_{t-1} A_{t-1}^k} = \bar{e} \Rightarrow w_{is}^k = \min \left[\frac{E^k - L_{t-1}^k \bar{e} - p_{t-1} A_{t-1}^k \bar{e}}{\bar{e}}, o_t^k \right].$$

³¹ In other words, rather than analyzing which portfolio is more profitable the treasurer determines which represents the least risk. The absence of credit risk is an assumption justified by experience in the Colombian financial crises of 2002 and 2006.

The constraints imposed by the demand for loans, the solvency ratio and excess liquidity ultimately combine to determine that the amount disbursed by bank k to satisfy (20) would be:

$$(24) \quad w_t^k = \min[w_{ls}^k, w_{lf}^k].$$

If after disbursements bank k still has some excess liquidity and is not constrained by the solvency ratio, it can apply the excess funds to the purchase of negotiable assets in the inter-bank market. The amount this bank could potentially purchase is thus given by:

$$(25) \quad b_t^k = \min \left[\frac{\widehat{M}_t^k - w_t^k}{p_{t-1}}, \frac{E^k - L_{t-1}^k \bar{e} - p_{t-1} A_{t-1}^k \bar{e} - w_t^k \bar{e}}{\bar{e} p_{t-1}} \right].$$

The second component of the minimization in equation (25) is the maximum amount of asset purchases possible without reducing the solvency ratio below its legal minimum, given a certain amount of disbursements. Equation (25) therefore represents market liquidity for negotiable assets. In other words, market liquidity in the model is entirely determined by the demand for negotiable assets by those banks that enjoy comfortable funding and solvency positions.

One element of this market liquidity will be useful further on: if there is a large aggregate demand for credit in the economy, potential disbursements will be high and this could negatively affect market liquidity. The solvency ratio, for its part, does not bear a linear relationship to market liquidity.³²

The calculated amounts of required sales (for the first three groups of banks) and market liquidity (for the last group) represent supply and demand in the market for negotiable assets, respectively. The interaction of these supplies and demands will establish a new market price for the negotiable asset.

³² In fact, it can be shown that the first derivative of the second component of the maximization in (25) is $\frac{-E^k}{p_{t-1} \bar{e}^2}$ an expression which is non-linear in z . There is therefore an interval in which the solvency ratio exerts a positive effect on market liquidity, and another interval in which the effect is negative. Said non-linearity will be subject to detailed analysis in the model simulations.

The market for the negotiable asset in period t is depicted by a transactions matrix X_t of dimensions $N_0 \times N_0$ whose elements x_{ij} correspond to negotiable asset transactions in which bank i sells to bank j .³³

Given that both the amount of required sales and market liquidity are predetermined prior to the start of trading, it is possible that the asset market may not clear to the extent that some banks may be unable realise all the sales required to resolve their liquidity or solvency problems. There is also the possibility that market liquidity may not be entirely exhausted in the purchase of assets.³⁴ In this context, the market price established in the negotiable asset market does not have a clearing function. This price is given by the following expression:

$$(26) \quad p_t = p_{t-1} e^{-\left(\sum_{j=1}^{N_t} s_t^j - \sum_{j=1}^{N_t} b_t^j\right)}.$$

As can be seen from this equation (inspired by Cifuentes et al., 2005), the excess supply in the market (sales minus potential asset purchases) exerts a negative impact on the price of the negotiable asset. All asset transactions in the X_t matrix take place at the new price p_t . The idea of a non-clearing market may in principle sound strange. However, equation (26) is

³³ These elements of the matrix X_t must satisfy the following feasibility conditions: *i*) $x_{ij} \leq \min[s_t^i, b_t^j] \forall i, j \in [1, \dots, N_0]$, which means that each transaction must conform to the lower of the amounts individually offered or demanded, $\sum_{j=1}^{N_t} x_{ij} \leq s_t^i$; *ii*) which means that initial total sales may be lower than those required (more about this later); and *iii*) $\sum_{j=1}^{N_t} x_{ij} \leq A_{t-1}^i$, which means that the total sales by any given bank may not exceed its negotiable asset portfolio (banks may not sell the negotiable asset short). The following is an example of the X_t matrix with five banks:

		Buyers				
		<i>Bank</i> ₁	<i>Bank</i> ₂	<i>Bank</i> ₃	<i>Bank</i> ₄	<i>Bank</i> ₅
Sellers	<i>Bank</i> ₁	0	0	0	0	0
	<i>Bank</i> ₂	100	0	100	0	0
	<i>Bank</i> ₃	0	0	0	0	0
	<i>Bank</i> ₄	100	0	0	0	100
	<i>Bank</i> ₅	0	0	0	0	0

In this matrix banks 2 and 4 sell a total amount of 400 assets to banks 1, 3 and 5, who do not make any sales.

³⁴ See item (ii) in footnote 33.

designed to model the imperfections of the negotiable asset market explicitly. The figures in the B panels in section 2 show that there are issues of public debt securities for which there is no market on certain days in the year. This non-existence of a market in time may be depicted by a price mechanism that does not clear the market, such that a bank may eventually find itself in a situation where the market is closed for its sales.

As mentioned above, demand for negotiable assets is inversely related to the aggregate loan demand in the economy. Therefore a rise in the latter implies greater excess supply, and consequently a decline in the market price. Similarly, since demand is lower the size of the market declines (i.e. the summation of all elements in X_t is lower). This model therefore captures the direct relationship between market size and price suggested in section 3. Thus the mechanics presented in the model are useful in explaining those experiences.

Finally, following the transactions in X_t every bank k 's negotiable asset portfolio at the end of period t is given by its initial portfolio plus net purchases:³⁵

$$(27) \quad A_t^k = A_{t-1}^k + \sum_{i=1}^{N_0} x_{ik} - \sum_{j=1}^{N_0} x_{kj}.$$

4. 2. 3. Liquidity risk and the liquidity spiral

In the context of this model liquidity risk arises naturally from the process by which entities resolve their funding and/or solvency problem. Once funding risk has materialised in a liquidity shortfall situation, the entity seeks to resolve this problem in the market. However, its capacity to resolve the situation is limited to the degree that market liquidity (i.e. the demand for negotiable assets) is not infinite. Liquidity risk in the sense of Muranaga and Ohsawa (1997) is present in two forms in the model: first, if market liquidity is less than the supply of assets, instead of obtaining fair value for their investments the entities must sell at a discount.³⁶

³⁵ This is a general equation for all banks. A given bank, however, clearly cannot buy and sell negotiable assets simultaneously.

³⁶ Note that this risk does not correspond to market risk, since these pri-

Second, it is possible that a bank with problems may not be able to sell its assets (the market may not clear an excess supply). In this sense, the definition of liquidity risk by Muranaga and Ohsawa (1997) is associated with market disequilibrium. The inability to liquidate a position at any price is evidently a disequilibrium outcome in the asset market. This disequilibrium dimension in the very definition of liquidity risk also accounts for the non-clearing of markets that may arise in the model.

In this latter situation, if a bank remains with a liquidity or solvency problem after the market has closed (either when market liquidity is consumed or when supply evaporates once banks complete their required sales), it then fails, gets liquidated, disappears from the system and its liquidation value is distributed among depositors. Depositors, in turn, place these funds in the remaining banks in the system. Accordingly, aggregate deposits in the economy at the close of period t (and thus the fundamental determinant of individual deposits in $t + 1$) are:

$$(28) \quad D_t = D_{t-1} + \sum_{j \in B} \{ \widehat{M}_t^j + \gamma [E_k + L_t^j + p_t A_t^j] - D_t^j \},$$

where B is the set of banks liquidated at the close of period t and $(1 - \gamma)$ is the cost of bank liquidation undertaken by the regulator. In other words, the difference between the banks' deposits and their liquidation value is subtracted from aggregate deposits. The former component is that part recovered by the banks' depositors, so that the above difference represents the loss or gain of depositors' funds in the bank liquidation.

Period t comes to a complete end when the treasurers of the non-failed banks put aside the following amount of cash for the beginning of period $t + 1$, which is given by the general balance sheet identity and is analogous to equation (2):

$$(29) \quad M_t^k = D_t^k (1 - \beta) + E_k - L_t^k - p_t A_t^k.$$

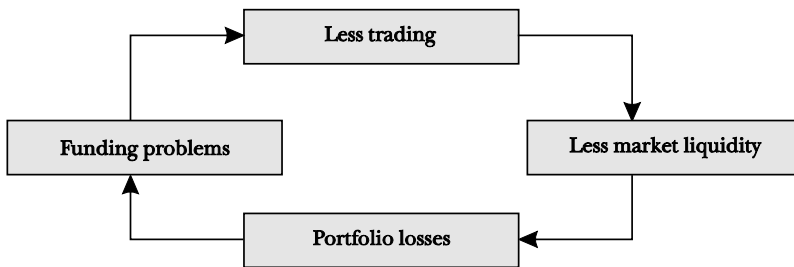
The effects of the risks are not only felt in the number of

ce fluctuations are not due to normal market operations but rather to the tight liquidity conditions in a situation where a group of banks goes to the market in order to resolve their funding problems.

bank failures at the close of each period, but also have a dynamic dimension: note that in equation (29) the investment portfolio of negotiable assets is valued at the new market price, p_t , according to the above mentioned valuation rules. If an excess supply in period t generates a fall in the price of the negotiable asset, this will reduce the value of the investment portfolio for all banks in the system. Thus the system will be more vulnerable to liquidity risk in period $t + 1$, to the extent that its available portfolio for confronting funding problems is now worth less.

In this manner liquidity risk in period t exacerbates liquidity risk in period $t + 1$, and so forth, producing what Brunnermeier and Pedersen (2005) define as a liquidity spiral, which is represented graphically in figure (3).

FIGURE 3. LIQUIDITY SPIRALS



SOURCE: Brunnermeier and Pedersen (2005).

The model thus allows us to understand the way in which funding risk turns into liquidity risk, and how this interaction affects financial stability.

This model presents an alternative channel that overcomes some of the restrictions in the traditional literature and replicates the empirical evidence with greater precision.

In order to explore numerically in greater detail both the interaction of risks and the liquidity spiral, several simulation exercises for the model are presented in this section. These exercises also allow for the analysis of the effects on these phenomena of different values for the relevant parameters (comparative statics). Furthermore, they enable us to explore the distinction between solvency crises and liquidity crises (which is useful in the design of financial policy strategies) and the regulatory notion that a specific bank may be too big

to be allowed to fail by the economic authorities (too big to fail?).

4. 3. Simulations

Four groups of simulations are performed in this section.

The first set of simulations presents the basic mechanics of the model in an environment of homogenous banks, providing a framework for the next simulations. The basic simulation starts out with the assumption that in $t = 0$ banks all have balance sheets of equal size.

Subsequently, the effect of a set of relevant parameters on the basic mechanics is presented under two scenarios: the first corresponds to an initial structure of homogenous banks, as in the basic simulation case. The second scenario evaluates the robustness of the homogenous case by introducing an initial structure of heterogeneous banks.

A third set of simulations allows us to discern whether there are differences between liquidity and solvency crises in the context of this model.³⁷ This exercise is relevant to the degree that the theoretical intervention of a safety net conformed by various economic authorities to avoid financial crises depends crucially upon this distinction.

Finally, the possibility that the failure of a large bank may have systemic effects is explored, consistent with the idea that a bank may be too big to fail. In other words, the failure of a large bank may lead to the failure of a greater number of entities. This source of systemic risk can be explored via simulations of the model.

Despite the differences both in purpose and initial conditions, all the exercises share the following features: given that the model contains stochastic components, each result is the average of 1,000 model simulations. Separately, in each exercise the effect of the risks in terms of the magnitude of the liquidity spiral will be measured as the number of surviving banks in each period. Furthermore, each exercise simulates 250 time periods.³⁸ Finally, the simulations

³⁷ A certain consensus revolves around the idea that liquidity problems can arise in the absence of solvency problems, and viceversa.

³⁸ The code employed in the model simulations basically follows six

employ the underlying parameters shown in table 1.

Note that the assumption that banks' portfolios were constituted by equal disbursements in the periods prior to the start of the simulation ($w_{-1}^k = w_{-2}^k = 500$) was made in order to generate income for banks in the first simulation period ($t = 0$). Also note that the minimum solvency ratio is taken from the Colombian case (9%).³⁹

4.3.1. The basic case

Figure 4 presents the results of the simulations of the basic version of the model in terms of the number of surviving banks during each time period. From an initial composition of 10 banks in $t = 0$, the financial system progressively experiences the failure of financial entities until stabilising on average at a system with little more than five banks, implying that the liquidity spiral puts about half the initial number of banks out of business. This reduction in the size of the system is also evident from the different aggregate variables.

Each panel in figure 5 shows a given aggregate variable in the financial system. The upper left panel shows the aggregate position in liquid funds during each period. It may be seen that portfolio and deposit volatility translate into excessive initial volatility of aggregate liquid funds (and therefore in market liquidity).

steps. First, the liquid asset position of each bank in the system is calculated. Second, the required sales and potential purchases of banks are calculated, taking into account the solvency and funding restrictions (in other words the system is divided into the four groups of the previous section). Third, the code takes a bank whose sales can be realised [i.e. whose sales satisfy item (iii) in the footnote 33] and opens the asset market for trading: this bank randomly contacts another bank in the system with whom a transaction shall be agreed if the latter has any demand for negotiable assets. This transaction shall take place at the new market price (26). If potential sales have not been completely satisfied, the bank randomly contacts other banks successively until its problem has been resolved. Fourth, the code chooses another bank with potential sales and repeats step 3. Fifth, the market closes when market liquidity is exhausted (some banks fail) or alternatively when all required sales have taken place. Sixth, aggregate deposits in the economy are updated for the next period. The model simulation code was written in Ox version 3.40 (see Doornik, 2002).

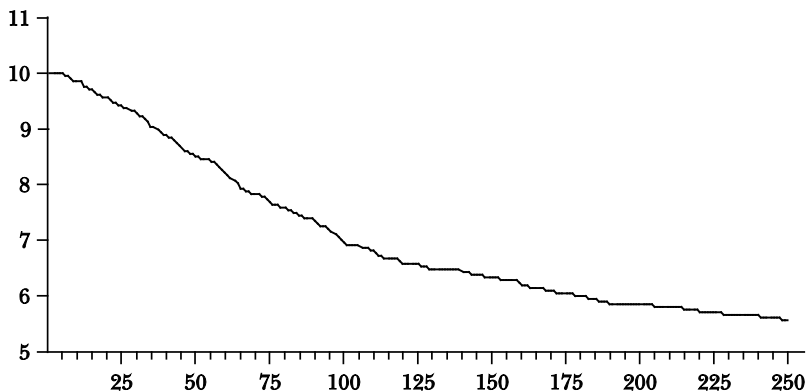
³⁹ The Basel Committee has traditionally recommended a minimum solvency ratio of 8% for G10 countries.

TABLE 1. BASIC UNDERLYING PARAMETERS

N_0	<i>10 homogeneous</i>
D_0^k	3,000
L_0^k	1,000
w_{-1}^k	500
w_{-2}^k	500
A_0^k	1,000
E^k	500
P_0	1
β	0.2
σ_d	0.5
ρ_l	0.5
r_d	0.03
\bar{e}	0.09
σ_o	0.5
Ω	17,000

This variability in market liquidity is in turn reflected in a progressive decline in the market price (upper right panel) to approximately half its initial level after about 200 periods. In this context the funding risk (volatility in the liquid funds position) is transformed into liquidity risk to the extent that is not possible to obtain a fair price in the market for negotiable assets. Both panels show that the price stabilises some time after liquid funds do, thus suggesting that the effect of funding risk persists to some degree in liquidity risk.

FIGURE 4. BASIC SIMULATION: SURVIVING BANKS



The centre left panel shows how the investment portfolio in the negotiable asset diminishes over time –in view of liquidity risk and the liquidation of failing banks– and stabilises

at the same time as the price and liquid funds. It is precisely this fall in the value of the negotiable asset portfolio which characterises the liquidity spiral. Aggregate deposits and the aggregate loan portfolio (centre right and lower left panels) likewise fall over time. In summary, these crises provoke a consolidation of the financial system in the measure that the system stabilises at a lower number of banks which are better prepared to face funding and liquidity risk, not only because of the stabilization in aggregate liquid funds but also because of the more comfortable average solvency ratio. It can be seen in the lower right panel that the average solvency ratio for the approximately five surviving banks exceeds the minimum (9%) by about four percentage points.

4.3.2. Homogenous banking system

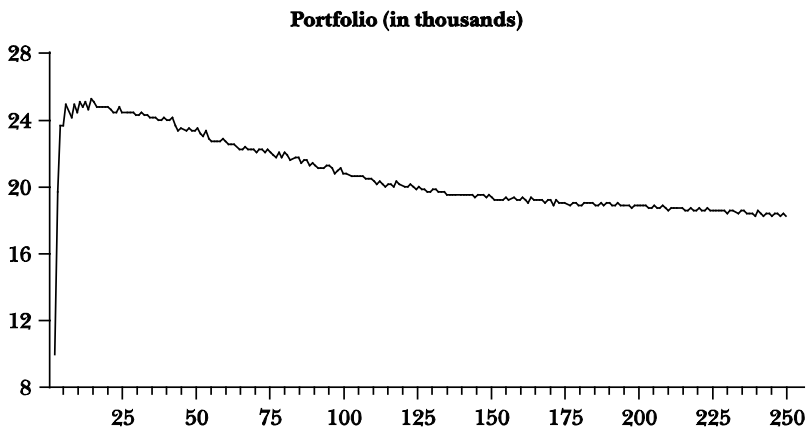
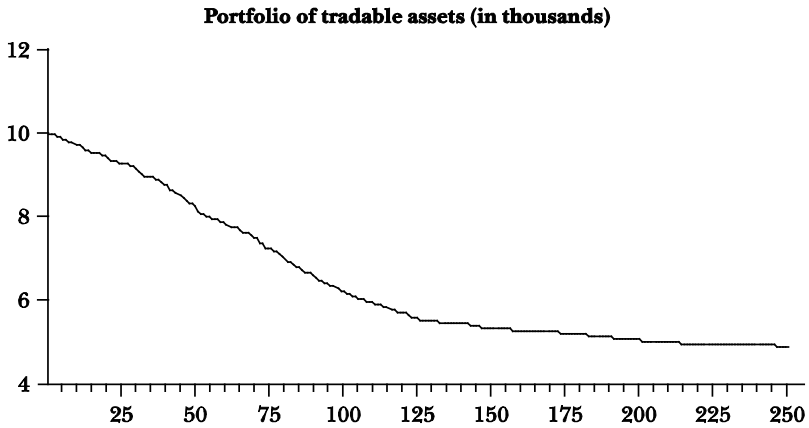
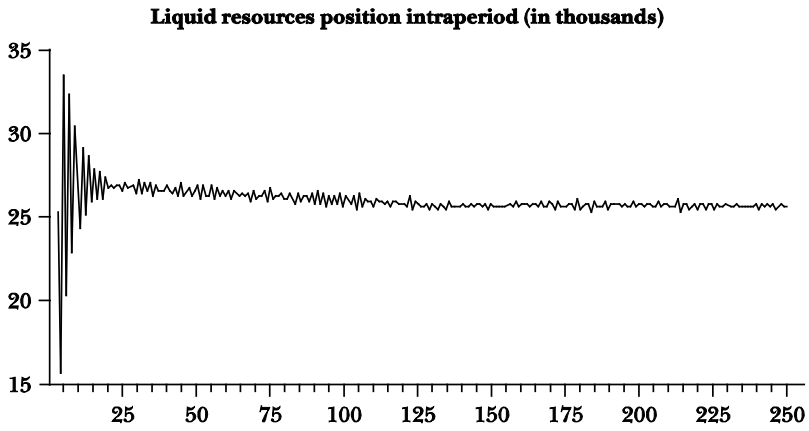
With the results obtained from the simulation of the model's basic structure in mind, it becomes necessary to evaluate the sensibility of the described phenomena to different values for the underlying parameters. Figure 6 presents the sensitivity of bank failures to different values of loan demand Ω (upper left panel), deposit volatility σ_d (upper right), shareholders' capital E^k (lower left) and minimum solvency ratio \bar{e} (lower right), for the basic case simulation of a homogenous system.

The upper left panel focuses on the initial periods of the financial crisis, furnishing proof of previous observations: by reducing market liquidity, a greater demand for credit has a negative impact on the number of surviving banks. Some levels of Ω are sufficiently low (up to $\Omega = 13,000$) so as to prevent any bank from failing.

The effect of deposit volatility –captured by σ_d – provides an intuitive result: greater deposit volatility results in intensified funding risk by the mechanisms discussed above and exacerbates liquidity risk and gives rise to a larger number of bankruptcies. If σ_d is less than 0.2, no bank fails since the funding risk is very low.

Additionally, higher shareholders' capital results in a stronger intra-period liquid funds position [see equation (9)], implying a negative relationship between capital and the number of bankruptcies.

FIGURE 5. BASIC SIMULATION: FINANCIAL AGGREGATES



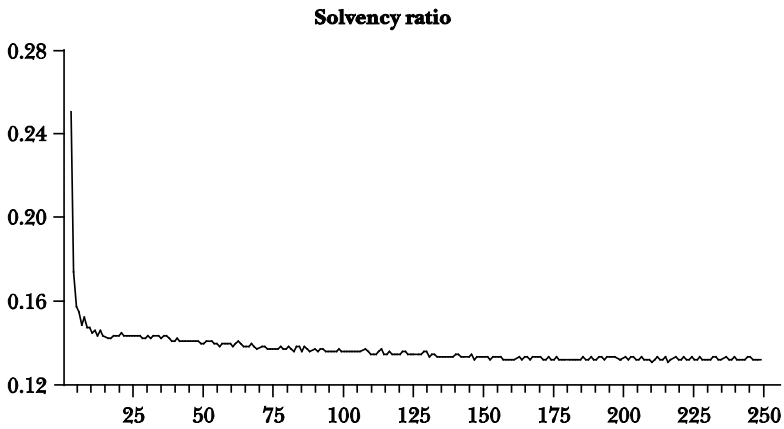
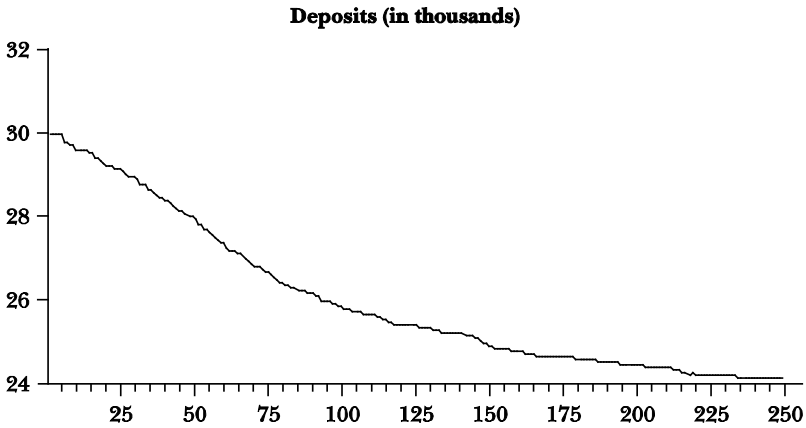
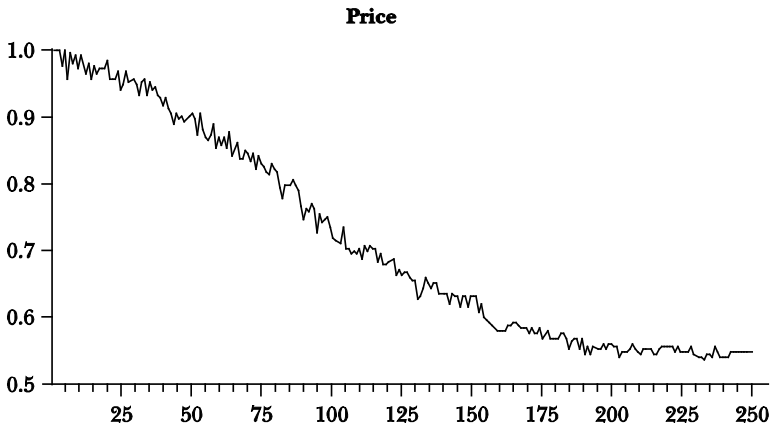
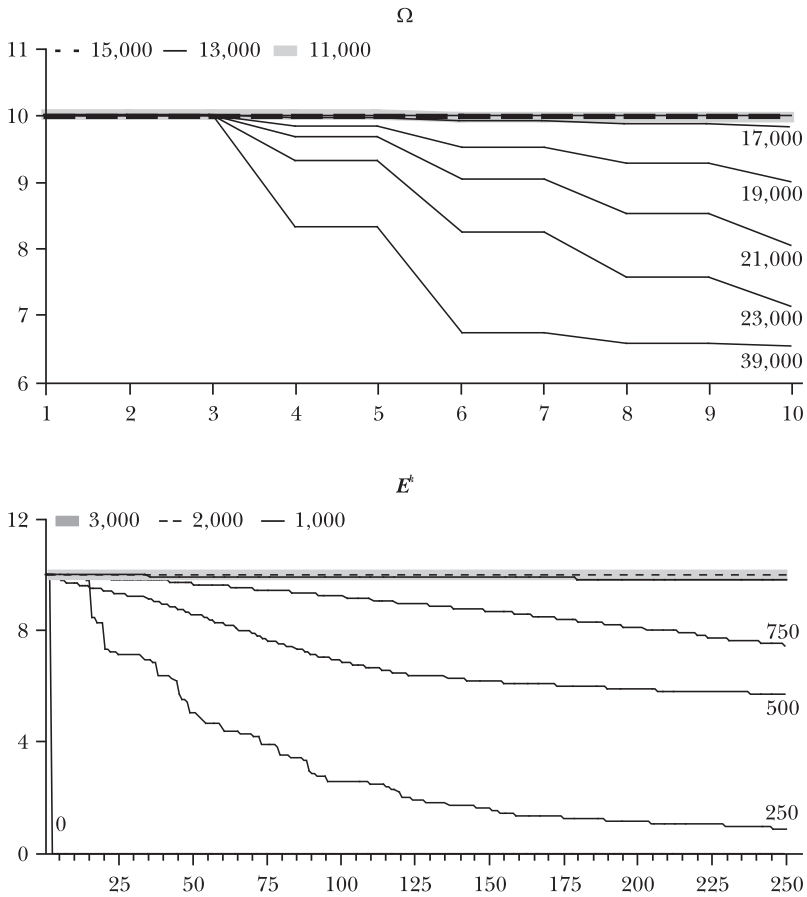


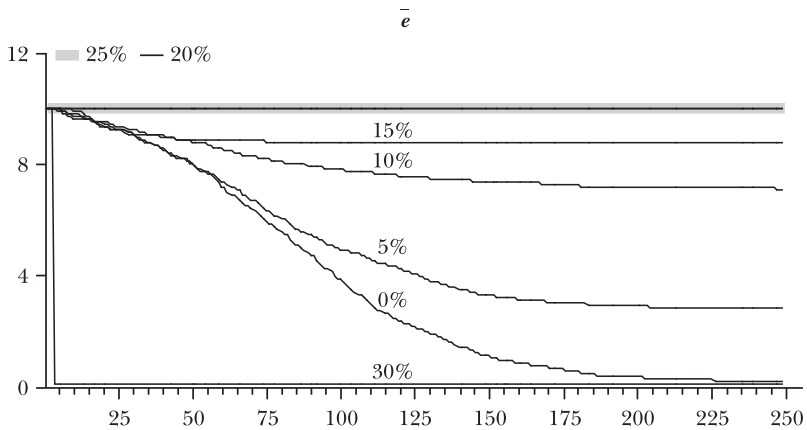
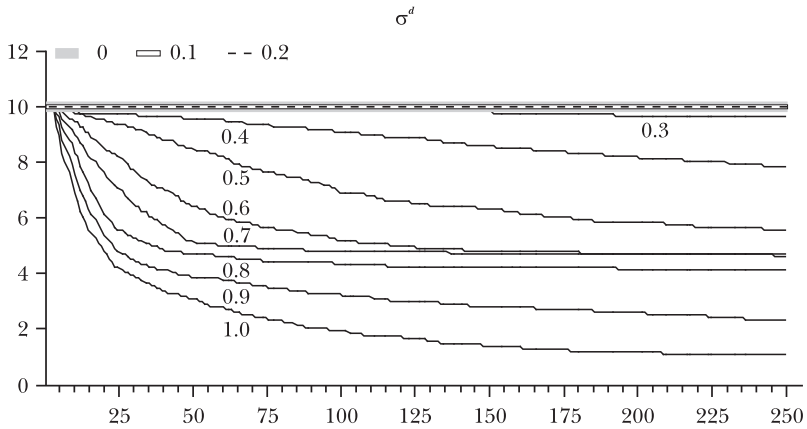
FIGURE 6. SIMULATION WITH HOMOGENEOUS BANKS



Finally, as mentioned in footnote 30, the effect of the solvency ratio on the number of bankruptcies is non-linear. According to the lower right panel in figure 6, an increase in the solvency ratio in the 0-25% range reduces the number of bank failures as it constrains risk-taking by banks in the financial system. If the solvency ratio increases too much (up to 30%), this risk-constraining effect is overcome by the sharp impact of the solvency ratio on market liquidity, causing the financial crisis to be so severe that after a few periods no bank is able to survive.

4. 3. 3. Heterogeneous banking system

The results obtained in the previous subsection could be



sensitive to the initial structure of the system (i.e. a structure of identical banks). One reason could be that in reality there are large and small banks whose bankruptcies have a dissimilar impact on the system, and who may absorb balance sheet volatility and market liquidity volatility in a different manner.

This concern leads us to perform the same exercise of the previous section under an assumption of initial heterogeneity in structure, randomly defined according to a uniform distribution.

Under an initially heterogeneous structure it would be difficult to assume (in the absence of volatility in deposits and individual loan demand) that aggregate deposits and loan demand are distributed pro rata among banks (after all, there

must be a reason for big banks staying big!). Therefore in these simulations equations (5) and (21) are modified as follows:

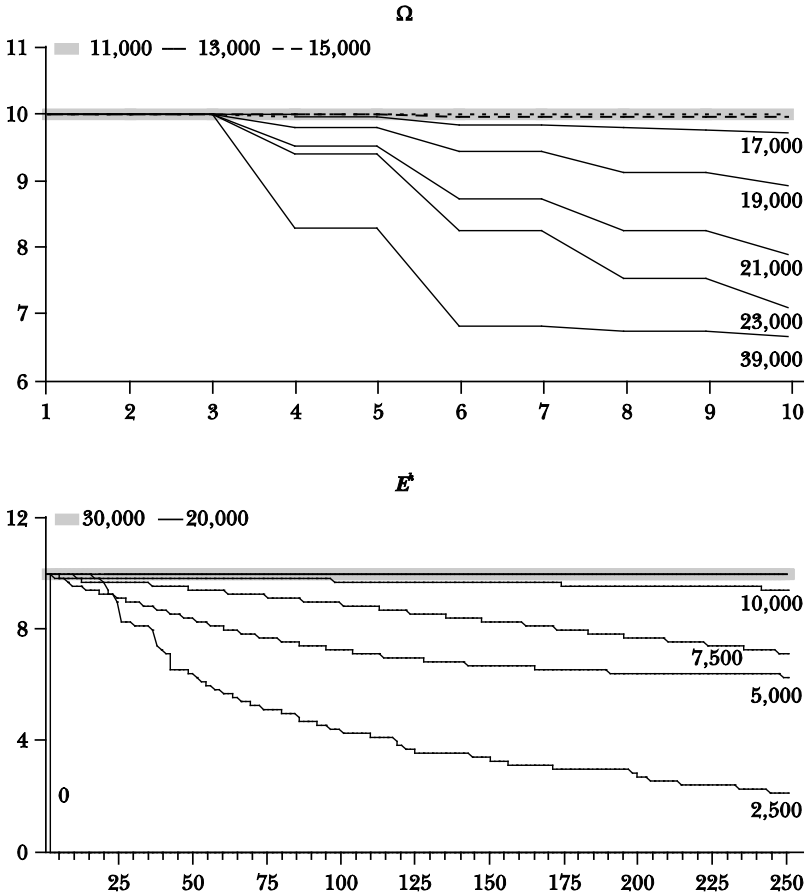
$$(30) \quad D_t^k = \sigma_d \varepsilon_t^k \theta_t^k D_{t-1} + (1 - \sigma_d) \theta_t^k \frac{D_{t-1}}{N_{t-1}},$$

and

$$(31) \quad o_t^k = (1 - \sigma_o) \psi_t^k \frac{\Omega}{N_t} + v_t^k \psi_t^k \sigma_o \Omega,$$

where θ_t^k and ψ_t^k represent the percentage of deposits and loans, respectively, in the financial system at bank k . For every one of the 1,000 simulations in each sensitivity exercise, the

FIGURE 7. SIMULATION WITH HETEROGENEOUS BANKS

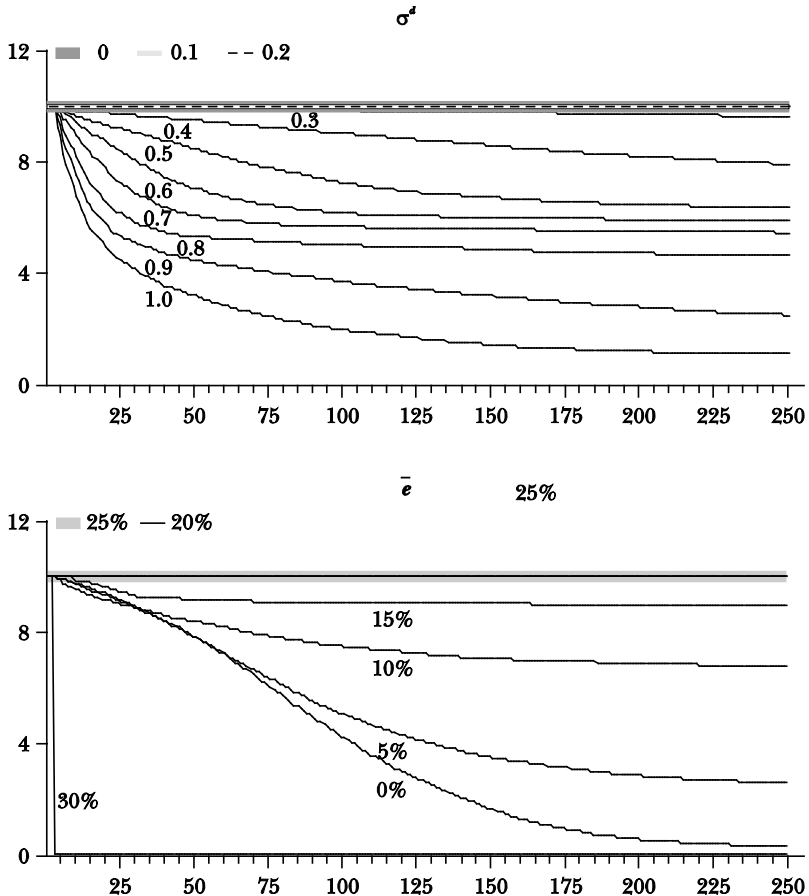


percentages θ_0^k and ψ_0^k are random for each bank k and satisfy $\sum_{k=1}^{N_0} \theta_i^k = 1, \sum_{k=1}^{N_0} \psi_i^k = 1$.

Figure 7 presents the results of these simulations for different parameters, employing these new expressions. As can be seen in each of the panels, the results are the same as those for the homogenous case, allowing us to state that the sensitivity results are robust to the initial banking structure. Due to this there is no special interest in pursuing the interpretation of sensitivities.

4. 3. 4. The distinction between solvency and liquidity problems

The model presented in the previous section assumes that the central bank does not intervene –via cash injections to the

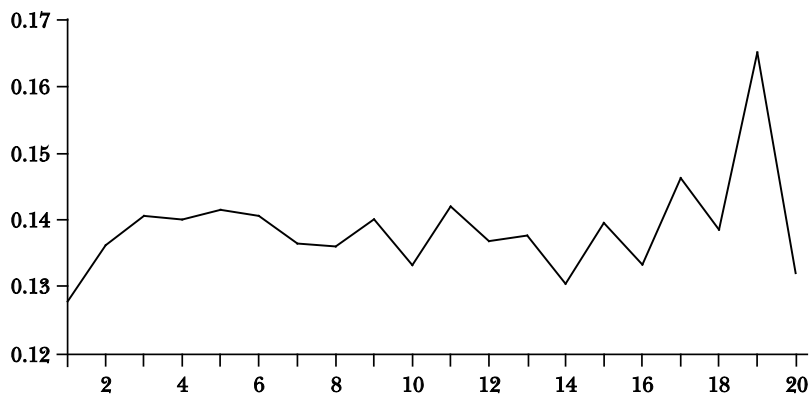


system— to avoid financial crises arising from a liquidity spiral. Through this means the central bank could guarantee sufficient market liquidity. One good reason for justifying this assumption could stem from the fact that central banks assign greater weight to inflation than to financial stability in their loss function. If this were true, a financial system bail-out could only come at the expense of greater inflation, which would be an undesired event for the central bank.⁴⁰

Nevertheless, should the central bank wish to safeguard financial stability by employing its lender of last resort function, it must assess whether the banks' problems refer to liquidity or solvency. In the first case the central bank will be justified in acting, while if the banks are facing solvency problems the central bank will not provide them with liquidity.

Given that the results are robust with respect to the initial structure, in this exercise we employ a homogenous structure (as in the basic case) to evaluate whether in the context of liquidity spirals funding problems are at the same time solvency problems. Figure 8 shows the evolution of the average solvency ratio for one of the ten initial banks (chosen at random) during the twenty periods prior to its failure.⁴¹

FIGURE 8. SOLVENCY VERSUS FUNDING



⁴⁰ For further reading on the trade-off between inflation and financial stability in the context of market risk in Colombia, see Vargas & Financial Stability Department (2006). For the international case, see Borio and Lowe (2002).

⁴¹ In this case 1,000 simulations were performed for all banks. Subsequently, one of the ten banks is chosen at random, and the solvency ratios are averaged for the last twenty periods of existence for those simulations in which that bank failed.

The chosen bank failed 429 times in the 1,000 simulations. As shown in the figure, the solvency ratio exhibited stable behavior (on average 13.5%) during 16 of the 20 periods prior to the bank's failure. For three periods prior to liquidation the ratio rises above 16% on average. Finally, one period before bankruptcy the solvency ratio falls below the average level observed various periods back. In fact, in 39 of the simulations the bank's solvency ratio fell below the regulatory minimum (9%).

If the central bank wished to rescue the distressed bank but only focused its attention on the last period, it might conclude that the bank was insolvent and therefore that the crisis was one of insolvency rather than liquidity. A more detailed analysis that considered data from previous periods would suggest that the crisis was not due to persistently low solvency but rather to a market liquidity crisis. In the latter case, intervention by the authorities would be justified by episodes during which market liquidity suddenly fell.

4. 3. 5. Too big to fail?

According to Goodhart and Huang (1999), there are theoretical reasons for justifying the rescue of a large bank in crisis with the aim of avoiding that its failure may generate a significant impact on the financial system as a whole. It is possible to evaluate the validity of this concern in the context of a liquidity spiral crisis via simulations of the above model.

In order to this one must first define a large bank in the simulation framework. Again in this case recourse is made to the robustness of results with respect to the initial structure of financial entities, for the purposes of simplifying the analysis and the simulation code. Specifically, the initial structure of the Colombian banking system at the end of September 2006 was employed.⁴² Based on this structure it is possible to arrange banks according to their size, and based on this ordering to realistically define a large bank.⁴³

⁴² The Colombian banking system comprised 14 entities, whose aggregate assets amounted to about 106.1 trillion pesos as of September 2006, according to the Colombian Bank Supervisory Agency.

⁴³ According to the volume of deposits, banks in the Colombian system can be ordered as follows: Bancolombia, Banco de Bogotá, BBVA, Davivienda,

In order to evaluate whether large bank failures have the potential of affecting the banking system as a whole, the initial structure is defined by employing data from the Colombian financial system to feed θ_0^k and ψ_0^k into equations (30) and (31). A deposit volatility of $\sigma_d^k=1$ is assigned to large banks and $\sigma_d^k=0$ to small banks. Thus deposit volatility is totally restricted to large banks. Finally, the effect that this concentration of volatility has on the system in terms of the number of bankruptcies is observed.

According to a group of authors,⁴⁴ a given bank that accesses the asset market in order to liquidate a portion of its portfolio exerts a negative effect on price, which depends on the amount of assets to be liquidated. This individual effect on price is known as market impact. If volatility is concentrated in the large banks, only they would eventually be confronted with the need to sell. By simulating the model with volatility concentrated among the large banks, it becomes possible to identify –during a given time period– the market impact of large banks.

The first exercise employs the basic parameters and concentrates deposit volatility exclusively in the largest bank in the system (Bancolombia).⁴⁵ The left panel of figure 9 presents the results of this exercise in terms of the number of failures. After 250 periods, on average only one bank (Bancolombia) fails. The foregoing suggests that in the case of this structure the large bank does not generate any systemic impact. This conclusion is reinforced if the right panel of the figure, which shows the market impact of Bancolombia, is analysed. It can be seen that during the first periods the price falls by slightly more than two percentage points; nevertheless, the price soon recovers its initial level. Therefore, the long run market impact for this bank is zero.⁴⁶

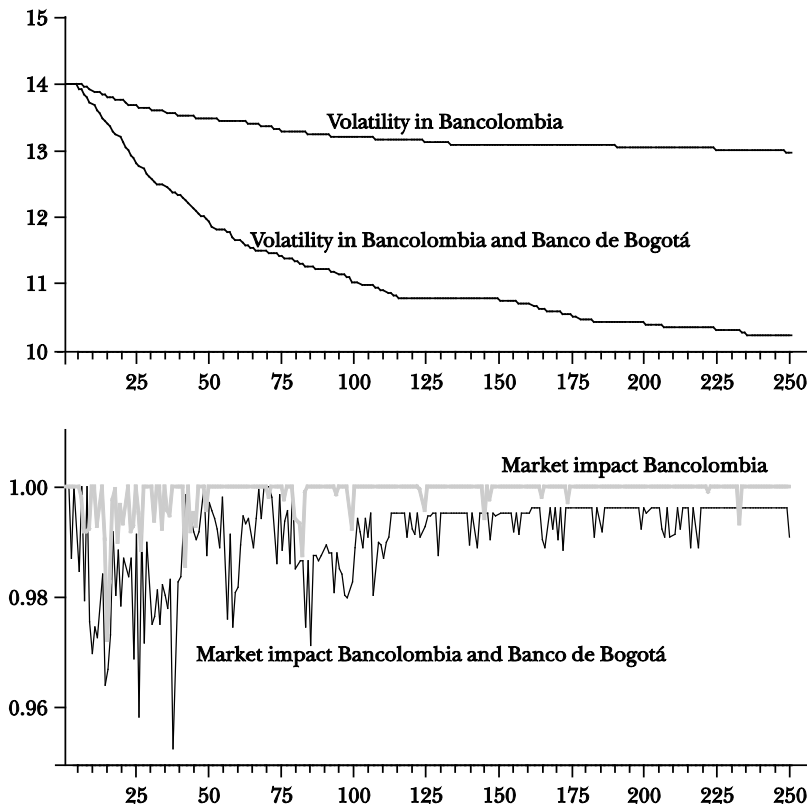
Banco de Occidente, Banco Agrario, Banco Popular, Granbanco, Citibank, Banco Santander, Banco de Crédito, Standard Chartered, Megabanco, Banistmo, ABN AMRO Bank.

⁴⁴ See, for example, Hisata and Yamai (2000).

⁴⁵ In this case the only parameter that adopts a different value is Ω (30 trillion pesos).

⁴⁶ According to Hisata and Yamai (2000), the market impact is merely transitory with no permanent effect on price. However, its transitory impact is negligible.

FIGURE 9. TOO BIG TO FAIL? MARKET IMPACT?



Finally, a second exercise concentrates volatility in the two largest banks in the system (Bancolombia and Banco de Bogotá). The left panel of the figure shows that the number of failures is close to four in this case, which means that in addition to the two largest banks, on average two other banks fail. Apart from the failure of these four banks, there is no impact on the rest of the system. The transitory impact on the market is higher than in the first case, and has a permanent effect of less than one percentage point.⁴⁷

In summary, the failure of the most (or two most) important banks in the system has no long term effect on the stability

⁴⁷ It is important to clarify that the use of this structure does not mean that the simulations indicate what could potentially occur in the case of Colombian banks, since the underlying model parameters have not been calibrated for the Colombian system.

of the financial system as a whole, although it may cause the failure of a small number of entities. This result can be interpreted in the framework of the ideas espoused by Diamond and Dybvig (1983). In their model there is only one bank which represents the entire financial system and which is subject to the entire volatility. In other words, funding risk in Diamond and Dybvig (1983) is an event that affects the entire system. In the case of the model at hand, an event of this nature corresponds to the result previously analysed when $\sigma_d^k = 1 \forall k$. Conversely, when the risk is idiosyncratic rather than systemic (i.e. characterising an individual bank for which $\sigma_d^k = 1$) in the context of liquidity spirals, the banks do not give rise to negative systemic effects and their long term market impact is close to zero.

5. Conclusions

This paper has presented the possibility that via the market for negotiable assets the funding risk faced by banks may generate liquidity risk. The interaction between these risks has the capacity to generate liquidity spirals, leading to the liquidation of banks and the loss of depositor funds. In doing this, the paper has overcome some of the restrictions encountered in traditional literature and has identified a mechanism by which certain regularities found in recent episodes of financial turbulence in Colombia may be explained.

It is important to stress some of the policy implications suggested by the phenomena analysed herein. In the first place, there is a wide margin for intervention by the economic and regulatory authorities in order to resolve these events, by providing what is referred to as a safety net. According to these findings, if a sufficiently long time horizon is considered, liquidity crises are not the result of the insolvency of entities. In this context, for example, the central bank (as an element of the safety net) must inject liquid funds into the system in order to avoid a liquidity problem from resulting in the failure of financial institutions. It is for this reason that the central bank must establish mechanisms for monitoring liquidity that will provide it with the information required for intervening.

In second place, the findings allow us to infer that the regulatory authority must bear in mind the effect that the solvency ratio has on the liquidity risk faced by banks. Should this authority wish to increase capital requirements for the banks, in practice this will increase the solvency ratio. If the increase is large, market liquidity may suddenly dry up and therefore liquidity risk will rise.⁴⁸

As was seen, banks' market liquidity allows for an idiosyncratic shock to a large bank to be absorbed without major disruption. In practice, however, it is not possible to infer from

⁴⁸ This comment is made more relevant by the new regulations in the area of market and credit risk designed by the Bank Supervisory Authority in Colombia, which shall become effective in the first months of 2007.

this that the authorities should not be concerned by the failure of large banks. This is because the failure of a large bank may have systemic effects that spill over from the stylised framework represented by the model. Credit exposure to the interbank market, for example, may require intervention by the authorities should a large bank encounter difficulties.

Finally, there is an empirical limitation to this analysis which must be recognised, and which gives rise to a research agenda for the future. The empirical evidence employed as the starting point for the design of the model is merely descriptive, and not the outcome of a rigorous econometric strategy. The latter is due to the limitations of the available data: the information on individual market transactions from the SEN and MEC systems are not available to the public, making it very difficult to analyse in a rigorous context the relationship between funding and liquidity risk for individual banks. To the extent that this data is made publicly available, it would be possible to prove the results suggested by this model more reliably.

References

- Allen, F., y D. Gale (2000), "Financial contagion", *Journal of Political Economy*, vol. 108, n^o 1, February, pp. 1-33.
- Banco de la República (2006a), *Reporte de Estabilidad Financiera*, Banco de la República, March.
- Banco de la República (2006b), *Reporte de Estabilidad Financiera*, Banco de la República, September.
- Bangia, A., F. Diebold, T. Schuermann y J. Stroughair (1998), *Modeling Liquidity Risk, With Implications for Traditional Market Risk Measurement and Management*, Center for Financial Institutions, Wharton School Center for Financial Institutions, December (Working Paper, n^o 99-06).
- Bank for International Settlements (1999a), *A review of financial markets events in autumn 1998*, Committee on the Global Financial System Publications, October.
- Bank for International Settlements (1999b), *How should we design deep and liquid markets? The case of government securities*, Committee on the Global Financial System Publications, October.
- Bank for International Settlements (2002), *Risk measurement and systemic risk*, Committee on the Global Financial System Publications, October.
- Bank for International Settlements (2004), *International Convergence of Capital Measurement and Capital Standards: a Revised Framework*, Committee on the Global Financial System Publications, n^o 107, June.
- Basel Committee on Banking Supervision (2000), *Sound Practices for Managing Liquidity in Banking Organisations*, BIS BCBS Publications, February.
- Bervas, A. (2006), "Market liquidity and its incorporation into risk management", *Financial Stability Review*, Banque de France, n^o 8, May.
- Borio, C., y P. Lowe (2002), *Asset prices, financial and monetary stability: exploring the nexus*, BIS (BIS Working Paper, n^o 114).
- Boss, M., H. Elsinger, M. Summer y S. Thurner (2005), *An empirical analysis of the network structure of the austrian inter-*

- bank market*, Oesterreichische Nationalbank (Financial Stability Report, nº 7, pp. 77-87).
- Brunnermeier, M., y L. H. Pedersen (2005), *Market liquidity and funding liquidity*, texto mimeografiado, Princeton University, August.
- Calomiris, C., y J. Mason (2000), *Causes of U.S. bank distress during the depression*, NBER, September (Working Paper, nº 7919).
- Cifuentes, R., G. Ferrucci y H. Shin (2005), *Liquidity risk and contagion*, Bank of England (Working Paper Series, nº 264).
- De Bandt, O., y P. Hartmann (2000), *Systemic risk: a survey*, European Central Bank, November (Working Paper Series, nº 35)
- Diamond, D., y P. Dybvig (1983), "Bank runs, deposit insurance, and liquidity", *Journal of Political Economy*, vol. 91, nº 3, June, pp. 401-19.
- Doornik, J. A. (2002), *Object-Oriented Matrix Programming Using Ox*, 3^{ra} edición, Timberlake Consultants Press, Londres y Oxford; (www.nuff.ox.ac.uk/Users/Doornik).
- Dowd, K. (2005), *Measuring market risk*, 2nd edition, John Wiley Sons, Ltd, West Sussex.
- Dwyer, G., e I. Hasan (1994), "Bank runs in the free banking period", *Journal of Money, Credit and Banking*, vol. 26, nº 2, May, pp. 271-88.
- Estrada, D. (2001), *Reserve requirements, systemic risk and interbank market*, Doctoral thesis, Universitat Autònoma de Barcelona, International Doctoral Program in Economic Analysis.
- Estrada, D., y D. Osorio (2006), *A market risk approach to liquidity risk and financial contagion*, Banco de la República, marzo (Borradores de economía, nº 384).
- Freixas, X., B. Parigi y J. Rochet (2000), "Systemic risk, interbank relations and liquidity provision by the central bank", *Journal of Money, Credit and Banking*, vol. 32, nº 3, Part 2, August, pp. 611-38.
- Furfine, C. (1999), *Interbank exposures: quantifying the risk of contagion*, BIS, June (Working Papers, nº 70).
- Goodhart, C., y H. Huang (1999), *A model of the lender of last resort*, Financial Markets Group, London School of Economics (Discussion Paper, nº 313).
- Goodhart, C., P. Sunirand y D. Tsomocos (2006), "A time se-

- ries analysis of financial fragility in the UK banking system”, *Annals of Finance*, Springer, vol. 2, n^o 1, January, pp. 1-21.
- Gorton, G. (1988), “Banking panics and business cycles”, *Oxford Economic Papers*, vol. 40, n^o 4, pp. 751-81
- Hisata, Y., e Y. Yamai (2000), “Research Toward the Practical Application of Liquidity Risk Evaluation Methods”, *Monetary and Economic Studies*, Institute for Monetary and Economic Studies, Bank of Japan, vol. 18, n^o 2, pp. 83-127.
- Iori, G., S. Jafarey y F. Padilla (2003), *Interbank lending and systemic risk*, Society for Computational Economics (Computing in Economics and Finance 2001, n^o 6).
- Muranaga, J., y M. Ohsawa (1997), *Measurement of liquidity risk in the context of market risk calculation*, Bank of Japan, Institute for Monetary and Economic Studies.
- Plantin, G., H. Sapra y H. Shin (2005), “Marking to market, liquidity and financial stability”, *Monetary and Economic Studies*, Institute for Monetary and Economic Studies, Bank of Japan, vol. 23, n^o S-1, October, pp. 133-55.
- Rochet, J., y J. Tirole (1996), “Interbank lending and systemic risk”, *Journal of Money, Credit and Banking*, vol. 28, n^o 4, parte 2, noviembre, pp. 733-62.
- Schnabel, I., y H. Shin (2004), “Liquidity and contagion: the crisis of 1763”, *Journal of the European Economic Association*, vol. 2, n^o 6, pp. 929-68.
- Upper, C. (2000), *Measuring liquidity under stress*, BIS (BIS Papers Series, n^o 2).
- Vargas, H. y Departamento de Estabilidad Financiera (2006), *El riesgo de mercado de la deuda pública: una restricción a la política monetaria? El caso colombiano*, Banco de la República, March (Borradores de Economía, n^o 382).

Índice

	<i>Pág.</i>
Presentación	<i>vii</i>
1. Introducción	1
2. Revisión de la literatura	7
2. 1. Riesgo de fondeo	9
2. 2. Riesgo de liquidez	11
2. 3. Limitaciones	13
3. Episodios de desvalorización de las inversiones en Colombia	15
4. Un modelo microeconómico de espirales de liquidez	21
4. 1. Generalidades	23
4. 2. El modelo	25
4. 2. 1. El riesgo de fondeo	26
4. 2. 2. El mercado del activo negociable	29
4. 2. 3. El riesgo de liquidez y la espiral de liquidez	36
4. 3. Simulaciones	39
4. 3. 1. El caso básico	41
4. 3. 2. Sistema bancario homogéneo	44
4. 3. 3. Sistema bancario heterogéneo	45
4. 3. 4. La distinción entre problemas de solvencia y problemas de liquidez	49
4. 3. 5. Too big to fail?	51
5. Conclusiones	55
Referencias	59

Index

	<i>Pág.</i>
1. Introduction	71
2. Review of the literature	77
2. 1. Funding risk	79
2. 2. Liquidity risk	81
2. 3. Limitations	82
3. Episodes of investment depreciation in Colombia	85
4. A microeconomic model of liquidity spiral	92
4. 1. General issues	93
4. 2. The model	94
4. 2. 1. Funding risk	95
4. 2. 2. The negotiable asset market	99
4. 2. 3. Liquidity risk and the liquidity spiral	105
4. 3. Simulations	108
4. 3. 1. The basic case	109
4. 3. 2. Homogenous banking system	111
4. 3. 3. Heterogeneous banking system	114
4. 3. 4. The distinction between solvency and liquidity problems	117
4. 3. 5. Too big to fail?	119
5. Conclusions	123
References	127

Este libro se terminó de imprimir durante
mayo de 2011, en los talleres de Master
Copy, S. A. de C. V., avenida Coyoacán
núm. 1450, México, D. F., 03220.
300 ejemplares.

CENTRO DE ESTUDIOS MONETARIOS LATINOAMERICANOS
Asociación Regional de Bancos Centrales

www.cemla.org

Estudios

ISBN: 978-607-7734-01-7



9 786077 734017