



REPORTE DE ESTABILIDAD FINANCIERA

Septiembre de 2012

Requerimientos macroprudenciales
de capital y riesgo sistémico:
Una aplicación para Colombia

Wilmar Cabrera Rodríguez
Adriana Corredor-Waldron
Carlos Andrés Quicazan Moreno

Requerimientos Macroprudenciales de capital y riesgo sistémico: Una aplicación para Colombia*

WILMAR CABRERA RODRÍGUEZ*

ADRIANA CORREDOR-WALDRON**

CARLOS ANDRÉS QUICAZAN MORENO***

Resumen

El objetivo de este documento es calcular los requerimientos de capital macroprudenciales para un conjunto de bancos colombianos, de forma que el capital que se exija a cada entidad dependa, no solo de la estructura de sus activos sino también del daño potencial que puede causar a otros bancos. Para realizar esta estimación se siguió la metodología de Gauthier et al. (2011) la cual reasigna el capital total del sistema entre los diferentes intermediarios de acuerdo a la contribución en riesgo al resto de entidades. El *VaR* incremental se utilizó como medida de asignación de riesgo. Los resultados sugieren que actualmente existen bancos subcapitalizados desde el punto de vista macroprudencial y se observa que en promedio su nivel de endeudamiento es superior al nivel promedio de los bancos analizados. No obstante, los bancos subcapitalizados tienen mejores indicadores de riesgo.

Clasificación JEL: *G21, C15, C81, E44*

Palabras clave: Riesgo Sistémico, Estabilidad Financiera, Regulación Bancaria, Mercado Interbancario.

*Agradecemos a Dairo Estrada, Orlando Chipatecua, Carlos León, Esteban Gómez y a los demás integrantes del Departamento de Estabilidad Financiera del Banco de la República por sus comentarios y recomendaciones a lo largo de la elaboración de este trabajo. Las opiniones contenidas en este documento son exclusivas de los autores y no comprometen al Banco de la República ni a su Junta directiva. Los autores son responsables de los errores que persistan.

*Profesional, Departamento de Estabilidad Financiera. E-mail: wcabrero@banrep.gov.co

**Profesional especializado, Departamento de Estabilidad Financiera. E-mail: acorrewa@banrep.gov.co

***Profesional, Departamento de Estabilidad Financiera. E-mail: cquicamo@banrep.gov.co

1. Introducción

La reciente crisis financiera demostró que para salvaguardar la estabilidad del sistema financiero se necesita una regulación que vaya más allá de asegurar la solidez individual de los intermediarios. Es así como surgen las políticas macroprudenciales, las cuales promueven el bienestar del sistema como un todo, reconociendo que los factores de riesgo pueden conformarse dentro del sistema y no necesariamente de forma exógena. En especial, se ha estudiado la interconexión entre los intermediarios que es inherente a la existencia de cualquier sistema financiero. Esta interconexión puede producir fallas de mercado que hacen que los choques se amplifiquen y propaguen a través de las entidades. El presente documento busca calcular los requerimientos de capital macroprudenciales para un conjunto de bancos colombianos teniendo en cuenta esta interconexión, de forma que el capital que se le exija a cada entidad dependa, no solo de la estructura de sus activos sino también del daño potencial que puede causar a otros bancos.

La literatura (Borio & Lowe (2002), Adrian & Shin (2008), Nicolo et al. (2012)) clasifica y define estas fallas de mercado como: i) externalidades relacionadas con estrategias complementarias, que llevan a que los intermediarios tomen *ex-ante* riesgos excesivos y correlacionados; ii) externalidades pecuniarias relacionadas con la excesiva liquidación de activos, que produce una caída en el precio de estos; iii) externalidades relacionadas con el contagio causado por la existencia de entidades sistémicas o de redes financieras. Por otra parte, Borio & Lowe (2002) distinguen dos dimensiones sobre las cuales se basa la regulación macroprudencial para medir el riesgo sistémico. La primera mide la contribución que hace cada institución al riesgo del sistema (*cross-sectional dimension*) y la segunda estudia la evolución del riesgo sistémico a través del tiempo (*time dimension*). Dentro de la primera dimensión se utilizan indicadores del balance financiero y de interconexión de las entidades; mientras que en la segunda se monitorean un grupo de indicadores macro como la razón de crédito a PIB, los agregados monetarios y precios de activos reales entre otros.

Bajo este marco de referencia, el presente documento determina los requerimientos de capital macroprudenciales, teniendo en cuenta sólo las externalidades pecuniarias y las relacionadas con el contagio. La metodología utilizada corresponde a la propuesta por Gauthier et al. (2011), que se podría clasificar como un método de *cross-sectional dimension*. Esta metodología toma dado el capital total del sistema y lo reasigna entre los diferentes intermediarios, de forma que el capital que se le exija a cada entidad sea función de sus activos y del daño potencial que pueda causarle a otros bancos. Debido a que la reasignación del capital cambia a su vez las probabilidades de incumplimiento de los bancos, la correlación en el incumplimiento, y por tanto el riesgo del sistema y la contribución en riesgo de cada uno de sus miembros, Gauthier et al. (2011) proponen emplear un proceso iterativo que lleva a la obtención de un punto fijo. En este punto fijo el capital de cada banco es igual a su contribución al riesgo total del sistema financiero.

Para modelar las externalidades relacionadas con la liquidación de activos (pecuniarias), al igual que en Gauthier et al. (2011), en este documento se utiliza la metodología de Cifuentes et al. (2005), la cual supone que los bancos pueden salir a vender activos ilíquidos para cumplir con el requerimiento de capital legal. Al existir una demanda menos que perfectamente elástica por estos, en el corto plazo la venta producirá una caída en el precio de mercado. Dado que las instituciones financieras ajustan el valor de sus activos ilíquidos al nuevo precio de mercado (*mark-to-market*), esta caída puede hacer que otras entidades incumplan su relación de solvencia y por tanto se vean obligadas a salir a vender sus activos. Lo anterior producirá una espiral de precios a la baja (*Asset fire sale (AFS)*). Para el caso colombiano, Estrada & Osorio (2006) modelaron este fenómeno siendo su principal resultado que el efecto del *AFS* depende de la profundidad del mercado financiero donde se transen los activos líquidos. Para el presente estudio, se tomaron las inversiones negociables y disponibles a la venta -activos líquidos- como los activos que se ajustan a precios de mercado, y dado que la mayoría corresponden a títulos del Gobierno (55 % a junio de 2012) que no ponderan dentro de los activos con riesgo, se estableció un canal diferente al de Gauthier et al. (2011). Con el nuevo canal la venta de activos líquidos favorece (en un primer momento) el cumplimiento de la relación de solvencia a través de su menor exposición al riesgo de mercado.

En cuanto a las externalidades relacionadas con el contagio por redes financieras, se siguió la metodología de Eisenberg & Noe (2001) para modelar las exposiciones en el mercado interbancario, de esta forma si un banco incumple con sus pagos en el interbancario esto podrá generar una reacción de impagos que puede amenazar la estabilidad de todo el sistema. Una de las mejoras que se hizo respecto al ejercicio de Gauthier et al. (2011), es que se logró estimar la matriz de exposición real, es decir, se conoce la cantidad que cada banco a prestado a otros bancos y la cantidad que le han prestado el resto de bancos. Esta información permite solucionar el problema de subestimación del riesgo de contagio, que resulta al estimar la matriz suponiendo que los bancos diversifican sus fuentes de financiación (algoritmo de maximización de la entropía propuesto por Blien (1997)).

En Colombia actualmente la regulación está enfocada en asegurar la solvencia a nivel individual y del conglomerado. Recientemente el Ministerio de Hacienda y Crédito Público expidió el Decreto 1771 de 2012 con el objetivo de fortalecer el capital de los intermediarios de crédito y alinear la regulación con los nuevos estándares fijados por Basilea III. A pesar de los avances realizados a este respecto, la regulación colombiana continúa siendo principalmente microprudencial. Este documento se enfoca en los requerimientos macroprudenciales que se le deberían exigir a los bancos, en caso que se quiera que estos internalicen el costo de las externalidades que producen al sistema. Capera et al. (2011) identifican instituciones financieras importantes y el costo agregado de la opción implícita de rescate de parte del Gobierno colombiano. A pesar de que estos autores calculan la contribución de cada banco al riesgo agregado del sistema, esto no es trasladado a los requerimientos de capital. Adicionalmente, la metodología utilizada por estos autores limita el estudio al grupo de bancos que listan en bolsa, dejando por fuera del

análisis otras instituciones que podrían ser importantes en términos de su interconexión. Sin embargo, Leon (2012) extiende el modelo de Merton a instituciones financieras que no cotizan en bolsa, utilizando la información de *spreads* en el mercado monetario, encontrando que las instituciones más apalancadas son las que cuentan con una mayor probabilidad de *default*.

Los resultados del presente documento sugieren que la mayoría de bancos analizados están subcapitalizados desde el punto de vista macroprudencial, y por tanto deberían incrementar su capital en por lo menos un 1%. El nivel de endeudamiento de estos bancos es en promedio superior al nivel promedio de los bancos analizados. No obstante, los bancos subcapitalizados tienen mejores indicadores de riesgo, siendo en promedio 1 pp inferior su indicador de calidad y de mora a los indicadores del resto de bancos. El documento se encuentra organizado en cinco secciones siendo la primera de ellas esta introducción. La segunda, describe la metodología utilizada; la tercera lista las fuentes de información de los datos, y sus principales estadísticas descriptivas; la cuarta presenta los resultados y finalmente en la quinta se concluye.

2. Metodología

La metodología utilizada sigue de cerca la de Gauthier et al. (2011), en donde se modelan los efectos sobre la solvencia de un choque exógeno negativo en la cartera comercial de los bancos. La estimación de la distribución de pérdidas y ganancias después del choque permite determinar si las entidades están en la capacidad de cumplir con el requerimiento legal de capital. En caso que incumplan, los bancos tendrán que vender una proporción de sus activos líquidos para rebalancear su portafolio e intentar así cumplir con la relación de solvencia exigida. Esta liquidación de activos podrá afectar el valor de mercado de los títulos, haciendo que el portafolio de todos los integrantes del sistema se desvalore y así se disminuya la solvencia del resto de entidades. Lo anterior incentivará la venta de más activos lo cual se podrá traducir en una espiral de precios a la baja (*Asset Fire Sale*) que hace que el impacto inicial del choque se amplifique. Adicionalmente, en el ejercicio se contempla la posibilidad que las entidades paguen parcialmente sus obligaciones con otras entidades financieras, por lo que el choque también podrá generar una cadena de impagos en el mercado interbancario.

Con base en las pérdidas estimadas y utilizando el *VaR* incremental como método de asignación de riesgo, se encuentra el nivel de capital que debe tener cada entidad de acuerdo a la contribución que hace al riesgo agregado del sistema. Dado que la reubicación del capital cambia a su vez las probabilidades de incumplimiento de los bancos, la correlación en el incumplimiento, y por tanto el riesgo generalizado de todo el sistema y el contribuido por cada uno de sus miembros, se procede de manera iterativa para cada nueva asignación de capital. El proceso se detiene cuando la relación de solvencia converge, es decir, cuando no cambia de una iteración a otra.

A continuación se presenta de manera detallada los pasos necesarios para realizar el ejercicio propuesto. En la subsección 2.1 se explica cómo se calcula el vector de pagos entre las entidades, en la subsección 2.2 se encuentra la cantidad de activos líquidos que se deben vender y su precio de equilibrio. En las siguientes subsecciones se calculan las pérdidas para cada entidad, se explica el método de asignación de capital y en la última se describe el algoritmo para encontrar la razón de capital óptima.

2.1. Vector de pagos

Para un conjunto de N bancos cada banco $i \in N$ tiene un portafolio de activos A_i , que se puede clasificar entre activos líquidos no expuestos a riesgo de mercado ($\lambda_{i,nrm}$), activos líquidos expuestos a riesgo de mercado ($\lambda_{i,rm}$) y activos ilíquidos (e). Los bancos se fondean a través de los depósitos (D_i) y poseen obligaciones con otras entidades financieras. Estas obligaciones se denotan como $x_{i,j}$, que es el valor de lo que le debe el banco i al banco j . Dado lo anterior, se calcula el valor del banco i después del choque exógeno $\epsilon_{i,z}$ (con $z = 1, \dots, Z$ donde Z es el número de choques simulados) como:

$$e_i + \lambda_{i,nrm} + p_{rm}\lambda_{i,rm} - \epsilon_{i,z} + \sum_{j=1; j \neq i}^N \pi_{ji}x_j - x_i - D_i, \quad (1)$$

donde p_{rm} es el precio de los activos líquidos expuestos a riesgo de mercado y x_i es el total de obligaciones del banco i con el resto de entidades ($\sum_{j=1; j \neq i}^N x_{i,j}$). Adicionalmente, se define la matriz $\Pi \in [0, 1]^{N \times N}$, siendo $\pi_{i,j}$ la proporción de la deuda total que el banco i le debe al banco j :

$$\pi_{i,j} = \begin{cases} \left[\frac{x_{i,j}}{x_i} \right] & \text{si, } x_i > 0 \\ 0 & \text{de lo contrario} \end{cases} \quad (2)$$

Por otra parte, para calcular el vector de pagos se requiere que las obligaciones entre entidades sean positivas y que los nodos no se encuentren relacionados con si mismos; es decir, que la matriz Π sea no negativa y que los elementos de su diagonal sean iguales a cero ($\forall i, j \in N, x_{ij} \geq 0$ y $\forall i \in N, x_{ii} = 0$). Adicionalmente, se supone que los pagos de un banco nunca pueden exceder sus ingresos (*limited liability*); que existe prioridad en los pagos y que de existir incumplimiento el banco pagará a las demás entidades de forma proporcional.

(a) *Limited liability*: $\forall i \in N$

$$x_i \leq e_i + \lambda_{i,nrm} + p_{rm}\lambda_{i,rm} - \epsilon_{i,z} + \sum_{j=1; j \neq i}^N \pi_{ji}x_j - D_i \quad (3)$$

(b) Prioridad de pagos: Primero se deben pagar los pasivos D_i antes que las obligaciones interbancarias (x_i).

(c) Proporcionalidad en los pagos: En el momento en que el banco no alcance a pagar sus obligaciones interbancarias completamente ($x_i > x_i^*$), los pagos serán proporcionales al valor nominal de la deuda:

$$x_{i,j}^* = \pi_{i,j} x_i^* \quad (4)$$

Los pagos en el mercado interbancario se definen mediante el vector de pagos $X_z^* = [x_{1,z}^*, \dots, x_{N,z}^*]$. Este vector contiene los pagos de cada banco, respetando los tres criterios antes mencionados. Lo anterior se traduce en la siguiente condición para $x_{i,z}^* \in X_z^*$:

$$x_{i,z}^* = \text{mín} [x_i, \text{máx} (e_i + \lambda_{i,nrm} + p_{rm} \lambda_{i,rm} - \epsilon_{i,z} + \sum_j \pi_{ji} x_j^* - D_i, 0)], \quad (5)$$

es decir, el pago $x_{i,z}^*$ al mercado interbancario se encontrará siempre entre 0 y el valor facial de las obligaciones x_i .

El proceso para estimar este vector supone que en un principio todos los bancos son capaces de cubrir su deuda en el mercado interbancario. Posteriormente, se verifica si con este vector de pagos y la pérdida por el choque, alguna entidad incumple la condición 3, y de ser así se establece que la entidad hace *default* parcial o totalmente. El nuevo vector de pagos X_z^* se construye calculando $x_{i,z}^*$ con la ecuación 5 y respetando el criterio de proporcionalidad. Lo anterior se realiza de forma iterativa hasta que el número de incumplimientos sea el mismo que el de la etapa anterior, de lo contrario se emplea nuevamente el algoritmo tomando como pagos iniciales el vector resultante del paso anterior. Dado que existen N nodos, este proceso debe terminar con un número menor o igual a N iteraciones.

2.2. Relación de solvencia, precio y venta de activos líquidos

Luego de haber calculado el vector de pagos óptimo, se comprueba que las entidades cumplan con la relación de solvencia regulatoria r^* . Para el caso colombiano, la Superintendencia Financiera exige una solvencia de 9% para los establecimientos de crédito. De esta forma, se define el requerimiento de capital teórico como:

$$\frac{e_i + \lambda_{i,nrm} + p_{rm} \lambda_{i,rm} - \epsilon_{i,z} + \sum_{j=1; j \neq i}^N \pi_{ji} x_{j,z}^* - x_{i,z}^* - D_i}{w_i e_i + p_{rm} (\lambda_{i,rm} - s_i) \frac{100}{9} VaR_{i,\tau} - \epsilon_{i,z}} \geq r^*, \quad (6)$$

donde el numerador es el patrimonio después del choque y el denominador es la suma de los activos ponderados por riesgo $w_i e_i$ y los activos líquidos netos (después de vender s_i activos líquidos) ajustados

por riesgo de mercado. Cuando las entidades se ven obligadas a vender¹ parte de sus activos líquidos, el efecto se evidencia sólo en el denominador que decrece debido a que hay una menor cantidad de activos líquidos expuestos a riesgo de mercado; mientras que el numerador permanece constante debido a que los activos líquidos que se vendieron (s_i) vuelvan a entrar en el termino pero ahora en forma de efectivo. Lo anterior hace que en un primer momento la razón de solvencia aumente², dado que p_{rm} todavía es 1.

A continuación se modela el cambio en p_{rm} calculando el precio promedio de equilibrio con una curva de demanda inversa que toma la forma propuesta por Cifuentes et al. (2005):

$$p_{rm} = e^{-\alpha(\sum_{i=1}^N s_i)}, \quad (7)$$

donde α es una constante positiva. Adicionalmente, se define $p_{min} = e^{-\alpha(\sum_{i=1}^N \lambda_{i,rm})}$ como el menor precio promedio de los activos líquidos cuando estos son vendidos en su totalidad³; mientras que el precio máximo $p_{rm} = 1$ ocurre cuando las ventas son cero. Para asegurar que el sistema no caiga en una espiral que lleve a que el patrimonio total sea cero, se imponen dos condiciones de regularidad sobre las funciones de oferta y demanda. La primera condición es:

$$o(p_{min}) < d(p_{min}), \quad (8)$$

donde, $o(.)$ hace referencia a la oferta de activos líquidos, mientras $d(.)$ denota la demanda. Esta condición implica que no se va llegar a un precio menor que p_{min} , en la espiral de precios a la baja. La segunda condición requiere que al precio máximo de los activos líquidos, $p_{rm} = 1$, ningún banco esté forzado a vender, es decir:

$$o(1) = d(1) = 0 \quad (9)$$

Por lo tanto, un precio de equilibrio p_{rm} es aquel donde:

$$o(p_{rm}) = d(p_{rm}) \quad (10)$$

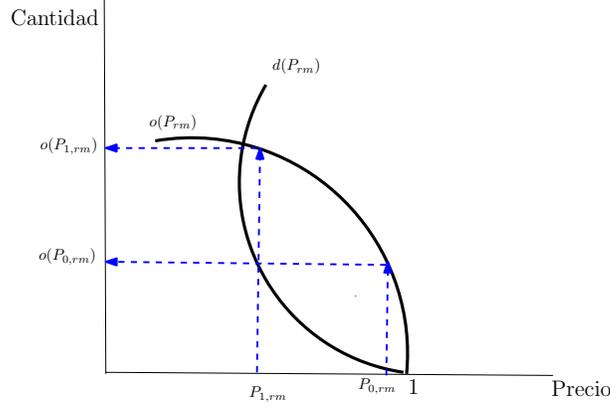
¹Se supone que el banco no puede vender en corto, es decir, $s_i \in [0, \lambda_i]$.

²En Colombia existe un programa de ajuste, en el cual los establecimiento de crédito, que prevén que van a incurrir o presentar problemas en la relación mínima de solvencia, deberán adjuntar a los estados financieros del mes correspondiente, un documento mediante el cual se someta a consideración de la Superintendencia Financiera de Colombia el programa de ajuste. Lo anterior, siempre y cuando el problema no pueda ser resuelto por medios ordinarios antes de dos (2) meses y afecte en forma significativa la capacidad operativa de la entidad. El contenido mínimo del programa de ajuste debe incluir las explicaciones sobre los motivos que originaron u originarán la situación respectiva, con un estudio de análisis financiero en el que se evalúen las principales variaciones de aquellas cuentas en donde se causen los mayores cambios por cuyo motivo se presenta el mismo. Así como un programa de ajuste, el cual permita establecer objetivos, metas y estrategias de corto plazo para ajustar la relación correspondiente.

³Se tomo $p_{min} = 0,87$, valor correspondiente al promedio de los mayores haircuts para los activos líquidos reportados por las entidades analizadas para el periodo enero-junio 2012. Con base a este valor y conociendo el total de activos líquidos del sistema se encuentra $\alpha = 5,5 \times 10^{-13}$.

El ajuste de los precios inicia con un choque que disminuye los precios de los activos líquidos. Al menor precio p_0 , las ventas forzosas de los bancos son de $o(p_{0,rm})$ en el mercado, lo cual presiona el precio a la baja ($p_{1,rm} = d^{-1}(o(p_{0,rm}))$). Lo anterior se traduce en una nueva oferta $o(p_{1,rm})$ y un nuevo precio $p_{2,rm} = d^{-1}(o(p_{1,rm}))$, y así sucesivamente. El proceso continua hasta encontrar un punto de intersección entre las curvas $o(p_{rm})$ y $d(p_{rm})$ (Gráfico 1).

GRÁFICO 1: Amplificación del choque a través de AFS



Fuente: Cifuentes et al. (2005).

Con base en el precio de equilibrio encontrado para los activos líquidos y el vector de pagos de obligaciones de las entidades, se calcula el monto mínimo de activos líquidos que debe vender cada banco, $s_{i,z}^*$, que asegura que se cumpla su relación de solvencia (6)⁴.

$$s_{i,z}^* = \min \left(\lambda_{i,rm}, \max \left(\frac{e_i - r^* w_i e_i + \lambda_{i,nrm} + (1 - r^* \frac{100}{9} VaR_{i,\tau}) p_{rm} \lambda_{i,rm} + (r^* - 1) \epsilon_{i,z} + \sum_{j=1; j \neq i}^N \pi_{ji} x_{j,z}^* - x_{i,z}^* - D_i}{-\frac{100}{9} r^* VaR_{i,\tau} p_{rm}}, 0 \right) \right) \quad (11)$$

2.3. Simulación de pérdidas y ganancias

Para calcular el requerimiento de capital macroprudencial, es necesario calcular las pérdidas $l_{i,z}$ del banco i en el escenario z , las cuales se definen como:

$$l_{i,z} = e_i + \lambda_{i,nrm} + p_{rm} \lambda_{i,rm} - \epsilon_{i,z} + \sum_{j=1; j \neq i}^N \pi_{ji} x_{j,rm}^* - D_i - x_{i,rm}^* - v_i^0, \quad (12)$$

donde:

$$v_i^0 = A_i + \sum_{j=1; j \neq i}^N \pi_{ji} x_j - D_i - x_i, \quad (13)$$

⁴En caso que no existe un valor $s_i \in [0, \lambda_i]$ para el cual la relación de solvencia no se cumpla entonces $s_i^* = \lambda_i$.

es el valor neto en ausencia del choque macroeconómico y desvalorizaciones en sus activos ($p_{rm} = 1$). De esta manera, la pérdida se define como el valor del banco i en un escenario z (choque ϵ_z) menos el valor de este en ausencia del choque y desvalorizaciones en sus activos (v_i^0). Con base en la distribución de pérdidas y ganancias encontrada se calcula el VaR incremental que mide la contribución de cada una de las instituciones al riesgo agregado del sistema y de esta forma se asigna nuevamente el capital.

Para hacer el ajuste en el requerimiento de capital (C) de los bancos, se supone que el cambio de C_i^0 a C_i^1 se da de acuerdo a la siguiente regla de transición: $C_i^1 = (1 - \gamma)C_i^0 + \gamma C_{i,prov}^1$, donde $C_{i,prov}^1$ es el capital encontrado al usar la medida de asignación de riesgo y γ es la ponderación que se da a los niveles de capital. Así mismo, se supone que los bancos mantienen constante su portafolio de activos e implementan el nuevo requerimiento incrementando o disminuyendo sus pasivos, de forma que $D_i^1 = D_i^0 - (C_i^1 - C_i^0)$. Debido a esta reasignación de capital es posible que bajo ciertos escenarios algunos bancos incumplan con los compromisos adquiridos en el mercado interbancario.

2.4. VaR incremental

Esta medida se calcula como la diferencia entre el VaR del total de las entidades y el VaR sin incluir la entidad en análisis. Para estimar el VaR se emplea la regresión por cuantiles con efectos ARCH (Koenker & Bassett (1982) y Koenker & Zhao (1996)). Inicialmente se calculó el valor en riesgo ($VaR_{\tau,p}$) de las pérdidas de las entidades dado el choque exógeno, empleando un nivel de significancia del $\tau = 0,01\%$ y un horizonte de un día. Posteriormente se calculó el VaR tomando las pérdidas agregadas sin incluir el banco i para el mismo nivel de significancia y horizonte de análisis (VaR_{τ}^{-i})⁵, y se supone que todas las conexiones en el mercado interbancario con otros bancos se cumplieron.

De esta manera, se define el VaR incremental del banco i , $iVaR_{i,\tau}$ como:

$$iVaR_{i,\tau} = VaR_{p,\tau} - VaR_{\tau}^{-i} \quad (14)$$

Por lo tanto, el VaR incremental se puede interpretar como el incremento en el riesgo que es generado al incluir al banco i en el sistema. Una de las desventajas de esta metodología es que la suma del VaR incremental por entidad no es igual al VaR del sistema bancario, por lo que es necesario reescalar esta medida de tal forma que la suma sea igual al capital del sistema. De esta forma se obtiene que la nueva asignación del capital esta dada por:

$$C_{i,prov} = \frac{iVaR_{i,\tau}}{\sum_{i=1}^N iVaR_{i,\tau}} \sum_{i=1}^N C_i, \quad (15)$$

⁵La estructura del VaR se escogió de acuerdo a las pruebas de cubrimiento incondicional e independencia, considerando que minimizara las funciones de pérdida tradicionales. Para mayor detalle de estas pruebas de *backtesting* ver Christoffersen (2003), Melo & Granados (2010) y Samanta & Golaka (2003) entre otros.

2.5. Algoritmo: Cálculo relación de solvencia óptimo

Los pasos expuestos en la sección 2 se realizan para un conjunto de valores de los parámetros γ y ϵ^6 , con el fin de verificar si se converge a la misma medida de capital independientemente de los valores que tomen estos. En cada uno de los procesos se tomó el valor que convergió.

De esta manera, el proceso sería de la siguiente forma: Para cada γ y ϵ se calcula inicialmente el vector de pagos como se presentó en la subsección 2.1; luego, se verifica si existe alguna entidad que no cumpla con el requerimiento de capital exigido, si todas lo cumplen, termina el algoritmo. Si alguna incumple, se calcula el monto de activos líquidos que tiene que vender cada entidad para cumplir con la condición de solvencia y su precio de equilibrio, tal como se explicó en la subsección 2.2.

Por último, dado el precio de equilibrio y el vector de pagos, se calculan las pérdidas para cada entidad mediante las ecuaciones (12) y (13). Luego para cada entidad se emplea el *VaR* incremental y el procedimiento de la subsección 2.3 para encontrar la contribución en riesgo y así calcular el requerimiento de capital óptimo.

El anterior procedimiento aunque se presenta de manera secuencial, se realiza de forma simultánea para todos los bancos. Adicionalmente, se tiene en cuenta en todo momento el precio de equilibrio en el mercado interbancario resultante de la iteración anterior.

3. Datos

En esta sección se realiza una descripción de las fuentes de información de donde provienen los datos y se analizan las principales estadísticas descriptivas de los componentes de la relación de solvencia y de la estructura del mercado interbancario.

3.1. Relación de Solvencia y venta de activos líquidos

Para construir la relación de solvencia (ecuación 6) se tomaron los activos ilíquidos, activos líquidos sujetos a riesgo de mercado ($\lambda_{i,rm}$: inversiones negociables y disponibles para la venta), los activos líquidos sin riesgo de mercado ($\lambda_{i,nrm}$) y los pasivos (D_i) del balance general que presentaron los bancos a la Superintendencia Financiera de Colombia en junio de 2012. El valor en riesgo ($VaR_{i,\tau}$) se calculó para cada banco a partir de la información del Depósito Central de Valores del Banco de la República. En cuanto a la información de activos ponderados por riesgo ($w_i e_i$) se obtuvo del formato “Riesgo de Activo” de la Superintendencia Financiera de Colombia.

El cuadro 1 presentan algunas estadísticas para los bancos incluidos. Dentro de la muestra tomada se escogieron bancos de diferentes tamaños. Los activos expuestos al choque son los créditos comerciales,

⁶El valor de ϵ es la media de la distribución normal a partir de la cual se encuentran los Z valores simulados $\epsilon_1, \dots, \epsilon_Z$.

que representan en promedio el 25,3 % de los activos totales. En cuanto a la diferencia entre la relación de solvencia teórica (ecuación 6) y la observada, es importante precisar que en este documento se utiliza el Patrimonio Total y no el Patrimonio Técnico⁷, y el *VaR* puede diferir al utilizado por la Superintendencia Financiera dado que la información por entidad sólo está para los títulos de deuda pública. A pesar de estas discrepancias, las variaciones entre una razón y otra son en promedio de 1.5 puntos porcentuales (pp). Por último, para modelar el *AFS* se saca el promedio de los mayores *haircuts* que se han reportado los bancos en el Informe de Liquidez que le presentaron a la Superintendencia Financiera entre Enero y Junio de 2012. De esta forma se obtiene un p_{min} de 86,8 %, donde el mas altos de los *haircuts* fue 27,7 % (que equivale a un p_{min} de 72,3 %) y el menor de 6,5 %.

CUADRO 1: Estadísticas descriptivas

Cuenta	Agregado	Mínimo	Máximo
Relación de solvencia teórica	16,9 %	9,6 %	21,2 %
p_{min}	86,8 %	72,3 %	93,5 %

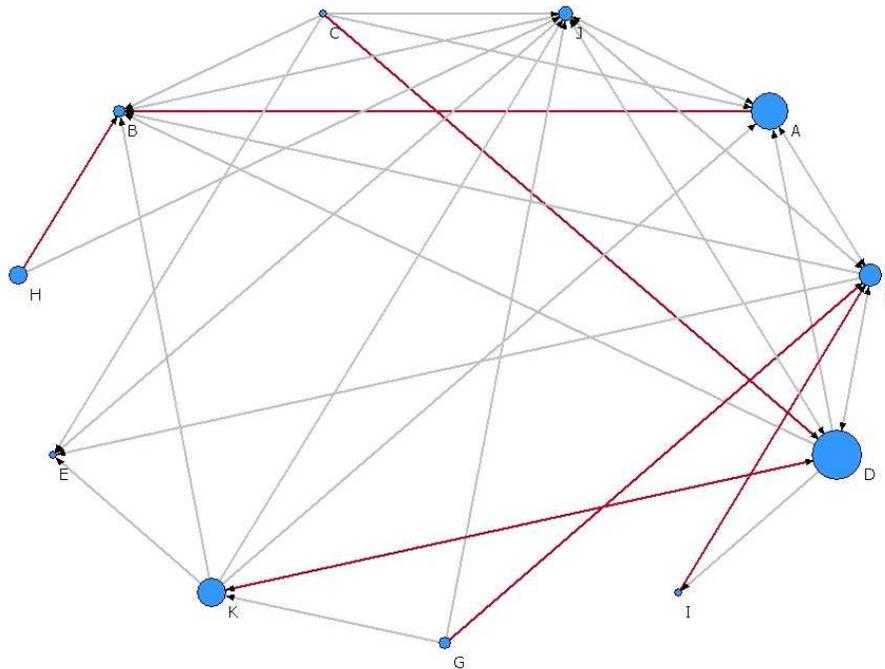
Fuente: Superintendencia Financiera de Colombia; cálculos de los autores.

3.2. Mercado interbancario

La matriz de pagos del mercado interbancario se construyó a partir de los registros del Sistema de Cuentas de Depósito (CUD), que es el sistema de pagos de alto valor en Colombia. Se escogió como referencia las transacciones realizadas el día 29 de junio de 2012, dado que la información de balance se encuentra también a esta fecha. Se tomaron las operaciones del mercado monetario (constitución de simultáneas, retrocesión de simultáneas, repos entre terceros y retrocesión repos entre terceros) y las no colateralizadas. El Gráfico 2 presenta la estructura del interbancario para los 14 bancos, y la dirección de las flechas indican las operaciones crédito de cada entidad. De esta forma, se observa que el Banco 'H' pidió préstamo a los Bancos "B" y "J", y ningún banco le pidió préstamo. Los colores de las aristas señalan la proporción de los fondos que le otorgó el banco, teniendo así que las de color rojo son operaciones en donde se prestó más del 50 % del crédito interbancario recibido ese día, y gris de lo contrario. En el caso del Banco "H", este recibió más del 50 % de sus prestamos interbancarios del Banco "B". De manera general, se observa que la mitad de los intermediarios (6) concentran sus operaciones de crédito en un solo banco en junio 2012, por lo que suponer que diversifican (como en Gauthier et al. (2011)) podría subestimar el riesgo de contagio. En cuanto al tamaño de los nodos, este se determina en función de la participación del monto del crédito interbancario solicitado por cada banco.

⁷La Superintendencia Financiera de Colombia considera como patrimonio técnico de un establecimiento de crédito la sumas de los patrimonios básico y adicional de la respectiva entidad, teniendo en cuenta que el valor total del patrimonio adicional no podrá exceder del 100 % del patrimonio básico.

GRÁFICO 2: Estructura del mercado interbancario (29 Junio 2012) .



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

El cuadro 2 presenta los principales indicadores de la red. La alta o baja conectividad de la red se mide por medio de la densidad, que corresponde a la razón entre el número de relaciones existentes y todas las posibles relaciones. Como se puede observar, la red es poco densa teniendo el 19,2% de las relaciones posibles. En cuanto al grado de centralización, es decir qué tan importantes son los actores dentro de la red, se puede observar del cuadro 3, que el banco 'D' es un deudor central en la red (46,1%), mientras que los bancos 'J' y 'B' son acreedores centrales para el resto de entidades. No obstante, la centralización global de toda la red (cuadro 2 panel C) es relativamente baja, por lo cual no existe un agente que controle a toda la red⁸.

⁸Cuando existe una red en forma de asterisco, es decir donde todos los actores están conectados a un único agente, el índice de centralización es 100%.

CUADRO 2: Indicadores de Red

Nombre	Mínimo	Máximo	Media	Valor
A.Total Bancos				14
Bancos participantes				11
B.Grado				
Aristas de Salida (número de préstamos recibidos)	0	6	3,2	
Aristas de Entrada (número de préstamos otorgados)	0	7	3,2	
Densidad				19,2%
C.Centralidad				
Centralización salida				31,4%
Centralización entrada				40,1%

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

CUADRO 3: Indicadores de centralidad por Banco

Banco	Grado de salida normalizado	Grado de entrada normalizado
D	46,1	30,7
C	38,5	0
J	38,5	53,8
K	38,5	15,4
F	38,4	38,4
A	23,1	38,5
G	23,1	0
H	15,4	0
I	7,7	7,7
B	0	53,8
E	0	30,7

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

4. Resultados

El cuadro 4 presenta los requerimientos de capital macropрудenciales para cada entidad. Como se puede observar, la gran mayoría de bancos analizados (9) están subcapitalizados desde el punto de visto macropрудencial, y por tanto, deberían incrementar su capital en por lo menos un 1% y como máximo en 9%. En cuanto a los bancos que deben disminuir su capital, se destaca la reducción que deben hacer las entidades “E” y “J”, 60% y 49%, respectivamente. Al relacionar estos resultados con el tamaño de las entidades analizadas, se encuentra que por lo general los bancos más grandes de la muestra son los que requieren hacer mayores incrementos a su capital.

Es importante resaltar que los resultados presentados en el Cuadro 4 dependen de un valor particular para el choque ϵ y el parámetro γ . Para asegurar que los resultados presentados son robustos al cambio

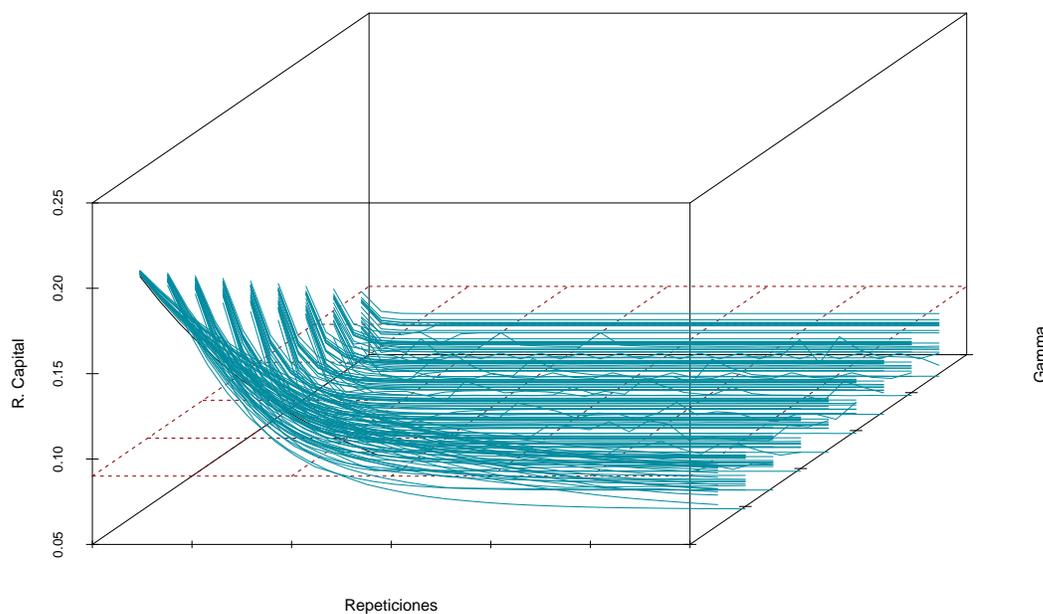
CUADRO 4: Cambio en los requerimientos de capital

Entidad	Solvencia Teórica Inicial	Requerimiento de capital macroprudencial	Δ % Capital
A	19 %	21 %	9 %
B	15 %	16 %	1 %
C	11 %	12 %	9 %
D	19 %	20 %	8 %
E	21 %	8 %	-60 %
F	12 %	13 %	9 %
G	9 %	10 %	9 %
H	17 %	18 %	9 %
I	16 %	11 %	-35 %
J	20 %	10 %	-49 %
K	16 %	13 %	-14 %
L	16 %	18 %	9 %
M	13 %	14 %	9 %
N	17 %	17 %	-2 %

Fuente: Cálculos de los autores.

en el valor de estos parámetros se realizó el ejercicio nuevamente para diferentes valores de γ entre 0,1-0,9, y ϵ entre 2 %-50 %. Como se puede observar en el Gráfico 3, independientemente de estos valores el requerimiento de capital óptimo por entidad converge a valores cercanos a los presentados.

GRÁFICO 3: Convergencia requerimiento de capital Banco 'E' .



Fuente: Cálculos de los autores.

El cuadro 5 presenta algunos indicadores para los bancos analizados. Las columnas de indicador de calidad (cartera riesgosa sobre cartera total), indicador de mora (cartera vencida sobre cartera total) y endeudamiento (pasivos sobre activos) se calculan como la diferencia entre el indicador de la entidad y

el promedio del indicador para el grupo. Como se puede observar, los bancos subcapitalizados tienen un nivel de endeudamiento que es en la mayoría de los casos superior al nivel promedio de endeudamiento. Asimismo, la participación de sus pasivos interbancarios dentro del total del activo, es en promedio mayor que la participación de estos pasivos dentro de los activos de los bancos que están sobrecapitalizados. No obstante, las entidades que deben incrementar su capital tienen mejores indicadores de riesgo, siendo en promedio 1 pp inferior su indicador de calidad y de mora a los indicadores del resto de bancos. Al igual que en Leon (2012) se encuentra que los bancos subcapitalizados están en promedio más apalancados.

CUADRO 5: Indicadores

Banco	Estado	Activos interbancarios Activos Totales	Pasivos interbancarios Activos totales	Cartera riesgosa * Cartera total (pp)	Cartera vencida * Cartera Total (pp)	Pasivos * Activos (pp)	Activos * Patrimonio
A	Subcapitalizado	0,05 %	0,03 %	-0,2	-1,5	-6	-3.2
B	Subcapitalizado	0,26 %	0,00 %	-1,7	-0,9	-1	-1.2
C	Subcapitalizado	0,00 %	0,78 %	-2,6	-1,4	3	2.1
D	Subcapitalizado	0,19 %	0,02 %	-0,3	-0,5	-5	-2.8
E	Sobrecapitalizado	0,26 %	0,00 %	-1,7	0,1	-6	-3.2
F	Subcapitalizado	0,03 %	0,08 %	-1,6	-0,7	3	1.9
G	Subcapitalizado	0,00 %	0,04 %	3,4	1,7	4	3.0
H	Subcapitalizado	0,00 %	0,02 %	1,0	-0,9	-2	-1.63
I	Sobrecapitalizado	0,01 %	0,00 %	-0,7	2,0	2	0.69
J	Sobrecapitalizado	0,03 %	0,13 %	10,5	4,0	4	2.6
K	Sobrecapitalizado	0,01 %	0,20 %	0,8	0,9	-2	-1.7
L	Subcapitalizado	0,00 %	0,00 %	-3,0	-1,8	4	3.5
M	Subcapitalizado	0,00 %	0,00 %	-2,7	-1,6	1	0.3
N	Sobrecapitalizado	0,00 %	0,00 %	-1,1	0,5	0	-0.4

Nota: * Estas columnas se calculan como la diferencia entre el indicador y su promedio. Fuente: Superintendencia Financiera de Colombia; cálculos de los autores.

5. Conclusiones

Los requerimientos de capital macroprudenciales han cobrado relevancia a partir de lo observado en la reciente crisis financiera. En Colombia actualmente la regulación está enfocada en asegurar la solvencia individual de los intermediarios, sin embargo, hasta el momento esta no toma en cuenta dentro del cálculo del requerimiento los efectos adversos que puede traer el incumplimiento o quiebra de una entidad al resto de entidades, es decir, el carácter sistémico de las entidades.

Adicionalmente, el criterio fijo de solvencia del 9% no contempla las características propias de cada entidad. Como se observó en el ejercicio, 9 de las 14 entidades analizadas se encuentran subcapitalizadas si se tiene en cuenta el nivel de riesgo que contribuyen al sistema, a pesar de estar cumpliendo con el requerimiento legal. Estas entidades se caracterizan por estar en promedio más apalancadas y tener en mejores indicadores de riesgo de su cartera. Es importante mencionar que mantener fijo el requerimiento de capital es una política más sencilla de implementar para los reguladores y por lo tanto los requerimientos macroprudenciales representan un mayor costo en términos de recopilar la información y hacer el monitoreo de una variable dependiente del estado del sistema financiero.

Por último, el ejercicio realizado en este documento sirve como base para analizar otras políticas macroprudenciales como lo son los requerimientos de liquidez extendiendo el análisis a instituciones financieras no bancarias.

Referencias

- Adrian, T. & Shin, H. (2008), 'Financial intermediaries, financial stability, and monetary policy', *Federal Reserve Bank of New York Staff Reports* .
- Blien, U. Friedrich, G. (1997), 'Entropy optimizing methods for the estimation of tables', *Classification, Data Analysis and Data Highways* .
- Borio, C. & Lowe, P. (2002), 'Asset prices, financial and monetary stability: exploring the nexus', *BIS Working Paper Series* .
- Capera, L., Gómez, E., Laverde, M. & Morales, M. (2011), 'Measuring systemic risk in the colombian financial system: A systemic contingent claims approach', *Temas de Estabilidad Financiera, Banco de la República* .
- Christoffersen, P. (2003), 'Elements of financial risk management', *Academic Press* .
- Cifuentes, R., Ferrucci, G. & Shin, H. (2005), 'Liquidity risk and contagion', *Working paper, Bank of England* .
- Eisenberg, L. & Noe, T. (2001), 'Systemic risk in financial systems', *Management Science* .
- Estrada, D. & Osorio, D. (2006), 'A market risk approach to liquidity risk and financial contagion', *Borradores de economía, Banco de la República* .
- Gauthier, C., Lehar, A. & Souissi, M. (2011), 'Macroprudential capital requirements and systemic risk'.
- Koenker, R. & Bassett, G. (1982), 'Robust tests for heteroscedasticity based on regression quantiles', *Econometrica* .
- Koenker, R. & Zhao, Q. (1996), 'Conditional quantile estimation and inference for arch models', *The Journal of Derivatives* .
- Leon, C. (2012), 'Implied probabilities of default from colombian money market spreads:the merton model under equity market informational constraints', *Borradores de economía, Banco de la República* .
- Melo, L. & Granados, J. (2010), 'Regulación y valor en riesgo', *Borradores de Economía* .
- Nicolo, G., Favara, G. & Ratnovski, L. (2012), 'Externalities and macroprudential policy', *IMF Staff Discussion Note* .
- Samanta, G. & Golaka, C. (2003), 'Selecting value at risk models for government of india fixed income securities', *Discussion paper* .