

# Una medida sistémica del riesgo de liquidez

*Carolina Pagliacci  
Jennifer Peña*

## Resumen

*En este trabajo se estima el riesgo sistémico de liquidez mediante la evaluación del comportamiento de variables bancarias agregadas y de política relacionadas con la gestión de activos líquidos. La premisa básica es que la liquidez se relaciona no sólo con la posibilidad de cumplir con las deudas interbancarias, sino también con la disponibilidad de activos líquidos suficientes para cumplir otras obligaciones de corto plazo, como las que surgen de la interacción de los bancos con el banco central. Para medir el riesgo de liquidez, utilizamos la metodología de pasivos contingentes de Merton (1974) y Gray y Malone (2008). La información producida por el modelo (probabilidad de incumplimiento)*

---

C. Pagliacci <carolina.pagliacci@iesa.edu.ve>, profesora asociada del Instituto de Estudios Superiores de Administración, y J. Peña <jenpena@bcv.org.ve>, analista económico de la Oficina de Investigaciones Económicas, Banco Central de Venezuela. Las autoras agradecen las sugerencias realizadas por los asistentes al Seminario de la Vicepresidencia de Estudios del Banco Central de Venezuela y a la Octava Conferencia Boliviana en Desarrollo Económico organizada por la Sociedad de Economistas de Bolivia, el Instituto de Estudios Avanzados en Desarrollo, la Academia Boliviana de Ciencias Económicas y la Universidad Privada Boliviana. Las opiniones emitidas en este artículo son responsabilidad de los autores y no comprometen la visión que el Banco Central de Venezuela pueda tener sobre el tema.

*explica y mejora la predicción tanto de los montos como de las tasas de interés negociadas en el mercado interbancario. Para el caso venezolano, dada la importancia del gasto fiscal en la creación primaria de dinero, una expansión monetaria fiscalmente inducida tiende a reducir la posibilidad de eventos de iliquidez. Un aumento del encaje legal aumenta la probabilidad de incumplimiento al aumentar las obligaciones bancarias a corto plazo.*

*Palabras clave: análisis de pasivos contingentes, mercado interbancario, riesgo sistémico, regulación macroprudencial.*

*Clasificación JEL: G00, G13, G18.*

## **Abstract**

This paper analyzes systemic liquidity risk by assessing the behavior of aggregate banking variables and policies related to the management of liquid assets. The basic premise is that liquidity is not only related to the ability to meet interbank debt obligations, but also the availability of sufficient liquid assets to cover other short-term liabilities, such as those arising from commercial banks interaction with the central bank. To measure liquidity risk, we use the contingent claims approach of Merton (1974) and Gray, and Malone (2008). Data produced by the model (probability of default) explains and improves prediction of the amounts and interest rates negotiated in the interbank market. In the case of Venezuela, given the importance of fiscal expenditure in the primary creation of money, fiscally induced monetary expansion tends to reduce the likelihood of illiquidity events. Meanwhile, an increase in reserve requirements increases the probability of default by raising banks' short-term liabilities.

**Keywords:** contingent asset analysis, interbank market, systemic risk, macroprudential regulation.

**JEL classification:** G00, G13, G18.

## 1. INTRODUCCIÓN

Este trabajo intenta contribuir a la medición del riesgo sistémico de liquidez y a la comprensión de los factores que la afectan.

El riesgo de liquidez para un banco en particular se puede entender como la posibilidad de que este no sea capaz de hacer frente a sus obligaciones de pago o flujos de caja con el resto de los bancos, tal como señala Cao (2015).<sup>1</sup> En la bibliografía, el riesgo sistémico asociado al problema de liquidez típicamente se entiende como el contagio que ocurre entre las instituciones del sistema a partir de la verificación de problemas de impago de bancos altamente interconectados (o sistémicamente importantes). Debido a que los modelos de redes permiten a los analistas entender en qué medida un evento individual puede generar efectos de tipo dominó, estos modelos se han vuelto clave para estudiar el riesgo sistémico de liquidez. Un resumen sobre este tipo de estudios se encuentra en Upper (2011). Por su parte, Smaga (2014) y Drehmann y Tarashev (2011) señalan que estas estimaciones de contagio de riesgos individuales representan una medición del riesgo sistémico desde una perspectiva de abajo hacia arriba.

Sin embargo, dada la complejidad de los factores que contribuyen al riesgo sistémico, Smaga (2014) también señala que aún no hay consenso sobre su definición. Esto ha abierto la posibilidad de medir el riesgo sistémico también desde una perspectiva de arriba hacia abajo, es decir, asociar el riesgo sistémico a variables agregadas o factores macroeconómicos, que puedan dar cuenta del estado del sistema como un todo. Esta perspectiva resulta relevante si consideramos la existencia de

---

<sup>1</sup> Esta definición corresponde al evento de iliquidez de fondos, la cual se diferencia de la iliquidez de mercado. Esta última se puede entender como el riesgo de que una institución no pueda comprar y vender activos de forma inmediata sin forzar cambios en sus precios, debido a la insuficiente profundidad o a distorsiones del mercado.

factores exógenos, que pueden afectar al sistema bancario en su conjunto, pero que pueden quedar ocultos cuando el análisis se centra en las instituciones individuales, tal como apuntan Elsinger *et al.* (2002). Asimismo, Brunnermeier *et al.* (2009) argumentan que para regular de manera adecuada el riesgo sistémico es necesario abandonar la mirada predominante, la cual afirma que un sistema es seguro si cada institución que lo conforma es segura (enfoque microprudencial). Es decir, es indispensable adoptar un enfoque macroprudencial, en el que se incorpore información macroeconómica relevante para el análisis de la estabilidad del sistema como un todo.

Este trabajo estima el riesgo sistémico de liquidez a partir del comportamiento de variables bancarias agregadas y de política que se relacionan con el manejo de la liquidez bancaria. La premisa básica es que la liquidez se relaciona no sólo con la posibilidad de cumplir con las deudas interbancarias, sino también con la disponibilidad de suficientes activos líquidos para cumplir con otras obligaciones de corto plazo, como las que surgen de la interacción de los bancos con el banco central. Los bancos, para pagar cualquiera de estas obligaciones, típicamente reducen sus activos líquidos, bien sea aquellos disponibles de forma inmediata (como el efectivo), o aquellos otros activos menos líquidos que deben ser previamente vendidos al mercado (como las letras del Tesoro). Debido a que el valor de mercado de los activos menos líquidos fluctúa, estos están sujetos a posibles pérdidas. Por tanto, los activos líquidos totales –la suma de los disponibles y los menos líquidos– pueden tratarse como una variable estocástica. En este contexto, el riesgo sistémico de iliquidez surge debido a las potenciales pérdidas involucradas en las transacciones de mercado, las cuales ponen en riesgo el cumplimiento de las obligaciones de corto plazo. En consecuencia, este riesgo será mayor en la medida que aumente la necesidad de transformar, por medio del mercado, los activos menos líquidos en activos disponibles. Dado que esta noción de riesgo de liquidez es sistémica,

incorporar el efecto de la autoridad monetaria en los fondos de los bancos es también crucial.

Para medir los riesgos asociados a los cambios en la liquidez se aplica la metodología de pasivos contingentes, elaborada originalmente para empresas por Merton (1974) y aplicada a diversos sectores macrofinancieros por Gray y Malone (2008). Esta metodología, a partir de la reorganización de la información de los haberes de una entidad, define la probabilidad de incumplimiento (*default*) como la probabilidad de que el valor (estocástico) de sus activos caiga por debajo de la deuda de mayor jerarquía (o deuda sénior). La diferencia entre el valor de los activos y el valor de la deuda sénior se denomina pasivo residual (o deuda júnior). En esta metodología, debido a que el valor de los activos no es claramente observable, el concepto de pasivos residuales es de suma importancia. En nuestra aplicación al problema de la liquidez, definimos como pasivos residuales aquellos acervos y flujos de activos líquidos disponibles, como el efectivo y las acreencias en instrumentos de política del banco central. También se incluyen los flujos esperados de nuevos depósitos relacionados con la creación primaria de dinero. Los activos líquidos disponibles tienen la característica de que pueden ser desacumulados de forma inmediata para cumplir con las obligaciones de pago sénior de corto plazo, en caso de que ocurran reducciones (esperadas o imprevistas) en otros activos. Esta definición de pasivos residuales es coherente con el hecho de que, durante periodos de escasez de liquidez (en los que hay bajos niveles de efectivo), las condiciones del mercado para liquidar activos son adversas y, por lo tanto, el monto esperado de activos líquidos totales tiende a ser bajo. Por otro lado, las obligaciones de mayor jerarquía en el corto plazo incluyen aquellos pagos requeridos por la autoridad monetaria (como el encaje legal y los desembolsos por ventas de divisas u otros préstamos). También consideramos como obligaciones de corto plazo los retiros del sistema bancario.

La interpretación de la probabilidad de incumplimiento aquí propuesta es que, si la acumulación deseada de activos

disponibles (como el efectivo) excede el flujo de los nuevos fondos que entran al sistema bancario, aumentan las posibilidades de un evento que interrumpa –en algún grado– los pagos entre los bancos o con el banco central. Esta probabilidad refleja los riesgos (pérdidas potenciales) que surgen de una transformación generalizada de activos menos líquidos en efectivo.

En un sentido estricto, la probabilidad de incumplimiento calculada en términos agregados, más que una medida objetiva de riesgo, puede considerarse como un indicador de vulnerabilidad del sistema bancario como un todo, tal como sugieren Gapen *et al.* (2004) y Kozak *et al.* (2006). Esto se debe a que el evento de impago no está claramente definido para un sistema. No obstante, la probabilidad como noción sistémica de riesgo puede ser relevante para comprender la acumulación realizada (observada) de activos disponibles para todo el sistema bancario. Estas decisiones se conectan también con las condiciones que se pueden observar en el mercado interbancario, donde los bancos intentan satisfacer sus necesidades inmediatas de liquidez. Estas ideas se intentan explicar a partir de un problema de optimización estilizado que utiliza la probabilidad de incumplimiento estimada como insumo para las decisiones de los bancos.

En nuestra aplicación al caso venezolano, se muestra que la probabilidad de incumplimiento obtenida a partir del modelo permite explicar tanto el monto agregado de fondos transados en el mercado interbancario como su tasa promedio pactada. En particular, una mayor probabilidad de incumplimiento tiende a señalar mayores montos transados, debido a las mayores necesidades de fondos por parte de los bancos. Por otro lado, una mayor probabilidad de incumplimiento explica tasas de interés más elevadas, reflejando posiblemente las mayores primas de riesgo asociadas al comportamiento de la liquidez sistémica. Más aún, el error cuadrático medio de predicción de los montos y las tasas mejora de manera significativa cuando se introducen los resultados del modelo.

De acuerdo con el modelo presentado en este trabajo, la vulnerabilidad asociada a cambios en la liquidez puede afectarse en diferentes grados por decisiones de política monetaria, cambiaria y fiscal, dependiendo de sus interacciones dentro del marco institucional de cada país. Para el caso venezolano, dada la importancia de la gestión fiscal en la creación primaria de dinero, se muestra que una mayor incidencia fiscal en la creación de dinero tiende a reducir la posibilidad de eventos de iliquidez. Por el contrario, cuando la autoridad monetaria interviene en mayor grado vendiendo divisas a la economía las posibilidades de eventos de iliquidez tienden a aumentar. Asimismo, un aumento del encaje legal aumenta la probabilidad de incumplimiento al incrementar las obligaciones de los bancos en el corto plazo.

El trabajo se estructura en cuatro secciones. La primera sección corresponde a esta introducción. En la segunda, se presenta la aplicación de la metodología de pasivos contingentes a la gestión de la liquidez, se interpreta la probabilidad de incumplimiento obtenida y se esboza un modelo estilizado para comprender las conexiones con el mercado interbancario. En la tercera sección se muestra la aplicación al caso venezolano, la coherencia y la robustez de los resultados, así como ejercicios contrafactuales que permiten entender cómo los cambios en las principales políticas (fiscal y cambiaria) afectarían el riesgo de liquidez sistémico. Algunas consideraciones finales se presentan en la cuarta sección.

## **2. RIESGO DE LIQUIDEZ**

Los activos y pasivos se pueden clasificar de acuerdo con su fecha de vencimiento prevista. Estas clasificaciones pueden proporcionar a los bancos una estimación de su descalce al vencimiento. Sin embargo, al referirse a la administración de la liquidez, las comparaciones no son necesariamente entre activos y pasivos totales, sino más bien entre activos líquidos y las obligaciones de pago con estos activos líquidos. Más

aún, la escasez de liquidez puede surgir como resultado de reasignaciones de activos, al tratar de transformar activos poco líquidos en activos más líquidos. En consecuencia, las nociones de obligaciones sénior y júnior, como tradicionalmente se aplican en la metodología de pasivos o créditos contingentes (CC), deben ser reconsideradas. En el cuadro 1 podemos ver la clasificación de los balances de los bancos de acuerdo con la CC estándar. A continuación, vamos a analizar cómo se debe aplicar la CC al problema de la gestión de la liquidez y cómo se puede enmarcar dicho problema. En el anexo A se muestra el planteamiento matemático relacionado con la aplicación de la metodología de pasivos contingentes.

Cuadro 1

<b>CLASIFICACIÓN DEL BALANCE DE LOS BANCOS SEGÚN LA METODOLOGÍA DE PASIVOS CONTINGENTES ESTÁNDAR</b>	
<i>Activos</i>	<i>Pasivos</i>
No observables	<i>Deuda sénior:</i> Depósitos de corto plazo + una fracción de los depósitos de largo plazo  <i>Deuda júnior:</i> Capital al valor de mercado

La gestión de la liquidez se ocupa del problema de disponer de suficientes activos líquidos para cumplir de forma inmediata con las obligaciones de corto plazo. Dos elementos deben considerarse para aplicar la metodología de pasivos contingentes al análisis de la liquidez. Primero, que hay incertidumbre sobre la cantidad de activos líquidos totales, debido a que estos no son claramente observables en el corto plazo. Segundo, que el manejo de la liquidez necesita incorporar el comportamiento

de los flujos esperados, los cuales están relacionados con las modificaciones en el balance del banco central (base monetaria), pero no son observables en el balance de los bancos.

*Incertidumbre en los activos.* Uno podría pensar en dos tipos de activos líquidos. Una parte de ellos está inmediatamente disponible y es claramente observable: se refiere a las tenencias de efectivo en los bancos, y todas las disponibilidades en el banco central (como las reservas en exceso al encaje legal y los certificados de depósitos). La otra porción está representada por activos que podrían transformarse en efectivo mediante transacciones de mercado como, por ejemplo, los títulos de deuda negociados en mercados secundarios. Esta última porción es exactamente la parte de los activos líquidos cuyo valor es incierto. Por lo general, la estimación de dichos activos está supeditada a las condiciones del mercado. Por lo tanto, los activos líquidos totales pueden ser tratados como una variable estocástica, como en la metodología de pasivos contingentes estándar, debido a sus posibles pérdidas (o ganancias) de mercado.

*Flujos esperados en el dinero base.* Debido a que intentamos estudiar el problema del manejo de la liquidez desde un punto de vista sistémico, es importante considerar el papel que desempeña el banco central. Por ejemplo, las posiciones de los bancos en instrumentos de política monetaria reflejan los fondos prestados o pedidos al banco central en el pasado. Esos saldos tienen efecto en la liquidez sistémica, pero ya están considerados en los balances de los bancos. Los flujos que se espera que entren y salgan del sistema bancario no son observables en los balances de los bancos. Esos flujos de fondos (en moneda nacional) tienen lugar mediante la creación primaria de dinero, los cambios en la base monetaria, y también deben considerarse para evaluar la liquidez sistémica. Es decir, la liquidez real de los bancos es aumentada o reducida por la creación o destrucción de la moneda nacional. Estos cambios en la base monetaria típicamente se refieren a las intervenciones cambiarias y a la creación de dinero que se produce por los desembolsos

o ingresos de otras organizaciones que tienen cuentas en el banco central, como el gobierno central. En nuestro análisis, sólo se consideran los flujos de la base monetaria que no están relacionados con las acciones explícitas de política monetaria del banco central para compensar otros flujos. En otras palabras, sólo queremos considerar la creación de dinero inducida por los flujos de divisas o por entes diferentes al banco central. Este es el caso porque suponemos que las decisiones de los bancos de mantener mayores o menores saldos en instrumentos de política monetaria dependerán de la evaluación del riesgo sistémico de iliquidez. Por lo tanto, los cambios en la cantidad del instrumento de política monetaria no pueden considerarse como un insumo para la estimación de dicho riesgo. Este punto está relacionado con la exposición de la sección 2.3.

## **2.1 Aplicación de la metodología de pasivos contingentes para la gestión de la liquidez**

En la metodología CC estándar, los pasivos residuales se modelan como una opción de compra europea porque su valor es mayor cuanto mayor sea el valor estimado de los activos con respecto al valor de una deuda sénior. Como en la mayoría de las aplicaciones presentadas en Gray y Malone (2008), el valor de los pasivos residuales y la deuda sénior se consideran observables, mientras que la cantidad implícita de activos debe ser estimada.

En el problema de la gestión de la liquidez, clasificamos como deuda residual o júnior todas aquellas existencias y flujos líquidos que los bancos pueden utilizar de forma inmediata para cumplir con obligaciones sénior en el corto plazo, en caso de que ocurran reducciones (esperadas o imprevistas) en otros activos. Mientras mayores sean estos pasivos residuales, mayores serán los activos líquidos totales estimados por el modelo, dado un monto fijo de obligaciones sénior. Esto implica que las propiedades estocásticas de los pasivos residuales se transfieren a los activos líquidos totales estimados. Esta idea

también es coherente con el hecho de que durante periodos de escasez de liquidez el monto del efectivo es bajo y las condiciones de mercado para liquidar los activos son adversas. Por tanto, situaciones de poca liquidez se asocian con montos esperados bajos de activos líquidos totales.

Ahora bien, ¿cuáles son los componentes detallados de estos pasivos residuales líquidos y obligaciones principales para la gestión de liquidez? El cuadro 2 muestra los saldos y los flujos que deberían considerarse.

**Cuadro 2**

---

**CLASIFICACIÓN DE LOS PASIVOS EN EL CORTO PLAZO  
PARA EL MANEJO DE LA LIQUIDEZ**

---

<i>Activos líquidos totales</i>	<i>Pasivos líquidos totales</i>
No observables	<i>Obligaciones sénior, D</i> Balance + intereses en instrumentos de inyección de política monetaria Destrucción esperada de dinero en moneda nacional (contracción de la base monetaria) Cambio esperado en reservas requeridas Intereses de la deuda en el mercado interbancario Retiro esperado de efectivo
	<i>Deuda júnior, E</i> Balance + intereses en instrumentos de absorción de política monetaria Creación esperada de dinero en moneda local (expansión de la base monetaria) Saldo de reservas de efectivo no prestadas <sup>1</sup>

---

<sup>1</sup>Saldo de reservas de efectivo no prestadas = efectivo en los bancos + reservas excedentes en banco central - monto (pasado) de fondos negociados en el mercado interbancario.

Un componente importante de la deuda residual es el saldo de reservas de efectivo no prestadas. Estas reservas de efectivo las mantienen los bancos en sus bóvedas o como reservas en exceso (al encaje legal) en el banco central. Estos dos elementos representan la cantidad real de efectivo acumulado en el pasado y, potencialmente, un amortiguador importante para aumentos inesperados en las obligaciones sénior. Sin embargo, este acervo de efectivo debe ajustarse por el monto de los fondos adeudados en el mercado interbancario para poder estimar la parte de las reservas que no se vea comprometida durante eventos de escasez de liquidez. Es decir, de ocurrir interrupciones en el pago de la deuda interbancaria por una o muchas instituciones, sólo el efectivo neto de los montos prestados puede considerarse realmente disponible. Por otro lado, al restar la cantidad total de préstamos adeudados también se pretende considerar la acumulación excesiva de efectivo en situaciones de crisis de liquidez. Por ejemplo, en situaciones de poca liquidez, pero de gran actividad interbancaria, aunque las reservas de efectivo pueden parecer altas, las reservas de efectivo no prestadas podrían reflejar las condiciones de liquidez sistémicas de manera más adecuada.

En relación con la autoridad monetaria, el saldo de los fondos prestados al banco central, es decir, el saldo de los instrumentos de absorción, se considera un pasivo residual, ya que generalmente está disponible para el uso de los bancos. En cambio, el balance de los fondos tomados en préstamo al banco central se considera una obligación sénior, ya que debe pagarse de nuevo a la autoridad monetaria en el corto plazo.<sup>2</sup> De manera similar, los flujos resultantes de la creación de dinero primario (cambios en las fuentes de la base monetaria) podrían considerarse como pasivos residuales o como obligaciones sénior dependiendo de si implican a nuevos fondos disponibles

---

<sup>2</sup> Si existen diferentes vencimientos para los instrumentos, sólo la porción del saldo relacionada con los vencimientos más cortos (o relevantes) debe considerarse.

para los bancos o si representan pagos al banco central (o una entidad cuya cuenta está en el banco central).

En cuanto a las obligaciones sénior en el manejo de liquidez, los pagos de intereses adeudados en el mercado interbancario representan fondos adicionales que el sistema bancario necesita generar para mantener el mercado funcionando. Los cambios esperados en las reservas legales o requeridas se consideran obligaciones porque, a pesar de representar activos para los bancos, el banco central no permite su uso. Esto implica que el aumento del encaje legal requiere desembolsos por parte de los bancos que pueden aumentar la necesidad de liquidez en el corto plazo, incluso si estas reservas pueden usarse contingentemente en situaciones de escasez de liquidez.

Otro componente de la deuda sénior es la cantidad de retiros esperados en el sistema bancario. Esta cantidad puede aproximarse por la compensación neta de cheques y transacciones electrónicas, las cuales representan la cantidad de depósitos que salen del sistema y de depósitos de inmediata disponibilidad respectivamente.

## 2.2 Interpretación de la probabilidad de incumplimiento

Debido a que el planteamiento de CC se basa en una reclasificación de activos y pasivos, podemos volver a escribir una versión simplificada del cuadro 2 de la siguiente manera:

$$1 \quad A_t - D_t = E_t,$$

$$2 \quad A_t - E(\Delta RR_t) - E(R_t) - i_{t-1}^O Q_{t-1}^O = E(FBM_t) + BC_{t-1}^{abs} + \\ + efectivo_{t-1} - Q_{(t-1)}^O,$$

donde  $A$ ,  $D$ , y  $E$  son los activos líquidos, obligaciones sénior y deuda residual, respectivamente.  $RR$ ,  $R$  y  $FBM$  se refieren a las reservas requeridas, los retiros y los flujos de la base monetaria,

respectivamente.  $BC^{abs}$  y *efectivo* son las acreencias (absorción neta) en banco central y el efectivo respectivamente, los cuales representan los saldos disponibles (muy líquidos).  $Q^O$  y  $i^O$  son las cantidades negociadas y la tasa de interés promedio en el mercado interbancario (*overnight*). Para cualquier variable  $X$ ,  $\Delta X_t = X_t - X_{t-1}$ . Las expectativas sobre los flujos que tienen lugar en el tiempo  $t$  se forman con la información disponible en  $t-1$ .

Una interpretación directa de la probabilidad de incumplimiento ( $PrD$ ) puede obtenerse indiferentemente de cada uno de los dos lados de la igualdad 2:

$$3 \quad PrD = Pr(A_t < D_t) = Pr[A_t < E(\Delta RR_t) + E(R_t) + i_{t-1}^O Q_{t-1}^O],$$

$$4 \quad PrD = Pr(E_t < 0) = Pr[E(FBM_t) + BC_{t-1}^{abs} + efectivo_{t-1} < Q_{t-1}^O].$$

La expresión 3 sugiere que, si el valor de los activos líquidos totales es menor que los flujos de la deuda sénior, entonces la probabilidad sistémica de incumplimiento debería aumentar. La expresión 4 en cambio describe que si el saldo de activos disponibles ( $BC^{abs}$  y *efectivo*) más los nuevos fondos es menor que el último monto negociado en el mercado interbancario, la probabilidad de incumplimiento aumentará.

Una interpretación adicional de la probabilidad de incumplimiento se puede obtener restando las cantidades *deseadas* (no realizadas) de efectivo y absorción del banco central que los bancos desearían mantener en el momento  $t$ . La expresión 2 se puede volver a escribir de la siguiente manera:

$$5 \quad A_t - E(\Delta RR_t) - E(R_t) - i_{t-1}^O Q_{t-1}^O - efectivo_t - BC_t^{abs} = \\ = E(FBM_t) - \Delta BC_t^{abs} - \Delta efectivo_t - Q_{t-1}^O.$$

La probabilidad de incumplimiento en este caso se puede escribir como:

$$\begin{aligned} \text{6 } PrD &= Pr(A_t < D_t) \\ &= Pr\left[A_t - E(\Delta RR_t) - E(R_t) - i_{t-1}^O Q_{t-1}^O < efectivo_t + BC_t^{abs}\right], \end{aligned}$$

$$\text{7 } PrD = Pr(E_t < 0) = Pr\left[E(FBM_t) - Q_{t-1}^O < \Delta BC_t^{abs} + \Delta efectivo_t\right].$$

La expresión 6 sugiere que si la porción restante de los activos líquidos totales –una vez que se han pagado los flujos de la deuda– es menor que la cantidad deseada de activos disponibles ( $BC^{abs}$  y *efectivo*), entonces la probabilidad sistémica de incumplimiento aumenta. Esto se debe a que el cumplir con la cantidad deseada de activos líquidos disponibles implicaría transformar activos menos líquidos en efectivo por medio de su venta en el mercado. Estas conversiones a nivel agregado tenderían a disminuir el valor esperado general de los activos y, por lo tanto, aumentarían las posibilidades de que los activos no sean suficientes para cubrir las obligaciones.

En tanto, la expresión 7 sugiere que si los nuevos flujos de fondos de los bancos (creación de dinero) son insuficientes respecto a las deudas en el mercado interbancario, el efectivo o la absorción deberían reducirse, al menos en la misma cantidad, para evitar el aumento de la probabilidad de incumplimiento. En otras palabras, si la acumulación deseada de efectivo en instrumentos líquidos disponibles excede el flujo de nuevos fondos en el sistema, aumentan las posibilidades de incumplimiento, debido a los riesgos que surgen de la transformación generalizada de activos menos líquidos en efectivo.

Suponer la existencia de *cantidades deseadas* de activos disponibles es sólo una herramienta para dar intuición económica al incremento en la probabilidad de incumplimiento agregada. Sin embargo, en el modelo estadístico, la probabilidad de incumplimiento viene dada por la volatilidad atribuida a los activos y su distancia respecto a las obligaciones sénior. Por

tanto, en sentido estricto, esta probabilidad no depende de las cantidades deseadas de activos disponibles.

Ahora bien, ¿se puede conectar la probabilidad de incumplimiento con la acumulación agregada (observada) de activos disponibles? o, alternativamente, ¿se puede relacionar la probabilidad de incumplimiento con variables de mercado, como los montos y las tasas negociadas en el mercado interbancario? A continuación, proponemos un modelo muy estilizado para responder estas preguntas.

### 2.3 Un modelo estilizado para modelar los activos disponibles

A continuación, planteamos un problema de optimización de un periodo en el que las cantidades agregadas de activos líquidos disponibles (efectivo y la absorción del banco central) se determinan a partir de un riesgo de liquidez dado. Es decir, dada la información (pasada) sobre las existencias y sobre las expectativas de los flujos, se genera una probabilidad sistémica de incumplimiento. Esta probabilidad define a su vez dos posibles estados de la naturaleza: un estado con algún grado de interrupción de los pagos de los bancos (con otros bancos o con el banco central), y otro estado de funcionamiento normal de los mercados de activos e interbancario. En ambos estados, los costos de mantener activos líquidos disponibles son diferentes. Los costos totales esperados  $E(CT)$  para ambos estados de la naturaleza, relacionados con la tenencia de estos activos líquidos disponibles, son:

$$8 \quad E(CT_t) = PrD_t \left( LGD_t - \Delta efectivo_t - \Delta BC_t^{abs} \right) + (1 + PrD_t) \left[ i_t^O efectivo_t + \left( i_t^O - i_t^{BC} \right) BC_t^{abs} \right],$$

donde  $LGD$  es la pérdida en activos transados en los mercados en el evento de interrupción de pagos, e  $i^{BC}$  es la tasa establecida por el banco central en su instrumento de absorción. La

expresión 8 indica que, en caso de interrupción de los pagos, las pérdidas esperadas incluyen las pérdidas en los activos menos líquidos (estocásticos) y las pérdidas relacionadas con la reducción de los activos disponibles. Mientras mayor es la acumulación de activos líquidos disponibles, menor es la pérdida total asociada al evento de interrupción de pagos. En el estado de funcionamiento normal de los mercados, los costos de mantener los activos líquidos observables son los costos de oportunidad respecto a la tasa interbancaria. El problema de optimización agregado consiste en minimizar el costo total esperado al elegir la cantidad de efectivo y  $BC^{abs}$  en  $t$ , sujeto a la restricción agregada:  $\Delta efectivo_t + \Delta BC_t^{abs} \leq FBM$ , la cual indica que la acumulación efectiva de ambos activos disponibles no puede superar el ingreso de los nuevos fondos al sistema. Esto se debe a que, una vez ocurridas las redistribuciones de efectivo mediante el mercado interbancario, o a partir de la venta de activos menos líquidos por algunos bancos, sólo la creación de dinero se puede transformar en nuevos activos líquidos disponibles.

Suponemos además que existe una función positiva implícita entre  $i^o$  y la cantidad agregada de efectivo,  $i^o = f(efectivo)$ . Si  $f'(efectivo) > 0$ , significa que altos niveles agregados de efectivo son asociados con altas tasas de interés interbancarias debido a que los bancos, individualmente, intentan incrementar su tenencia de efectivo mediante el mercado interbancario. Es decir, el comportamiento del mercado refleja en mayor medida el comportamiento de los demandantes de fondos. Si  $f'(efectivo) < 0$ , implica que altos niveles agregados de efectivo son coherentes con menores tasas de interés en el mercado interbancario, debido a que los bancos intentan canalizar dicho efectivo como oferta de fondos. En este caso, el comportamiento de los oferentes de fondos prevalece para explicar la tasa de interés interbancaria. También suponemos que  $i^{BC}$  está relacionada con  $BC^{abs}$ , es decir, para  $i^{BC} = f(BC^{abs})$ , donde  $f'(BC) \leq 0$ .<sup>3</sup>

<sup>3</sup> Los supuestos  $f'(efectivo) > 0$  y  $f'(BC) < 0$ , o alternativamente  $f'(efectivo) < 0$  y  $f'(BC) > 0$  satisfacen ambos las condiciones de

Debido a que  $PrD$  y  $LGD$  en  $t$  se calculan con información pasada, las condiciones de primer orden al problema de optimización están dada por:

$$9 \quad i_t^O + f'(efectivo)efectivo_t = \frac{PrD}{1 - PrD},$$

$$10 \quad i_t^O - i_t^{CB} + f'(BC)BC_t^{abs} = \frac{PrD}{1 - PrD}.$$

La igualdad 9 muestra que para  $f'(efectivo) > 0$ , una mayor probabilidad (relativa) de incumplimiento sistémico implica observar una mayor demanda de efectivo y, por consiguiente, mayores tasas de interés interbancarias. En este caso, debido a que los bancos recurren al mercado interbancario para intentar satisfacer su demanda de efectivo, también los préstamos interbancarios se relacionarían positivamente con la probabilidad de incumplimiento.<sup>4</sup> De forma similar, la condición 10 indica que una mayor probabilidad de incumplimiento implica una mayor demanda del instrumento, si  $f'(BC) < 0$ . En este caso, esta mayor demanda del instrumento propiciaría una reducción de la tasa de interés del banco central. Tanto la mayor demanda de efectivo, así como de instrumentos de absorción, sólo podrán materializarse en el agregado, si se produce la entrada de nuevos fondos al sistema, es decir, si  $FBM > 0$ , tal como señala la restricción del problema de optimización. De lo contrario, el aumento de la probabilidad de incumplimiento se asocia únicamente a sendos incrementos en la tasa interbancaria.

---

segundo orden para la minimización, si  $f''(efectivo) = f''(BC) = 0$ .

<sup>4</sup> Dada una probabilidad de incumplimiento constante, la relación entre el efectivo agregado y la tasa interbancaria es negativa. Esto es, un aumento de la tasa interbancaria reduce la demanda de efectivo.

### 3. APLICACIÓN A VENEZUELA

#### 3.1 Estimación de la probabilidad de incumplimiento

La aplicación que realizamos a Venezuela considera datos semanales entre enero de 2004 y diciembre de 2014. Esta selección se realizó para tratar un periodo homogéneo en cuanto al régimen cambiario, ya que en el año 2003 en Venezuela se instaló un control de cambios.<sup>5</sup>

En el caso venezolano, debido al arreglo institucional de las políticas públicas, los flujos de creación y destrucción de dinero de la base monetaria están significativamente condicionados por las acciones fiscales y cambiarias relacionadas con la renta petrolera. Es decir, el sector público (el fisco y la industria petrolera) es el responsable de la cantidad de dinero que entra en circulación en la economía. Por un lado, la industria petrolera, al vender la mayor parte de sus divisas al banco central, convierte una parte significativa de la renta petrolera en moneda nacional. Por otra parte, el fisco, al realizar gastos internos que son financiados con recursos provenientes del negocio petrolero, introduce el dinero nuevo en la economía, como transferencias o a cambio de bienes y servicios. El banco central, al convertirse en el principal tenedor de divisas, reduce la cantidad de dinero en circulación en la economía cada vez que pacta con los agentes privados la venta de la renta

---

<sup>5</sup> A inicios de 2003 el Ejecutivo Nacional y el Banco Central de Venezuela adoptaron un régimen de administración de divisas (control de cambios), donde las transacciones de la balanza comercial se canalizan a un tipo de cambio preestablecido y las transacciones de capital pueden financiarse a un tipo de cambio paralelo o no oficial. En términos generales se puede entender el establecimiento del control de cambios como la aparición de mercados de cambio duales, en el que el precio no oficial de la moneda presenta una prima importante respecto al precio oficial.

petrolera.<sup>6</sup> Estas actuaciones del sector público tienen su contraparte monetaria en dos variables (o incidencias monetarias): IF, que es la creación de dinero mediante el fisco y la industria petrolera, e IC que se refiere a la desmonetización por la venta de divisas del banco central. Mientras IF representa los flujos que incrementan los pasivos residuales, IC constituye los pagos (obligación sénior) en moneda nacional que debe realizar la banca al banco central.

Con respecto a las existencias de instrumentos del banco central, para el periodo considerado de 2004-2014, sólo se realizaron operaciones de absorción mediante instrumentos propios del banco central. Por tanto, los pasivos residuales relacionados al banco central únicamente incluyen el saldo de certificados de depósitos (CD). Los retiros esperados de efectivo del sistema se aproximan por la compensación neta de cheques entre bancos.

En el cuadro 3 se presenta un resumen de los conceptos utilizados para el cálculo de la probabilidad de incumplimiento.

La volatilidad de los pasivos residuales ( $\sigma_E$ ) se calcula para el crecimiento semanal de  $(\log) E$ , que tiene una desviación estándar igual a 2.5%. El valor promedio de la tasa libre de riesgo ( $\mu_A$ ) se presume igual a 0.3%, que corresponde al crecimiento semanal de  $(\log) IF$ . Esta tasa se calcula a partir de la tasa anualizada de crecimiento de  $(\log) IF$  que es del 14%. Recurrimos a esta tasa libre de riesgo porque en Venezuela las tasas de interés están controladas, y la tasa de política del banco central también se encuentra fija la mayor parte del tiempo. En cambio, la tasa de crecimiento promedio de IF representa la tasa a la que se crea el dinero primario. Para Venezuela, también representa la tasa a la cual los bancos reciben nuevos depósitos. Por lo tanto, esta tasa puede interpretarse como un crecimiento constante representativo de los activos de los bancos.

---

<sup>6</sup> En general, las ventas de divisas no están acompañadas de operaciones de esterilización. Durante el control cambiario, las ventas de divisas son decididas por el gobierno central.

### Cuadro 3

#### COMPONENTES DE LOS PASIVOS EN EL CORTO PLAZO PARA EL CASO VENEZOLANO

<i>Activos líquidos totales</i>	<i>Pasivos líquidos totales</i>
	<i>Obligaciones sénior</i>
	Liquidaciones de divisas de la semana (1C)
	Variación semanal en reservas requeridas
	Intereses sobre las operaciones interbancarias de la semana previa
No	Compensación neta de cheques en la semana
observable	<i>Pasivos residuales</i>
	Balance de certificados de depósito del banco central de la semana previa + intereses semanales
	Creación de dinero fiscal de la semana (1F)
	Saldo de reservas de efectivo de la semana anterior (ajustadas por las operaciones interbancarias)

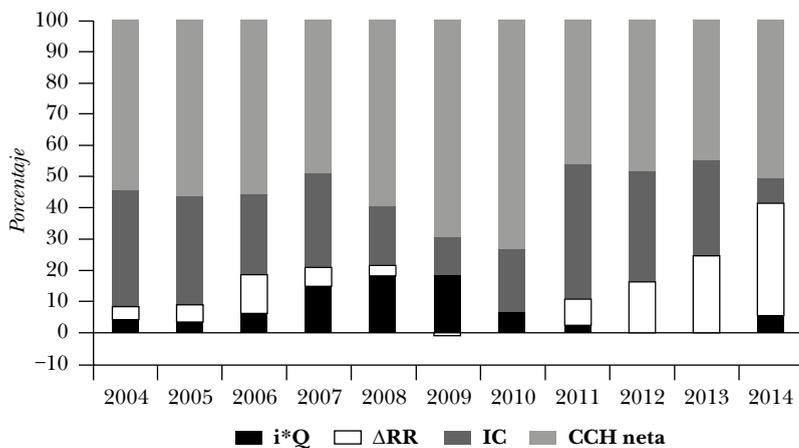
El horizonte de tiempo al cual se calcula la probabilidad de incumplimiento es generalmente considerado como fijo e igual a  $T=1$ , que en nuestro caso sería interpretado como una semana. La probabilidad de incumplimiento es calculada semanalmente. Los valores de saldo se refieren a los observados al final de la semana anterior. Los flujos también se miden cada semana. Suponemos que los flujos esperados son iguales a los realmente observados.

En la gráfica 1, presentamos la composición de las obligaciones sénior ( $D$ ). En la deuda sénior, la compensación neta de cheques y las liquidaciones de divisas son los componentes que explican mayormente su dinámica. A partir de 2012, las reservas por encaje legal comienzan a incrementar su participación en la deuda sénior, debido a los aumentos en la tasa de encaje.

En la gráfica 2 se muestra la composición de la deuda júnior o pasivos residuales ( $E$ ). Entre 2004 y 2009, su dinámica sigue el comportamiento de los certificados de depósito del banco

Gráfica 1

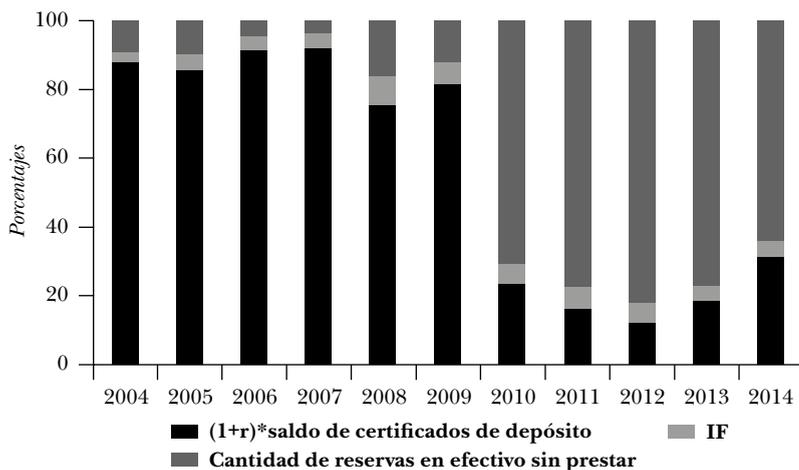
COMPOSICIÓN DE LA DEUDA SÉNIOR (E)<sup>1</sup>



<sup>1</sup> Cada componente se expresa como porcentaje del total promedio (en millones de bolívares) de cada año.

Gráfica 2

COMPOSICIÓN DE LA DEUDA JUNIOR (E)<sup>1</sup>



<sup>1</sup> Cada componente se expresa como porcentaje del total promedio (en millones de bolívares) de cada año.

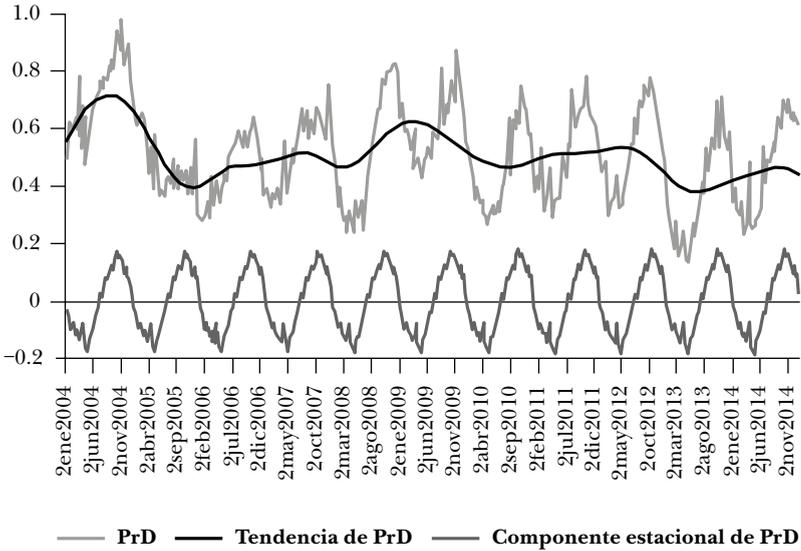
central. Durante estos años, las operaciones de absorción fueron importantes debido a que la ejecución del control cambiario en 2003 limitó las transacciones de divisas y permitió el incremento de la liquidez en la economía mediante un mayor gasto público (aumento en IF). Esta liquidez era canalizada por los bancos hacia los instrumentos del banco central. Después de 2009, el peso de los CD se reduce de manera drástica debido a las restricciones (topes a las cantidades) impuestas a las instituciones financieras en las tenencias de CD. A partir de 2010, el comportamiento de la deuda júnior depende mayormente de los saldos de efectivo mantenidos por los bancos (en bóveda o en reservas excedentarias en el banco central).

En la gráfica 3, se muestra la probabilidad de incumplimiento calculada, así como su descomposición en tendencia y componente estacional.

La tendencia de la probabilidad de incumplimiento permite identificar aquellos periodos en los cuales ocurren cambios estructurales en la deuda sénior y júnior. De acuerdo con la gráfica 3, los periodos de mayor iliquidez se ubican durante 2004-2005 y 2008-2009. Durante 2004, la actividad de la economía y la liquidación de divisas del banco central comienzan a crecer de forma importante, tras haber sufrido una fuerte contracción durante el primer año del control cambiario (2003). Estos incrementos en ambas variables generaron un crecimiento importante en la deuda sénior, tanto por los mayores retiros de efectivo (compensación neta de cheques) como por la mayor incidencia cambiaria (IC). Sin embargo, esta mayor desmonetización del 2004, asociada a las liquidaciones de divisas, no fue compensada sino hasta 2005, cuando comienza a materializarse un mayor gasto fiscal. De hecho, durante 2006 y 2007, el importante crecimiento de las incidencias fiscales permite altos niveles de liquidez que se reflejan en un crecimiento sustancial de los CD (y de los pasivos residuales) y una reducción de la probabilidad de incumplimiento. Durante 2008-2009, los niveles de la deuda sénior vuelven a elevarse, en parte como producto de los propios intereses y los mayores montos

Gráfica 3

PROBABILIDAD DE INCUMPLIMIENTO SEMANAL  
PARA EL CASO VENEZOLANO



negociados en el mercado interbancario. Si bien en este caso no se produce una reducción en la creación neta de dinero, el incremento de la probabilidad de incumplimiento parece relacionarse con procesos redistributivos dentro del propio mercado interbancario. Después de 2012, un crecimiento de la deuda júnior, generado por una mayor creación de dinero y la acumulación de efectivo por los bancos, produce los menores niveles de la probabilidad de incumplimiento en la muestra.

El componente estacional tiene un peso importante en la probabilidad de incumplimiento y representa aproximadamente  $\pm 0.15$  puntos porcentuales adicionales a la tendencia. Este componente muestra la siguiente dinámica: sus valores máximos tienden a registrarse alrededor del mes de octubre, para luego disminuir progresivamente hasta alcanzar sus valores mínimos en el mes de abril del año siguiente. Esta estacionalidad está asociada a la estacionalidad mostrada por la

compensación neta de cheques, la cual refleja a su vez el patrón estacional de las transacciones de la economía. Es decir, las necesidades de efectivo de la economía se hacen crecientes durante el tercer trimestre del año, y se reducen de manera considerable durante el primero, a la par del ritmo de la actividad económica. Estas necesidades de efectivo se traducen en un incremento de la probabilidad de incumplimiento al incrementar el monto de la deuda sénior.

### **3.2 Relación con el mercado interbancario**

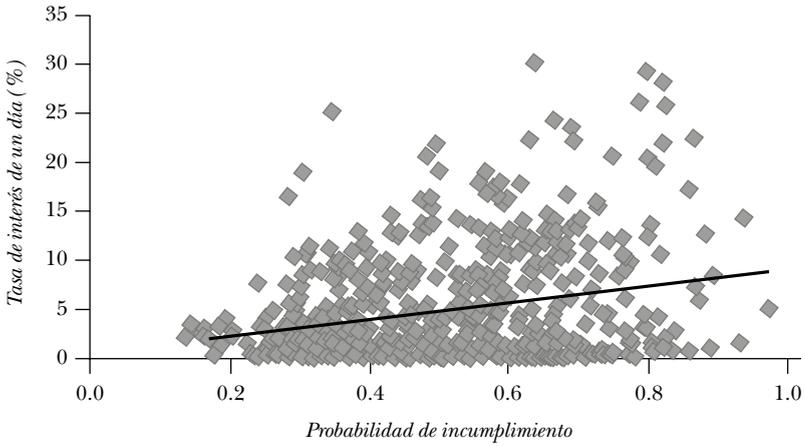
De acuerdo con el modelo estilizado de la sección 2.2, el sistema bancario ajusta su tenencia de efectivo e instrumentos en el banco central para minimizar los costos que surgen de los estados definidos por la posibilidad de incumplimiento. La estimación de dicha probabilidad contiene toda la información recopilada al comienzo de cada periodo. Asumiendo que la demanda de fondos en el mercado interbancario se relaciona positivamente con la demanda de efectivo, se pueden hacer dos predicciones. La primera, que las tasas de interés interbancarias deberían relacionarse positivamente con la probabilidad (relativa) de incumplimiento. La segunda, que las cantidades negociadas en el mercado también deberían asociarse de manera positiva con una probabilidad creciente de incumplimiento. En esta sección, intentamos verificar empíricamente estas predicciones estimando los modelos de las tasas interbancarias semanales promedio y las cantidades negociadas como funciones de la probabilidad de incumplimiento. Luego comprobamos si estos modelos mejoran las predicciones con respecto a los modelos autorregresivos de referencia.

Comenzamos mostrando los diagramas de dispersión entre las variables interbancarias y la probabilidad de incumplimiento estimada por el modelo (gráficas 4 y 5)

En la gráfica 4 se observa una relación positiva entre la tasa de interés del mercado a un día (*overnight*) y la probabilidad de incumplimiento. Esto puede reflejar de manera potencial que

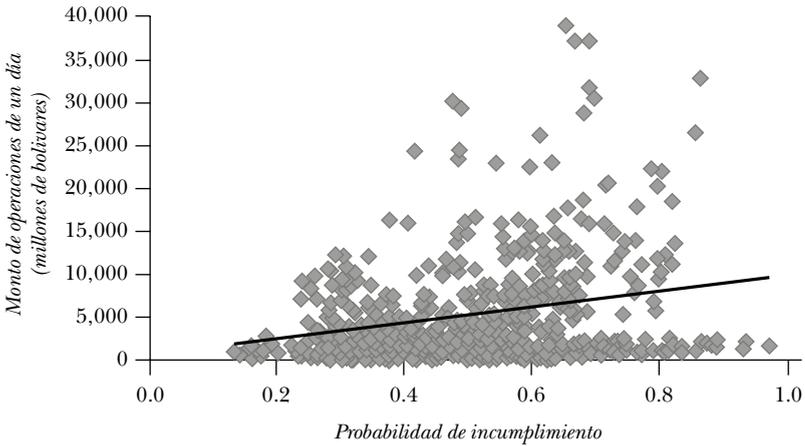
Gráfica 4

**RELACIÓN CONTEMPORÁNEA ENTRE LA PROBABILIDAD DE INCUMPLIMIENTO (EJE X) Y LA TASA DE INTERÉS DE UN DÍA (EJE Y)**



Gráfica 5

**RELACIÓN CONTEMPORÁNEA ENTRE LA PROBABILIDAD DE INCUMPLIMIENTO (EJE X) Y EL MONTO PACTADO EN OPERACIONES DE UN DÍA (EJE Y)**



mayores tasas de interés incluyen mayores primas de riesgo asociadas al comportamiento de la liquidez del sistema.

Por otra parte, en la gráfica 5 se observa una relación positiva entre los montos transados en el mercado a un día y la probabilidad de incumplimiento. Una mayor probabilidad de incumplimiento puede asociarse con una mayor necesidad de fondos líquidos disponibles por parte de los bancos y, por tanto, aumentan los montos transados en el mercado interbancario.

¿Puede la probabilidad de incumplimiento mejorar el pronóstico en modelos de tasa de interés y montos reales pactados en el mercado interbancario? Para responder esta pregunta, comparamos tres modelos alternativos para las variables monto semanal transado ( $Q^o$ ) y promedio de tasas pactadas ( $i^o$ ).

El primer modelo es el de referencia, que explica las variables del mercado a un día sólo considerando un proceso autorregresivo en la media. El segundo modelo incluye la probabilidad de incumplimiento en la modelación de la media e incluye un modelo GARCH(1,1) para la varianza.<sup>7</sup> El tercer modelo expande el segundo, al incluir la probabilidad de incumplimiento como variable explicativa de la varianza. En el caso de las tasas, estos modelos son:

*Modelo 1.* Autorregresivo en la media (referencia)

$$11 \quad i_t = 0.01 + 0.63i_{t-1} - 0.11i_{t-2} + 0.13i_{t-3} + 0.20i_{t-4} + \varepsilon_t.$$

*Modelo 2.* Con variables explicativas en la media y GARCH para la varianza

$$12 \quad i_t = 0.004 + 0.57i_{t-1} - 0.05i_{t-2} + 0.08i_{t-3} + 0.25i_{t-4} + 0.01PrD_t + \varepsilon_t,$$

donde  $\varepsilon_t \sim D(0, h_t)$  con varianza  $h_t = -2.6 \times 10^{-5} + 0.07\varepsilon_{t-1}^2 + 0.90h_{t-1}$ .

<sup>7</sup> Se utilizan modelos generalizados autorregresivos condicionalmente heterocedásticos (GARCH), ya que estamos trabajando con series financieras de alta frecuencia, donde la volatilidad es una característica inherente y no se puede considerar homocedástica. Al respecto ver Engle (1982) y Bollerslev (1986).

*Modelo 3.* Con variables explicativas en la media y en el GARCH:

$$13 \quad i_t = 0.005 + 0.56i_{t-1} - 0.04i_{t-2} + 0.061i_{t-3} \\ + 0.26i_{t-4} + 0.01PrD_t + \varepsilon_t,$$

donde  $\varepsilon_t \sim D(0, h_t)$  con varianza

$$h_t = -2.2 \times 10^{-5} + 0.07\varepsilon_{t-1}^2 + 0.90h_{t-1} + 1 \times 10^{-4} PrD_t.$$

Los modelos del monto transado solamente muestran dos posibles variantes, dado que la probabilidad de incumplimiento sólo fue significativa para modelar la media. Las regresiones estimadas son:

*Modelo 1.* Autorregresivo en la media (referencia)

$$14 \quad Q_t = 46.51 + 0.65Q_{t-1} - 0.01Q_{t-2} + 0.09Q_{t-3} + 0.18Q_{t-4} + \varepsilon_t.$$

*Modelo 2.* Con variables explicativas en la media y GARCH para la varianza:

$$15 \quad Q_t = 4.68 + 0.54Q_{t-1} + 0.05Q_{t-2} + 0.14Q_{t-3} \\ + 0.18Q_{t-4} + 41.82PrD_t + \varepsilon_t,$$

donde  $\varepsilon_t \sim D(0, h_t)$  con varianza  $h_t = 190.3 + 0.1\varepsilon_{t-1}^2 + 0.8h_{t-1}$ .

En los cuadros 4 y 5 se muestran los errores medio absoluto porcentual (MAPE) de los diferentes modelos. Los pronósticos (dinámicos) se realizaron para los tres primeros meses de los subperiodos: 2007, 2011 y 2015. Los modelos se estiman con la información anterior al periodo de predicción, es decir, 2004-2006, 2004-2010 y 2004-2014, respectivamente. Además, y a modo de comparación, también se calculó el MAPE a partir de pronósticos estáticos para la submuestra 2005-2009.

**Cuadro 4**

**ECUACIÓN DE LAS TASAS A UN DÍA**  
 Comparación de pronósticos utilizando el indicador  
 de ajuste del error medio absoluto porcentual

<i>Casos</i>	<i>MAPE para el pronóstico de:</i>			<i>Submuestra</i> <i>2005-2009</i>
	<i>Los tres primeros meses</i> <i>(enero a marzo) de los años</i>			
	<i>2007</i>	<i>2011</i>	<i>2015</i>	
Modelo 1	52.62025	12.46301	654.2557	121.1801
Modelo 2	48.06451	11.05222	108.8856	111.3088
Modelo 3	43.03569	11.04099	108.5249	111.2405

**Cuadro 5**

**ECUACIÓN PARA EL MONTO A UN DÍA,**  
**EN MILLONES DE BOLÍVARES DE 1997**  
 Comparación de pronósticos utilizando el indicador  
 de ajuste del error medio absoluto porcentual

<i>Casos</i>	<i>MAPE para el pronóstico de:</i>			<i>Submuestra</i> <i>2005-2009</i>
	<i>Los tres primeros meses</i> <i>(enero a marzo) de los años</i>			
	<i>2007</i>	<i>2011</i>	<i>2015</i>	
Modelo 1	21.62721	61.04253	1757.320	32.10837
Modelo 2	20.40863	35.07300	1228.376	29.59481

Al comparar los pronósticos en las ecuaciones de monto transado y tasa pactada del mercado a un día, se encontraron mejoras sucesivas en el MAPE frente al pronóstico de referencia, tanto en la ecuación del monto como en la de la tasa,

especialmente al incorporar la probabilidad de incumplimiento en la modelación de la media.

Para corroborar los anteriores resultados, se aplica el contraste de Diebold y Mariano (1995), el cual analiza si la diferencia entre las funciones de pérdida (suma de los valores absolutos) de los errores entre dos modelos es significativamente distinta de cero. Los detalles de este contraste se pueden encontrar en el anexo B.

En los cuadros 6, 7 y 8 mostramos la constante del contraste de Diebold y Mariano y su correspondiente valor  $p$ . La comparación se realiza en pares.

Al comparar los modelos 2 y 3 con el modelo 1, encontramos evidencia para rechazar la hipótesis nula de igual capacidad predictiva entre los modelos. En ambos casos el valor estimado para la constante es negativo, es decir, los errores de predicción del modelo 1 (autorregresivo) son significativamente mayores que los de los modelos 2 y 3 (GARCH). Estos resultados corroboran las ganancias predictivas al incorporar la probabilidad de incumplimiento en la media. Cuando comparamos la función de pérdida de los modelos 2 y 3, encontramos que en todos los pronósticos, excepto en el año 2007, se rechaza la hipótesis nula de igual capacidad predictiva entre ambos.

**Cuadro 6**

<b>CONTRASTE DE DIEBOLD-MARIANO Y VALORES <math>P</math> ASOCIADOS</b>				
<b>Modelo 2 contra modelo 1 de tasas</b>				
$H_0$	<u>2007</u>	<u>2011</u>	<u>2015</u>	<u>2004-2009</u>
$ e_{Modelo2t}  -  e_{Modelo1t}  = 0$	$-1 \times 10^{-4}$ (0.11)	-0.003 (0.00)	-0.015 (0.00)	-0.002 (0.003)
$(e_{Modelo2t})^2 - (e_{Modelo1t})^2 = 0$	$-2 \times 10^{-5}$ (0.09)	$-1 \times 10^{-4}$ (0.00)	$-1.25 \times 10^{-4}$ (0.03)	$-9.62 \times 10^{-5}$ (0.01)

**Cuadro 7**

<b>CONTRASTE DE DIEBOLD-MARIANO Y VALORES P ASOCIADOS</b>				
Modelo 3 contra modelo 1 de tasas				
$H_0$	2007	2011	2015	2004-2009
$ e_{Modelo3t}  -  e_{Modelo1t}  = 0$	-0.001 (0.11)	$-2 \times 10^{-4}$ (0.00)	-0.015 (0.00)	-0.002 (0.001)
$(e_{Modelo3t})^2 - (e_{Modelo1t})^2 = 0$	$-5.23 \times 10^{-5}$ (0.10)	$-1.2 \times 10^{-5}$ (0.08)	$-1.26 \times 10^{-4}$ (0.03)	$-1.04 \times 10^{-4}$ (0.005)

**Cuadro 8**

<b>CONTRASTE DE DIEBOLD-MARIANO Y VALORES P ASOCIADOS</b>				
Modelo 2 contra modelo 3 de tasas				
$H_0$	2007	2011	2015	2004-2009
$ e_{Modelo3t}  -  e_{Modelo2t}  = 0$	$-8.97 \times 10^{-4}$ (0.2175)	$-3 \times 10^{-4}$ (0.00)	$-2.56 \times 10^{-4}$ (0.0092)	$-9.5 \times 10^{-5}$ (0.09)
$(e_{Modelo3t})^2 - (e_{Modelo2t})^2 = 0$	$-2.55 \times 10^{-5}$ (0.2344)	$-1.6 \times 10^{-5}$ (0.00)	-0.002 (0.042)	0.00 (0.00)

Ahora realizamos un procedimiento análogo para comparar los modelos ubicados en el cuadro 5, con respecto al monto.

En la ecuación del monto también encontramos evidencia para rechazar la hipótesis nula de igual capacidad predictiva entre el modelo GARCH y el autorregresivo en los pronósticos, excepto para el periodo 2004-2009.

Cuadro 9

CONTRASTE DE DIEBOLD-MARIANO Y VALORES P ASOCIADOS  
Modelo 2 contra modelo 1 de montos

$H_0$	2007	2011	2015	2004-2009
$ e_{Modelo2t}  -  e_{Modelo1t}  = 0$	-27.75 (0.0008)	-56.55 (0.008)	-56.70 (0.0000)	-4.85 (0.10)
$(e_{Modelo2t})^2 - (e_{Modelo1t})^2 = 0$	-3,380.334 (0.0234)	-17,755.23 (0.0057)	-15,359.61 (0.0000)	-3,003.031 (0.1244)

3.3 Ejercicios de política

En esta sección realizamos simulaciones para el cálculo de la probabilidad de incumplimiento, haciendo énfasis en los efectos de los componentes de la base monetaria (IF e IC). Para ello, asumimos que estos flujos de creación o destrucción de dinero afectan no sólo la probabilidad de incumplimiento, sino también las tenencias de efectivo del sistema financiero (ecuaciones 20 y 21). También incorporamos ecuaciones autorregresivas para IF e IC, para determinar el efecto diferenciado de cambios en la media y la varianza de estas variables (ecuaciones 22 y 23). Debido a que los montos y las tasas del mercado interbancario son afectados por la probabilidad de incumplimiento ( $PrD$ ), también incorporamos ecuaciones de comportamiento para estas variables (ecuaciones 18 y 19). No modelamos el comportamiento de los CD, debido a la poca variabilidad de las tasas de política monetaria para todo el periodo. Todas las ecuaciones de comportamiento son estimadas con datos entre 2004 y 2007, que corresponden al periodo con mayor profundidad del mercado interbancario. El modelo de simulación está representado por las ecuaciones 17 a 23.

La probabilidad de incumplimiento está dada por:

17 
$$PrD = f\left(A(E, \sigma_E), \sigma_A(E, \sigma_E), D, T, \mu_A\right).$$

Las ecuaciones de comportamiento de los montos y tasas del mercado a un día en función de los indicadores de riesgo son:

$$18 \quad Q_t = a_0 + a_1 Q_{t-1} + a_2 PrD_t,$$

$$19 \quad i_t = b_0 + b_1 i_t + b_2 PrD_t.$$

Las ecuaciones autorregresivas para la variación de las reservas excedentes ( $\Delta RE$ ) y el efectivo en bóveda ( $\Delta EB$ ) son:

$$20 \quad \Delta RE_t = c_0 + c_1 \Delta RE_{t-1} + c_2 IF_{t-1} - c_3 IC_t,$$

$$21 \quad \Delta EB_t = d_0 + d_1 \Delta EB_{t-1} + d_2 IF_t - d_3 IC_t,$$

Las ecuaciones autorregresivas para la incidencia fiscal y cambiaria están dadas por:

$$22 \quad IF_t = e_0 + e_1 IF_{t-1} + \mathcal{E}_{1t},$$

$$23 \quad IC_t = \lambda_0 + \lambda_1 IC_{t-1} + \mathcal{E}_{2t},$$

donde  $a_j, b_j, c_j, d_j, e_j, \lambda_j > 0$  para todo  $j = 1, 2, 3$ ; y  $\mathcal{E}_{1t}$  y  $\mathcal{E}_{2t}$  tienen distribución normal de media cero y varianza uno. La tasa de encaje se considera como un múltiplo de la base monetaria en el periodo anterior. La base monetaria se considera como la suma de las reservas excedentes y requeridas. Finalmente, para atar el modelo al horizonte temporal se supusieron como condiciones iniciales las observadas al inicio de 2006. Las simulaciones realizadas se muestran en el anexo C.

Los resultados nos sugieren que, en promedio, aumentos (reducciones) en la media incondicional y la persistencia de las incidencias fiscales tienden a reducir (aumentar) la probabilidad de incumplimiento; en tanto que aumentos (reducciones) de la ordenada y la persistencia en la ecuación de las incidencias cambiarias implican aumento (reducción) de la probabilidad de incumplimiento. Los cambios en la varianza

de las incidencias fiscales tienen un mayor efecto sobre la probabilidad de incumplimiento que los cambios en la varianza de las incidencias cambiarias. Finalmente, si se aumenta (disminuye) la tasa de encaje, la probabilidad de incumplimiento tiende a aumentar (disminuir), al incrementar (disminuir) las obligaciones de los bancos en el corto plazo.

#### **4. CONSIDERACIONES FINALES**

En este trabajo utilizamos los indicadores de riesgo derivados de la metodología de pasivos contingentes (probabilidad y distancia al incumplimiento) para evaluar el riesgo de liquidez del sistema bancario como un todo. Estas nociones son de fácil cálculo debido a que utilizan variables bancarias agregadas y de política monetaria, en general, fácilmente disponibles.

La probabilidad de incumplimiento estimada puede ser un instrumento útil para los bancos centrales, al mejorar las predicciones sobre el mercado interbancario y, también potencialmente, al contribuir a modelar el comportamiento de una parte (o la totalidad) de los activos líquidos disponibles de la banca.

En el caso venezolano, el comportamiento de la probabilidad de incumplimiento pareciera depender, entre otros factores, de las repercusiones monetarias de las acciones fiscales y cambiarias. Una interpretación que se desprende de los ejercicios contrafácticos realizados sobre las propiedades de estas políticas es que, ante un mayor dinamismo en la liquidación de divisas y trayectorias conservadoras de gasto fiscal, la vulnerabilidad del mercado interbancario venezolano podría incrementarse de manera notable. Este resultado es congruente con otro trabajo sobre el sistema financiero venezolano: Carvallo y Pagliacci (2016). Según este, las combinaciones de tales políticas que generen condiciones monetarias restrictivas tenderán a incrementar la inestabilidad bancaria. En un sentido general, ambos resultados apuntan a realizar una revisión del marco de reglas que permiten los importantes efectos monetarios de estas acciones de política.

## ANEXO

### Anexo A. Metodología de pasivos contingentes

El análisis de pasivos contingentes es una metodología que generaliza la teoría de valoración de opciones Black-Scholes (1973) y Merton (1974), combinando información basada en el mercado y la información del balance para obtener indicadores de riesgo financiero, como la distancia al incumplimiento y la probabilidad de incumplimiento.<sup>8</sup>

Este marco conceptual se puede representar matemáticamente de la siguiente manera. Los activos,  $A_t \in \mathbb{R}_+$ , se supone que siguen un movimiento browniano geométrico con volatilidad,  $\sigma_A$ . La deuda sénior es  $D_t \in \mathbb{R}_+$ . Por lo tanto, el proceso que rige el comportamiento del valor de los activos se supone que viene dado por:

$$\text{A.1} \quad dA_t = A_t (\mu_A dt + \sigma_A dW_t).$$

Equivalentemente,

$$\text{A.2} \quad A_t = A_o \exp\left(\left(\mu_A - \frac{\sigma_A^2}{2}\right)t + \sigma_A \varepsilon \sqrt{t}\right),$$

donde  $\varepsilon \sim \mathcal{N}(0, \Delta t)$ , y  $\mu_A$  es el rendimiento medio esperado de los activos. Con la hipótesis de neutralidad al riesgo,  $\mu_A$  hace que en el derivado financiero no pueda existir arbitraje durante un periodo de tiempo infinitesimal.  $W_t$  es un movimiento browniano estándar, es decir:

$$\text{A.3} \quad W_{t+\Delta t} - W_t \sim \mathcal{N}(0, \Delta t).$$

---

<sup>8</sup> Otros indicadores de riesgo financiero obtenidos a partir de esta metodología son: prima al riesgo de crédito neutral, pérdida esperada sobre la deuda sénior; al respecto podemos ver Saldías (2012) y Gray *et al.* (2006)

Esta suposición considera que los activos y la deuda júnior (su derivada) siguen una distribución log-normal.

Ahora bien, siendo  $D_t$  el valor de la deuda sénior en  $t$ , la probabilidad de incumplimiento o de vulnerabilidad del sistema, a tiempo  $T$ , condicionada a la información conocida en  $t$ , se define como:

$$\text{A.4} \quad \text{Prob}(A_t \leq D_t) = \text{Prob} \left( A_0 \exp \left( \left( \mu_A - \frac{\sigma_A^2}{2} \right) (T-t) + \sigma_A \varepsilon \sqrt{T-t} \right) \leq D_t \right).$$

Esta probabilidad registra la vulnerabilidad del sistema cuando los activos se encuentran por debajo del umbral que representa la deuda dura o de mayor prioridad.

Las dos ecuaciones que se utilizan para estimar los activos y su volatilidad, son las siguientes. La primera, proviene de la formulación básica del valor esperado de la deuda júnior ( $E$ ), la cual se obtiene a partir del lema de Itô. Este valor esperado es equivalente al precio de una opción *call* europea sobre los activos, tal que:

$$\text{A.5} \quad E_t = A_t \sim \mathcal{N}(d_1) - D_t e^{-\mu_A t} \mathcal{N}(d_2),$$

donde

$$\text{A.6} \quad d_1 = \frac{\ln \left( \frac{A_t}{D_t} \right) + \left( \mu_A + \frac{\sigma_A^2}{2} \right) (T-t)}{\sigma_A \sqrt{T-t}} \quad \text{y}$$

$$\text{A.7} \quad d_2 = \frac{\ln \left( \frac{A_t}{D_t} \right) + \left( \mu_A - \frac{\sigma_A^2}{2} \right) (T-t)}{\sigma_A \sqrt{T-t}} = d_1 - \sigma_A \sqrt{T-t}.$$

$\mathcal{N}(x)$  es el valor de la distribución normal estándar acumulada en  $x$  y  $\mathcal{N}(0, \sigma^2)$  es la función de densidad de probabilidad normal univariada, con media  $\mu$  y varianza  $\sigma^2$ .

Ahora bien, la ecuación 5 tiene dos variables desconocidas,  $A$  y  $\sigma_A$ ; por lo que resulta necesaria una segunda ecuación. El modelo de Merton (1974) obtiene una expresión que relaciona la volatilidad de la deuda júnior,  $\sigma_E$ , y la de los activos utilizando la siguiente expresión.

$$\text{A.8} \quad \sigma_E = \frac{A_t}{E_t} \frac{\partial E}{\partial A} \sigma_A.$$

Además,

$$\text{A.9} \quad \frac{\partial E_t}{\partial A_t} = \mathcal{N}(d_1).$$

Por lo tanto, la volatilidad de la deuda júnior puede ser calculada como:

$$\text{A.10} \quad \sigma_E = \frac{A_t}{E_t} \mathcal{N}(d_1) \sigma_A.$$

Finalmente, utilizando las ecuaciones 5 y 10, obtenemos el siguiente sistema de ecuaciones no lineales, formado por dos ecuaciones y dos incógnitas.

$$\text{A.11} \quad f = \begin{bmatrix} A_t \mathcal{N}(d_1) - D_t e^{-\mu A_t} \mathcal{N}(d_2) - E_t \\ \frac{A_t}{E_t} \mathcal{N}(d_1) \sigma_A - \sigma_E \end{bmatrix}.$$

Haciendo  $f = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \end{bmatrix}$  se puede estimar mediante optimización cuadrática o técnicas similares el valor de los activos y su volatilidad,  $\hat{A}$  y  $\hat{\sigma}_A$ , respectivamente. Una vez calculados los valores, el número de desviaciones estándar ( $d_1$ ) de la insolvencia es precisamente  $d_2$ .

A.12

$$d_1 = \frac{\ln\left(\frac{A_t}{D_t}\right) + \left(\mu_A + \frac{\sigma_A^2}{2}\right)(T-t)}{\sigma_A \sqrt{T-t}}.$$

Es decir, en una sola medida, la distancia al incumplimiento combina la diferencia entre el valor de los activos ( $A_t$ ) y la barrera de escasez ( $D_t$ ), estandarizando con la volatilidad de los activos.

Utilizando las ecuaciones 4 y 7, se tiene que la probabilidad de incumplimiento o de vulnerabilidad del sistema es, por lo tanto, la distribución normal estándar acumulada del negativo de la distancia al incumplimiento:

A.13

$$pd_t = \mathcal{N}(-d_t).$$

Es decir, lo que intermedia entre la distancia al incumplimiento y la probabilidad al incumplimiento es la distribución normal.

## Anexo B. Metodología del contraste de Diebold y Mariano (1995)

Consideremos dos predicciones,  $\{y_{1t}\}_{t=1}^T$  y  $\{y_{2t}\}_{t=1}^T$  de la serie  $\{y_t\}_{t=1}^T$  con  $T$  un entero positivo y definimos el error de predicción como:

B.1

$$e_{it} = y_{1t} - y_{2t}, \quad i = 1, 2.$$

La pérdida asociada con la predicción del modelo  $i$  será una función de los errores de predicción,  $e_{it}$ , y será denotada por  $g(\cdot)$ , la cual típicamente es considerada como la función de valor absoluto o la función cuadrática. En tanto que la función de pérdida diferencial entre dos predicciones viene dada por

B.2

$$d_t = g(e_{1t}) - g(e_{2t}).$$

De acuerdo con lo mencionado, podemos tener

B.3

$$d_t = |e_{1t}| - |e_{2t}|,$$

B.4

$$d_t = (e_{1t})^2 - (e_{2t})^2.$$

Y decimos que las dos predicciones tienen la misma capacidad predictiva si y sólo si la función de pérdida diferencial tiene esperanza cero para todo  $t$ . Así la hipótesis nula es:

B.5

$$H_0 = E(d_t) = 0 \forall t.$$

Frente a la hipótesis alternativa:

B.6

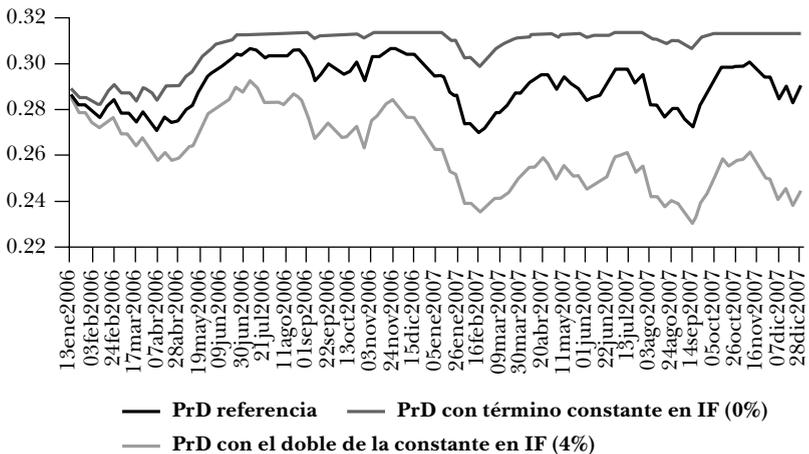
$$H_a = E(d_t) \neq 0.$$

## Anexo C. Gráficas

Gráfica C.1

**ESCENARIOS OBTENIDOS AL MODIFICAR LA MEDIA INCONDICIONAL EN LAS INCIDENCIAS FISCALES**

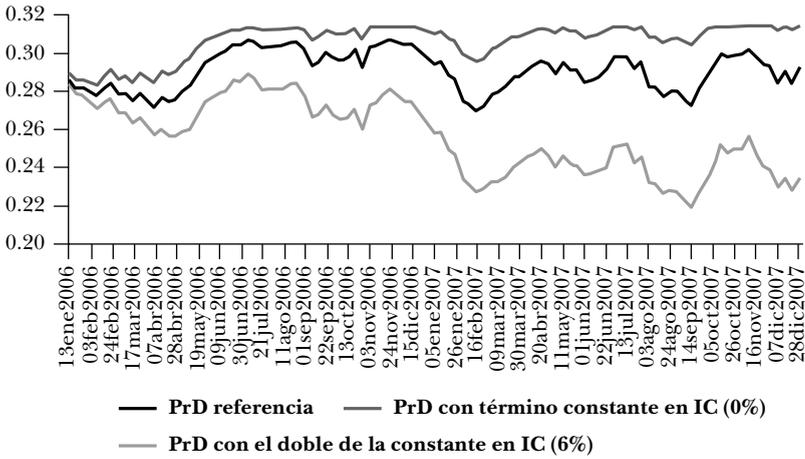
Probabilidad de incumplimiento



Gráfica C.2

ESCENARIOS OBTENIDOS AL MODIFICAR LA MEDIA INCONDICIONAL EN LAS INCIDENCIAS CAMBIARIAS

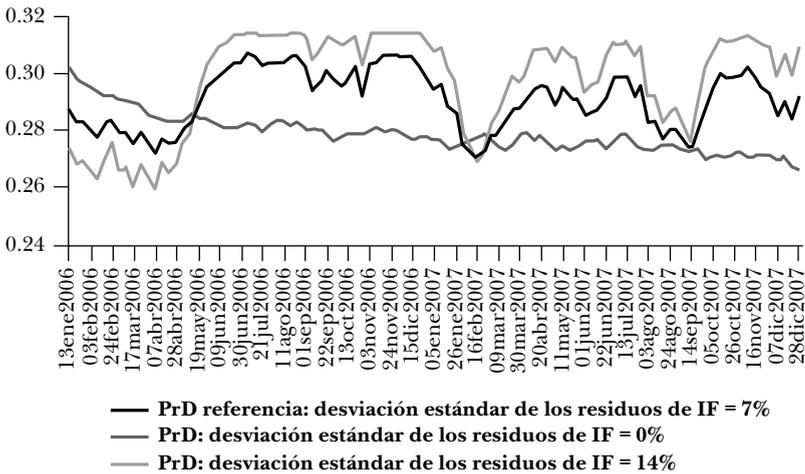
Probabilidad de incumplimiento



Gráfica C.3

ESCENARIOS OBTENIDOS AL MODIFICAR LA VARIANZA EN LOS RESIDUOS DE LA ECUACIÓN DE LAS INCIDENCIAS FISCALES

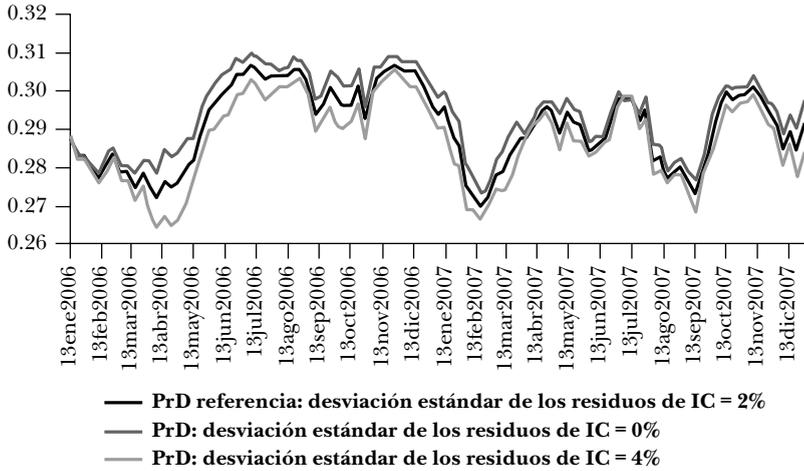
Probabilidad de incumplimiento (PrD)



Gráfica C.4

ESCENARIOS OBTENIDOS AL MODIFICAR LA VARIANZA  
EN LOS RESIDUOS DE LA ECUACIÓN DE LAS INCIDENCIAS CAMBIARIAS

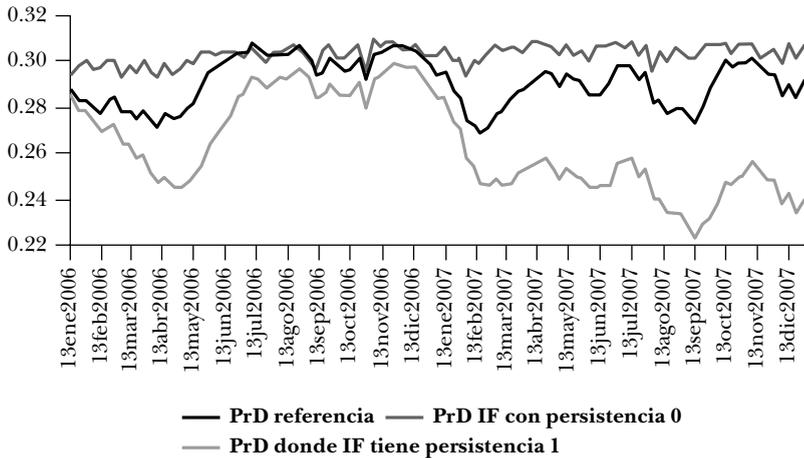
Probabilidad de incumplimiento



Gráfica C.5

ESCENARIOS OBTENIDOS AL MODIFICAR LA PERSISTENCIA  
EN LA ECUACIÓN DE LAS INCIDENCIAS FISCALES

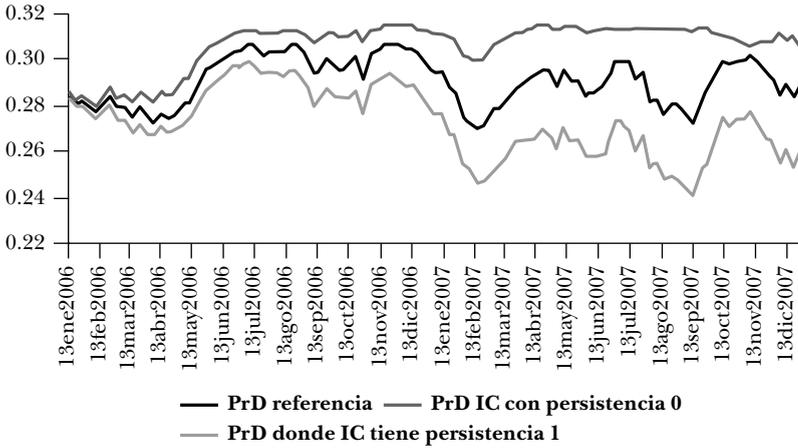
Probabilidad de incumplimiento



Gráfica C.6

ESCENARIOS OBTENIDOS AL MODIFICAR LA PERSISTENCIA  
EN LA ECUACIÓN DE LAS INCIDENCIAS CAMBIARIAS

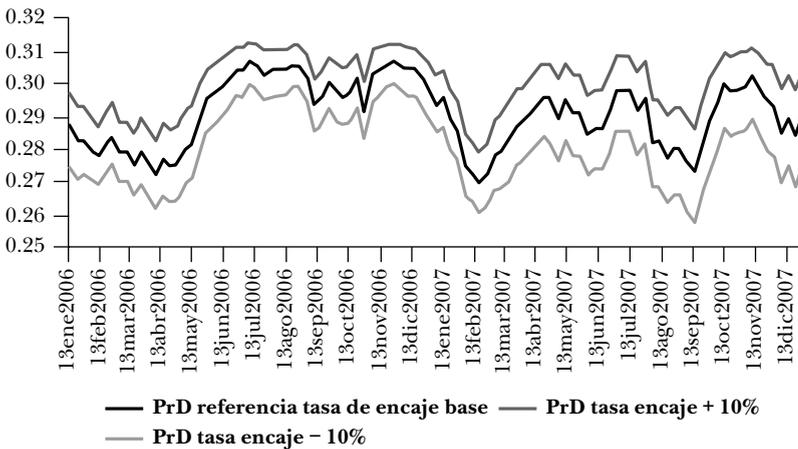
Probabilidad de incumplimiento



Gráfica C.7

ESCENARIOS OBTENIDOS AL MODIFICAR LA TASA DE ENCAJE

Probabilidad de incumplimiento



## Bibliografía

- Black, Fischer, y Myron Scholes (1973), “The Pricing of Options and Corporate Liabilities”, *The Journal of Political Economy*, vol. 81, núm. 3, pp. 637-654, < <https://www.jstor.org/stable/1831029>>.
- Bollerslev, Tim (1986), “Generalized Autoregressive Conditional Heteroskedasticity”, *Journal of Econometrics*, vol. 31, núm. 3, pp. 307-327.
- Brunnermeier, Markus K., Andrew Crocket, Charles Goodhart, Avinash Persaud y Hyun Song Shin (2009), *The Fundamental Principles of Financial Regulation*, Geneva Reports on the World Economy, núm. 11, Centre for Economic Policy Research,
- Cao, Zhili (2015), *Contrasting Systemic Risk in Banking and Insurance*, European Institute of Financial Regulation.
- Carvalho, Oscar, y Carolina Pagliacci (2016), “Macroeconomic Shocks, Bank Stability and the Housing Market in Venezuela”, *Emerging Markets Review*, vol. 26, marzo, pp. 174-196.
- Diebold, Francis X., y Roberto S. Mariano (1995), “Comparing Predictive Accuracy”, *Journal of Business & Economic Statistics*, vol. 13, núm. 3, julio, pp. 253-263, <DOI: 10.2307/1392185>.
- Drehmann, Mathias, y Nikola Tarashev (2011), “Systemic Importance: Some Simple Indicators”, *BIS Quarterly Review*, marzo.
- Elsinger, Helmut, Alfred Lehar y Martin Summer (2002), *Risk Assessment for Banking Systems*, Working Papers, núm. 79, Oesterreichische Nationalbank, 53 páginas.
- Engle, Robert F. (1982), “Autoregressive Conditional Heteroscedasticity with Estimates of the Variance of United Kingdom Inflation”, *Econometrica*, vol. 50, núm. 4, julio, pp. 987-1007, <DOI: 10.2307/1912773>.
- Gapen, M., D. Gray, C. Lim y Y. Xiao (2004), *The Contingent Claims Approach to Corporate Vulnerability Analysis: Estimating Default Risk and Economy-Wide Risk Transfer*, IMF Working Paper, No. WP/04/121.
- Gray, Dale, Cristián Echeverría y Leonardo Luna (2006), “Una medida de riesgo de insolvencia de la banca en Chile”, *Informe de Estabilidad Financiera*, segundo semestre, Banco Central de Chile, pp. 73-79.
- Gray, Dale, y James P. Walsh (2008), *Factor Model for Stress-testing with a Contingent Claims Model of the Chilean Banking System*, IMF Working Papers, núm. 08/89, abril, 37 páginas.

- Gray, Dale, y Samuel Malone (2008), *Macrofinancial Risk Analysis*, John Wiley & Sons Ltd., Inglaterra, 362 páginas.
- Kozak, Michal, Meyer Aaron y Céline Gautier (2006), “Using the Contingent Claims Approach to Assess Credit Risk in the Canadian Business Sector”, *Financial System Review*, junio, Bank of Canada, pp. 43-51.
- Merton, Robert C. (1974), “On the Pricing of Corporate Debt: The Risk Structure of Interest Rates”, *Journal of Finance*, vol. 29, núm. 2, mayo, pp. 449-470, <<https://doi.org/10.1111/j.1540-6261.1974.tb03058.x>>.
- Saldías, Martín (2012), *Systemic Risk Analysis Using Forward-looking Distance-to-default Series*, Working Papers, núm. 16, Banco de Portugal, septiembre, 67 páginas.
- Smaga, Pawel (2014), *The Concept of Systemic Risk*, Special Paper Series, núm. 5, Systemic Risk Centre, London School of Economics and Political Science, 29 páginas.
- Upper, Christian (2011), “Simulation Methods to Assess the Danger of Contagion in Interbank Markets”, *Journal of Financial Stability*, vol. 7, núm. 3, pp. 111-125.