

RIESGO FINANCIERO Y POLÍTICA MONETARIA: UNA APLICACIÓN PARA CHILE*

Dale Gray**
Carlos García T.***
Leonardo Luna B.****
Jorge E. Restrepo L.*****

I. INTRODUCCIÓN

En este artículo se investiga si los modelos de política monetaria deben incluir indicadores de estabilidad financiera (IEF),¹ dado que la economía y las tasas de interés afectan el riesgo de crédito del sector financiero, y que el sector financiero afecta la economía. Más concretamente, ¿deberían los bancos centrales incluir explícitamente un indicador de estabilidad financiera en la regla de tasa de interés o función de reacción de política monetaria? La alternativa sería reaccionar solo en forma indirecta al riesgo financiero mediante la respuesta de la tasas de interés a la inflación y a la brecha del PIB, puesto que estas variables ya incluirían los efectos de los factores financieros en la economía.² Con el propósito de responder la pregunta se construye un modelo de vulnerabilidad del sector financiero que luego se integra en un modelo macroeconómico estándar, normalmente utilizado para analizar la política monetaria.

La integración del análisis de la vulnerabilidad del sector financiero en los modelos macroeconómicos es un tema importante y de creciente interés para las autoridades económicas, tanto en los países desarrollados como en las economías emergentes. Sin embargo, los modelos de política monetaria y los de estabilidad financiera, por su misma naturaleza, usan marcos conceptuales muy diferentes. Los modelos de política monetaria son utilizados por los bancos centrales para comprender los mecanismos de transmisión de la tasa de interés a las variables macroeconómicas como la inflación, el producto o el tipo de cambio. Por otra parte, el cálculo preciso

del efecto de *shocks* a la vulnerabilidad financiera de los bancos requiere tanto de un modelo de riesgo del sector bancario como de una metodología tratable para simular los efectos de estos *shocks* sobre diversas medidas de riesgo.

Los indicadores de estabilidad financiera basados en información de mercado resumen lo que ocurre con el canal del crédito y la transmisión del riesgo de crédito de prestatarios en dificultades. Dichos indicadores contienen información acerca de la condición financiera del sector bancario que está relacionada con la cantidad de crédito otorgado y los efectos posibles o esperados de este en la economía real y en el PIB (expansión del crédito y el acelerador financiero”).³ Los indicadores de estabilidad financiera basados en información de mercado también capturan la solidez de los bancos cuando los prestatarios entran en mora durante una turbulencia económica, lo que reduce el valor de la deuda riesgosa, y entonces el valor de los activos bancarios experimenta disminuciones al tiempo que aumenta su volatilidad. Esto es un reflejo de las condiciones económicas de los prestatarios y

* Agradecemos los comentarios y sugerencias de los asistentes a la XII Conferencia anual del Banco Central de Chile y la traducción al castellano de Consuelo Edwards. Los autores son los únicos responsables por las opiniones aquí expresadas y por cualquier error remanente.

** Departamento de Mercados de Capital y Monetarios del FMI. E-mail: DGray@imf.org.

*** ILADES-Universidad Alberto Hurtado. E-mail: cgarcia@uahurtado.cl.

**** Transelec. Email: lluna@transelec.cl

***** Gerencia de Investigación Económica, Banco Central de Chile. E-mail: jrestrep@bcentral.cl.

¹ El IEF que se usa aquí es un indicador derivado de información de mercado y contiene las expectativas futuras de los agentes. Por tanto, no debe confundirse con las proporciones típicamente utilizadas en contabilidad como indicadores de estabilidad financiera.

² También se podría diseñar una alternativa en la que el banco central solo reaccionara directamente al riesgo financiero siempre que el indicador de estabilidad financiera superara un límite predeterminado.

³ Bernanke, Gertler y Gilchrist (1999) introducen fricciones financieras en un modelo de ciclos económicos reales.

de la economía real en general (nótese que cuando el sector bancario está bajo estrés, el valor de los activos y también del patrimonio es menor y su volatilidad es mayor).

Entre las diferentes opciones de indicadores de estabilidad financiera basados en información de mercado, en este documento se utilizará una medida de distancia a la insolvencia (o al incumplimiento) (*dtl*) del sistema bancario, que es un indicador del riesgo de los bancos calculado con base en el análisis de derechos contingentes (CCA), herramienta desarrollada en finanzas.

La base de CCA es que los pasivos de una entidad financiera o de una empresa derivan su valor de activos que son estocásticos. La variación (volatilidad) esperada de los activos en un horizonte futuro —en relación con la promesa de pago de las obligaciones— proporciona una medida del riesgo de entrar en dificultades financieras. Así, CCA se usa frecuentemente para calcular la probabilidad de que una entidad (en nuestro caso bancos, pero también empresas o incluso gobiernos) incumpla sus obligaciones. Debido al foco explícito en el riesgo y en la probabilidad de no pago, y su relación con los precios de mercado de los activos, el análisis CCA tiene muchas ventajas. Los datos de activos y valores, por naturaleza, incorporan la visión de futuro (expectativas) del mercado, que, por el contrario, está ausente en los indicadores tradicionales de riesgo bancario, como los coeficientes de morosidad y las provisiones realizadas para cubrir préstamos impagos. La alta frecuencia de las observaciones, al menos para los valores transados en bolsa y la tasa de interés, permite una actualización más rápida de las medidas de riesgo que la información disponible solo con frecuencia mensual o trimestral. Los indicadores de riesgo financiero CCA se calculan para bancos individuales, y luego pueden agregarse para construir indicadores de estabilidad de todo el sistema financiero.

El sistema CCA, con el que se construye un indicador de estabilidad de todo el sistema bancario, se modela simultáneamente con un modelo macroeconómico dinámico y estocástico de cinco ecuaciones utilizado para analizar la política monetaria en Chile. El modelo macro fue realizado en el Banco Central de Chile cuando se empezaron a utilizar las metas

de inflación en el 2000 (García, Herrera y Valdés, 2002), y es muy semejante al modelo propuesto por Berg, Karam y Laxton (2006a; 2006b) como un modelo útil en la práctica para el análisis de la política monetaria en economías pequeñas y abiertas. Como se ha señalado en la literatura, “en la nueva síntesis keynesiana, se ha producido una convergencia entre modelos empíricamente útiles como los tipo IS/LM desarrollados en instituciones donde se diseña la política económica y los modelos de equilibrio general que modelan explícitamente la formación de expectativas y están basados en sólidos fundamentos microeconómicos”.⁴

Dicho modelo macro consiste específicamente en una ecuación para la brecha del PIB (*IS*), otra para la inflación (curva de Phillips u oferta agregada), una ecuación para el tipo de cambio (paridad de tasas de interés), una curva de rendimiento que relaciona las tasas de interés de corto y largo plazo y, por último, la función de reacción del banco central (regla de Taylor). En efecto, la principal herramienta de manejo macroeconómico es la tasa de interés de corto plazo fijada por el banco central como una reacción a las desviaciones de la inflación de su meta y del PIB de su nivel de tendencia o potencial (Taylor, 1993). Cabe señalar que la mayoría de las ecuaciones incluyen expectativas, es decir, incorporan explícitamente en el lado derecho los niveles esperados de las variables dependientes. Por otra parte, el modelo converge a un estado estacionario bien definido por la reacción de las autoridades monetarias a los diferentes *shocks*.

Además de las ecuaciones del modelo macro, se incluye un módulo de CCA, el cual interactúa con las ecuaciones de las variables macroeconómicas de varias maneras. Por ejemplo, en la brecha del PIB se incluye *dtl* como un indicador del riesgo de crédito y se examina si el coeficiente de esta variable es significativo o no. Este es un primer paso para obtener una mejor comprensión de cómo el riesgo de crédito del sector financiero afecta al PIB. Asimismo, *dtl* también afecta el riesgo país y el tipo de cambio. Por otra parte, la tasa de interés y el PIB afectan el nivel y la volatilidad del patrimonio de los bancos.

⁴ Berg, Karam y Laxton (2006), página 3.

Por último, con el fin de evaluar la conveniencia de incluir indicadores de riesgo en la función de reacción de la autoridad monetaria, se construyen gráficos de fronteras de eficiencia con puntos que combinan volatilidades de la inflación y del PIB. Esto se hace una vez que la economía es perturbada por *shocks* estocásticos generados por una función de distribución normal y también con diferentes calibraciones de algunos parámetros. En general, se concluye que es eficiente incluir *dtđ* en la función de reacción, porque así el banco central es capaz de reducir la volatilidad de la inflación y del PIB. En efecto, es eficiente que la tasa de interés reaccione no solo a lo que ocurre con la inflación y el PIB sino también a la evolución de los riesgos financieros, porque un *shock* negativo a los precios de los activos y la liquidez puede generar una crisis crediticia con consecuencias negativas sobre todo el sistema financiero y la producción en general.⁵

En la sección II se explican los conceptos que dan origen al CCA y el *dtđ*, y se describen los datos utilizados en el análisis. En la sección III se presenta el modelo macroeconómico, así como las ecuaciones necesarias para simular *dtđ*, que se incluirá en el modelo macro. En la sección IV se presentan los resultados de las simulaciones y, por último, la sección V incluye las conclusiones y presenta posibles áreas de investigación futura.

II. MEDIDAS DE RIESGO DEL ANÁLISIS DE DERECHOS CONTINGENTES

1. Antecedentes

Esta sección introduce el enfoque de los derechos contingentes (CCA), que utiliza información prospectiva para construir indicadores de riesgo para el sistema bancario, y tiene importantes implicaciones macroeconómicas, como quedará explicado en la tercera sección. Este enfoque aporta una metodología que combina información del balance con herramientas de manejo financiero y de riesgo, de uso generalizado para construir balances contables a valor de mercado que reflejan mejor los riesgos subyacentes. Estos balances contables ajustados por riesgos utilizan *herramientas de fijación de precios de opciones* para valorizar las obligaciones, las cuales

se modelan como derechos sobre activos estocásticos. Además, se pueden utilizar para derivar un conjunto de indicadores de riesgo, como la distancia a la insolvencia, que pueden servir como barómetros del riesgo de las empresas, la vulnerabilidad del sistema financiero y el riesgo soberano.

Un derecho contingente es todo activo financiero cuyo pago futuro depende del valor de otro activo. El prototipo de pasivo contingente es la opción —el derecho a comprar o vender el activo subyacente a un precio de ejercicio preestablecido antes de una fecha definida. Un *call* es una opción de compra, un *put* es una opción de venta, y el valor de ambas depende del precio del activo que se opta por comprar o vender. El análisis de los pasivos contingentes es una generalización de la teoría de fijación de precios de opciones ideada por Black y Scholes (1973) y Merton (1973). Desde 1973 se ha aplicado la metodología de precios de opciones a una amplia variedad de derechos contingentes. En este artículo nos centramos en su aplicación al análisis del riesgo crediticio y las garantías contra el riesgo de incumplimiento, así como en sus conexiones con las fluctuaciones macroeconómicas y financieras.

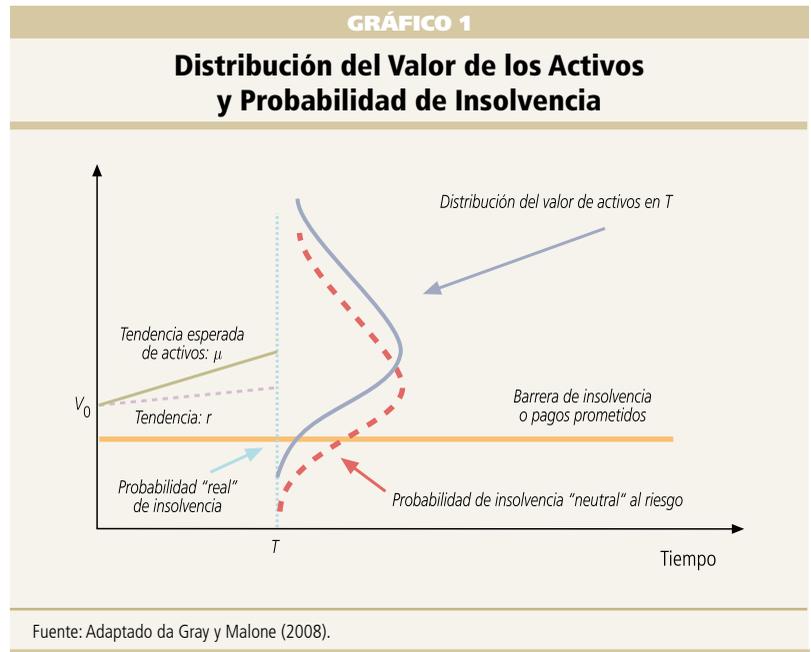
El enfoque de derechos contingentes se basa en tres principios: (i) el valor de los pasivos se deriva de los activos; (ii) los pasivos tienen prioridades distintas (*senior* y *junior*); y (iii) los activos siguen un proceso estocástico. Los pasivos consisten en obligaciones *senior* (como deuda *senior* o con prioridad de pago), subordinados (como deuda subordinada) y obligaciones *junior* (como acciones o derechos con última prioridad de pago). Para un banco, a medida que decrece el valor total de sus activos, su deuda con otras instituciones se hace más riesgosa y baja de valor, en tanto que los premios por riesgo crediticio sobre su deuda riesgosa aumentan.

El riesgo del balance es la clave para desentrañar el riesgo de crédito y la probabilidad de crisis. La insolvencia ocurre cuando los activos no alcanzan para servir la deuda, o sea, cuando los activos caen por debajo de un límite que comprende el valor total

⁵ Por otro lado, un *dtđ* muy grande podría reflejar burbujas de precio de activos, que suelen tener finales amargos.

de los pasivos de la empresa. Cambios inciertos en el valor futuro de los activos en relación con los pagos de deuda comprometidos originan el riesgo de insolvencia. El gráfico 1 ilustra las relaciones esenciales. La incertidumbre sobre el valor del activo se representa por una distribución de probabilidades en el horizonte T . Al final del período, el valor de los activos puede superar los pagos comprometidos, indicando que es posible servir la deuda o quedarse corto y llevar a la insolvencia. El área de la distribución (gráfico 1) bajo el nivel de pagos comprometido es la “real” probabilidad de insolvencia. La distribución de la probabilidad de retornos al activo utilizada para valorizar los pasivos contingentes no es la distribución “verdadera” sino la “ajustada por riesgo” o “neutral al riesgo”, que sustituye la tasa de interés libre de riesgo por el retorno real esperado en la distribución. Esta distribución libre de riesgo es la línea punteada del gráfico 1 con tasa de retorno esperado de r , la tasa libre de riesgo. Por tanto, la probabilidad de insolvencia “ajustada por riesgo” calculada usando la distribución “neutral al riesgo” es mayor que la verdadera probabilidad de insolvencia para todos los activos cuyo retorno esperado efectivo (μ) es mayor que la tasa libre de riesgo r , es decir, hay un premio por riesgo positivo.⁶

El cálculo de la probabilidad efectiva de insolvencia escapa al campo del modelo CCA/Merton, pero se puede estimar combinando dicho modelo con un modelo de equilibrio de retornos esperados de los activos subyacentes, con el fin de producir cálculos coherentes de los retornos esperados de todos los derivados, condicionales al retorno esperado del activo. No es necesario conocer el retorno esperado para usar los modelos CCA/Merton si se busca calcular el valor o el riesgo, pero sí es necesario este dato para la calibración de las probabilidades efectivas. El valor de los activos en el momento t es $A(t)$. El proceso de retorno sobre el activo es $dA/A = \mu_A dt + \sigma_A \varepsilon \sqrt{t}$, donde μ_A es la tasa de tendencia o retorno al activo, σ_A es igual a la desviación estándar del retorno al activo, y ε está normalmente distribuido, con media cero y varianza unitaria.



La insolvencia ocurre cuando el valor de los activos cae hasta niveles iguales o inferiores a los compromisos de pago, B_t . Por tanto B , es el precio al cual se ejerce la opción. La probabilidad de insolvencia es la probabilidad de que $A_t \leq B_t$:

$$\begin{aligned} \text{Prob}(A_t \leq B_t) &= \text{Prob} \left(A_0 \exp \left[\begin{matrix} (\mu_A - \sigma_A^2/2)t \\ + \sigma_A \varepsilon \sqrt{t} \end{matrix} \right] \leq B_t \right) \\ &= \text{Prob} (\varepsilon \leq -d_{2,\mu}) \end{aligned}$$

Dado que el *shock* se distribuye normalmente, $\varepsilon \sim N(0,1)$, la probabilidad “efectiva” de insolvencia es $N(-d_{2,\mu})$, donde $d_{2,\mu} = [\ln(A_0/B_t) + (\mu_A - \sigma_A^2/2)t] / \sigma_A \sqrt{t}$ es la distancia a la insolvencia con una tendencia de μ_A y $N(\bullet)$ es la función de distribución normal estándar acumulada.

La distribución de probabilidades en T se presenta en el gráfico 1 (línea punteada) con tendencia de la tasa de interés libre de riesgo, r . La probabilidad de insolvencia ajustada por riesgo es $N(-d_2)$, donde $d_2 = [\ln(A_0/B_t) + (r - \sigma_A^2/2)t] / \sigma_A \sqrt{t}$. Esta es la distancia a la insolvencia con una tendencia de r , la tasa libre de riesgo.

⁶ Véase Merton (1992), pp.334-43; 448-50).

2. Inferencia del Valor del Activo y de su Volatilidad

El valor de los activos no es observable, pero se puede inferir utilizando CCA. En el modelo de Merton para empresas e instituciones financieras bancarias y no bancarias con patrimonio transado en bolsa, se usan patrimonio, E , y volatilidad del patrimonio, σ_E , además del límite de insolvencia en las siguientes dos ecuaciones para resolver las dos incógnitas: A , valor del activo, y σ_A , volatilidad del activo (Crouhy, Galai y Mark, 2000).

La primera ecuación corresponde al patrimonio, E , valorizado mediante la fórmula de Black-Scholes-Merton para valorizar opciones de compra:

$$E = A \cdot N(d_1) - B \cdot \exp(-r \cdot t) \cdot N(d_2)$$

La segunda ecuación relaciona la volatilidad y el valor del patrimonio (bursátil) con la volatilidad y el valor del activo implícito (Merton 1973; 1974).

$$E \cdot \sigma_E = A \cdot \sigma_A \cdot N(d_1),$$

donde d_2 ya está definido y $d_1 = d_2 + \sigma_A / \sqrt{t}$. Como hay dos ecuaciones y dos incógnitas (valor del activo, A , y volatilidad del activo, σ_A) se usa un proceso de iteración para encontrar los valores de dichas incógnitas. En la práctica, d_1 y d_2 pueden calcularse porque también dependen de A y de σ_A .

La fragilidad financiera está íntimamente ligada a la probabilidad de insolvencia. Los *shocks* de precios o de liquidez muchas veces terminan en crisis de riesgo de crédito, cuando se debilitan los ingresos de los deudores bancarios y por tanto estos tienen dificultades para cumplir sus obligaciones con los bancos. La insolvencia es difícil de manejar en los modelos macro tradicionales, en parte porque los supuestos suelen excluir dicha posibilidad. Además, los flujos de fondos y los balances contables no pueden incluir medidas de riesgo que son proyecciones de pérdidas futuras. Por otra parte, el enfoque CCA es un marco que sí incluye y calcula la probabilidad de insolvencia en forma explícita.

Como la probabilidad de insolvencia es distinta de cero, el valor de la deuda es riesgoso y en consecuencia inferior a su valor libre de riesgo o valor par:

Deuda riesgosa + Garantía contra insolvencia
 \equiv Deuda libre de riesgo

El valor de la deuda “riesgosa”, por tanto, se puede modelar como el valor de la deuda libre del riesgo de insolvencia/incumplimiento menos la pérdida esperada:

Deuda riesgosa \equiv Deuda libre de riesgo
 – Garantía contra insolvencia

Dado que esta garantía es un activo de valor incierto, la deuda se puede concebir y modelar como un derecho contingente.

Esta identidad se cumple en términos tanto conceptuales como de valor. Si la deuda está garantizada por un activo específico, entonces la garantía contra incumplimiento o insolvencia se puede modelar como una opción de venta del activo con un precio de ejercicio igual al valor par de la deuda. El tenedor de la deuda está ofreciendo una garantía implícita pues está obligado a absorber las pérdidas en caso de insolvencia. Sin embargo, muchas veces el aval es un tercero, como sucede cuando el Gobierno garantiza los depósitos de los bancos o los compromisos previsionales de las empresas.⁷

Si la ecuación diferencial de Black-Scholes-Merton se usa para establecer el precio de derechos contingentes (ver más arriba), el valor de una deuda riesgosa es función del valor de la deuda sin riesgo de insolvencia o valor par (límite de insolvencia) al momento 0, del nivel de activos al momento 0, de la volatilidad del activo, del horizonte de tiempo hasta el vencimiento de la obligación, y de la tasa de interés libre de riesgo. Desde 1973, la metodología del modelo de Merton se ha aplicado a una gran variedad de empresas e instituciones financieras e incluso para avaluar la deuda de naciones soberanas.

⁷ El marco CCA es una extensión de los modelos de Merton (1974) para deuda riesgosa y Merton (1977) para seguro de depósitos.

Los bancos no quiebran con frecuencia,⁸ y en general los legisladores se interesan menos en la probabilidad de tal evento que en la posibilidad de que el valor de los activos de un banco caiga por debajo de un nivel que requiera la intervención de la autoridad. Un umbral útil es un capital mínimo. Esta barrera sería el límite de insolvencia más —por ejemplo— 8% del activo. El modelo CCA se puede usar en este análisis, de tal forma que proporcionaría tanto la “distancia al capital mínimo”, como la “distancia a la insolvencia.”⁹

3. Cálculo de Indicadores de Riesgo para Bancos o Instituciones Financieras Individuales

Los mercados nacionales de activos proveen información de precios y volatilidad para inferir el valor de los activos y su volatilidad en empresas e instituciones financieras, bancarias y no bancarias. El método más simple resuelve dos ecuaciones con dos incógnitas: el valor del activo y la volatilidad del activo. La explicación detallada se puede encontrar en Merton (1974) y Crouhy, Galai y Mark, (2000). Levonian (1991) utiliza precios explícitos de opciones sobre acciones bancarias para medir la volatilidad del patrimonio y calibrar modelos de Merton para bancos. Moody's-KMV¹⁰ ha aplicado con éxito su versión del modelo CCA con el fin de medir el valor implícito de los activos y de la volatilidad y de calcular la frecuencia esperada de insolvencia (EDF) para más de 35 mil empresas e instituciones financieras en 55 países (KMV, 1999; 2001).

La relación entre la información contable y los indicadores de riesgo de las compañías que sí se transan en bolsa se puede utilizar como pauta para traducir la información contable de empresas que no transan acciones en indicadores de riesgo de estas últimas (un buen ejemplo es el Moody's RiskCalc para sectores corporativos en muchos países y para bancos en Estados Unidos).

Con el fin de estimar una serie de tiempo del valor de mercado implícito de los activos bancarios y su volatilidad, el modelo CCA para bancos e instituciones financieras utiliza una serie de tiempo de la capitalización de mercado día a día, la volatilidad de la misma y el límite de insolvencia (derivado a partir del valor libro de depósitos y deuda). Indicadores

de riesgo útiles se pueden calcular para cada banco o institución: (i) distancia a la insolvencia; (ii) probabilidad de insolvencia ajustada y no ajustada por riesgo; (iii) pérdida esperada (opción de venta) para depositantes y tenedores de deuda; (iv) tamaño eventual de las garantías financieras del sector público; y (v) sensibilidad de los indicadores de riesgo frente a cambios en los activos bancarios subyacentes, la volatilidad de los activos u otros factores. En el gráfico 2, se presentan los pasos que se siguen para inferir la volatilidad y el valor de los activos de un banco o institución financiera individual, así como los indicadores de riesgo.

4. Un Indicador de la Distancia a la Insolvencia para Chile

La estrategia de calcular un indicador de riesgo basado en el modelo CCA, descrito en las subsecciones anteriores 1 y 2, se aplicó para la banca en Chile.

El indicador se calculó tratando el portafolio de los bancos del sistema como un único “banco grande”. Dado que no todos los bancos cotizan sus acciones en bolsa, se utilizó una muestra de los bancos más importantes, que cubrían cerca de 50% del total de activos bancarios, 65% del monto total de bonos emitidos por el sistema bancario y más de 80% del valor bursátil del sistema bancario.¹¹ Así, se utilizó el valor bursátil o capitalización de mercado, la volatilidad de esta última y el valor de la deuda sin riesgo de incumplimiento (derivado del valor libro de depósitos y de la deuda) para calcular simultáneamente una serie de tiempo del valor implícito de mercado de los activos bancarios y de su volatilidad (Gray, Echeverría y Luna, 2006).

Con el fin de obtener un cálculo diario del total de activos bancarios, se obtuvo su valor implícito calculando su deuda y su patrimonio neto. Sin embargo, no es posible averiguar el valor de mercado

⁸ Este no ha sido el caso de muchos bancos en la última crisis hipotecaria.

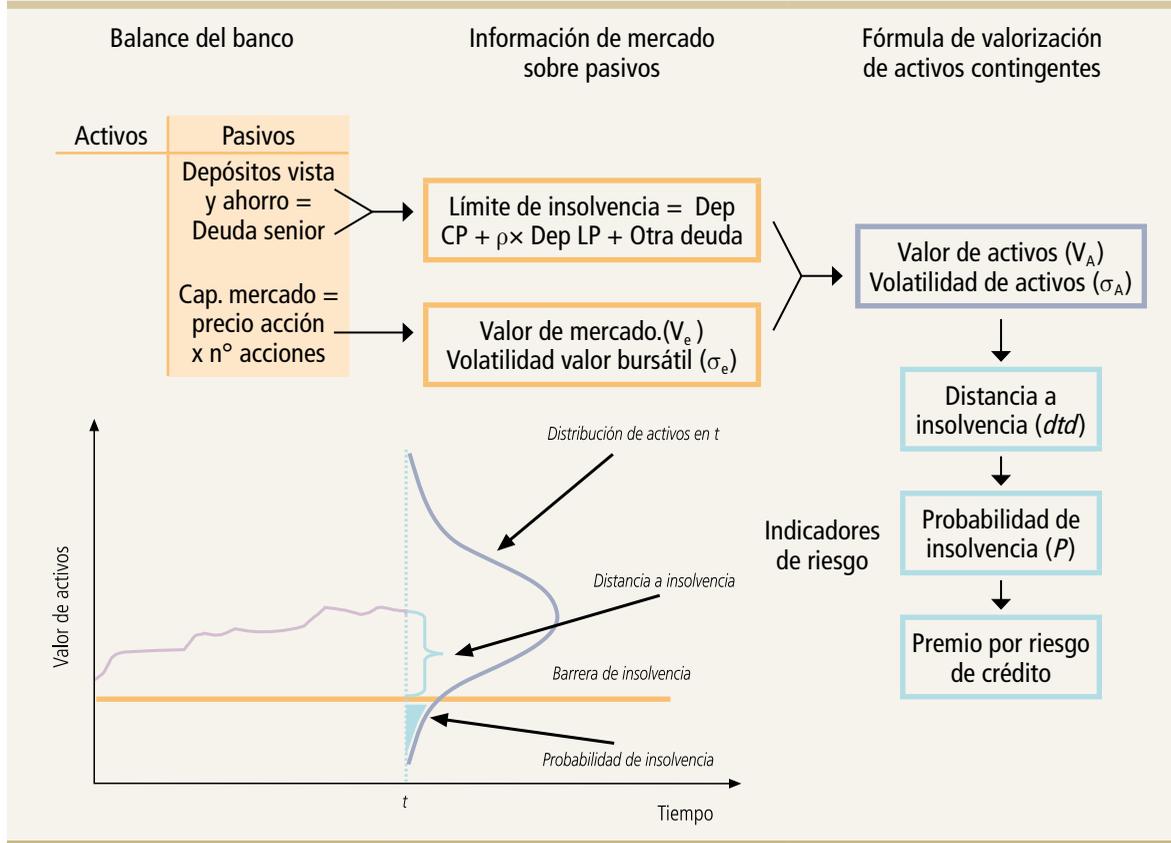
⁹ El apéndice A entrega algunas extensiones del modelo CCA.

¹⁰ KMV es el nombre de una compañía creada por S. Kealhofer, J. McQuown y O. Vasicek en 1990 y después absorbida por Moody's, pero también se refiere a una metodología de cálculo de la probabilidad de insolvencia y/o de incumplimiento de las obligaciones de empresas o incluso de gobiernos soberanos.

¹¹ Ver cuadro 1 en Gray, Echeverría y Luna (2006).

GRÁFICO 2

Calibración de Derechos Contingentes en Balances Bancarios e Indicadores de Riesgo



Fuente: Adaptado da Gray y Malone (2008).

de su deuda de corto y largo plazo. Una práctica común es extraer el valor libro, la cual, gracias a la legislación chilena vigente, se acerca mucho al valor de mercado, siempre que no surja una turbulencia financiera extrema. La deuda total incluye información mensual entregada por la SBIF sobre deuda de corto plazo más una porción de la deuda de largo plazo.¹²

En relación con el patrimonio, los montos y precios de transacción de las acciones de los bancos seleccionados se obtuvieron de la Bolsa de Comercio de Santiago. Sin embargo, no es posible inferir la volatilidad del patrimonio a partir de opciones de compra de acciones de los bancos porque tales derivados no existen en Chile. En consecuencia, una medida directa de volatilidad accionaria se obtuvo mediante un modelo simple de heterocedasticidad

condicional con un horizonte de un año.¹³ Estudios recientes sobre esta materia han mostrado que al menos para el S&P500, la volatilidad que se obtiene con un modelo similar está altamente correlacionada con el Índice de Volatilidad VIX,¹⁴ cuyo cómputo se basa en la volatilidad implícita en las opciones sobre las acciones incluidas en dicho índice S&P500 (Alfaro y Silva, 2008).

¹² Los datos de frecuencia diaria se obtienen con una transformación lineal de los datos del balance.

¹³ Echeverría, Gómez y Luna (2008) incluyen un análisis detallado de la medición de la distancia a la insolvencia, en el que consideran estrategias alternativas para obtener la volatilidad directamente.

¹⁴ Índice de volatilidad de opciones de venta de acciones del S&P 500.

La información sobre patrimonio y deuda se usa para inferir el valor de los activos y su volatilidad con el sistema de Black-Scholes-Merton descrito en las secciones anteriores, al solucionar el sistema de ecuaciones no lineales para activos y volatilidad de activos (Gray, Merton y Bodie, 2006). Sin embargo, el valor de los activos y su volatilidad exigen calcular d_1 y d_2 , siendo esta última una medida exacta de la distancia a la insolvencia (dtd). Por tanto, en la práctica se complementa este sistema con dos ecuaciones adicionales, una para d_1 y la otra para d_2 , y se resuelven en forma simultánea para obtener A_0 , σ_A , d_1 , d_2 , y también $N(-d_2)$, que corresponde a la probabilidad de insolvencia.

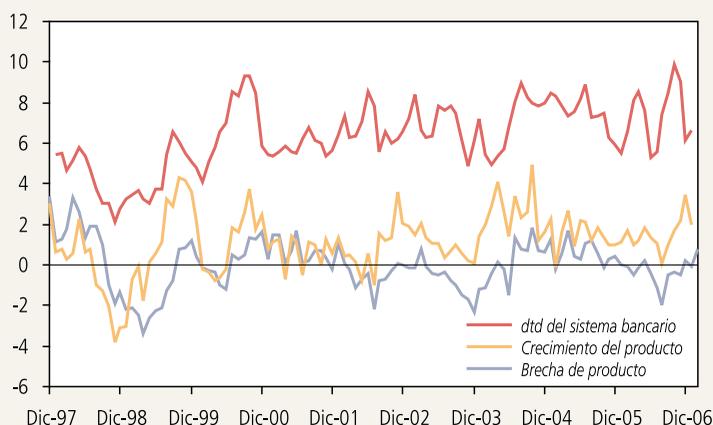
Una aproximación ilustrativa de dtd se podría lograr si se definiera como la diferencia entre el valor implícito de mercado de los activos (A) y el límite de insolvencia (DB), dividida por una desviación estándar del valor de los activos: $dtd = (A - DB)/A\sigma_A$. En palabras, este indicador corresponde al número de desviaciones estándar que hay desde el actual nivel de activos hasta el límite de insolvencia, dados el nivel de patrimonio, su volatilidad, el límite de insolvencia, la tasa de interés y el período analizado. Mientras más grande sea este indicador, más seguro será el sistema bancario. También es posible calcular la probabilidad de insolvencia con esta fórmula bajo el supuesto de que dtd tiene distribución normal.

El gráfico 3 muestra el patrón temporal de dtd para el sistema bancario chileno estimado con el método de Black-Scholes-Merton entre 1997 y 2006, junto con un promedio móvil de tres meses.¹⁵

Es evidente en el gráfico que el período de mayor riesgo para el sistema bancario coincide con la crisis rusa cuando quebró el fondo de cobertura llamado *Long Term Capital Managment*, entre fines de 1998 y comienzos de 1999. Desde entonces, el sistema bancario chileno ha reducido gradualmente sus riesgos, aunque parece haberse estabilizado a fines del año 2005.¹⁶ Otros períodos en los que los mercados aumentaron repentinamente su evaluación del riesgo de los bancos chilenos se ven

GRÁFICO 3

Distancia a la Insolvencia del Sistema Bancario



Fuente: Gray, Echeverría y Luna (2006).

claramente; por ejemplo, la caída de los precios accionarios internacionales tras el reventón de la burbuja de Internet en 2000 y el período que precedió a las elecciones presidenciales en Brasil el tercer trimestre de 2002.

En el gráfico 3 también se observa claramente que hay una relación entre la distancia a la insolvencia del sistema bancario y tanto el crecimiento anual del PIB como la brecha de producto. La dtd tiene un impacto significativo tanto en la actividad como en la brecha de producto.¹⁷ Otros indicadores de riesgo sistémico que se podrían utilizar están descritos en detalle en Gray, Merton y Bodie (2007; 2008). También en Goodhart, Sunirand y Tsomocos (2006a;

¹⁵ Como se mencionó, los indicadores de riesgo obtenidos con el enfoque de CCA que aparecen en el gráfico 3 provienen de Gray, Echeverría y Luna (2006), quienes usan el valor bursátil diario para los bancos obtenido por el BCCh de la Bolsa de Comercio de Santiago. La deuda bancaria proviene de la base de datos del BCCh. Los investigadores financieros utilizan diversos métodos para estimar la volatilidad de los retornos diarios de los activos. Dos métodos de uso frecuente modelan la volatilidad diaria como GARCH(1,1) o como un proceso de promedio móvil. En este caso se utilizó la metodología GARCH(1,1) para todos los bancos de la muestra, pero los resultados con el método de promedio móvil son similares.

¹⁶ Como se ve más adelante, este equilibrio ha ocurrido con un nivel de riesgo muy bajo.

¹⁷ Las regresiones con la actividad y la brecha de producto como variable dependiente y con dtd como una de las variables independientes o explicativas, se muestran en el apéndice B.

2006b), Gray y Walsh (2008), Gray y Malone (2008), Haldane, Hall y Pezzini (2007), Segoviano, Goodhart, y Hofmann (2006) y Segoviano (2006).

III. CONEXIÓN ENTRE INDICADORES MACROFINANCIEROS Y UN MODELO SIMPLE, DINÁMICO Y ESTOCÁSTICO DE POLÍTICA MACROECONÓMICA

En esta sección, se presenta un “modelo de política macrofinanciera” integrado, que incorpora indicadores de riesgo del sector financiero agregado directamente en un modelo de política macroeconómica. Nos centramos en una exposición modular de las partes del modelo y las ecuaciones que las componen, así como en la intuición de cómo se relacionan entre sí y cómo se pueden utilizar para analizar una gran variedad de políticas y de características de la economía.

Ejemplos de indicadores prospectivos de riesgo sistémico derivados del modelo de análisis de derechos contingentes (CCA) son: la distancia a la insolvencia (*dt*), la pérdida esperada (esto es, la opción de venta implícita), o la probabilidad de insolvencia ponderada por los activos de instituciones financieras individuales. El modelo macro que utilizamos aquí incorpora el indicador de riesgo *dt*, obtenido a partir del enfoque CCA cuya derivación se describe más adelante.¹⁸

La distancia a la insolvencia para el sistema bancario se incluye en la ecuación de la brecha del PIB, en la condición de paridad y en la función de reacción de la tasa de interés de política monetaria. Los parámetros del modelo se estiman con datos históricos, entre los que se incluye el indicador de distancia a la insolvencia. Si bien las ecuaciones tienen sustento empírico (ver apéndice B), se trata principalmente de un ejercicio teórico en el que se modifican o calibran algunos de los parámetros del modelo, a fin de evaluar cómo cambian con ellos los resultados de las simulaciones. Esta estrategia se puede usar para analizar los *tradeoffs* entre PIB e inflación, con y sin incluir la distancia a la insolvencia para el sistema bancario en la función de reacción de la autoridad monetaria.¹⁹

El modelo macroeconómico dinámico estocástico utilizado para definir y analizar la política monetaria ya ha sido descrito brevemente. Este, que se aproxima

al de Berg, Karam y Laxton (2006a y b), es una versión del modelo que se construyó en el Banco Central de Chile el año 2000, cuando se implementó el esquema pleno de metas de inflación. Una aplicación del mismo al diseño de política monetaria, utilizando fronteras de eficiencia, se encuentra en García, Herrera y Valdés (2002). Dicho modelo pertenece a una categoría de modelos que sirven para analizar la política monetaria de economías pequeñas y abiertas.

1. Módulo 1: Producto, Inflación, Tipo de Cambio y una Regla de Taylor

El primer módulo de nuestro modelo consiste en ecuaciones para las variables macro más importantes. Así, hay una ecuación para la brecha del producto, una para la inflación, una para el tipo de cambio, una curva de rendimiento y una regla de Taylor para determinar la tasa de interés de política monetaria local, la cual es una tasa de interés de corto plazo fijada por el banco central.

La ecuación de la brecha del producto es:

$$ygap_t = \beta_1 ygap_{t+1} + \beta_2 ygap_{t-1} + \beta_3 ygap_{t-2} + \beta_4 ygap_{t-3} + \beta_5 (r_{t-1}) + \beta_6 (rl_{t-2}) + \beta_7 (q_{t-4}) + \beta_8 (dt_t) + \varepsilon_t^y, \quad (1)$$

donde *ygap* corresponde a la brecha, esto es, el logaritmo de la desviación del PIB respecto de su tendencia, *r* es la tasa de interés real de corto plazo, *rl* la tasa de interés real de largo plazo, *q* es el tipo de cambio real, y *dt* es la distancia a la insolvencia, también modelada aquí. Como se explicó en detalle antes, *dt* es un indicador de riesgo financiero que podría reflejar, en general, las condiciones financieras

¹⁸ Una pregunta relacionada es si se debería incluir junto con el indicador de riesgo un indicador de apetito por riesgo de mercado como el VIX en los modelos de política monetaria. Ello podría ayudar en la estimación del impacto del indicador de riesgo crediticio sobre la brecha del PIB ajustada por variaciones en el apetito por riesgo.

¹⁹ Hay otras formas interesantes de incorporar el análisis de riesgo financiero en los modelos macroeconómicos. Por ejemplo se puede incorporar el riesgo de insolvencia y un premio por riesgo en el modelo Mundell-Fleming para separar los efectos de cambios en las tasas de interés que se deben a cambios en las tasas de mercado atribuibles al mercado de liquidez, y cambios en las tasas de interés atribuibles a cambios en el premio por riesgo asociado a la deuda Gray y Malone (2009).

que enfrenta la economía. Finalmente, ε_t^y es un *shock* al PIB. Todas las variables se expresan como logaritmos de las desviaciones respecto del estado estacionario.

La siguiente es la curva de Phillips:

$$\begin{aligned} \Delta\pi_t = & \alpha_1 [(\pi_{t+1}^e + \pi_t)/2 - \pi_{t-1}] \\ & + \alpha_2 [(\pi_{t-2} + \pi_{t-3} + \pi_{t-4})/3 - \pi_{t-1}] \\ & + \alpha_3 [(q_{t-1} - q_{t-4})/3 - \pi_{t-1}] \\ & + \alpha_4 [(ygap_{t-1} + ygap_{t-2})/2] + \varepsilon_t^\pi \end{aligned} \quad (2)$$

donde π_t representa la inflación, π_{t+1}^e la expectativa inflacionaria el próximo período, q_t el tipo de cambio real, y ε_t^π un *shock* de costos.

La ecuación del tipo de cambio (condición de paridad de tasas de interés) es:

$$q_t = \delta_1 q_{t+1} + \delta_2 q_{t-1} + (r - rf) + \delta_3 (dtd_{t-1}) + \varepsilon_t^q \quad (3)$$

El tipo de cambio real q depende de rezagos y adelantos de sí mismo, de la tasa de política monetaria interna r , de la tasa de interés externa rf , del indicador de riesgo dtd que incluye tanto la prima (*spread*) por riesgo soberano de la deuda interna, como la prima por riesgo soberano de la deuda externa y de un *shock* ε_t^q . De acuerdo con la paridad descubierta de tasas de interés, la variación esperada del tipo de cambio debería asociarse al diferencial entre las tasas de interés interna y externa, más cierto premio por riesgo.

La ecuación de la tasa de interés de largo plazo (curva de rendimiento) describe la relación entre las tasas de interés de largo plazo (rl_t) y corto plazo (r_t):

$$(rl_t) = \xi_1 (rl_{t+1}^e) + \xi_2 (rl_{t-1}) + (1 - \xi_1 - \xi_2)(r_t) + \varepsilon_t^{rl} \quad (4)$$

La función de reacción de la autoridad monetaria (regla de Taylor) es:

$$\begin{aligned} r_t = & \rho(r_{t-1}) \\ & + (1 - \rho) \left\{ r_t^{eq} + \theta \left[\frac{\gamma(\pi_{t+1} + \pi_t + \pi_{t-1})}{3} \right] \right. \\ & \left. + (1 - \gamma)(ygap_{t-1}) \right\} + \varsigma(dtd_t) \\ & + \varepsilon_t^r \end{aligned} \quad (5)$$

La tasa de interés de política monetaria depende de su propio rezago, de la brecha de la inflación esperada, de la brecha del producto, de la distancia a la insolvencia y de un *shock* de política. La inclusión de una medida de estabilidad financiera en la regla de Taylor para fijar la tasa de interés puede mejorar la eficiencia (bienestar) de la política monetaria, en particular si la estabilidad financiera afecta el producto. Sin embargo, una buena regulación y supervisión de las instituciones financieras podría ser una mejor manera de abordar la estabilidad financiera y, en muchos aspectos, es insustituible.

2. Módulo 2: Modelo de Distancia a la Insolvencia para el Sistema Bancario

Este módulo completa el sistema que será simulado en forma simultánea. El valor de los activos, A , se deriva del modelo de Black & Scholes (B&S):

$$A = (E + B * \exp(-r \cdot t)N(d_2)) / N(d_1) \quad (6)$$

donde E es el valor del patrimonio (o, lo que es lo mismo, el valor de la opción de compra), B es la barrera de insolvencia, r es la tasa de interés libre de riesgo y t es el período de tiempo que en el modelo está fijo en un año. Finalmente, $N(\cdot)$ es la función de distribución normal acumulada y d_1 y d_2 se derivan del modelo B&S, según lo descrito en la sección II:²⁰

$$d_1 = d_2 + \sigma_A \sqrt{t}, \text{ y} \quad (7)$$

$$d_2 = \frac{\ln(A/B_i) + (r - \sigma_A^2/2)t}{\sigma_A \sqrt{t}} \quad (8)$$

Obsérvese que d_2 es igual, precisamente, a la distancia a la insolvencia ($dtd = d_2$).

Queda claro en la ecuación (8) que la volatilidad de los activos (σ_A) y el valor de los activos (A) son cruciales para encontrar dtd . Por tanto, el sistema de ecuaciones no lineales requiere una ecuación para σ_A a fin de tener una solución:

²⁰ Dynare tiene incorporada una función explícita para la función de distribución normal.

$$\sigma_A = (\sigma_E * E) / (A * N(d_1)) \tag{9}$$

donde σ_E denota la volatilidad del patrimonio.²¹

Cabe señalar que, inicialmente, el patrimonio bancario (E) y su volatilidad (σ_E) se definieron como constantes. Sin embargo, los resultados obtenidos con las simulaciones del modelo fueron contraintuitivos respecto de la distancia a la insolvencia. De hecho, después de que un *shock* de costos golpeó la economía, la inflación aumentó según lo esperado, el PIB cayó y, como reacción a las presiones inflacionarias, la tasa de interés subió. Al tiempo que este escenario económico se configuraba, la distancia a la insolvencia crecía, señalando una mejor situación para la industria bancaria y los negocios en general, resultado que no parece sensato. No hace falta decir que las fronteras de eficiencia obtenidas tampoco fueron satisfactorias. En la misma línea, tras un *shock* positivo al PIB acompañado de un alza de la tasa de interés, la distancia a la insolvencia cayó al hacerse la economía más vulnerable. Esto es así porque en el modelo una mayor tasa de interés tiene un efecto negativo en el nivel de los activos, incluso si el desempeño de la economía es mejor.

En consecuencia, se adoptó una nueva estrategia para modelar tanto E como su volatilidad, σ_E . Como recordará el lector, la distancia a la insolvencia afecta las variables macro de varias maneras: a través de sus efectos sobre el PIB, el tipo de cambio real y la tasa de interés en las ecuaciones (1), (3) y (5) del modelo macro, respectivamente. En las siguientes ecuaciones, el PIB afecta el capital bancario (E) y su volatilidad (σ_E), y mediante este canal también incide sobre la distancia a la insolvencia, lo que hace que todo el sistema de ecuaciones sea completamente endógeno. Más aun, otro canal de endogeneidad es el efecto que tiene la tasa de interés sobre los activos (A) y sobre la volatilidad del patrimonio (σ_E):²²

$$E = \rho E(-1) + 0.01 * ygap_t \tag{10}$$

$$\sigma_E = 0.1 + 3 * (r_t - (ygap_{t+1} + ygap_t + ygap_{t-4}) / 3) \tag{11}$$

Con el fin de analizar la política monetaria, los parámetros del modelo macro (ver cuadro 1) fueron

estimados, excepto en algunos casos. En efecto, algunos parámetros se calibraron en la curva de rendimiento (ξ), en la función de reacción θ , γ , ζ así como los relativos a dtd en la condición de paridad de tasas de interés y la curva de Phillips, utilizados en el análisis de sensibilidad de la sección que sigue.

CUADRO 1	
Parámetros del Modelo Macro	
$\beta_1 = 0.1$	$\alpha_3 = 0.05$
$\beta_2 = -0.1$	$\alpha_4 = 0.15$
$\beta_3 = -0.6$	$\delta_1 = 0.3$
$\beta_4 = -0.4$	$\delta_2 = 0.6$
$\beta_5 = -0.5$	$\delta_3 = -0.04$
$\beta_6 = -0.5$	$\xi_1 = 0.5$
$\beta_7 = 0.02$	$\xi_2 = 0.45$
$\beta_8 = 0.2$	$\rho = 0.8$
$\alpha_1 = 0.3$	$\theta = 1.3$
$\alpha_2 = 0.5$	$\gamma = 0.2—0.3...—1.2$
$\alpha_3 = 0.05$	$\zeta = 0.5—1.0—1.5$

IV. SIMULACIONES ESTOCÁSTICAS Y ANÁLISIS DE POLÍTICA

Con el propósito de comprender cómo funciona el modelo, en primer lugar se obtienen impulsos respuesta (gráfico 4). Luego mediante la construcción de fronteras de eficiencia con las volatilidades del PIB y de la inflación (García, Herrera y Valdés, 2002; Laxton y Pesenti, 2003), se evalúan diferentes alternativas de política monetaria y calibraciones de algunos parámetros.

La introducción de *shocks* de 100 puntos base al producto (demanda) y a la inflación (costos) permite obtener respuestas del PIB, la inflación, el tipo de

²¹ Una explicación exhaustiva se encuentra en Gray y Malone (2008).

²² Vale la pena mencionar que el margen de una opción de venta es otra medida de riesgo que se podría utilizar alternativamente. Está descrita en Gray, Merton y Bodie (2008) y en Gray y Malone (2008) como función del valor de la opción de venta, la barrera de incumplimiento, la tasa libre de riesgo y el tiempo: $spread_put = -1/t * \log(1 - PUT/BB * \exp(-t * r)) - 0.00925382$. Aunque este concepto es útil, no se utilizó en las simulaciones realizadas con este modelo.

cambio y la tasa de interés de política monetaria r , así como del indicador de riesgo dtd , derivado del enfoque de CCA, y el valor de los activos A .

Luego de que un *shock* a la inflación o de costos golpea la economía, el producto cae y entonces la brecha del producto ($ygap$) toma valores negativos. A su vez, la tasa de interés tiende a aumentar, lo que, junto con la reducción de la brecha del producto incrementa la vulnerabilidad financiera y disminuye significativamente la distancia a la insolvencia (gráfico 4). La reducción de la distancia a la insolvencia es lo suficientemente grande para que la tasa de interés, que de otro modo crecería, termine cayendo mientras el tipo de cambio aumenta. Esto sucede porque el tipo de cambio es afectado no solo por la tasa de interés sino también por dtd a través del premio por riesgo.

En el caso de un *shock* positivo a la brecha del producto o de demanda, el PIB y la inflación aumentan, y lo mismo las tasas de interés, en tanto que el tipo de cambio cae de acuerdo con la intuición económica. El sistema tarda alrededor de cuatro años en volver al equilibrio previo al *shock* (gráfico 4).²³

En general, el modelo funciona según lo esperado por la intuición económica relacionada con la interacción entre las variables macro, y además dtd tiene una influencia fuerte en el comportamiento de la tasa de política monetaria, el tipo de cambio real e incluso la brecha del producto.

Las fronteras de eficiencia se construyen combinando la volatilidad de la inflación y el PIB que surgen cuando la economía es golpeada una y otra vez por *shocks* tomados de una distribución normal. En efecto, utilizando *Dynare*, la economía artificial se simuló durante 200 períodos, en forma repetida, y se calcularon las desviaciones estándar promedio de estas variables entre los períodos 100 y 120 en todas las repeticiones. El objeto de este ejercicio es comparar fronteras obtenidas con distintas ponderaciones para la distancia a la insolvencia en la regla de política e incluso distintas calibraciones del modelo. Siempre que la frontera está más cerca del origen el *tradeoff* de la volatilidad es menor, y es posible decir que la elección de política es mejor para el banco central.

Cada uno de los gráficos mostrados más adelante incluye tres fronteras. Todas se obtuvieron con una

regla de Taylor tradicional que incluye, además de las brechas de inflación y PIB ($\theta=0.5$, $\rho=0.6$ y $\gamma=0.6$), el indicador de estabilidad financiera dtd , es decir, la distancia a la insolvencia del sistema bancario. Una frontera proviene de una regla en la que dtd tiene un peso menor (con un coeficiente $\zeta = 0.5$), esto es, la autoridad tiene apenas una reacción débil al indicador de riesgo (línea azul). Las demás líneas del gráfico corresponden a fronteras obtenidas con funciones de reacción alternativas para la política monetaria que asignan un peso mayor a dtd , con coeficientes ζ iguales a 1 y 1.5, respectivamente (línea verde y línea naranja). En resumen, además de reaccionar a la inflación y el PIB, la autoridad monetaria reacciona también a la distancia a la insolvencia, de modo tal que cuando dtd es grande, la autoridad sube la tasa de interés, pero cuando el sistema bancario se acerca a la insolvencia, el banco central baja la tasa de interés más allá de lo que sería indicado por las brechas de inflación y producto. Esto es así porque un *shock* negativo al precio de los activos y a la liquidez podría derivar en una crisis de riesgo crediticio con consecuencias sistémicas en el crédito y la producción. Por el contrario, una dtd muy grande podría ser el resultado de burbujas de activos, las que al reventar se asocian generalmente a turbulencia financiera con efectos negativos, por lo que es recomendable reaccionar y evitar su crecimiento.

1. Tamaño de la Reacción a dtd en la Regla de Política

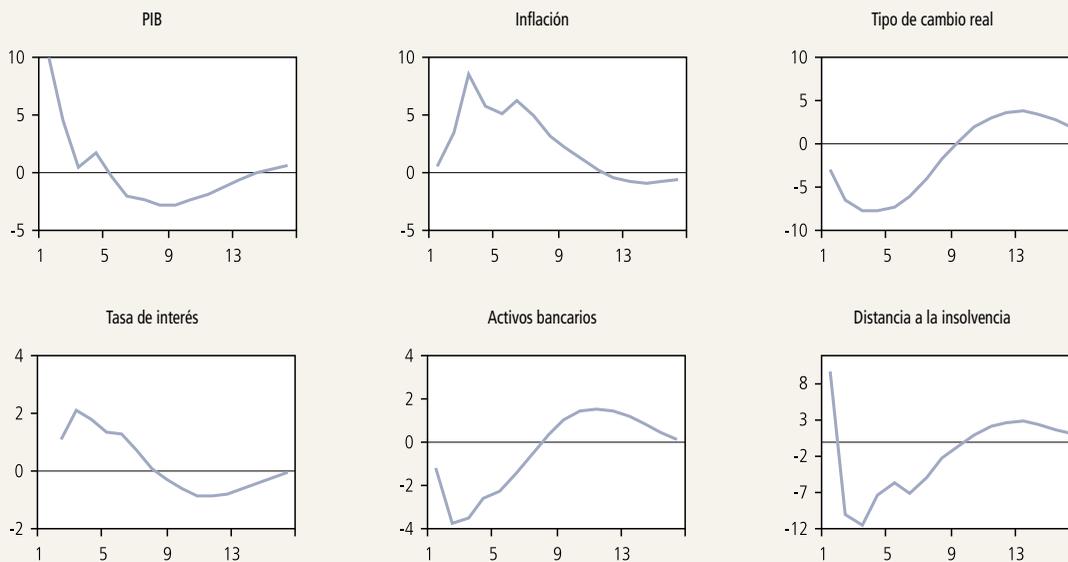
El tamaño de la reacción a dtd en la regla de Taylor tiene un efecto muy significativo en los resultados. En efecto, mientras mayor es el coeficiente asociado a dtd en la función de reacción de la autoridad, más cerca del origen estará la frontera obtenida con las simulaciones (línea naranja en el gráfico 5).

²³ Un *shock* negativo a la distancia a la insolvencia dtd , el cual no se presenta aquí, ocasiona una pequeña caída inicial en $ygap$. Sin embargo, dado que dtd está incluida en la función de reacción de política, el *shock* original es seguido de una rebaja de la TPM. Además, el arbitraje a través de la paridad descubierta, así como el aumento del premio por riesgo producen una depreciación real importante. Por tanto, la tasa de interés y el tipo de cambio alimentan una expansión del PIB.

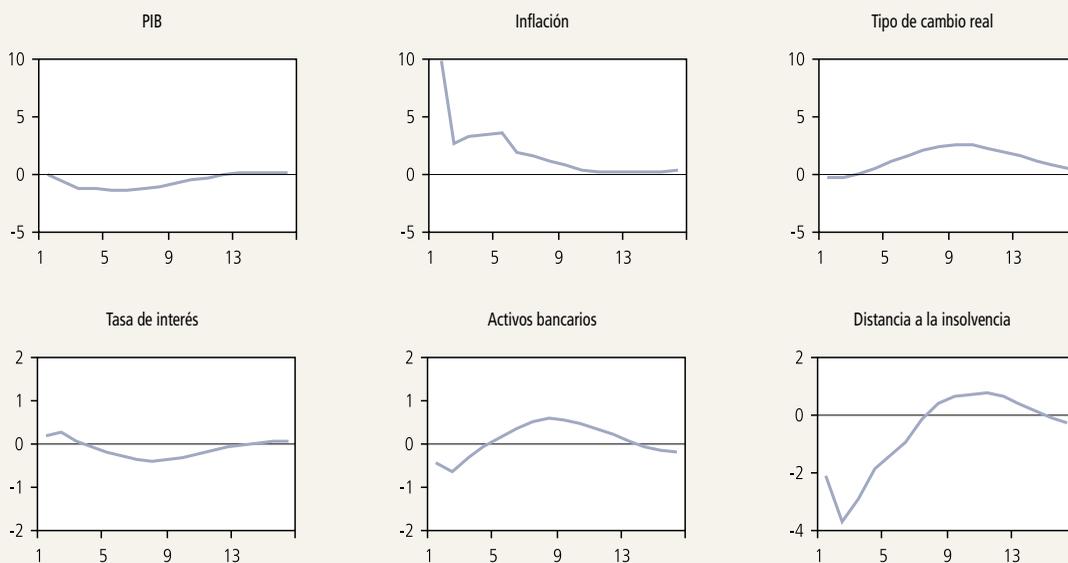
GRÁFICO 4

Impulsos-Respuesta

A. Respuestas a un *shock* de inflación o de costos



B. Respuestas a un *shock* al PIB

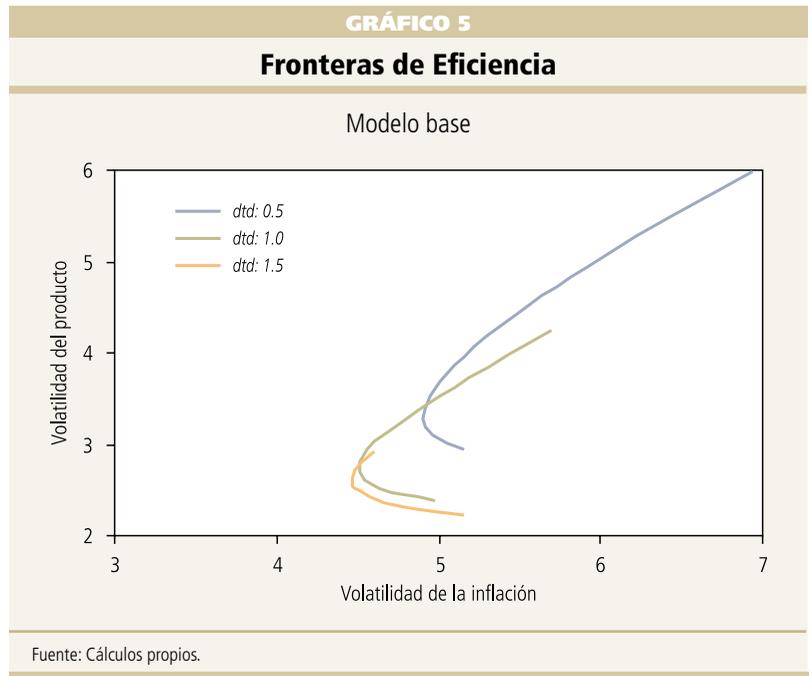


Fuente: Cálculos propios.

Por tanto, la estabilización de *dtd* por parte del banco central contribuye a reducir la volatilidad tanto del PIB como de la inflación, que cae más con un coeficiente grande de *dtd*, pero con ganancias marginales decrecientes. Efectivamente, queda claro en el gráfico que aumentar el coeficiente de 0.5 a 1 genera una reducción grande en la volatilidad del PIB y de la inflación mientras que usar un coeficiente de 1.5, en vez de 1, mejora el *tradeoff* solo en forma marginal.

2. Efecto Endógeno en el Patrimonio Bancario (E) y su Volatilidad (σ_E)

Este experimento consiste en incrementar en forma sustancial el efecto del PIB tanto en el patrimonio bancario (*E*) como en su volatilidad (σ_E). Esto se hace aumentando el coeficiente de *ygap* de 0.01 a 0.1 en la ecuación (10) y de 1 a 1.5 en la ecuación (11). Si la retroalimentación desde el PIB hacia el patrimonio del Banco y *dtd* (endogeneidad) es más fuerte, las ganancias de reaccionar con fuerza a *dtd* son aun mayores que en el modelo base (gráfico 6). En efecto, una comparación de ambos paneles del gráfico muestra que la reducción de la volatilidad de ambas variables incluidas en la frontera es superior aquí (panel derecho) que en el modelo base (panel izquierdo).



3. Efecto de *dtd* en el tipo de cambio real

En este experimento, se aumentó el efecto (coeficiente) de *dtd* en la ecuación (3) del tipo de cambio (premio por riesgo) de 0.04 a 0.5 (gráfico 7, panel derecho). Una vez más, la línea naranja, que representa la frontera obtenida con una ponderación mayor de *dtd* en la función de reacción, incluye puntos que están más cerca del origen que ningún punto de las líneas verde o azul. Por tanto, esta es la política que el banco central tendría que preferir. Las ganancias

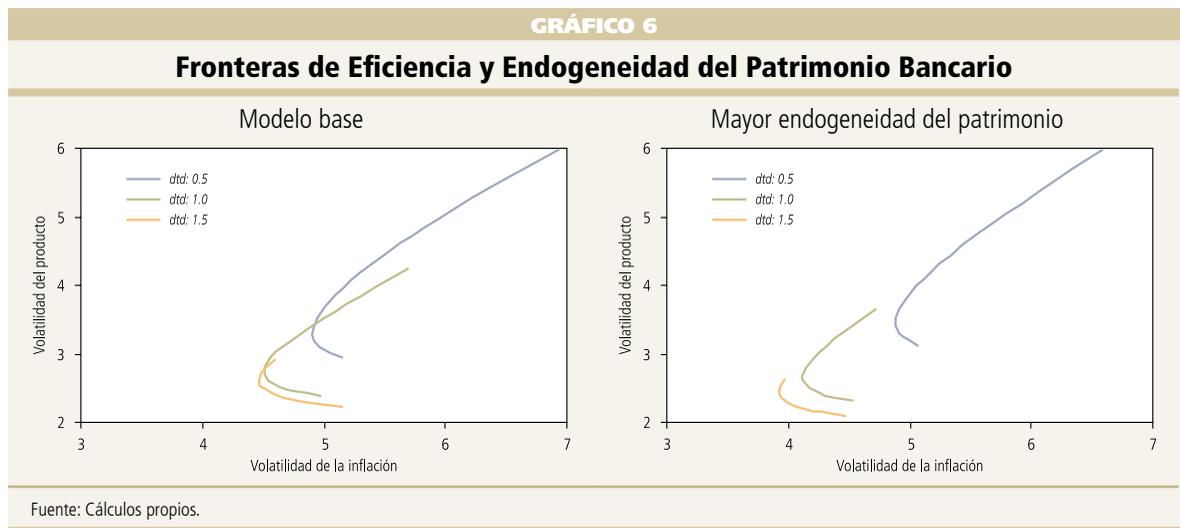


GRÁFICO 7

Frontera de Eficiencia y Paridad de Tasas de Interés

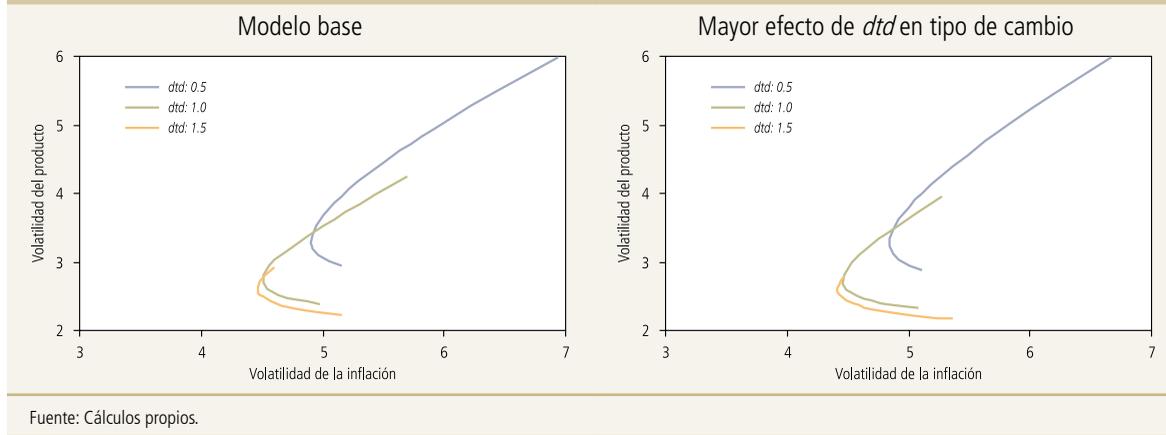
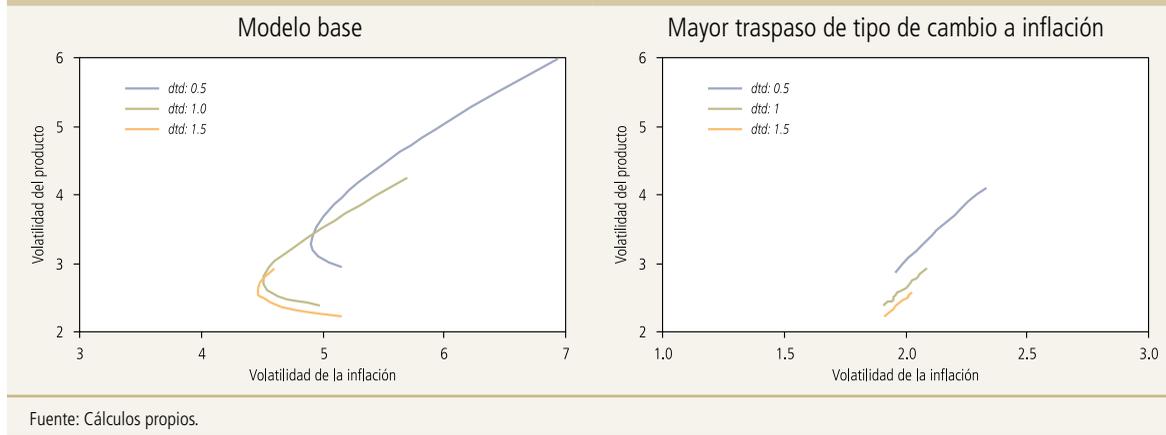


GRÁFICO 8

Frontera de Eficiencia y Transmisión de Tipo de Cambio a Inflación



en términos de volatilidad son bastante parecidas en ambos paneles del gráfico 7. El panel derecho del gráfico muestra solo diferencias pequeñas con respecto al modelo base. La forma que toman las fronteras obtenidas en este experimento indica que, al aumentar el peso de la dtd de 0.5 a 1 se produce una disminución mayor de la volatilidad inflacionaria.

4. Alto Traspaso del tipo de cambio a la inflación

Si el traspaso de tipo de cambio a la inflación fuera mayor (0.7 en lugar de 0.5), la política del banco central sería más eficiente si reaccionara a dtd . De hecho, al

reaccionar a dtd el banco central puede reducir la volatilidad del producto pero no la de la inflación (gráfico 8). Como se aprecia en el gráfico, las fronteras se desplazan hacia abajo cada vez que el coeficiente asociado a dtd , en la regla de política monetaria, aumenta. En efecto, un alto nivel de traspaso es un tema importante en las economías muy abiertas. Si los precios fueran muy flexibles y rápidamente reflejaran cualquier movimiento del tipo de cambio, un *shock* de premio por riesgo podría afectar negativamente el PIB y, al mismo tiempo, aumentar la inflación. Por tanto, la autoridad enfrentaría un *trade off* entre estabilizar la inflación y el producto.

En resumen, las simulaciones del modelo macro muestran que al banco central le resulta más eficiente asignar una ponderación mayor a *dtd* en la función de reacción, dado que la volatilidad de la inflación y el producto decrecen. Siempre que el traspaso de tipo de cambio a precios sea muy alto, el incluir la *dtd* en la función de reacción reducirá la volatilidad del producto sin aumentar la variabilidad de la inflación. Además, ya sea que la vulnerabilidad financiera *dtd* tenga un efecto mayor sobre el tipo de cambio, o que el PIB tenga un efecto mayor sobre el patrimonio bancario y, por esa vía, sobre *dtd* –más endogeneidad–, será más eficiente incorporar *dtd* a la función de reacción porque así el banco central será capaz de reducir la volatilidad tanto de la inflación como del producto.

V. CONCLUSIONES

El principal objetivo de este artículo ha sido la integración del análisis de la vulnerabilidad del sector financiero a los modelos macroeconómicos, la cual es un área de interés creciente para las autoridades de economías desarrolladas y emergentes. Hemos utilizado herramientas del análisis de derechos contingentes (CCA), desarrolladas en finanzas, para construir indicadores de estabilidad financiera en un modelo estándar de política monetaria. El riesgo del sector financiero afecta la economía y, a su vez, la economía (PIB) y las tasas de interés afectan el riesgo de crédito del sector financiero.

El nuevo marco es simple pero contundente para el análisis de la política monetaria. En efecto, el modelo tiene las principales variables analizadas por las autoridades, pero es lo suficientemente pequeño como para que sea fácil entender su funcionamiento. Aunque se usa una economía artificial para hacer la simulación estocástica, la evidencia empírica apoya al modelo. Asimismo, las respuestas de las variables ante *shocks* se comportan de acuerdo con la intuición económica.

La principal interrogante a responder con el modelo integrado fue si el banco central debería o no incluir en forma explícita el indicador de estabilidad financiera en la función de reacción de la tasa de interés. La alternativa es responder solo en forma indirecta al riesgo financiero reaccionando a las brechas de inflación y del PIB, puesto que estas ya incluyen el efecto que tienen los factores financieros en la economía. Con el fin de

responder la pregunta, se construyeron fronteras de eficiencia con las volatilidades de la inflación y del producto obtenidas de las simulaciones estocásticas. En general, se concluye que incluir *dtd* en la función de reacción reduce la volatilidad tanto de la inflación como del producto. Mover la tasa de interés de política más que lo que resulta coherente con las brechas de inflación y del producto es eficiente porque, como se sabe, un *shock* negativo a los precios de activos y a la liquidez podría terminar en una crisis de riesgo de crédito con un daño sistémico al sistema financiero y por intermedio de este al PIB.

También realizamos un conjunto de ejercicios en los que se calibraron algunos de los parámetros del modelo para reflejar y evaluar diferencias entre economías en lo relativo al traspaso del tipo de cambio a la inflación, la relación entre riesgo financiero y tipo de cambio a través de la condición de paridad de intereses (premio por riesgo), y la endogeneidad del indicador financiero, esto es, el grado en que las variables macro, el PIB y las tasas de interés, inciden en la distancia a la insolvencia a través del valor de los activos bancarios, el patrimonio bancario y la volatilidad del patrimonio. Cuando el traspaso de tipo de cambio a inflación es mayor, cuando el impacto de la vulnerabilidad financiera (*dtd*) sobre el tipo de cambio es mayor; o cuando, el efecto del PIB sobre el patrimonio bancario –la endogeneidad– es mayor, es más eficiente incluir *dtd* en la función de reacción, con un coeficiente alto.

Por último, esta es la primera aproximación al tema y queda una buena cantidad de refinamientos y extensiones para ser abordadas en el futuro. Una lista incompleta incluiría: i) combinaciones de escenarios financieros (sólido, normal, frágil); ii) cambios en la dinámica del modelo macro; iii) adopción de un modelo macro de equilibrio general microfundado; iv) introducción de evidencia empírica para otros países y/o aplicación del marco a otras economías. Todo lo cual queda para ser explorado más adelante.

REFERENCIAS

- Alfaro, R.A. y C.G. Silva (2008). “Volatilidad de Índices Accionarios: El Caso del IPSA.” *Cuadernos de Economía* 45: 217-33.

- Berg, A., P. Karam y D. Laxton (2006a). "A Practical Model-Based Approach to Monetary and Policy Analysis—Overview." IMF Working Paper 06/80.
- Berg, A., P. Karam y D. Laxton (2006b). "A Practical Model-Based Approach to Monetary and Policy Analysis—How To Guide." IMF Working Paper 06/81.
- Bernanke, B, M. Gertler y S. Gilchrist (1999). "The Financial Accelerator in a Quantitative Business Cycle Framework." En *Handbook of Macroeconomics*, editado por J.B. Taylor y M. Woodford. Amsterdam: Elsevier Science.
- Black, F. y J. Cox (1976). "Valuing Corporate Securities: Some Effects of Bond Indenture Provisions." *Journal of Finance* 31(2): 351-67.
- Black, F. y M. Scholes (1973). "The Pricing of Options and Corporate Liabilities." *Journal of Political Economy* 81(mayo-junio): 637-54.
- CreditGrades (2002). CreditGrades Technical Document, RiskMetrics Group.
- Cossin, D. y H. Pirotte (2001). *Advanced Credit Risk Analysis*. John Wiley & Sons. Ltd.
- Belmont, D.(2004). *Value Added Risk Management in Financial Institutions*. Wiley Finance.
- Crouhy, M., D. Galai y R. Mark (2000). *Risk Management*. New York, EE.UU.: Mc Graw Hill.
- Echeverría, C., G. Gómez y L. Luna (2008). "Robustez de Estimadores de Riesgo de Crédito Bancario Usando Análisis de Derechos Contingentes." Mimeo, Banco Central de Chile.
- García, P., L.O. Herrera y R. Valdés (2002). "New Frontiers for Monetary Policy in Chile" in Norman Loayza y Raimundo Soto editors Inflation Targeting: Design, Performance, Challenges. Banco Central de Chile.
- Goodhart, C.A.E., P. Sunirand y D.P. Tsomocos (2006a). "A Model to Analyse Financial Fragility." *Economic Theory* 27: 107-42.
- Goodhart, C.A.E., P. Sunirand y D.P. Tsomocos (2006b). "A Time Series Analysis of Financial Fragility in the UK Banking System." *Annals of Finance* 2: 1-21.
- Gray, D., C. Echeverría y L. Luna (2006). "Una medida del Riesgo de Insolvencia de la Banca en Chile." Informe de Estabilidad Financiera, Banco Central de Chile, segundo semestre.
- Gray, D. y S. Malone (2008). *Macrofinancial Risk Analysis*. Reino Unido: Wiley Finance.
- Gray, D. y S. Malone (2009). "Currency Mismatch and Exchange Rate Defense: the Role of Monetary Policy in Equilibrium Selection under Imperfect Capital Mobility and Default Risk." Por aparecer como IMF Working Paper.
- Gray, D., R. Merton y Z. Bodie (2006). "A New Framework for Analyzing and Managing Macrofinancial Risks of an Economy." NBER Working paper 12637.
- Gray, D., R. Merton y Z. Bodie (2007). "New Framework for Measuring and Managing Macrofinancial Risk and Financial Stability." NBER Working Paper 13607.
- Gray, D., R. Merton y Z. Bodie (2008). "A Contingent Claims Analysis of the Subprime Credit Crisis of 2007-2008." Presentado en la Conferencia Anual sobre Liquidez y Riesgo de Crédito de CREDIT, Venecia 22-23 de septiembre de 2008.
- Gray, D. y J. Walsh (2008). "Factor Model for Stress-testing with a Contingent Claims Model of the Chilean Banking System." IMF Working Paper 08/89.
- Haldane, A., S. Hall, S. Pezzini. (2007). "A New Approach to Assessing Risks to Financial System Stability." Financial Stability Paper N°2.
- Hull, J., I. Nelken y A. White (2004). "Merton's Model, Credit Risk and Volatility Skews." *Journal of Credit Risk* 1(1): 3-28.
- KMV Corporation, (1999 and 2001). "Modeling Default Risk." KMV Corp, Crosbie, Peter, KMV (hoy Moody's-KMV).
- Laxton, D. y P. Pesenti (2003). "Monetary rules for Small Open Emerging Economies." *Journal of Monetary Economics* 50(5): 1109-146.
- Levonian, M (1991). "Have Large Banks Become Riskier? Recent Evidence from Option Markets" *Economic Review*, Federal Reserve Bank of San Francisco, Fall (4): 2-17.
- Longstaff, F. y E. S. Schwartz (1995). "A Simple Approach to Valuing Risky Fixed and Floating Rate Debt." *Journal of Finance* 50(3): 789-819.
- Merton, R.C. (1973). "Theory of Rational Option Pricing." *Bell Journal of Economics and Management Science*, 4(3): 141-83.
- Merton, R.C., (1974). "On the Pricing of Corporate Debt: The Risk Structure of Interest Rates." *Journal of Finance* 29: 449-70.
- Merton, R.C., (1977). "An Analytic Derivation of the Cost of Loan Guarantees and Deposit Insurance: An Application of Modern Option Pricing Theory." *Journal of Banking and Finance* 1: 3-11.
- Merton, R.C. (1992) *Continuous-Time Finance*. Oxford, Reino Unido: Blackwell Publishing.
- Segoviano, M., C. Goodhart, B. Hofmann (2006). "Default, Credit Growth, and Asset Prices" IMF Working Paper 06/223.
- Segoviano, M. (2006). "Portfolio Credit Risk and Macroeconomic Shocks: Applications to Stress Testing Under Data-Restricted Environments." IMF Working Paper 06/283.

Shimko, D., N. Tejima y D. van Deventer (1993). "The Pricing of Risky Debt When Interest Rates are Stochastic." *Journal of Fixed Income* 3(2): 58-66.

Stamcar, R. y C. Finger (2005). "Incorporating Equity Derivatives into the CreditGrades Model." *RiskMetrics Journal* 6(1): 35-63.

Taylor, J. (1993). "Discretion versus Policy Rules in Practice" *Carnegie Rochester Series on Public Policy* 39: 195-214.

Zou, J. (2003). "The Relationship between Credit Default Probability and Equity Volatility Surface" Presentado en Conferencia sobre Riesgo en Boston, MA, EE.UU.

APÉNDICE A

Extensiones del Modelo de Merton

El modelo original de Merton ha sido objeto de numerosas extensiones en las que se relajan algunos de sus supuestos. Las restricciones del modelo consisten en suponer que: (i) una deuda cae en mora solo al vencimiento; (ii) existe una barrera de insolvencia que es fija; (iii) la tasa de interés libre de riesgo es constante; y (iv) la volatilidad de los activos es constante. Cossin y Piroette (2001) proveen un buen resumen de las extensiones del modelo de Merton. Black y Cox (1976) quitaron los supuestos (i) y (ii) e introdujeron un modelo de “primera pasada” donde se puede caer en insolvencia antes del vencimiento de la deuda, la primera vez que el activo cae por debajo de una barrera predeterminada.

Aunque la condición teórica para la insolvencia en el modelo de Merton es en estricto rigor que el valor del activo sea insuficiente para hacer frente al servicio de la deuda, en la vida real lo típico es que ocurra una quiebra con valores del activo mucho mayores, sea por no pago de una cuota, porque no se puede liquidar el activo para pagarla (“liquidez inadecuada”) o porque el deudor –que puede ser una nación soberana– decide incumplir e inducir una renegociación de la deuda antes que vender sus bienes. Para capturar en el modelo estas condiciones de insolvencia del mundo real, se especifica un valor de mercado de los activos al cual ocurre el incumplimiento o insolvencia. Este nivel de activos que detona la insolvencia se denomina “barrera de insolvencia”, la que puede definirse como el valor presente de los pagos comprometidos descontados a la tasa libre de riesgo. El criterio utilizado en el modelo KMV establece la barrera en un monto igual a la suma del valor libro de la deuda de corto plazo, los intereses acordados para los próximos 12 meses, y la mitad de la deuda de largo plazo (Crouhy, Galai y Mark, 2000; KMV, 1999; 2001).

En el decenio de los noventa, el modelo de KMV estaba basado en el modelo de Vasicek y Kealhofer (VK), el cual tiene múltiples niveles de obligaciones y una opción de venta por insolvencia, así como varias características confidenciales. La medida Moody’s KMV de frecuencia esperada de incumplimiento (EDF)

del crédito se calcula mediante un procedimiento iterativo para encontrar la volatilidad del activo. Esta distancia a la insolvencia se asocia a las probabilidades reales de insolvencia utilizando una base de datos detallada que incluye probabilidades de insolvencia de muchas empresas calculadas con datos reales. La distancia a la insolvencia del MKMV y la CEDF (probabilidad esperada acumulada de insolvencia) se calculan así:

$$DD_{KMV} = f \left(\frac{\ln(A_0 / B_t) + (\mu_A - \sigma_A^2 / 2)t}{\sigma_A \sqrt{t}} \right)$$

$$CEDF_t = f(DD_{KMV}(t)).$$

Cabe señalar que esta definición de DD_{KMV} incluye la tendencia real del activo, μ_A , en tanto en el modelo de Merton la tasa de interés r es la tendencia del activo. Dado que el Moody’s KMV estima la probabilidad de insolvencia real, las probabilidades neutrales al riesgo se calculan a partir de la correlación del activo implícito con el mercado, el coeficiente de Sharpe y el horizonte temporal.

El modelo de Merton ha sido ampliado para que incluya también tasas de interés estocásticas. Shimko, Tejima y van Deventer (1993) and Belmont (2004) incorporan un modelo de estructura de tasas de interés de Vasicek que relaja el supuesto (iii) y permite que la tasa de interés libre de riesgo cambie teniendo en cuenta la correlación entre el retorno del activo y la tasa de interés. Hay dos factores estocásticos —el activo y la tasa de interés— y suele recibir el nombre de modelo STV. Longstaff y Schwartz (1995) toman el modelo de Black y Cox (1976) e incorporan tasas de interés estocásticas de manera similar a como el STV incluye tasas de interés.

El modelo CreditGrades (2002) incluye una difusión de activos de una empresa y la posibilidad de incumplimiento antes del vencimiento con una barrera de insolvencia estocástica. Además, el modelo se ha modificado para incorporar derivados patrimoniales (Stamcar y Finger, 2005). Estudios recientes han analizado la relación entre el sesgo de volatilidad implícito en opciones accionarias y los márgenes o primas cobradas para eliminar el riesgo asociado a títulos de deuda “*spreads CDS*” (Hull,

Nelken y White, 2004). Estos autores establecen una relación entre la volatilidad implícita de dos opciones accionarias, el apalancamiento y la volatilidad del activo. Este enfoque es otra forma de implementar el modelo de Merton para obtener directamente los márgenes o premios (*spreads*) y las probabilidades de insolvencia neutrales al riesgo a partir de la volatilidad implícita de las opciones accionarias. Una estrategia parecida que utiliza varias opciones se analiza en Zou (2003).

Es probable que la autoridad otorgue apoyo financiero para cubrir el riesgo de crédito y liquidez antes de que se llegue a la barrera de insolvencia. La autoridad puede definir un capital mínimo o barrera de capital además de la barrera de insolvencia. Por ejemplo, se podría utilizar la barrera de insolvencia más un 8%

del valor de mercado de los activos como “barrera del 8% de capital mínimo”. El área entre la barrera de capital mínimo y la barrera de insolvencia representa la probabilidad de caer por debajo del capital mínimo, pero sin llegar a la insolvencia. El valor de esta área se calcula como la diferencia entre el valor implícito de una opción de venta justo por debajo de la barrera mínima de capital y el valor implícito de la opción de venta, que considera el límite de insolvencia. Este cálculo es particularmente importante para un banco central porque mide la pérdida directamente relacionada con el apoyo de liquidez o financiero que sería necesario para aumentar los activos del banco por sobre su nivel de capital mínimo y se denomina “opción de venta de la barrera de capital” o “pérdida esperada en la barrera de capital”.

APÉNDICE B

Resultados de la Regresión entre el Producto y la Brecha del Producto y la Distancia a la Insolvencia del Sistema Bancario

$$\Delta y_t = c + \alpha_1 r_{t-1} + \alpha_2 \Delta dtd_{t-1} + \alpha_3 \Delta e_{t-1} + \alpha_4 \Delta y_{t-1} + \varepsilon_t$$

La primera regresión se hace sobre el crecimiento del PIB:

CUADRO B1				
Variable Dependiente : DLOG(YS,0,3)				
Muestra (ajustada): 1998M05 2007M02				
Observaciones Incluidas: 106 después de ajustes				
Variable	Coefficiente	Error estándar	Estadístico-t	Probabilidad
C	0.011	0.002	4.830	0.000
R(-1)	-0.001	0.000	-3.723	0.000
DLOG(TCR(-1),0,3)	0.046	0.019	2.438	0.017
DLOG(DTDS(-1),0,3)	0.012	0.003	3.551	0.001
DLOG(YS(-1),0,3)	0.463	0.074	6.283	0.000
R-cuadrado	0.574	Media var. dependiente		0.009
R-cuadrado ajustado	0.557	Error estándar var. dependiente		0.013
Error est. de regresión	0.008	Indicador Akaike		-6.677
Suma residuos cuadrado	0.007	Indicador Schwarz		-6.552
Log verosimilitud	358.890	Estadístico-F		34.036
Estad. Durbin-Watson	1.912	Prob (estadístico-F)		0.000

Fuente: Cálculos propios.

La segunda es una regresión sobre la brecha del producto:

$$gap_t = c + \alpha_1 \Delta dt_{t-1} + \alpha_2 \Delta e_{t-1} + \alpha_4 gap_{t-1} + \varepsilon_t$$

CUADRO B2

Variable Dependiente: YGAP
Muestra (ajustada): 1998M02 2007M02
Observaciones Incluidas: 109 después de ajustes

Variable	Coefficiente	Error estándar	Estadístico-t	Probabilidad
C	-1.736	0.470	-3.691	0.000
DLOG(TCR(-3),0,3)	4.134	1.639	2.522	0.013
LOG(DTDS(-1))	0.934	0.256	3.653	0.000
YGAP(-1)	0.513	0.082	6.275	0.000
YGAP(-3)	0.225	0.072	3.113	0.002
R-cuadrado	0.661	Media var. dependiente		-0.035
R-cuadrado ajustado	0.648	Error estándar var. dependiente		1.201
Error est. de regresión	0.712	Indicador Akaike		2.204
Suma residuos cuadrado	52.766	Indicador Schwarz		2.328
Log verosimilitud	-115.126	Estadístico-F		50.695
Estad. Durbin-Watson	1.842	Prob (estadístico-F)		0.000

Fuente: Cálculos propios.

Estas regresiones muestran que los cambios en *dt* son significativos para explicar tanto el crecimiento trimestral del PIB (ecuación 1) como la brecha del producto (ecuación 2) con el signo esperado (positivo).

APÉNDICE C

Futuras Aplicaciones y Extensiones

Regla de adecuación de capital para la banca

El banco central puede ampliar su conjunto de instrumentos de política para acomodar mejor múltiples objetivos. Entre las herramientas adicionales que puede utilizar para fomentar la estabilidad financiera está el encaje a los bancos y otras medidas de adecuación de capital, tales como medidas de valor en riesgo VaR instauradas en Basilea II. Por ejemplo, se puede especificar una regla que permita lograr una meta para el nivel de dicha medida de adecuación de capital, C , como sigue:

$$C_t = \phi_1 C_{t-1} + (1 - \phi_1)[\eta_2 ygap_t + \eta_3 iefgap_t] + \varepsilon_{10,t}$$

Donde $iefgap$ corresponde a la brecha del indicador de estabilidad financiera.

Mientras más se acerca el parámetro ϕ_1 a la unidad, más persistencia se incorpora al requisito de adecuación de capital. Al igual que en el caso de las

tasas de interés, algo de persistencia es importante, porque un cambio significativo de los requisitos de adecuación de capital o de tasas de interés en un tiempo corto también podría contribuir a la inestabilidad si los bancos se ven obligados a moverse en masa para cumplir con las nuevas exigencias. El segundo término de la regla anterior, que está multiplicado por el coeficiente $1 - \phi_1$, permite al banco central utilizar el nivel de capital obligatorio, u otras variables que afectan el perfil de riesgo del sector bancario, para responder a desviaciones de la inflación, el producto y la inestabilidad financiera.

Una disminución al requisito de adecuación de capital, al estimular el crédito, puede contribuir a aumentar la inversión y el producto cuando este está por debajo de su nivel de tendencia. De modo similar, cuando un indicador de estabilidad financiera escogido por el banco central alcanza algún límite inferior, el establecimiento de requisitos más estrictos de adecuación de capital puede ayudar a reducir la probabilidad de inestabilidad bancaria o de quiebra generalizada.

Finalmente, el gobierno y el banco central deberán escoger los coeficientes de la regla para maximizar sus funciones objetivo.