

2. INCERTIDUMBRE EN EL MECANISMO DE OFERTA MONETARIA Y MERCADOS INTERBANCARIOS EN COLOMBIA

Camilo González
Luisa Silva
Carmina Vargas
Andrés M. Velasco*

El funcionamiento correcto de los mercados interbancarios es importante, entre otras razones, porque los bancos pueden distribuir sus propios excedentes de liquidez entre los participantes en el mercado y porque las tasas de interés fijadas en estos mercados se convierten en puntos de referencia para otros sectores de la economía.

En cuanto al manejo de liquidez, los bancos pueden suavizar sus choques tomando u otorgando préstamos en el mercado interbancario, en lugar de cancelar proyectos rentables de más largo plazo. Por tanto, con la existencia de estos mercados, es posible evitar el mantenimiento ineficiente de reservas como precaución frente a choques de liquidez inesperados. Adicionalmente, los mercados interbancarios desempeñan un papel clave en el mecanismo de transmisión de la política monetaria por medio del canal de crédito en un régimen de inflación objetivo.

Dos son las motivaciones principales para elaborar este artículo. La primera es entender cómo funcionan los mercados interbancarios y la segunda analizar cómo la conducción de la política monetaria por parte del banco central puede afectar los resultados en estos mercados (tasas de interés y préstamos). A pesar de centrar la atención en el caso colombiano, las herramientas analíticas desarrolladas aquí se pueden utilizar para estudiar un rango amplio de mercados interbancarios de diferentes economías en la medida en que estas tengan algunos rasgos comunes.

* Al momento de escribir este artículo, los autores eran, respectivamente, profesional especializado y jefe de la Sección de Sector Financiero, e investigador y profesional experto de la Unidad de Investigaciones del Banco de la República de Colombia. Sus opiniones, errores u omisiones no comprometen al Banco de la República ni a su Junta Directiva. Agradecen los comentarios e inquietudes de los asistentes al Seminario de la Agenda de Investigación, al Taller del Departamento de Modelos Macroeconómicos, al seminario semanal de Fedesarrollo, y al seminario de la X Edición Especial de *ESPE*. También, a Joaquín Bernal, Jesús A. Bejarano, Joaquín Coleff, Alexander Guarín, Carlos León, Julián A. Parra, Norberto Rodríguez y Héctor Zárate por sus muy útiles comentarios, y a Nicolás Camargo y Karen Quintana como asistentes de investigación de este artículo.

Este artículo está compuesto por tres secciones, aparte de esta introducción. En la primera sección se propone un modelo para el mercado interbancario en Colombia. En la segunda sección se analizan los datos para el caso colombiano, y se validan los hallazgos teóricos. Finalmente, la última sección concluye con algunas observaciones finales.

1. ¿CÓMO FUNCIONAN LOS MERCADOS INTERBANCARIOS?

Primero, es importante entender el marco de política monetaria en el cual se desarrolla la actividad interbancaria. Como muchos otros países, a finales de los años noventa Colombia estableció un régimen de tasa de cambio flexible y comenzó el proceso de convergencia hacia un esquema de inflación objetivo. Durante este proceso, los agregados monetarios fueron reemplazados por la tasa de interés como instrumento del banco central.

El punto de partida es el anuncio de una meta de inflación para un período futuro, por lo general uno o dos años adelante, con el objetivo de anclar las expectativas de inflación de los agentes privados de la economía. En este sentido, en teoría, cuando hay choques en la economía, el banco central cambia la tasa de interés de política para mantener la inflación afín con su meta y al tiempo mantener la actividad económica en niveles cercanos a su tendencia de largo plazo.

Cuando el banco central cambia la tasa de interés de política, se espera que de inmediato se afecte la tasa de interés interbancaria y que, luego, se presenten cambios en las tasas de interés de corto y largo plazo en otros mercados. Por tanto, el alineamiento entre la tasa de interés de política y la interbancaria es una condición necesaria para el éxito de la política monetaria, pues asegura el correcto funcionamiento de los canales de transmisión y, en últimas, el logro de la meta de inflación así como de una brecha de producto cercana a cero.

En Colombia la operatividad de la política monetaria se ejecuta mediante subastas y ventanillas. En lugar de controlar de manera directa la tasa de interés, el banco central ofrece diariamente recursos por medio de subastas con montos anunciados el día anterior; así mismo, mantiene abiertas ventanillas para préstamos o depósitos (ventanilla de expansión y contracción, respectivamente) con el fin de permitir que las instituciones financieras se endeuden o realicen depósitos a un día, según su liquidez. El objetivo de la autoridad monetaria es ofrecer recursos suficientes para mantener la tasa de interés de la subasta en línea con la tasa de política todos los días. Por su parte, los bancos comerciales y otros participantes del mercado tienen como objetivo maximizar sus ganancias sujetos a la tenencia de sus activos líquidos, a las obligaciones con otros bancos y a su requerimiento de reserva establecido por el banco central para reducir el riesgo de pérdida de depósitos.

La actividad diaria en el mercado monetario colombiano no es tan simple. La complejidad surge por la variedad de operaciones y contrapartes. Como lo explican Cardozo *et al.* (2011), existen operaciones colateralizadas y no colateralizadas que se llevan a cabo en sistemas de negociación electrónicos o en mercados sobre el mostrador (*over the counter*: OTC). Además, un rango amplio de instituciones están autorizadas para negociar en estos mercados (bancos, otros establecimientos de crédito, comisionistas, entre otros) y, además, el banco central mantiene abiertas las operaciones de mercado (OMA) a horas fijas y conocidas durante el día.

Las negociaciones comienzan a las 7:00 a. m., cuando se abre el sistema de pagos de gran valor de Colombia (CUD) y el de los Servicios Electrónicos del Banco de la República (SEBRA). A las 8:00 a. m. comienzan las negociaciones entre instituciones en sistemas de negociación electrónicos como el SEN y el MEC¹. Las operaciones en el SEN se realizan hasta la 1:00 p. m., mientras que las del MEC van hasta las 5:00 p. m. Aunque las entidades pueden negociar hasta las 5:00 p. m., la mayor actividad en el mercado interbancario se presenta antes de la 1:00 p. m.

El Banco de la República mantiene dos principales OMA: subastas mediante operaciones repo (repo: de 1:00 a 1:15 p.m.)², y ventanillas de expansión y contracción (de 4:00 a 4:30 p. m.). Las cantidades subastadas están limitadas por el banco central y las entidades que participan en ellas compiten bajo el sistema de subasta holandesa. En las ventanillas el banco central presta o recibe depósitos sin definir una magnitud máxima, aunque a tasas de interés diferentes de la de política.

En la sección 2, se presenta un modelo que trata de capturar los hechos estilizados mostrados en los Gráficos 1 y 2. Estos presentan los datos promedio para cada uno de los catorce días del período de requerimiento de reserva en Colombia.

En el Gráfico 1, la variable *spread* representa la diferencia entre la tasa de interés interbancaria (usando tanto operaciones colateralizadas como no colateralizadas) y la tasa de interés de política (eje izquierdo)³. Las reservas diarias muestran las tenencias promedio de liquidez de las instituciones, las cuales contribuyen a su requerimiento de reserva (eje derecho).

Se analizó el período enero de 2012 a abril de 2013. Como se observa, pareciera existir una clara estrategia por parte de las entidades para reducir rápidamente la “deficiencia” y cumplir con el requerimiento de encaje desde el inicio del período de reserva. El *spread* entre la tasa de interés interbancaria y la tasa de política es también decreciente durante este período. En los primeros días, el *spread* es de aproximadamente 20 puntos básicos (pb) y luego se reduce a un nivel cercano a cero en el último día. Consistente con su deseo de contribuir rápidamente a su requerimiento de reserva, las entidades están dispuestas a pagar tasas de interés más altas en el mercado interbancario al comienzo del período de reserva.

El Gráfico 2 presenta la demanda agregada en la subasta diaria (Repos, eje izquierdo) y la oferta promedio de recursos en el mercado interbancario (Préstamos, eje derecho). Consistente con la estrategia de encaje presentada en el Gráfico 1, las entidades demandan más recursos en las subastas que se realizan durante los primeros días del período de reserva, y ofrecen relativamente poca liquidez en el mercado interbancario⁴. Esta situación cambia hacia el final del período bisemanal.

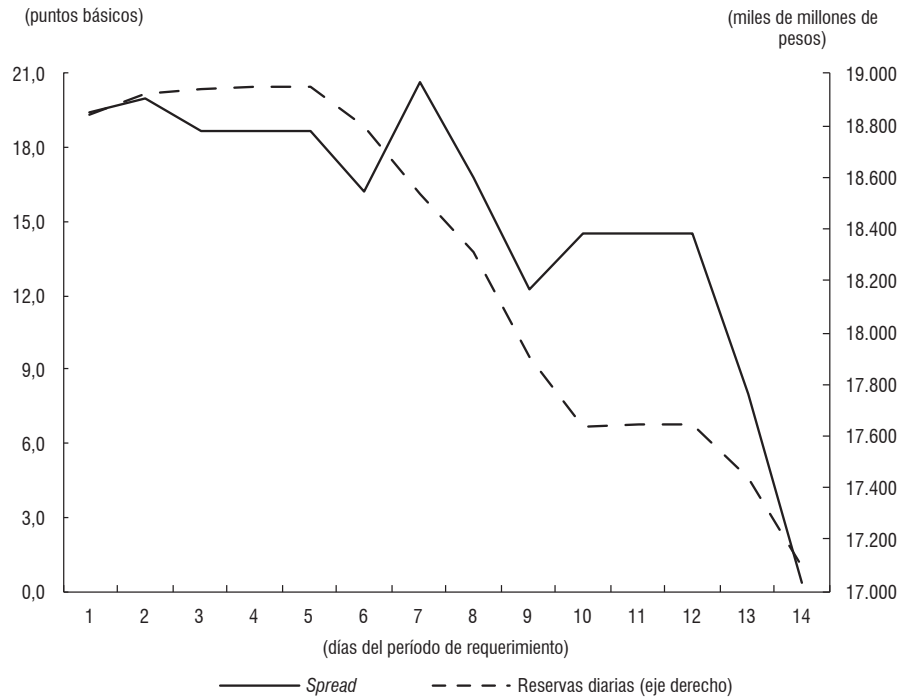
1 SEN: es el Sistema Electrónico de Negociación, administrado por el Banco de la República; el MEC: es el Mercado Electrónico, administrado por la Bolsa de Valores de Colombia.

2 La regulación le permite al Banco de la República mantener subastas de contracción y expansión de fondos mediante los repo.

3 Se eliminaron las operaciones de simultáneas con tasas de interés inferiores a la tasa de la ventanilla de contracción del Banco de la República en cada momento, pues estas operaciones se realizan con objetivos diferentes a liquidez.

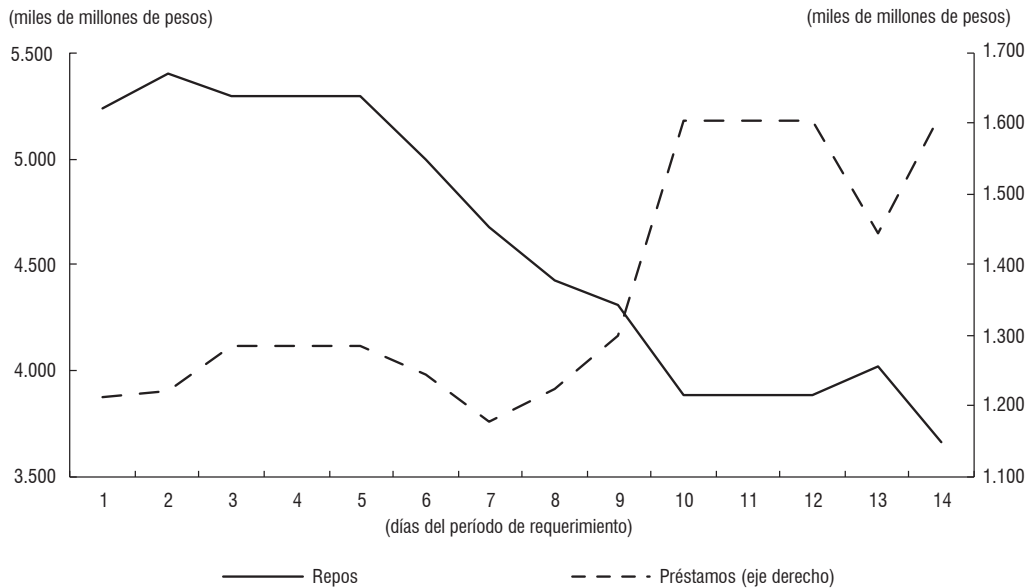
4 El mercado interbancario total es igual a cero en el agregado. Aquí se presenta únicamente un lado de la transacción de este mercado (el de oferta o el de demanda).

Gráfico 1
Spread entre la tasa de interés interbancaria y la tasa de política, y reservas diarias



Fuentes: Superintendencia Financiera de Colombia, Banco de la República y Bolsa de Valores de Colombia; cálculos propios.

Gráfico 2
Operaciones repo del Banco de la República y transacciones en el mercado interbancario total



Fuentes: Superintendencia Financiera de Colombia, Banco de la República y Bolsa de Valores de Colombia; cálculos propios.

Vale la pena notar que la demanda por fondos en el día trigésimo del período bise-manal de encaje no sigue el patrón descrito. Esto puede obedecer a decisiones precaute-lativas de las entidades: en la medida en que existe la posibilidad de enfrentar choques de demanda negativos durante el último día del período (cuando su restricción opera), las instituciones reducen sus cantidades de préstamos y demandan más recursos, tanto en la subasta como en el mercado interbancario.

La sección 2 presenta el análisis empírico del modelo de la sección 1. El modelo pro-puesto explica casi el 80% de la varianza de la contribución al requerimiento de encaje, cerca del 95% de la varianza de la tasa de interés interbancaria y casi el 28% de la varianza de la actividad diaria en el mercado interbancario. Este resultado es bastante satisfactorio, puesto que se trata de un modelo muy estilizado para el mercado interbancario.

1.1 ¿Cómo afecta el mecanismo de política monetaria a los mercados interbancarios?

En teoría, en un régimen de inflación objetivo el instrumento de política es la tasa de inte-rés y, en particular, la tasa de política que la autoridad monetaria fija en el nivel deseado para compensar choques a la economía y llevarla a su estado estacionario. Una alterna-tiva a este mecanismo involucra dos tasas separadas por un margen para ofrecer y recibir la liquidez hacia y desde los mercados.

En Colombia, como en muchas otras economías (como se muestra a continuación), el mecanismo de política actúa mediante las subastas de repos y de las ventanillas de expansión y contracción del banco central con las cuales este ofrece recursos en préstamo o recibe depósitos de las entidades, respectivamente. Cardozo *et al.* (2011) identifican dos ventajas de este sistema, en comparación con otro que tenga una o dos tasas de interés explícitas por medio de las cuales se maneja toda la liquidez:

- 1 Estimula la profundización del mercado interbancario, lo cual es útil para extraer señales y para evaluar la solvencia y riesgos tomados por sus participantes.
- 2 Reduce la posibilidad de un nivel de apalancamiento excesivo por parte del sis-tema financiero, el cual podría ser usado para especular en el mercado de divisas o en el mercado de valores.

Este artículo se centra en brindar una herramienta analítica para evaluar la primera razón. No se analiza la segunda. Con el objetivo de entender cómo funciona el mercado interbancario en Colombia, se construye un marco que permite estudiar el mecanismo con el que el banco central suministra liquidez y su relación con el mercado interbancario.

El mecanismo colombiano para implementar la política monetaria comparte la mayoría de las características con otros países que operan con el esquema de inflación objetivo, implícita o explícitamente. De hecho, una evaluación de dieciséis bancos cen-trales (Australia, Brasil, Canadá, Chile, Colombia, Estados Unidos, Europa, Japón, México, Noruega, Nueva Zelanda, Perú, Inglaterra, Sudáfrica, Suecia y Turquía) mues-tra lo siguiente:

- Todos tienen alguna tasa de interés a un día como el instrumento operativo (ya sea la tasa de interés para préstamos no colateralizados o la de los colateralizados).
- A excepción de un banco, todos utilizan subastas de repos, aunque difieren en frecuencia y plazo.
- Todos tienen la posibilidad de otorgar préstamos y recibir depósitos por fuera de las subastas.
- El requerimiento de reserva es menos común. Solo lo tienen nueve de los dieciséis bancos estudiados; razones como ineficiencia y tratamiento heterogéneo entre competidores justifican la no utilización de este requerimiento.
- Adicionalmente, es más frecuente que los bancos centrales regulen la liquidez mediante la compra o venta de títulos, o de reservas internacionales. En el primer caso, lo hacen con títulos que pueden ser emitidos por los gobiernos o, en otras ocasiones, por los propios bancos centrales.

Puesto que este mecanismo de oferta monetaria es ampliamente utilizado en países con inflación objetivo, es importante preguntarse cómo la estructura de política afecta al mercado interbancario. Los resultados analíticos de la sección 2 permiten concluir que la actividad en el mercado interbancario no se ve afectada por la incertidumbre en la subasta diaria. Sin embargo, esta incertidumbre sí distorsiona la tasa de interés interbancaria. Los resultados muestran que cuando la autoridad monetaria se compromete a suministrar con certeza toda la liquidez demandada por todas las entidades a la tasa de interés de política, la tasa de interés interbancaria es igual a esta última.

2. MODELO

Se describe un modelo para el mercado interbancario diario en Colombia, cuya estructura sigue algunas de las características del propuesto por Pérez y Rodríguez (2006).

Esta no es la primera vez que se construye un modelo siguiendo el marco propuesto por Pérez y Rodríguez (2006): Cardozo *et al.* (2011) establecen un marco con la estructura temporal colombiana, pero no incluyen fuentes de incertidumbre, de las cuales aquí se presentan dos. Pérez y Rodríguez (2010) permiten la existencia de ventanillas en las cuales los bancos comerciales manejan sus excedentes con el banco central. Esta posibilidad está diseñada para ser ocasional y las entidades tienen incertidumbre sobre ella. Kempa (2006) modela choques comunes e idiosincrásicos, y Kempa (2007) incluye innovaciones esperadas en la demanda por recursos que enfrentan los bancos, junto con perturbaciones en la demanda. Jurgilas (2006) introduce bancos heterogéneos y la posibilidad de financiación extranjera para ellos. Moschitz (2004) modela el lado de la oferta en detalle desde la perspectiva de la hoja de balance del banco central, estableciendo una función objetivo explícita para ello.

El presente artículo modifica la estructura del modelo de Pérez y Rodríguez (2006) en cuatro aspectos: en primer lugar, se estableció un esquema de subastas diarias en lugar de una sola durante todo el período de requerimiento de encaje; segundo, se modificó el calendario del modelo para tener la subasta después de la negociación interbancaria diaria

y no antes; en tercer lugar, los bancos deciden de manera óptima el monto de reservas que ellos acumulan cada día para contribuir a su requerimiento de reserva, lo cual es un residuo en Pérez y Rodríguez (2006). En este artículo se presenta una de cuatro posibles cronologías de decisión: aquella en la cual el monto de contribución de reservas se toma de manera simultánea con la decisión de demanda en la subasta⁵. En cuarto lugar, junto con el choque de demanda en Pérez y Rodríguez (2006), las entidades en el modelo enfrentan una segunda fuente de incertidumbre: existe la probabilidad de no obtener recursos en la subasta, lo cual es un camino corto para modelar el mecanismo de subasta. Finalmente, el lector debe tener en cuenta que este marco no contempla fricciones que pudieran alterar el supuesto de competencia perfecta, ni otras fuentes de heterogeneidad entre las instituciones (tamaño por ejemplo), ni la percepción de riesgo entre los participantes del mercado (u otros problemas de información).

En este ejercicio se modela un único período de reserva, donde la actividad interbancaria diaria se caracteriza por la siguiente cronología: las entidades comienzan el día pagando o recibiendo los recursos derivados de las operaciones interbancarias o de la subasta del día anterior. En este momento establecen sus activos líquidos y su posición de encaje requerido. Ellas negocian en el mercado interbancario para maximizar sus beneficios con la incertidumbre acerca de los choques futuros de oferta (en la subasta) y de demanda (al final del día). Una vez que las negociaciones interbancarias han terminado, las entidades deciden óptimamente cuántos recursos demandar en la subasta diaria. Se modela la incertidumbre de la subasta suponiendo que solamente una fracción de las entidades obtienen toda la liquidez que demandan, mientras que el resto no adquiere ningún recurso. También se supone que en este momento del día, de forma simultánea con la subasta, las entidades del modelo deciden cuántas reservas mantendrán al final del día para contribuir a su requerimiento. Después de la subasta, las entidades conocen el tamaño de su choque idiosincrásico de demanda, el cual por lo común proviene de sus clientes. Así, los bancos llevan cualquier exceso de liquidez a la ventanilla de contracción o consiguen recursos adicionales de la ventanilla de expansión del banco central. El Cuadro 1 presenta el resumen de la cronología diaria descrita.

2.1 Estructura del modelo

Se considera un continuo de bancos comerciales heterogéneos de tamaño 1, indexados por j , los cuales transan en el mercado interbancario de una manera competitiva. Existe un banco central que suministra liquidez mediante subastas y ventanillas todos los días hábiles, el cual ha establecido un período de requerimiento de T días calendario. El modelo se soluciona para un solo período de requerimiento y se supone que los períodos de T días son independientes entre sí para evitar un horizonte infinito y la necesidad de tasas de

5 Se sabe que el momento de la toma de decisión acerca de la acumulación de reservas puede afectar los resultados. Aunque en el modelo se supone que los establecimientos de crédito tienen una estrategia explícita para cumplir con su requerimiento de reservas, no se sabe exactamente cuándo se toma esa decisión durante el día. En este artículo se supone que ésta se toma junto con la subasta de recursos del banco central. Otras cronologías se dejan para futuras investigaciones.

Cuadro 1
Actividad diaria en el modelo

Inicio del día	Entidades pagan o reciben los recursos de endeudamiento o de préstamos del día anterior. Conocen sus activos líquidos y su posición de reserva. Comienza la actividad interbancaria y las entidades deciden óptimamente los recursos para prestar o pedir prestados. Finaliza la actividad interbancaria. Las entidades deciden, bajo incertidumbre, la demanda óptima en la subasta de manera simultánea con la contribución a su requerimiento de reserva. El banco central entrega toda la liquidez demandada a una fracción de entidades a la tasa de interés de política. Las entidades enfrentan choques idiosincrásticos de demanda.
Final del día	Las entidades llevan su liquidez sobrante a la ventanilla de depósito del banco central o piden prestados recursos en su ventanilla de expansión para cumplir con sus obligaciones.

Fuente: Pérez y Rodríguez (2006).

descuento. El banco central le fija a cada entidad su requerimiento de encaje de manera exógena al modelo. Cada entidad j mantiene reservas al final del día para completar la cantidad Q_j promedio diaria requerida durante los T días. El requerimiento total para la entidad j es entonces TQ_j .

Se sigue la definición de deficiencia de Pérez y Rodríguez (2006), $r_{j,t}$, como la cantidad de reservas que le hacen falta al banco j para completar su requerimiento total en el momento t . De acuerdo con esto, los bancos satisfacen su requerimiento de reserva cuando:

$$Q_j \leq \frac{1}{T} \sum_{t=1}^T (r_{j,t} - r_{j,t+1}), \quad (1)$$

donde para cada día durante el período de requerimiento, el banco j inicia con la deficiencia $r_{j,t}$ y decide sobre su deficiencia del día siguiente $r_{j,t+1}$. Así $r_{j,t} - r_{j,t+1}$ es la reserva que el banco j deja al final del día t para contribuir a su restricción de requerimiento⁶. Nótese que en el último día del período de requerimiento, $t = T$, la restricción de requerimiento tiene que satisfacerse, y por tanto los bancos fijan en cero sus deficiencias del día siguiente (es decir $r_{j,T+1} = 0$).

Las reservas diarias tienen tanto componentes estocásticos como determinísticos, los cuales serán definidos en breve.

Al comienzo de cada día de negociación $t \in [1, T]$, los bancos comerciales se encuentran en el mercado interbancario y ofrecen ($b_{j,t} > 0$) o demandan ($b_{j,t} < 0$) recursos netos para maximizar beneficios, sujetos a sus tenencias heterogéneas de activos, $a_{j,t}$, al comienzo del día t . Los bancos equilibran el mercado interbancario a la tasa de interés i_t .

Una vez que la actividad interbancaria ha terminado por el día, el banco central realiza su subasta diaria para suministrar liquidez al sistema financiero. Los bancos deciden

⁶ La reducción de la deficiencia no debe ser creciente para reflejar la regulación colombiana (es decir, $r_{j,t} - r_{j,t+1} \geq 0$). En este artículo no se incorpora esta restricción para mantener el álgebra simple.

sobre su demanda de recursos ($d_{j,t}$) mediante la maximización de sus beneficios esperados dada una tasa de interés de subasta $E_t(i_{omo,t})$ ⁷. Se introduce incertidumbre en la oferta suponiendo que cada banco consigue los recursos que previamente ha decidido demandar con probabilidad $p \in [0,1]$, pero con probabilidad $1 - p$ no obtiene recursos. Por tanto, para cada día t , una fracción p de todas las instituciones reciben la liquidez que demandaron.

En el presente modelo el banco central inicia la transmisión su postura monetaria mediante el suministro de toda la liquidez demandada en la subasta diaria a la tasa de interés de política i_p . Como la información es común entre todos los agentes, se puede esperar que los bancos comerciales generen expectativas sobre la tasa de interés de la subasta de forma que

$$E_s(i_{omo,t}) = i_p, \quad (\text{Supuesto 1})$$

para todo $s, t \in [1, T]$.

Las reservas diarias disponibles del banco j ($m_{j,t}$) después de la subasta en el día t están definidas como:

$$m_{j,t} = a_{j,t} - b_{j,t} + d_{j,t} I(p), \quad (2)$$

donde la función indicadora $I(p)$ toma el valor de 1 cuando el banco j ha obtenido la liquidez demandada en la subasta, con probabilidad p , en el período t ; y cero en otro caso, con probabilidad $1 - p$.

Como se observa, la ecuación (2) no hace referencia explícita a los pagos de la subasta del día anterior o de la actividad interbancaria de demanda/oferta previa. Esto es así porque $m_{j,t}$ se define como un flujo neto: los repagos en el mercado interbancario y para el banco central han tenido lugar al comienzo del día.

El modelo aquí descrito difiere del desarrollado en Pérez y Rodríguez (2006) por tener un choque de oferta, y también por permitirle a los bancos decidir óptimamente cuánto de las reservas diarias disponibles ellos utilizan para reducir su deficiencia del día siguiente, $r_{j,t+1}$. Se supone arbitrariamente que esta decisión se toma de manera simultánea con la decisión acerca de $d_{j,t}$ en la subasta diaria.

Después de la subasta diaria, los bancos se dan cuenta de que han enfrentado un choque de demanda por recursos $\varepsilon_{j,t} \text{ iid} \sim F(\mu_\varepsilon, \sigma_\varepsilon^2)$, el cual, por lo general, proviene de sus clientes. Este choque es de la misma naturaleza que el descrito por Pérez y Rodríguez (2006), y se supone que se distribuye de forma idéntica e independiente a lo largo del tiempo y entre los bancos.

La ecuación (3) resume las fuentes de reservas diarias (lado derecho) y sus usos (lado izquierdo):

$$r_{j,t} - r_{j,t+1} + e_{j,t} = m_{j,t} + \varepsilon_{j,t}, \quad (3)$$

⁷ A lo largo de este artículo la subasta se refiere como si correspondiera a un mecanismo de expansión monetaria. No obstante, la regulación en Colombia también permite subastas de contracción y en el modelo es posible obtener $d_{j,t} < 0$.

donde $e_{j,t}$ se define como las reservas residuales después de los choques de oferta y demanda, lo cual no contribuye a reducir la deficiencia. Si $e_{j,t} > 0$, el banco lleva estos recursos a la ventanilla de contracción del banco central, y son remunerados a la tasa i^d . Si $e_{j,t} < 0$, el banco demanda estos recursos de la ventanilla de expansión del banco central a la tasa i^l , puesto que a los bancos no se les permite estar sobregirados durante la noche y ellos deben cumplir con su restricción de requerimiento en el momento $t = T$.

Las tenencias de activos de cada banco al comienzo del siguiente día están dadas por⁸

$$a_{j,t+1} = a_{j,t} + \varepsilon_{j,t}. \quad (4)$$

La solución para el modelo es el conjunto de tasas de interés interbancarias de equilibrio $\{i_t^*\}$ para cada día del período de requerimiento $t \in [1, T]$. Las tasas de interés de equilibrio están determinadas por la condición de equilibrio del mercado:

$$\int_0^1 b_{j,t} \partial j = 0. \quad (5)$$

Se sigue a Pérez y Rodríguez (2006) en la solución del modelo con inducción hacia atrás. Se empieza describiendo las decisiones en la subasta del último día del período de requerimiento de reserva y se continúa hacia atrás hasta que se toman las decisiones del comienzo del día T . Luego se continúa describiendo las decisiones en $T - 1$, primero en la subasta, seguido por la actividad interbancaria y se termina mostrando la recursividad en los días previos del período de requerimiento de encaje.

2.2 Funciones de pago y solución en el último día del período de reserva

2.2.1 Problema del banco en la subasta del último día

En el momento $t = T$, el banco comercial j enfrenta la subasta de recursos del banco central habiendo negociado por última vez en el mercado interbancario durante el período de requerimiento de reserva actual. Este decide su demanda por liquidez, $d_{j,T}$, para maximizar el valor esperado de sus ganancias, con la incertidumbre de si va a obtener los fondos demandados, con probabilidad p , y de su choque de demanda, $\varepsilon_{j,T}$ el cual se realiza antes del final del día, después de que la subasta se ha llevado a cabo.

El banco sabe que después de la subasta se encontrará en una de tres situaciones: podría necesitar recursos para reducir su deficiencia a cero, ya que la restricción de requerimiento de reserva se debe satisfacer en el momento $t = T$, en cuyo caso tiene que pedir prestada la cantidad necesaria en la ventanilla del banco central a la tasa de interés i^l . Las

8 Es útil verlo de la siguiente manera: el banco j empezó el día t con $a_{j,t}$. Este entregó recursos al mercado interbancario ($b_{j,t}$), recibió $d_{j,t}$ en la subasta con probabilidad p , y tuvo un choque de demanda $\varepsilon_{j,t}$. El día siguiente, el banco recupera lo que prestó y paga los recursos demandados en la subasta. Por tanto, este inicia el siguiente día con activos: $a_{j,t+1} = m_{j,t} + \varepsilon_{j,t} + b_{j,t} - d_{j,t} = a_{j,t} + \varepsilon_{j,t}$.

otras dos situaciones dejan al banco en balance perfecto, o con excesos de liquidez que se depositan en el banco central y se remuneran a la tasa a un día i^d .

Hasta este momento el banco conoce sus activos ($a_{j,T}$), la deficiencia pendiente ($r_{j,T}$), las tasas de política y de ventanillas del banco central (i_p , i^d y i^l), y la distribución de los choques de oferta y demanda ($B(p)$ y $F(\mu_\varepsilon, \sigma_\varepsilon^2)$). El banco sabe que la restricción de encaje se debe satisfacer ($r_{j,T+1} = 0$), y por tanto, maximiza sus beneficios esperados en la subasta, condicionado a su participación en el mercado interbancario más temprano en el día ($b_{j,T}$). El banco resuelve:

$$\max_{\{d_{j,T}\}} E_T \left[\pi_{j,T}^{omo} (d_{j,T}) \mid r_{j,T+1} = 0, b_{j,T} \right], \quad (6)$$

donde

$$\left[\pi_{j,T}^{omo} (d_{j,T}) \mid r_{j,T+1} = 0, b_{j,T} \right] = \left[\begin{array}{c} -i_p d_{j,T} I(p) \\ +i^d \left[\begin{array}{c} a_{j,T} - b_{j,T} + d_{j,T} I(p) \\ + \varepsilon_{j,T} - r_{j,T} \end{array} \right] I(a_{j,T} - b_{j,T} + d_{j,T} I(p) + \varepsilon_{j,T} > r_{j,T}) \\ +i^l \left[\begin{array}{c} a_{j,T} - b_{j,T} + d_{j,T} I(p) \\ + \varepsilon_{j,T} - r_{j,T} \end{array} \right] I(a_{j,T} - b_{j,T} + d_{j,T} I(p) + \varepsilon_{j,T} < r_{j,T}) \end{array} \right], \quad (7)$$

donde, de nuevo, la función indicadora $I(\cdot)$ toma el valor de 1 cuando la condición dentro del paréntesis se satisface, y cero en caso contrario.

En la primera línea de (7) el banco paga la tasa de política por su demanda, $d_{j,T}$ cuando la realización del choque de oferta le favorece. Además, sujeto a la realización del choque de demanda, $\varepsilon_{j,T}$, el banco hace una de dos cosas: deposita dinero en la ventanilla de contracción cuando los recursos disponibles son mayores a la reducción a cero de la deficiencia pendiente, o pide fondos en la ventanilla de expansión del banco central cuando los recursos disponibles son menores a la deficiencia pendiente. Nótese que con probabilidad $1 - p$ el banco no recibe nada en la subasta. Entonces, los beneficios esperados previos a la subasta del último día están dados por:

$$E_T \left[\pi_{j,T}^{omo} (d_{j,T}) \mid r_{j,T+1} = 0, b_{j,T} \right] = p \left[\begin{array}{c} -i_p d_{j,T} \\ +i^d (\tilde{m}_{j,T} - r_{j,T}) [1 - F(r_{j,T} - \tilde{m}_{j,T})] \\ +i^l (\tilde{m}_{j,T} - r_{j,T}) F(r_{j,T} - \tilde{m}_{j,T}) \end{array} \right]$$

$$\begin{aligned}
 & + (1-p) \left\langle \begin{aligned} & i^d (a_{j,T} - b_{j,T} - r_{j,T}) \left\{ 1 - F \left[r_{j,T} - (a_{j,T} - b_{j,T}) \right] \right\} \\ & + i^l (a_{j,T} - b_{j,T} - r_{j,T}) F \left[r_{j,T} - (a_{j,T} - b_{j,T}) \right] \end{aligned} \right\rangle \\
 & + p \left[\begin{aligned} & i^d E_T (\varepsilon_{j,T} | \varepsilon_{j,T} > r_{j,T} - \tilde{m}_{j,T}) \\ & + i^l E_T (\varepsilon_{j,T} | \varepsilon_{j,T} < r_{j,T} - \tilde{m}_{j,T}) \end{aligned} \right] \\
 & + (1-p) \left\{ \begin{aligned} & i^d E_T [\varepsilon_{j,T} | \varepsilon_{j,T} > r_{j,T} - (a_{j,T} - b_{j,T})] \\ & + i^l E_T [\varepsilon_{j,T} | \varepsilon_{j,T} < r_{j,T} - (a_{j,T} - b_{j,T})] \end{aligned} \right\},
 \end{aligned} \tag{8}$$

donde $\tilde{m}_{j,t} = a_{j,t} - b_{j,t} + d_{j,t}$ se define como el valor de las reservas antes del choque de demanda del banco j en caso de que este haya obtenido liquidez en la subasta en el momento $t \in [1, T]$.

De las condiciones de primer orden para el problema en (6) se obtiene:

$$\hat{d}_{j,T} = \begin{cases} r_{j,T} - (a_{j,T} - b_{j,T}) - F^{-1} \left(\frac{i^p - i^d}{i^l - i^d} \right) & \text{con } p \\ 0 & \text{con } 1 - p \end{cases}, \tag{9}$$

donde \hat{x} identifica a la función de reacción de la variable x . De esta manera, $\hat{d}_{j,T}$ se refiere a la función de reacción del banco j por la demanda de recursos en la subasta, condicionada por la distribución de los choques y el $b_{j,T}$ predeterminado.

En la derivación de (9) se siguió a Pérez y Rodríguez (2006) en el supuesto de que, para cualquier $K_{j,t}$ que condiciona el valor esperado del choque de demanda, se cumple que:

$$\frac{\partial}{\partial k_{j,t}} E_t (\varepsilon_{j,t} | \varepsilon_{j,t} > < k_{j,t}) = 0. \tag{Supuesto 2}$$

Reemplazando (9) en (8), se observa que la oferta marginal de recursos en el mercado interbancario más temprano en el día afecta la función objetivo de antes de la subasta, así:

$$\begin{aligned}
 & \frac{\partial}{\partial b_{j,T}} E_T \left[\pi_{j,T}^{omo} (\hat{d}_{j,T}) | r_{j,T+1} = 0, b_{j,T} \right] = \\
 & - p i_p - (1-p) \left\{ i^d + (i^l - i^d) F \left[r_{j,T} - (a_{j,T} - b_{j,T}) \right] \right\}.
 \end{aligned} \tag{10}$$

La oferta marginal de liquidez en el mercado interbancario reduce los beneficios de la subasta. Obtener esa liquidez marginal tiene como costo la tasa de política con probabilidad

p , o, dependiendo de la magnitud del choque de demanda, el costo estará entre la tasa de préstamo y la de depósito de las ventanillas del banco central con probabilidad $1 - p$. Un choque de demanda positivo reduce la probabilidad de tener que demandar recursos en la ventanilla de préstamos del banco central y reduce su costo. Un choque de demanda negativo aumenta la probabilidad de tener que ir a esta ventanilla e incrementa el costo.

2.2.2 Problema del banco j en el mercado interbancario del último día

Se sigue con la solución del problema del banco en el momento T mediante inducción hacia atrás. Ahora el interés está en el problema de maximización al comienzo del día. El banco j maximiza los beneficios del día escogiendo su oferta (o demanda) en el mercado interbancario, teniendo en cuenta la función de reacción (9). El banco resuelve la función valor de principio del día:

$$V_T(s_{j,T}; S_T) = \max_{\{b_{j,T}\}} \left\{ i_T b_{j,T} + E_T \left[\pi_{j,T}^{omo}(\hat{d}_{j,T}) | r_{j,T+1} = 0, b_{j,T} \right] \right\}, \quad (11)$$

donde el estado del banco j en el momento T se define por su posición de reserva, $s_{j,T} = (a_{j,T}, r_{j,T})$, y la variable de estado agregada en el momento T está dada por las tasas del mercado interbancario hasta $T - 1$, $S_T = (i_1, i_2 \dots i_{T-1})$.

La función valor tiene dos argumentos: primero, el banco decide cuánto prestar o tomar prestado en el mercado interbancario, y recibe o paga la tasa de interés interbancaria i_T , respectivamente; y segundo, el valor esperado de las ganancias del banco antes de la subasta evaluada en su óptimo.

Usando (10), la condición de primer orden de (11) es:

$$i_T - pi_p - (1-p) \left\{ i^d + (i^l - i^d) F \left[r_{j,T} - (a_{j,T} - \hat{b}_{j,T}) \right] \right\} = 0. \quad (12)$$

De (12) se obtiene la función de reacción del banco j para la oferta (o demanda) de liquidez en el mercado interbancario en el último día del período de reserva T :

$$\hat{b}_{j,T} = a_{j,T} - r_{j,T} + F^{-1} \left[\frac{i_T - [pi_p + (1-p)i^d]}{(1-p)(i^l - i^d)} \right]. \quad (13)$$

Esta función de reacción de la oferta (o demanda) de liquidez del banco j depende de la tasa de interés interbancaria de equilibrio, i_T , de las variables de estado, $a_{j,T}$ y $r_{j,T}$, de las tasas exógenas, i_p , i^d e i^l y de las distribuciones de los choques.

Se utiliza la condición de equilibrio del mercado interbancario en (5) para obtener la tasa de interés interbancaria de equilibrio del último día:

$$i_T^* = pi_p + (1-p) \left[i^d + (i^l - i^d) F(R_T - A_T) \right], \quad (14)$$

donde se define la variable agregada $X_t = \int_0^1 x_{j,t} \partial j$, para $x_{j,t} = (a_{j,t}, b_{j,t}, r_{j,t})$.

La tasa de interés interbancaria de equilibrio, i_t^* , es igual a la tasa de política, i_p , solo si la probabilidad de recibir los recursos demandados en la subasta es igual a 1, es decir $p = 1$. De lo contrario, con $p < 1$, el mecanismo de oferta monetaria causa una distorsión que separa la tasa de interés interbancaria de equilibrio de la tasa de política. El margen entre estas dos tasas depende del tamaño de los choques de demanda esperados, y está limitada por las tasas de las ventanillas del banco central.

Se reemplaza la ecuación (14) en (13) para obtener el equilibrio de la oferta (o demanda) de recursos en el mercado interbancario el último día del período de reserva, para el banco j :

$$b_{j,T}^* = (a_{j,T} - r_{j,T}) + (R_T - A_T). \quad (15)$$

La actividad óptima del banco j en el mercado interbancario el último día del período de reserva depende positivamente de sus activos netos de su deficiencia y de la demanda agregada de recursos (deficiencia agregada neta de activos totales).

Vale la pena mencionar que el equilibrio de la oferta de recursos en el mercado interbancario no depende de la incertidumbre de recibir recursos en la subasta. Por tanto, se concluye que, al menos dentro del esquema presentado para el último día del período de requerimiento, el mecanismo de oferta monetario con subasta y con ventanillas no favorece la profundización del mercado interbancario.

Reemplazando (15) en (9), se obtiene la demanda de equilibrio en la subasta:

$$d_{j,T}^* = \begin{cases} R_T - A_T - F^{-1} \left(\frac{i_p - i^d}{i^l - i^d} \right), & \text{con } p \\ 0, & \text{con } 1 - p \end{cases}, \quad (16)$$

y agregando para todas las instituciones que obtienen recursos en la subasta, se obtiene la oferta total de liquidez del banco central en el período T :

$$\frac{M_T^*}{p} = R_T - A_T - F^{-1} \left(\frac{i_p - i^d}{i^l - i^d} \right). \quad (17)$$

Las ecuaciones (14) a (17) resumen los resultados del modelo para el último día del período de requerimiento, los cuales serán validados en la sección 3 de este artículo. Para continuar con la inducción hacia atrás es útil calcular cómo cambia la función valor en T ante variaciones marginales en la deficiencia del último período, $r_{j,T}$. De esta manera, sustituyendo (16) en la función de valor en (11), se calcula:

$$\frac{\partial}{\partial r_{j,T}} V_T(s_{j,T}; S_T) = \frac{\partial}{\partial r_{j,T}} \left\{ i_T b_{j,T}^* + E_T \left[\pi_{j,T}^{omo} (d_{j,T}^*) | r_{j,T+1} = 0, b_{j,T}^* \right] \right\} = -i_T. \quad (18)$$

En T se debe obtener la liquidez marginal que no se utilizó en $T - 1$ para reducir la deficiencia con la que el banco comienza el último día del período de reserva. Esto se hace bien sea en el mercado interbancario al inicio del día T o más tarde, con incertidumbre, en la subasta del último día. La ecuación (18) muestra que el costo de oportunidad de no reducir marginalmente la deficiencia en $T - 1$ es la tasa de interés interbancaria, i_T .

2.3 Funciones de pago y solución en el momento $t = T - 1$

2.3.1 Problema del banco en la subasta del día $T - 1$

Se sigue solucionando el modelo con inducción hacia atrás para la subasta en el día anterior al último, $t = T - 1$. En este momento, el banco ha encontrado la solución de equilibrio para las variables endógenas en T , en términos de los estados, las variables exógenas y los parámetros. También conoce sus activos y su deficiencia ($a_{j,T-1}$, $r_{j,T-1}$), la tasa de política del banco central, las tasas de interés de las ventanillas y las distribuciones de los choques. En este momento la restricción de requerimiento de encaje aún no se tiene que satisfacer, por lo que el banco decide sobre su demanda en la subasta, $d_{j,T-1}$, y sobre la deficiencia del próximo período, $r_{j,T}$, para solucionar:

$$\max_{\{d_{j,T-1}, r_{j,T}\}} E_{T-1} \left[\pi_{j,T-1}^{omo} (d_{j,T-1}, r_{j,T}) + V_T (s_{j,T}; S_T) | b_{j,T-1} \right]. \quad (19)$$

La función objetivo en (19) está compuesta por dos elementos: el primero contiene los beneficios de la subasta y el segundo contiene la función valor del siguiente día evaluada en el equilibrio, pero condicionada a los estados que son determinados en $T - 1$ ⁹.

Se puede escribir el primer elemento en (19) como:

$$E_{T-1} \left[\pi_{j,T-1}^{omo} (d_{j,T-1}, r_{j,T}) | b_{j,T-1} \right] =$$

$$p \left[\begin{array}{l} -i_p d_{j,T-1} \\ +i^d \left[\begin{array}{l} \tilde{m}_{j,T-1} \\ -(r_{j,T-1} - r_{j,T}) \end{array} \right] \left[1 - F(r_{j,T-1} - r_{j,T} - \tilde{m}_{j,T-1}) \right] \\ +i^l \left[\begin{array}{l} \tilde{m}_{j,T-1} \\ -(r_{j,T-1} - r_{j,T}) \end{array} \right] F(r_{j,T-1} - r_{j,T} - \tilde{m}_{j,T-1}) \end{array} \right]$$

9 En particular, el choque de demanda en $T - 1$ determina los activos líquidos en el período T , y la decisión endógena acerca de la reducción de la deficiencia en $T - 1$ determina $r_{j,T}$.

$$\begin{aligned}
 & + (1-p) \left\langle \begin{aligned} & i^d \left[\begin{array}{c} a_{j,T-1} - b_{j,T-1} \\ -(r_{j,T-1} - r_{j,T}) \end{array} \right] \left[1 - F \left[\begin{array}{c} r_{j,T-1} - r_{j,T} \\ -(a_{j,T-1} - b_{j,T-1}) \end{array} \right] \right] \\ & + i^l \left[\begin{array}{c} a_{j,T-1} - b_{j,T-1} \\ -(r_{j,T-1} - r_{j,T}) \end{array} \right] F \left[\begin{array}{c} r_{j,T-1} - r_{j,T} \\ -(a_{j,T-1} - b_{j,T-1}) \end{array} \right] \end{aligned} \right\rangle \quad (20) \\
 & + p \left[\begin{aligned} & i^d E_T(\varepsilon_{j,T-1} | \varepsilon_{j,T-1} > r_{j,T-1} - r_{j,T} - \tilde{m}_{j,T-1}) \\ & + i^l E_T(\varepsilon_{j,T-1} | \varepsilon_{j,T-1} < r_{j,T-1} - r_{j,T} - \tilde{m}_{j,T-1}) \end{aligned} \right] \\
 & + (1-p) \left[\begin{aligned} & i^d E_T[\varepsilon_{j,T-1} | \varepsilon_{j,T-1} > r_{j,T-1} - r_{j,T} - (a_{j,T-1} - b_{j,T-1})] \\ & + i^l E_T[\varepsilon_{j,T-1} | \varepsilon_{j,T-1} < r_{j,T-1} - r_{j,T} - (a_{j,T-1} - b_{j,T-1})] \end{aligned} \right].
 \end{aligned}$$

El primer corchete en (20) presenta los pagos para el evento en el cual el banco recibe la liquidez demandada en la subasta, con probabilidad p : este paga la tasa de interés de política por la liquidez demandada y, dependiendo de los estados, de las decisiones, del tamaño y del signo del choque de demanda, el banco termina el día con excesos de liquidez (cuando $\varepsilon_{j,T-1} + \tilde{m}_{j,T-1} > r_{j,T-1} - r_{j,T}$), la cual deposita en la ventanilla de contracción del banco central, o termina con faltantes de liquidez (cuando $\varepsilon_{j,T-1} + \tilde{m}_{j,T-1} < r_{j,T-1} - r_{j,T}$), en cuyo caso el banco pide prestados recursos en la ventanilla de expansión del banco central.

El segundo paréntesis (triangular) contiene los pagos en el evento de no obtener liquidez en la subasta. El banco enfrenta las mismas dos posibilidades: terminar el día con excesos de liquidez que deposita en la ventanilla de contracción y gana la tasa i^d , o terminar necesitando recursos que demanda en la ventanilla de expansión y paga la tasa i^l .

Utilizando (18) y el Supuesto 2, las condiciones de primer orden sobre (19) generan:

$$\{d_{j,T-1}\} : i^d + (i^l - i^d) F \left\{ r_{j,T-1} - r_{j,T} - [a_{j,T-1} - b_{j,T-1} + \hat{d}_{j,T-1} I(p)] \right\} - i_p = 0, \quad (21)$$

y

$$\{r_{j,T}\} : (1-p) \left\{ i^d + (i^l - i^d) F [r_{j,T-1} - \hat{r}_{j,T} - (a_{j,T-1} - b_{j,T-1})] \right\} \quad (22)$$

$$+ p \left\{ i^d + (i^l - i^d) F [r_{j,T-1} - \hat{r}_{j,T} - (a_{j,T-1} - b_{j,T-1} + d_{j,T-1})] \right\} - E_{T-1}(i_T) = 0.$$

Sustituyendo la función de reacción para la demanda en la subasta, $\hat{d}_{j,T-1}$, (21) en (22), se obtiene la función de reacción para la reducción de la deficiencia en $T-1$ en términos de estados $(a_{j,T-1}, r_{j,T-1})$, del $b_{j,T-1}$ predeterminado, de las tasas de interés exógenas del banco central y de la expectativa endógena sobre la tasa de interés interbancaria del día siguiente, $E_{T-1}(i_T)$:

$$r_{j,T-1} - \hat{r}_{j,T} = (a_{j,T-1} - b_{j,T-1}) + F^{-1} \left\{ \frac{E_{T-1}(i_T) - [p i_p + (1-p) i^d]}{(1-p)(i^l - i^d)} \right\}. \quad (23)$$

Se reemplaza la función de reacción para la reducción de la deficiencia (23) en (21) para obtener la función de reacción para la demanda en la subasta en términos de las distribuciones de los choques, de las tasas de interés exógenas y de la expectativa endógena sobre la tasa de interés interbancaria del siguiente día, $E_{T-1}(i_T)$:

$$\hat{d}_{j,T-1} = \begin{cases} F^{-1} \left\{ \frac{E_{T-1}(i_T) - [pi_p + (1-p)i^d]}{(1-p)(i^l - i^d)} \right\} - F^{-1} \left(\frac{i_p - i^d}{i^l - i^d} \right), & \text{con } p \\ 0, & \text{con } 1-p \end{cases}, \quad (24)$$

Una vez más, como en T , resulta útil conocer cómo cambia la función objetivo de la subasta en $T-1$ con la oferta marginal de recursos más temprano en el día, teniendo en cuenta las funciones de reacción para las variables endógenas. Se obtiene:

$$\frac{\partial}{\partial b_{j,T-1}} E_{T-1} \left[\pi_{j,T-1}^{omo}(\hat{d}_{j,T-1}, \hat{r}_{j,T}) + V_T(s_{j,T}; S_T) \mid b_{j,T-1} \right] = -E_{T-1}(i_T). \quad (25)$$

Las reservas marginales prestadas más temprano en el día cuestan el valor esperado en $T-1$ de la tasa de interés interbancaria en T . Hay que tener en cuenta que en el equilibrio (véase (14)) esta expectativa depende de la tasa de política y del tamaño y signo del choque de demanda en T .

2.3.2 Problema del banco en el mercado interbancario del día $t = T-1$

El banco j optimiza sobre su función valor:

$$V_{T-1}(S_{j,T-1}; S_{T-1}) = \max_{\{b_{T-1}^j\}} i_{T-1} b_{j,T-1} + E_{T-1} \left[\pi_{j,T-1}^{omo}(\hat{d}_{j,T-1}, \hat{r}_{j,T}) + V_T(s_{j,T}; S_T) \mid b_{j,T-1} \right]. \quad (26)$$

La función valor en $T-1$ tiene dos elementos: primero, los beneficios en el mercado interbancario y, segundo, el valor esperado tanto de los beneficios de la subasta como de la función valor del siguiente período.

La ecuación (26) es una función lineal en $b_{j,T-1}$. La optimización puede producir una de tres opciones: $i_{T-1} > E_{T-1}(i_T)$, donde al banco j le gustaría prestar tanto como sea posible en el mercado interbancario en el momento $T-1$; $i_{T-1} < E_{T-1}(i_T)$, donde al banco j le gustaría pedir prestado tanto como sea posible en el mercado interbancario, o $i_{T-1} = E_{T-1}(i_T)$, donde el banco j sería indiferente entre prestar (o pedir prestado) hoy o mañana y se tendrían infinitas soluciones para $b_{j,T-1}$ y para todas las demás variables endógenas que dependan de esta última.

Suponiendo que el banco j no puede prestar en el mercado interbancario más que los recursos que tiene disponibles en ese momento, el valor máximo que podría prestar sería $[b_{j,T-1}]^{\max} = a_{j,T-1}$. Si esta cantidad es positiva para todos y cada uno de los bancos, la situa-

ción $i_{T-1} > E_{T-1}(i_T)$ no puede ser un equilibrio, ya que, en este caso $\int_0^1 b_{j,T-1} > 0$ y esto viola la condición de equilibrio del mercado interbancario. Por otro lado, incluso si para algunos bancos $a_{j,T-1} < 0$, aquellos bancos no querrían pedir prestado recursos en $T-1$, sino en T y, por tanto, para ellos $b_{j,T-1} = 0$. En conclusión, el caso $i_{T-1} > E_{T-1}(i_T)$ podría darse como un equilibrio en el mercado interbancario solamente si $a_{j,T-1} \leq 0, \forall j$ de forma que $b_{j,T-1}^* = 0, \forall j$.

En el evento que $i_{T-1} < E_{T-1}(i_T)$, al banco j le gustaría pedir prestado tanto como sea posible en el mercado interbancario. En principio, quisiera pedir prestado $r_{j,T}$ de forma que ya cubra su requerimiento en $T-1$. El banco j podría querer pedir prestado aún más y colocar recursos en la ventanilla de depósito del banco central, obteniendo un retorno de i^d . Puesto que en este caso los bancos querrían pedir prestado tanto como sea posible para cubrir su deficiencia y colocar recursos en la ventanilla de depósito del banco central, esto daría como resultado $\int_0^1 b_{j,T-1} < 0$ y, por tanto, el caso $i_{T-1} < E_{T-1}(i_T)$ nunca puede ser un equilibrio del mercado interbancario.

Se concluye, entonces, que el único equilibrio posible para el mercado interbancario es tener

$$E_{T-1}(i_T) = i_{T-1}, \quad (27)$$

confirmando la hipótesis de que la tasa de interés interbancaria sigue un proceso Martingala. Pérez y Rodríguez (2006) analizan esta hipótesis, pero no obtienen una derivación analítica para ello.

La conclusión es que en este esquema hay múltiples (infinitos) equilibrios para la oferta (o demanda) de recursos del banco j en el mercado interbancario en el período $T-1$. De acuerdo con la ecuación (23), también hay equilibrios múltiples para la reducción de la deficiencia. Además, según la condición de equilibrio del mercado interbancario en (5), existen múltiples equilibrios para la tasa de interés interbancaria (su expectativa con información condicional en $T-1$), para la demanda en la subasta y la oferta de liquidez del banco central.

Los equilibrios múltiples están caracterizados por la ecuación (23), donde a mayor oferta de recursos del banco comercial en el mercado interbancario, menor es la reducción de la deficiencia que puede hacer. Hay una disyuntiva entre los dos objetivos de maximizar beneficios en el mercado interbancario y satisfacer la restricción de requerimiento de encaje. El banco tiene que escoger a lo largo de la relación lineal en la ecuación (23) qué tanto desea ofrecer (o demandar) en el mercado interbancario en el período $T-1$ con su correspondiente reducción de la deficiencia.

2.3.3 Determinación de un único equilibrio

La oferta en el mercado interbancario y la reducción de la deficiencia se determinan de manera conjunta. El banco comercial se enfrenta a una disyuntiva según la ecuación (23): si decide reducir su deficiencia, este sacrifica ganancias; y si decide ofrecer recursos en el

mercado interbancario y obtener beneficios, este no reduce su deficiencia y se enfrenta al riesgo de tener que aceptar liquidez más costosa.

Para resolver esta disyuntiva, en este artículo se supone que todas las instituciones tienen preferencias acerca de la velocidad con que quieren reducir su deficiencia. La función W representa estas preferencias. El banco j resuelve:

$$\max_{\{b_{j,T-1}, r_{j,T}\}} W = -\left[\gamma_j (b_{j,T-1})^2 + (r_{j,T-1} - r_{j,T})^2\right], \quad (28)$$

donde $0 \leq \gamma_j < \infty$ es el peso relativo que el banco j le da a la reducción de su deficiencia con respecto a sus beneficios en el mercado interbancario. Sujeto a la ecuación (23):

$$r_{j,T-1} - \hat{r}_{j,T} = a_{j,T-1} - b_{j,T-1} + F^{-1} \left[\frac{E_{T-1}(i_T) - [pi_p + (1-p)i^d]}{(1-p)(i^l - i^d)} \right].$$

Se reemplaza (23) en (28) y se utiliza el resultado Martingala en (27). Así, la condición de primer orden resulta en la función de reacción para la oferta (o demanda) del banco j en el mercado interbancario en términos de la tasa de interés interbancaria endógena en $T-1$, de los estados, de las variables exógenas y de los parámetros:

$$\hat{b}_{j,T-1} = \frac{1}{1 + \gamma_j} \left[a_{j,T-1} + F^{-1} \left[\frac{i_{T-1} - [pi_p + (1-p)i^d]}{(1-p)(i^l - i^d)} \right] \right]. \quad (29)$$

Sustituyendo (29) en (23) y utilizando (27) se obtiene la función de reacción para la reducción de la deficiencia, también en términos de la tasa de interés interbancaria endógena en $T-1$, de los estados, de las variables exógenas y de los parámetros:

$$r_{j,T-1} - \hat{r}_{j,T} = \frac{\gamma_j}{1 + \gamma_j} \left[a_{j,T-1} + F^{-1} \left[\frac{i_{T-1} - pi_p - i^d}{(1-p)} \frac{1}{i^l - i^d} \right] \right]. \quad (30)$$

Reemplazando (29) en la condición de equilibrio de mercado en (5), se puede hallar la tasa de interés interbancaria de equilibrio en $T-1$:

$$i_{T-1}^* = pi_p + (1-p) \left[i^d + (i^l - i^d) F \left(-\frac{\int_0^1 \frac{a_{j,T-1}}{1 + \gamma_j} \partial j}{\int_0^1 \frac{1}{1 + \gamma_j} \partial j} \right) \right]. \quad (31)$$

Para encontrar la oferta (o demanda) de recursos de equilibrio en el mercado interbancario y la reducción de la deficiencia de equilibrio en el período $T-1$, se sustituye (31) en las ecuaciones (29) y (30), respectivamente:

$$b_{j,T-1}^* = \frac{1}{1+\gamma_j} \left[a_{j,T-1} - \frac{\int_0^1 \frac{a_{j,T-1}}{1+\gamma_j} \partial j}{\int_0^1 \frac{1}{1+\gamma_j} \partial j} \right], \quad (32)$$

y

$$r_{j,T-1} - r_{j,T}^* = \frac{\gamma_j}{1+\gamma_j} \left[a_{j,T-1} - \frac{\int_0^1 \frac{a_{j,T-1}}{1+\gamma_j} \partial j}{\int_0^1 \frac{1}{1+\gamma_j} \partial j} \right]. \quad (33)$$

Las ecuaciones (31) a (33) son los resultados del modelo que deben ser validados en la sección 3 de este artículo. Como se encontró para el período $t = T$, en el período $T-1$ la tasa de interés interbancaria de equilibrio está distorsionada por la incertidumbre de la subasta. A menor p (probabilidad de conseguir la liquidez demandada en la subasta), mayor es la distorsión. Una vez más, así como en el último día del período de requerimiento, la oferta de liquidez de equilibrio de los bancos en el mercado interbancario no está afectada por el mecanismo de oferta de subasta-ventanillas.

Este resultado para $T-1$, junto con el equilibrio en T , indica que el mecanismo subasta-ventanillas genera distorsiones sin ningún beneficio para la profundización de la actividad interbancaria. Vale la pena mencionar que, como se anotó, el mecanismo puesto en marcha podría responder a otros objetivos diferentes a la profundización del mercado interbancario que no se consideran o modelan en este artículo.

2.4 Recursividad

Reemplazando la oferta (o demanda) de equilibrio del banco j en el mercado interbancario (32) y la reducción de la deficiencia de equilibrio (33) en la función valor del día $T-1$ (26), se obtiene la siguiente expresión:

$$\frac{\partial}{\partial r_{j,T-1}} \left\{ i_{T-1} b_{j,T-1}^* + E_{T-1} \left[\pi_{j,T-1}^{omo} (d_{j,T-1}^*, r_{j,T}^*) + V_T (s_{j,T}; \mathcal{S}_T) | b_{j,T-1}^* \right] \right\} = -i_{T-1}, \quad (34)$$

la cual es análoga a (18). Así, los resultados para $t = T-1$ pueden ser iterados para todo $t \in [1, T-1]$

3 ANÁLISIS EMPÍRICO

Esta sección empieza describiendo las fuentes de información del mercado interbancario colombiano que van a ser utilizadas para validar los resultados (equilibrios) del modelo de la sección 2. Así, el enfoque será suministrar evidencia estadística para la hipótesis de Martingala, los resultados para el último día del período de requerimiento y, finalmente, para todos los otros días.

3.1 Datos

Con el fin de presentar las características que se encuentran en los datos de Colombia, se utilizó la información de los requerimientos promedio de reserva y de los fondos efectivamente mantenidos por los bancos, los cuales fueron reportados al regulador colombiano (Superintendencia Financiera de Colombia, Formato 443); las tasas de interés y las cantidades prestadas y tomadas en préstamo por cada entidad en el mercado no colateralizado (Superintendencia Financiera de Colombia, Formulario 441), y las tasas de interés y los montos transados en el mercado interbancario colateralizado del Depósito Central de Valores (DCV), depositario del banco central para la compensación y entrega de títulos del gobierno [TES]). Estos datos incluyen los registros de SEN, MEC y los realizados en OTC.

La atención se centra en el análisis y procesamiento de la información para las operaciones a un día solamente, y para ello se halla la posición global en el mercado interbancario para cada entidad (es decir, el valor prestado en los mercados colateralizados y no colateralizados menos el valor tomado en préstamo de los mismos). Se construye una tasa de interés promedio ponderada. La información de las OMA se toma del banco central. Se utilizan los montos demandados y los realmente obtenidos en las subastas diarias de las operaciones repo por cada entidad, y sus correspondientes tasas de interés. Esta información se utiliza para calcular el choque de oferta (frecuencia en que los bancos no consiguen recursos en la subasta).

Se construye una base de datos que refleje el funcionamiento de la política monetaria en Colombia. Esta contiene la oferta monetaria por parte del banco central y los requerimientos de reservas.

Se consideran todas las operaciones por entidad, para cada día del período enero de 2012 a abril de 2013. Esta base incluye 234 períodos completos de requerimiento de reserva, para lo cual se tienen 57.596 observaciones¹⁰. Debido a que el propósito es analizar todos los tipos de operaciones a un día entre entidades, lo cual se denomina el mercado interbancario total, se incluyen tanto las transacciones colateralizadas como las no colateralizadas¹¹. De estas operaciones se excluyeron todas las transacciones realizadas a

10 En Colombia, un período de requerimiento de reserva incluye un total de catorce días, que empieza un miércoles y termina un martes dos semanas después. Durante este período, la cantidad mantenida como reservas cada día (incluyendo los fines de semana) se considera en el promedio del requerimiento de reserva.

11 En este sentido, el propósito no es explicar la tasa de interés del mercado interbancario como se entiende tradicionalmente. Por lo común, la tasa de interés interbancaria a un día se obtiene de las transacciones no colateralizadas entre agentes. Como se mencionó, el interés es analizar estas operaciones al tiempo con las

tasas de interés inferiores a la tasa de depósito de la ventanilla del banco central porque se reconoce que estas se realizan con propósitos distintos a los de liquidez. Con las transacciones restantes se definen las siguientes variables:

Reducción de la *deficiencia*: corresponde al valor diario de las reservas de cada entidad. No incluye recursos diferentes de los utilizados con el objeto de cumplir el requerimiento de reservas¹². Es importante mencionar que no todas las entidades consideradas aquí deben cumplir con el requerimiento de reservas (únicamente las entidades de depósito).

Tasa de interés interbancaria total: calculada como el promedio ponderado de todas las operaciones colateralizadas y no colateralizadas consideradas en el modelo.

Operaciones diarias con el banco central: balance neto de las operaciones repos y de ventanillas de expansión y contracción.

Transacciones diarias interbancarias totales: transacciones colateralizadas y no colateralizadas a un día: 57.596 observaciones.

3.1.1 Parámetros utilizados en el análisis de datos

En los resultados que se presentan más adelante se calibraron los valores para los parámetros de la distribución de los choques de oferta y demanda y el parámetro de preferencia γ_j en la ecuación (28).

Se supone que los choques de demanda siguen una función de distribución Logística. Debido a que se cuenta con más de 50.000 observaciones, se supone que la media muestral y la desviación estándar corresponden a sus valores poblacionales; por tanto, se tiene una distribución del choque de demanda con $F(\mu_\varepsilon = 0, \sigma_\varepsilon = 789,3)$.

El choque de oferta sigue una distribución Binomial con el parámetro p calibrado en 0,99. Este parámetro fue calculado como el promedio de la proporción de entidades que reciben alguna liquidez habiendo participado en la subasta.

El parámetro que captura las preferencias de las entidades sobre la reducción de la deficiencia y la actividad interbancaria γ_j fue calibrado dividiendo las ecuaciones (29) y (30), utilizando los datos por día y por entidad, y promediando por banco durante el período considerado.

3.2 Hipótesis de diferencia de Martingala

La ecuación (27) es una derivación analítica de la hipótesis de Martingala propuesta por Pérez y Rodríguez (2006). En esta sección se pretende comprobar si la tasa de interés interbancaria sigue este tipo de proceso. Se aplica el método de Domínguez y Lobato (2003) para probar la hipótesis de Martingala en diferencias. De la ecuación (27) se tiene:

$$E_t(i_{t+1} | i_t, \dots, i_1) = i_t \quad (35)$$

colateralizadas, por tanto, la tasa promedio resultante de ambos tipos de transacción es lo que aquí se denomina la tasa de interés interbancaria total.

12 No incluye recursos mantenidos en las ventanillas de contracción o expansión del banco central.

Se utiliza la definición de la expectativa condicional para escribir

$$E_t(i_{t+1} - i_t | i_t, \dots, i_1) = 0 \quad (36)$$

lo que implica que el retorno marginal esperado condicional de las reservas interbancarias es cero. La hipótesis de diferencias de Martingala permite afirmar que si la ecuación (36) se cumple, la tasa de interés interbancaria sigue un proceso de Martingala.

Se utiliza el *Test* Domínguez-Lobato para la hipótesis de diferencias de Martingala del paquete “vrtest” (prueba de la tasa de varianza y otras pruebas de hipótesis de diferencias de Margingala), que se ejecuta en R, y fue programado por Kim (2011; citado por Charles *et al.*, 2011).

La prueba establece $H_0: E_t(i_{t+1} - i_t | i_t, \dots, i_{t-q}) = 0$, y calcula las pruebas estadísticas de Cramer von Mises (Cp) y de Kolmogorov-Smirnov (Kp), con los *wild bootstrap p-value* de las pruebas Cp ($Cp - pval$) y Kp ($Kp - pval$), con trescientas iteraciones bootstrap y con rezagos $q = 5$ para la expectativa condicional. Se escogió este valor porque 5 es el rezago promedio para un período de requerimiento de dos semanas con diez días hábiles (es decir: $5 = \frac{1}{9} \sum_{q=1}^9 q$).

Los resultados obtenidos no permiten rechazar la hipótesis nula con $Cp = 0,0176$; $Kp = 0,5050$; $Cp - pval = 0,9367$; $Kp - pval = 0,8133$.

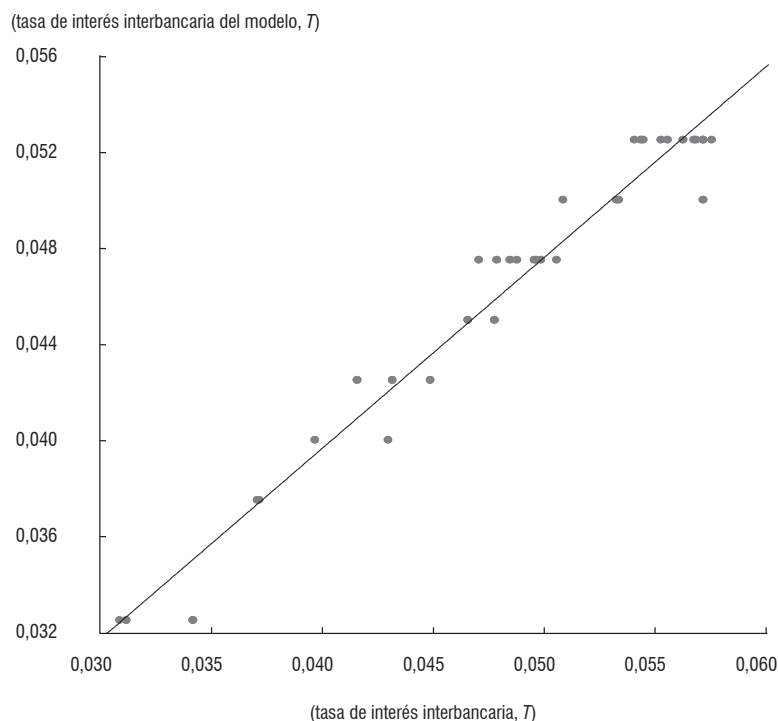
Teniendo en cuenta que $Cp - pval$ y $Kp - pval$ son valores mayores a 0,05, no se rechaza la hipótesis del proceso de Martingala para la tasa de interés interbancaria de Colombia.

El significado económico de un proceso de Martingala podría entenderse como de eficiencia en el mercado interbancario, debido a que los beneficios esperados de un día a otro son estadísticamente iguales a cero puesto que se han agotado todas las posibilidades de arbitraje. Pérez y Rodríguez (2006) han llegado a establecer esta hipótesis a partir de sus derivaciones; sin embargo, hasta donde se tiene conocimiento, el presente es el primer artículo que genera una derivación analítica completa de este resultado.

3.3 Resultados del modelo versus el mercado interbancario en Colombia

En esta sección se presentan seis gráficos de dispersión para las variables de interés con el objetivo de comparar los datos observados (siempre en el eje horizontal) con los resultados del modelo (en el eje vertical). Cada gráfico tiene una línea de regresión lineal (con constante) de mínimos cuadrados ordinarios (MCO). En un ajuste perfecto se obtendría una línea de 45 grados (un coeficiente de 1 en la regresión lineal). Los resultados de la regresión se presentan en el anexo. Se utilizó la ecuación (14) para obtener la tasa de interés de equilibrio del mercado interbancario del modelo para el último día del período de requerimiento. El modelo explica casi el 96% de la varianza de la variable (R^2 ajustado), con un coeficiente significativo de 1,21, lo que significa que el modelo subestima esta tasa de interés (Gráfico 3 y Cuadro A1.1).

Gráfico 3
Tasa de interés interbancaria para el último día del período de requerimiento



Fuente: cálculos de los autores.

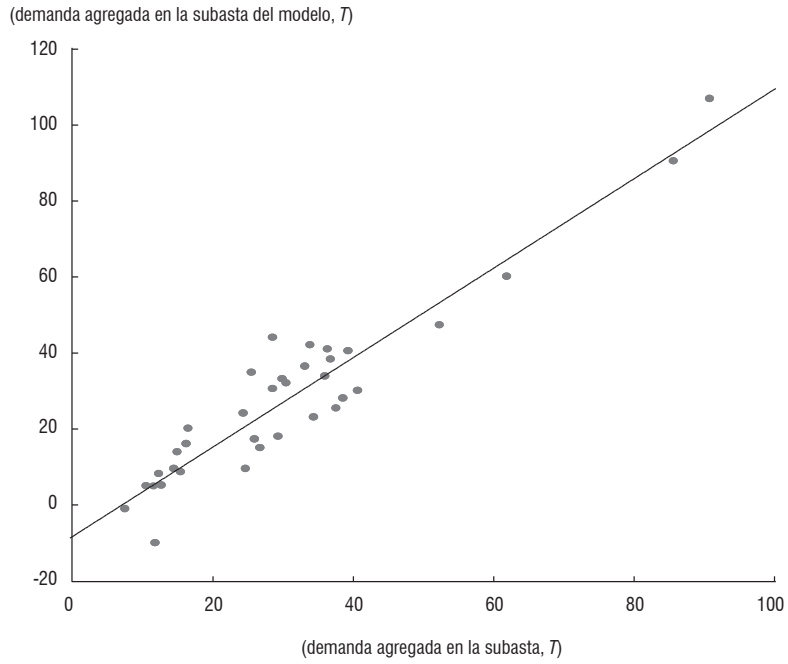
Se utilizó la ecuación (16) para obtener en el modelo la demanda agregada de equilibrio en la subasta para el último día del período de requerimiento. El modelo explica casi el 90% de la varianza de la variable (R^2 ajustado), con un coeficiente significativo de 0,76, lo que significa que el modelo sobreestima la demanda agregada (Gráfico 4 y Cuadro A1.2).

Se utilizó la ecuación (15) para obtener en el modelo la oferta de liquidez de equilibrio en el mercado interbancario por el banco j el último día del período de requerimiento. El modelo explica casi 35% de la varianza de la variable (R^2 ajustado), con un coeficiente significativo de 0,25, lo cual significa que el modelo sobreestima la actividad interbancaria (Gráfico 5 y Cuadro A1.3).

Se utilizó la ecuación (31) para obtener en el modelo la tasa de interés interbancaria de equilibrio para los días diferentes al último del período de requerimiento. El modelo explica cerca del 94% de la varianza de la variable (R^2 ajustado), con un coeficiente significativo de 1,24, lo cual significa que el modelo subestima esta tasa de interés (Gráfico 6 y Cuadro A1.4).

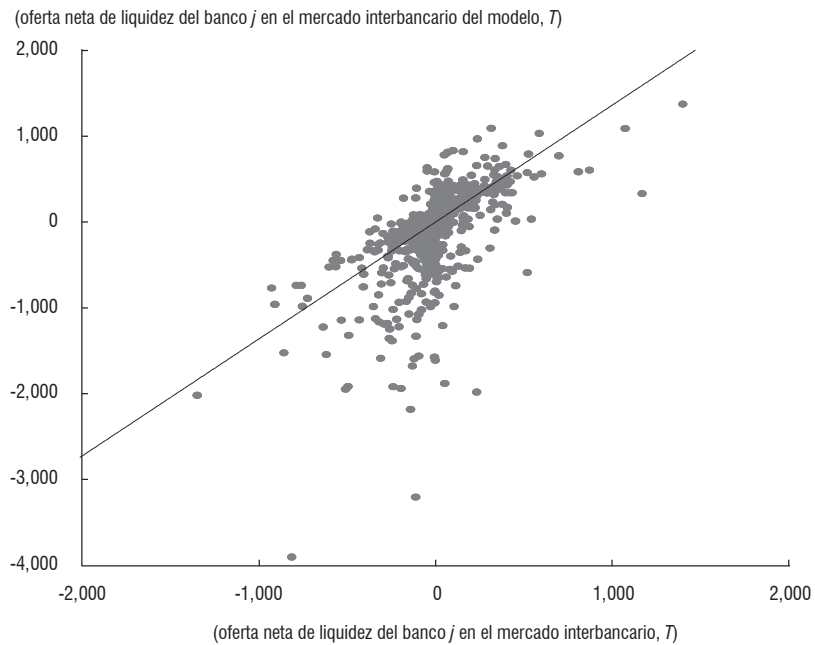
Se utilizó la ecuación (32) para obtener en el modelo la oferta de liquidez de equilibrio en el mercado interbancario del banco j en los días diferentes al último del período de requerimiento. El modelo explica cerca del 23% de la varianza de la variable (R^2 ajustado), con un coeficiente significativo de 0,35, lo cual significa que el modelo sobreestima esta actividad interbancaria (Gráfico 7 y Cuadro A1.5).

Gráfico 4
Demanda agregada en la subasta para el último día del período de requerimiento



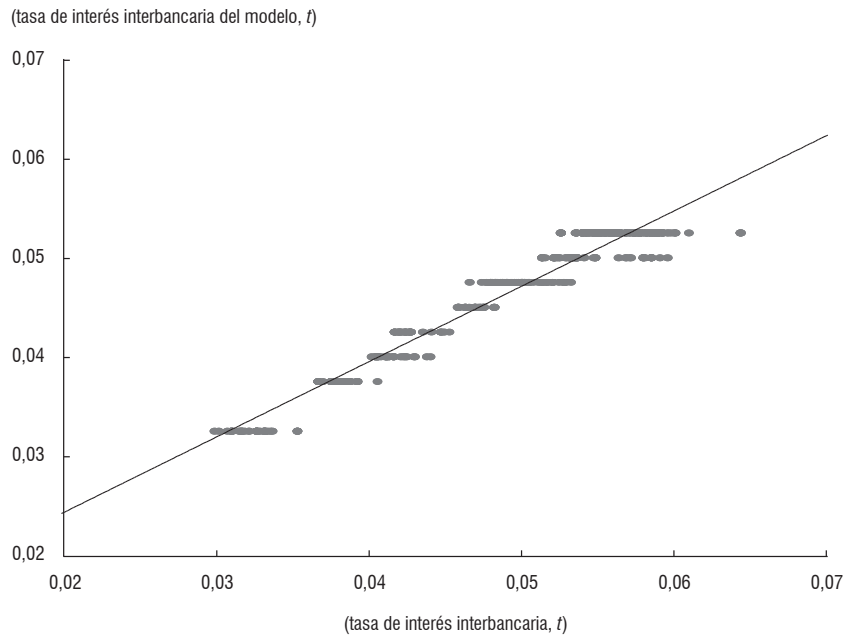
Fuente: cálculos de los autores.

Gráfico 5
Oferta neta de liquidez del banco j en el mercado interbancario para el último día del período de requerimiento de encaje



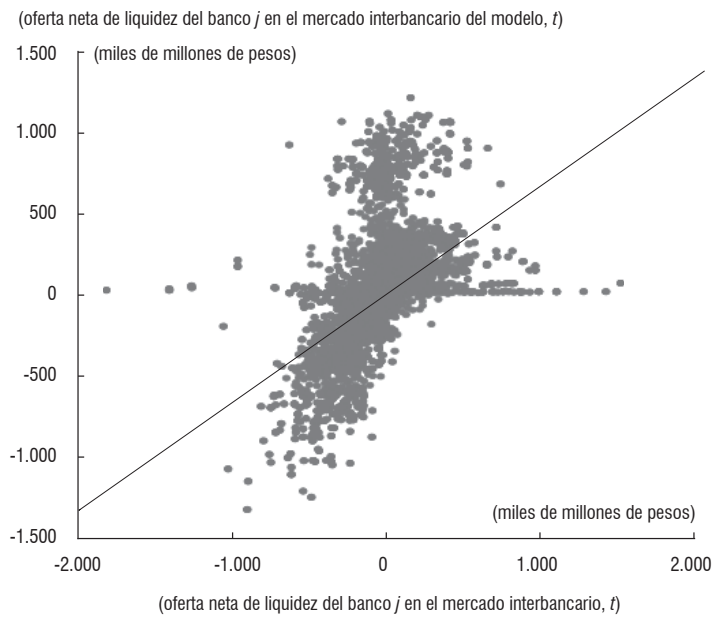
Fuente: cálculos de los autores.

Gráfico 6
Tasa de interés interbancaria para los días del período de requerimiento diferentes al último



Fuente: cálculos de los autores.

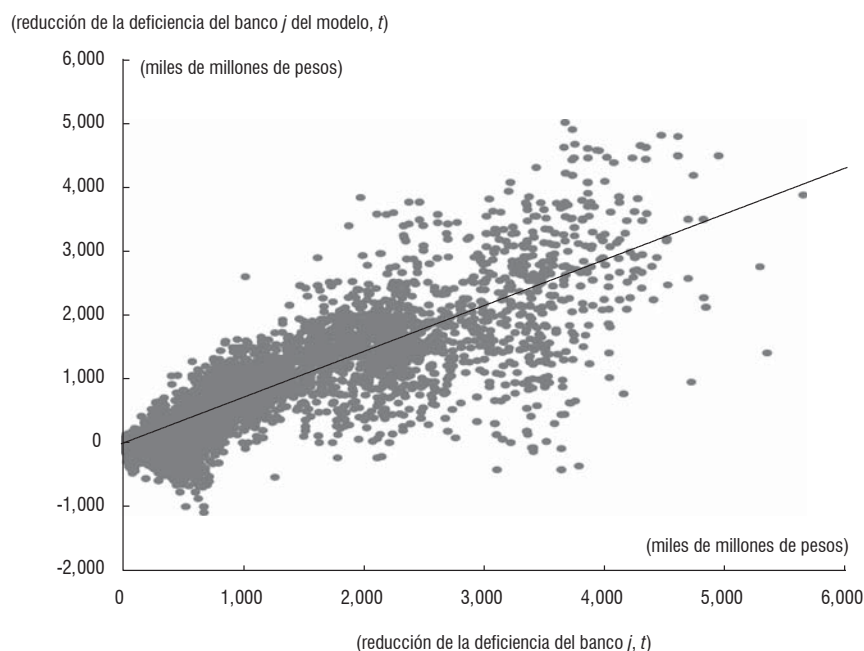
Gráfico 7
Oferta neta de liquidez del banco j en el mercado interbancario



Fuente: cálculos de los autores.

Se utilizó la ecuación (33) para obtener en el modelo la reducción de la deficiencia de equilibrio del banco j en los días diferentes al último del período de requerimiento. El modelo explica cerca del 82% de la varianza de la variable (R^2 ajustado), con un coeficiente significativo de 1,15, lo cual significa que el modelo subestima la reducción de la deficiencia (Gráfico 8 y Cuadro A1.6).

Gráfico 8
Reducción de la deficiencia del banco j para los días del período de requerimiento diferentes al último



Fuente: cálculos de los autores.

4 CONSIDERACIONES FINALES

En este artículo se plantea un modelo estocástico dinámico para el mercado interbancario en Colombia. Para ello se modifica la estructura del modelo en Pérez y Rodríguez (2006) en cuatro aspectos: primero, se permite la posibilidad de subastas diarias en lugar de una sola en todo el período de requerimiento; segundo, se altera la cronología del modelo para que la subasta ocurra después de las negociaciones en el mercado interbancario, y no antes; tercero, las entidades en el modelo deciden óptimamente la cantidad de reservas que ellas quieren acumular cada día para contribuir a su requerimiento de reserva, lo cual era un residuo en Pérez y Rodríguez (2006). En este artículo se presenta una de cuatro posibles cronologías para esta decisión: se toma simultáneamente con la decisión de demanda en la subasta. Cuarto, junto con el choque de demanda en Pérez y Rodríguez (2006), las entidades en el modelo enfrentan una segunda fuente de incertidumbre: la posibilidad de no obtener recursos en la subasta, lo cual es una simplificación para

modelar el mecanismo de la subasta. Finalmente, el lector debe notar que esta estructura no tiene en cuenta fricciones que podrían alterar el supuesto de competencia perfecta, ni otras fuentes de heterogeneidad entre instituciones (por ejemplo, su tamaño), ni la percepción de riesgo entre los participantes del mercado (u otros problemas de información).

Se establecen dos objetivos principales para este artículo: primero, se intenta entender cómo funciona el mercado interbancario y, segundo, cómo el mecanismo de los bancos centrales para conducir la política monetaria afecta los resultados (tasas de interés y préstamos) en esos mercados. Aunque el interés se centra en el caso colombiano, las herramientas analíticas desarrolladas aquí pueden ser utilizadas para estudiar un rango amplio de mercados interbancarios de diferentes economías, siempre y cuando tengan características comunes.

Los principales resultados son:

La tasa de interés interbancaria de equilibrio será igual a la tasa de política, i_p , solo si la probabilidad de recibir los recursos demandados en la subasta es igual a 1. De lo contrario, el mecanismo de oferta monetaria causa una distorsión que separa la tasa de interés interbancaria de equilibrio de la tasa de política. El margen entre estas dos tasas depende del tamaño de los choques de demanda esperados, y está delimitado por las tasas de interés de las ventanillas del banco central.

La actividad óptima del banco j en el mercado interbancario el último día del período de reserva depende positivamente de sus activos netos de su deficiencia y de la demanda agregada por recursos (deficiencia agregada neta de activos agregados). La oferta de recursos de equilibrio en el mercado interbancario el último día del período de requerimiento no depende de la incertidumbre de recibir recursos en la subasta. Se concluye que, al menos dentro de la estructura presentada para el último día del período de requerimiento, el mecanismo de oferta monetaria con subastas y ventanillas no favorece la profundización del mercado interbancario.

En los días del período de requerimiento diferentes al último, la tasa de interés interbancaria de equilibrio está distorsionada por la incertidumbre en la subasta. A menor probabilidad de conseguir la liquidez demandada en la subasta, mayor es la distorsión. Una vez más, así como en el último día del período de requerimiento, la oferta de liquidez de equilibrio de los bancos en el mercado interbancario no se ve afectada por el mecanismo de oferta subasta-ventanillas.

Los resultados generales indican que el mecanismo de subasta-ventanillas genera distorsiones sin beneficios para la profundización de la actividad interbancaria. Vale la pena mencionar que, como se anotó, el mecanismo puesto en marcha podría responder a otros objetivos diferentes a la profundización del mercado interbancario, los cuales no fueron considerados o modelados en este artículo.

Es importante señalar que los resultados analíticos dependen de la estructura del modelo presentado en detalle, en particular de los supuestos en la modelación de la distribución de los choques de oferta y demanda.

Hasta donde se conoce, el presente artículo es el primero en presentar una derivación analítica de un proceso Martingala seguido por la tasa de interés interbancaria. El significado económico de un proceso de Martingala podría considerarse como de eficiencia en el mercado interbancario, puesto que los beneficios esperados de un día a otro son estadísticamente iguales a cero debido a que se han agotado todas las posibilidades de arbitraje.

Además, el análisis empírico encontró que los resultados del modelo son satisfactorios: se prueba y no se rechaza la hipótesis de que la tasa de interés interbancaria sigue un proceso de Martingala; se muestra que la tasa de interés interbancaria es consistentemente subestimada por el modelo, mientras que la actividad interbancaria y la demanda agregada en la subasta son sobreestimadas. Estos resultados provienen de dos fuentes: primero, podría ser útil restringir el modelo para tener una reducción positiva de la deficiencia (nótese que esta está subestimada) y, segundo, podría ser útil modelar otras fuentes de heterogeneidad entre bancos que capturen factores de riesgo.

REFERENCIAS

- Casella, G.; Berger, R. L. (1990). *Statistical Inference*. Belmont, CA: Duxbury, pp. 69.
- Cardozo, P.; Huertas, C.; Parra, J.; Patiño, L. (2011). “Mercado interbancario colombiano y manejo de la liquidez del Banco de la República”, Borradores de Economía, núm. 673.
- Charles, A.; Darne, O.; Kim J. H. (2011). “Small Sample Properties of Alternative Tests for Martingale Difference Hypothesis”, *Economics Letters*, vol. 110, núm. 2, pp. 151-154.
- Domínguez, M. A; Lobato, I. N. (2003). “Testing the Martingale Difference Hypothesis”, *Econometric Reviews*, vol. 22, núm. 4, pp. 351-377.
- Freedman, C; Laxton, D. (2009). “Why Inflation Targeting?”, IMF working paper, núm. 09/86.
- González, C. (2013). “Mercados interbancarios no colateralizados e información asimétrica”, Borradores de Economía, num. 758, Banco de la República.
- Jurgilas, M. (2006). “Interbank Markets under Currency Boards”, working papers, núm. 2006-19, University of Connecticut, Department of Economics.
- Kempa, M. (2006). “Money Market Volatility, A Simulation Study”, Research Discussion Papers, núm. 13/2006, Bank of Finland.
- Kempa, M. (2007). “What Determines Commercial Banks’ Demand for Reserves in the Interbank Market” Research Discussion Papers, núm. 30/2007, Bank of Finland.
- Moschitz, J. (2004). “The Determinants of the Overnight Interest Rate in the Euro Area”, working paper series, núm. 393, European Central Bank.
- Pérez, G.; Rodríguez, H. (2006). “The Daily Market for Funds in Europe: What Has Changed with the EMU?”, *Journal of Money, Credit and Banking*, vol. 38, núm 1, pp. 91-118, febrero.
- Pérez, G.; Rodríguez, H. (2010). “Asymmetric Standing Facilities: an Unexploited Monetary Policy Tool”, working papers, núm. 1004, Banco de España.

ANEXO 1

RESULTADOS DE LA REGRESIÓN

Cuadro A1.1

Variable dependiente: ITOBS

Método: mínimos cuadrados

Fecha: 10/25/13; Hora: 09:34

Muestra: 135

Observaciones incluidas: 35

Variable	Coefficiente	Error estándar	t-estadístico	Prob.
C	-0,007794	0,001937	-4,024030	0,0003
ITP1	1,212276	0,041287	29,36186	0,0000
R-cuadrado	0,963133	promedio variable dependiente		0,048577
R-cuadrado ajustado	0,962016	desviación estándar variable dependiente		0,007755
Error estándar de la regresión	0,001511	criterio de información de Akaike		-10,09616
Suma del cuadrado de los residuos	7,54E-05	criterio Schwartz		-10,00728
Verosimilitud logarítmica	178,6827	criterio Hannan-Quinn		-10,06548
F-estadístico	862,1186	estadístico Durbin-Watson		1,594127
Prob. (F-estadístico)	0,000000			

Cuadro A1.2

Variable Dependiente: MTOBS

Método: mínimos cuadrados

Fecha: 10/25/13; Hora: 09:39

Muestra: 135

Observaciones incluidas: 35

Variable	Coefficiente	Error estándar	t-estadístico	Prob.
C	9,533129	1,653727	5,764632	0,0000
MTP1	0,760023	0,045532	16,69190	0,0000
R-cuadrado	0,894102	promedio variable dependiente		30,79094
R-cuadrado ajustado	0,890893	desviación estándar variable dependiente		18,89455
Error estándar de la regresión	6,241135	criterio de información de Akaike		6,555647
Suma del cuadrado de los residuos	1285,408	criterio Schwartz		6,644524
Verosimilitud logarítmica	-112,7238	criterio Hannan-Quinn		6,586327
F-estadístico	278,6195	estadístico Durbin-Watson		1,544094
Prob. (F-estadístico)	0,000000			

Cuadro A1.3

Variable Dependiente: BTOBS

Método: mínimos cuadrados

Fecha: 10/28/13; Hora: 09:37

Muestra: 1 4.165

Observaciones incluidas: 4.165

Variable	Coficiente	Error estándar	t-estadístico	Prob.
C	-0,000119	1,169397	-0,000102	0,9999
BTMOD	0,253084	0,005412	46,76405	0,0000
R-cuadrado	0,344397	promedio variable dependiente		-0,000120
R-cuadrado ajustado	0,344239	desviación estándar variable dependiente		93,19585
Error estándar de la regresión	75,46912	criterio de información de Akaike		11,48580
Suma del cuadrado de los residuos	23710736	criterio Schwartz		11,48885
Verosimilitud logarítmica	-23917,19	criterio Hannan-Quinn		11,48688
F-estadístico	2186,876	estadístico Durbin-Watson		1,894461
Prob. (F-estadístico)	0,000000			

Cuadro A1.4

Variable Dependiente: ITOBS

Método: mínimos cuadrados

Fecha: 10/28/13; Hora: 10:58

Muestra: 1 .450

Observaciones incluidas: 450

Variable	Coficiente	Error estándar	t-estadístico	Prob.
C	-0,008513	0,000694	-12,26791	0,0000
ITP1G3	1,239183	0,014725	84,15300	0,0000
R-cuadrado	0,940502	promedio variable dependiente		0,049411
R-cuadrado ajustado	0,940370	desviación estándar variable dependiente		0,007665
Error estándar de la regresión	0,001872	criterio de información de Akaike		-9,719537
Suma del cuadrado de los residuos	0,001569	criterio Schwartz		-9,701274
Verosimilitud logarítmica	2188,896	criterio Hannan-Quinn		-9,712339
F-estadístico	7081,727	estadístico Durbin-Watson		0,281033
Prob. (F-estadístico)	0,000000			

Cuadro A1.5

Variable Dependiente: BTOBS

Método: mínimos cuadrados

Fecha: 10/28/13; Hora: 10:29

Muestra: 1 53.550

Observaciones incluidas: 53.550

Variable	Coficiente	Error estándar	t-estadístico	Prob.
C	-0,001774	0,286399	-0,006195	0,9951
BTG3	0,351560	0,002751	127,7716	0,0000
R-cuadrado	0,233645	promedio variable dependiente		-0,001774
R-cuadrado ajustado	0,233630	desviación estándar variable dependiente		75,70624
Error estándar de la regresión	66,27518	criterio de información de Akaike		11,22555
Suma del cuadrado de los residuos	2,35E+08	criterio Schwartz		11,22588
Verosimilitud logarítmica	-300562,0	criterio Hannan-Quinn		11,22565
F-estadístico	16325,58	estadístico Durbin-Watson		2,108459
Prob. (F-estadístico)	0,000000			

Cuadro A1.6

Variable Dependiente: REDTOBS

Método: mínimos cuadrados

Fecha: 10/28/13; Hora: 10:40

Muestra: 153.550

Observaciones incluidas: 53.550

Variable	Coficiente	Error estándar	t-estadístico	Prob.
C	35,09531	0,951420	36,88729	0,00000
REDTG3	1,148930	0,002289	502,0172	0,00000
R-cuadrado	0,824760	promedio variable dependiente		154,0660
R-cuadrado ajustado	0,824757	desviación estándar variable dependiente		509,3573
Error estándar de la regresión	213,2276	criterio de información de Akaike		13,56263
Suma del cuadrado de los residuos	2,43E+9	criterio Schwartz		13,56297
Verosimilitud logarítmica	-363137,5	criterio Hannan-Quinn		13,56274
F-estadístico	252021,3	estadístico Durbin-Watson		1,845243
Prob. (F-estadístico)	0,000000			

Fuente: cálculos de los autores.