

Nota Técnica

03 | 2021

Análisis cuantitativo de tasas de interés para reemplazar la Libor

José Pablo Barquero Romero

Alberto Vindas Quesada

Abril, 2021



Fotografía de portada: “Presentes”, conjunto escultórico en bronce, año 1983, del artista costarricense Fernando Calvo Sánchez. Colección del Banco Central de Costa Rica.



Análisis cuantitativo de tasas de interés para reemplazar la Libor

José Pablo Barquero Romero[‡]

Alberto Vindas Quesada[†]

Las ideas expresadas en este documento son de los autores y no necesariamente representan las del Banco Central de Costa Rica.

Resumen

Autoridades financieras internacionales anunciaron que el cálculo de la tasa de referencia interbancaria de Londres (Libor, por sus siglas en inglés) será discontinuado para el final de 2021. Esta es una tasa también utilizada en el mercado costarricense para muchas operaciones en dólares, por lo que las autoridades financieras decidieron que los intermediarios, de acuerdo con las mejores prácticas, deberían realizar sus propios estudios y decidir cuál tasa de interés utilizar, en adelante, como referencia para sus contratos.

Sin embargo al ser inminente que se discontinuará el cálculo de la Libor, surge un reto adicional para el Banco Central de Costa puesto que los artículos 52 y 80 de su ley orgánica (ley N° 7558) refieren al uso de la tasa Libor para determinadas operaciones con el sector financiero nacional.

Este documento analiza las características estadísticas de un grupo de tasas de interés que eventualmente podrían sustituir las tasas Libor. El análisis se enfocó en estudiar cointegración (existencia de relaciones estadísticamente significativas de largo plazo), correlación, y diferencias entre la Libor y potenciales sustitutos.

Se encuentra, que el promedio de un mes de observaciones de la tasa SOFR es el indicador que muestra las mejores propiedades estadísticas si se le compara con la tasa Libor tanto a uno como a seis meses plazo.

Palabras clave: tasas de interés

Clasificación JEL: G20

[‡] Departamento de Investigación Económica. División Económica, BCCR. barquerorj@bccr.fi.cr

[†] Departamento de Investigación Económica. División Económica, BCCR. vindasga@bccr.fi.cr

Quantitative analysis of interest rate substitutes for Libor rate

José Pablo Barquero Romero[‡]

Alberto Vindas Quesada[†]

The ideas expressed in this paper are those of the authors and not necessarily represent the view of the Central Bank of Costa Rica.

Abstract

International financial authorities announced that by the end of 2021 the Libor interest rate calculation will be discontinued. This rate is also used for several operations in dollars in the Costa Rican market, therefore financial authorities decided that intermediaries should make their own studies, following best practices, to decide which rate to select as a substitute as a reference in their contracts.

However, given the imminent discontinuation of the Libor, an additional challenge arises for the Central Bank of Costa Rica given that articles 52 and 80 of its Law make an explicit reference to the Libor rate for specific operations with the financial system.

This paper analyzes the statistical characteristics of a set of interest rates that could eventually substitute the Libor rate. The analysis pays special attention to study cointegration, correlation and differences between the Libor and its possible substitutes.

We found that the one-month average for the SOFR rate is the indicator that shows the best statistical properties if compared with the one- and six-month Libor.

Key words: interest rates

JEL codes: G20

[‡] Department of Economic Research, Economic Division, BCCR. Email address barquerorj@bccr.fi.cr

[†] Department of Economic Research, Economic Division, BCCR. Email address vindasga@bccr.fi.cr

Contenido

1. Introducción	1
2. Tasas de interés en moneda extranjera disponibles con posibilidad de reemplazar la Libor 2	
3. Criterios cuantitativos por considerar	3
4. Análisis de potenciales sustitutos para la tasa Libor a 1 mes	4
5. Análisis de eventuales sustitutos a la tasa Libor a 6 meses	8
6. Comentarios finales	11
7. Referencias	12
Anexo 1. Elementos generales del análisis de cointegración	13
Anexo 2. Pruebas estadísticas	15

Análisis cuantitativo de tasas de interés para reemplazar la Libor

1. Introducción

La tasa de referencia interbancaria de Londres¹ (en adelante Libor, por sus siglas en inglés), es una tasa promedio a la cual un panel seleccionado de bancos puede obtener fondos a gran escala sin garantías explícitas (*unsecured*) para determinados plazos en diferentes monedas. Se produce para cinco monedas (CHF, EUR, GBP, JPY y USD) y para siete plazos (Overnight/ Spot o contado, 1 semana, uno, dos, tres, seis y doce meses). El panel lo integran entre 11 y 16 bancos y es publicada para todos los días hábiles de Londres a las 11:55 a.m.

Si bien su uso como tasa de referencia ha sido generalizado, fue sujeto de varias denuncias por intentos para fijar su valor por parte de personeros de distintos bancos internacionales. Debido a ello, y a limitaciones para reflejar fielmente información de transacciones financieras y no juicios de valor, autoridades financieras internacionales anunciaron que su cálculo será descontinuado para el final de 2021².

En el caso costarricense, los presidentes del Consejo Nacional de Supervisión del Sistema Financiero (Conassif) y del Banco Central de Costa Rica (BCCR) adoptaron una posición prudente y oportuna. En 2020 crearon un grupo de trabajo interinstitucional para analizar este hecho y sus posibles implicaciones³. A partir de ello, se decidió que los intermediarios financieros, de acuerdo con las mejores prácticas, deberían realizar sus propios estudios y decidir cuál tasa de interés utilizar, en adelante, como referencia para sus contratos con los usuarios de los servicios financieros⁴.

Al ser inminente que se descontinuará el cálculo de la Libor, surge un reto adicional para el BCCR puesto que los artículos 52 y 80 de su ley orgánica (ley N° 7558) refieren al uso de esta tasa para determinadas operaciones en el sector financiero nacional.

El artículo 52 indica que el banco del Estado que administre el Fondo de Crédito para el Desarrollo reconocerá una tasa de interés igual al 50% de la tasa Libor a un mes sobre los recursos en moneda extranjera que la banca privada mantenga en dicho fondo.

Por su parte, el artículo 80 señala que cuando el BCCR establezca, de forma transitoria, un porcentaje de encaje mínimo legal por encima del máximo indicado por la ley deberá pagar a los intermediarios financieros la tasa Libor a seis meses sobre los excesos de encaje en monedas extranjeras.

En este documento se analizan los posibles sustitutos para la tasa Libor a 1 y 6 meses, plazos a los que hace referencia la ley 7558, para orientar la discusión y posterior decisión de las autoridades del BCCR. Se recurre al estudio de las propiedades estadísticas de un conjunto de indicadores y la relación de largo plazo entre cada uno de ellos y la tasa Libor.

¹ *London Interbank Offered Rate.*

² La Autoridad de Conducta Financiera del Reino Unido comunicó esta decisión en octubre del 2017.

³ Este grupo se conformó con representantes de cada una de las superintendencias, BCCR y Conassif.

⁴ Esta decisión se comunicó al público el 8 de febrero de 2021, puede consultarse en este [vínculo](#).

Ese conjunto de indicadores considerados por su relevancia en los mercados internacionales o su uso en el mercado local comprende: i. *Secured Overnight Financing Rate* (SOFR); ii. Tasa efectiva en dólares (TED); iii. Tasa pasiva negociada en dólares (TPN); y iv. Tasa de referencia interbancaria en dólares (TRI).

Este informe se estructura de la siguiente forma: la sección 2 describe las tasas de interés que se evaluarán; la sección 3 presenta la metodología de análisis cuantitativo que se seguirá; en las secciones 4 y 5 se muestran los resultados para las tasas de interés a 1 y 6 meses, respectivamente. Los comentarios finales conforman la sección 6.

2. Tasas de interés en moneda extranjera disponibles con posibilidad de reemplazar la Libor

A continuación, se realiza una breve explicación de cada una de las tasas de interés por considerar.

La *Secured Overnight Financing Rate*, SOFR

Ante la anunciada desaparición de la tasa Libor, el Banco de la Reserva Federal en Estados Unidos creó un grupo de trabajo que recomendó la tasa SOFR para sustituir a la Libor en dólares. Esta es calculada por el Banco de la Reserva Federal de Nueva York. Es una tasa a un día plazo que se considera libre de riesgo: mide el costo de financiarse a un día por medio de transacciones que usan Bonos del Tesoro estadounidense como garantía.

Se publica desde abril de 2018 para cada día hábil⁵. Este indicador presenta una alta volatilidad, por tanto, se recurrirá al uso de promedios móviles de 30 y 180 observaciones, calculados por el Banco de la Reserva Federal de Nueva York, como aproximaciones de las tasas a uno y seis meses plazo, respectivamente⁶.

La Tasa efectiva en dólares, TED

La Tasa efectiva en dólares (TED) es una tasa del medio financiero costarricense que se calcula como un promedio ponderado de las tasas de interés brutas de captación a plazo, en dólares, para cada uno de los plazos ofrecidos por los intermediarios financieros, considera además la tasa de interés que sobre el endeudamiento externo pagan las Otras Sociedades de Depósito (OSD)⁷.

El BCCR la calcula a partir de mayo de 2016, como respuesta a una solicitud de las entidades financieras locales. La petición se basó en la conveniencia de tener una tasa de referencia en dólares que, a diferencia de la Libor y la Prime, reflejara las condiciones locales.

Sigue una metodología análoga a la de la Tasa básica pasiva (TBP), es decir, usa información de las tasas de interés brutas de cada una de las operaciones de captación a plazo en dólares y de cada una de las operaciones de endeudamiento externo en dólares,

⁵ De acuerdo con el calendario de Estados Unidos de América.

⁶ En adelante se hará referencia a la serie del promedio móvil de 30 observaciones de la SOFR como SOFR de 1 mes, y el promedio móvil de 180 observaciones se identificará como SOFR de 6 meses. En el cálculo de estos promedios, para fines de semana y días feriados se repite el valor observado el día previo.

<https://apps.newyorkfed.org/markets/autorates/SOFR>

⁷ Detalles metodológicos se pueden consultar en el siguiente [vínculo](#).

y no se calcula para distintos plazos. Se calcula para varios subconjuntos de intermediarios en el mercado financiero, por lo que para el presente estudio se utilizará el promedio total.

La Tasa pasiva negociada en dólares, TPN

La Tasa pasiva negociada (TPN) es un promedio ponderado de las tasas de interés brutas negociadas para las captaciones a plazo, en el mercado costarricense. El cálculo se realiza para los distintos grupos de intermediarios financieros locales que conforman las Otras Sociedades de Depósito (OSD). Por lo tanto, es un promedio de las tasas pasivas que las OSD locales ofrecen a los ahorrantes.

Utiliza información de las tasas de interés brutas negociadas para cada una de las operaciones de captación a plazo constituidas durante la semana anterior al cálculo. Los plazos entre 30 y 59 días serán considerados como equivalentes a 1 mes, y plazos entre 180 y 209 días serán considerados como de 6 meses. El BCCR se encarga de calcular este indicador, y está disponible desde mayo de 2016⁸.

La Tasa de referencia interbancaria, TRI en moneda extranjera

La Tasa de referencia interbancaria (TRI)⁹ es calculada por la empresa PiPCA¹⁰ por encargo de la Cámara de Bancos e Instituciones Financieras de Costa Rica (CBIFCR), y se publica desde marzo de 2016. Es una tasa promedio que se pondera por el monto captado a los distintos plazos y en dólares. Esta tasa mide los costos de captación en el sistema financiero local.

La CBIFCR solicitó el cálculo de este indicador como una alternativa a la TBP (en colones) y la TED (en dólares). Se calcula con base en las tasas brutas de todas las captaciones realizadas por las entidades locales, durante la semana anterior al cálculo, a diferencia de la TBP y la TED, la TRI se calcula para distintos plazos¹¹.

El análisis que se presenta en este documento recurre a información de periodicidad diaria.

3. Criterios cuantitativos por considerar

El objetivo es identificar cuál o cuáles de las tasas de interés comentadas en el apartado anterior, poseen las características deseables para considerarse como una tasa de referencia en moneda extranjera que sustituya a la Libor.

Lo anterior requiere de un análisis que permita concluir si los indicadores de tasas de interés tienen un comportamiento cercano a la Libor. Para ello se recurrirá al estudio de tres criterios complementarios entre sí.

En primer lugar, interesa conocer si los fenómenos subyacentes que definen los niveles y movimientos de cada una de las tasas de interés y la Libor, tienen elementos en común que se mantienen a lo largo del tiempo.

El análisis de cointegración permite obtener evidencia en este sentido, puesto que contribuye a reconocer si una tasa de interés tiene una relación estable con la Libor, es

⁸ Detalles metodológicos se pueden consultar en el siguiente [vínculo](#).

⁹ En adelante, en este estudio se identificará como TRI a la Tasa de referencia interbancaria en dólares.

¹⁰ Proveedor Integral de Precios Centroamérica, S.A.

¹¹ En este [vínculo](#) se puede consultar la metodología de cálculo.

decir, una relación que se mantiene en el tiempo, y que las eventuales desviaciones que se observen en el corto plazo serán de carácter transitorio.

De esta forma, este es el primer criterio que se utilizará para evaluar los potenciales candidatos para sustituir a la tasa Libor¹².

El segundo criterio es un análisis de correlación, donde se considera el coeficiente de correlación lineal entre cada una de las tasas de interés y la Libor. Este criterio evalúa el comovimiento entre las series: si ante cambios en una de las tasas, es posible esperar cambios en la otra. Valores más cercanos a uno son deseables, pues un coeficiente de correlación de uno indica que la relación lineal entre las tasas es perfecta y positiva. Esto porque es necesario corroborar que la tasa que sustituya la Libor haya mostrado movimientos en la misma dirección.

El tercer criterio se basa en las desviaciones que históricamente se han presentado entre cada una de las tasas por evaluar y la Libor, es decir, qué tan dispersas son las observaciones. Primeramente, se considera la desviación absoluta promedio. Este indicador observa qué tan cerca se encuentran ambas tasas a lo largo del periodo de estudio.

Se busca aquella tasa con la menor desviación absoluta media con respecto a la Libor. Como los valores absolutos no pueden ser negativos, la cota inferior de este promedio es cero. Cuanto más cercano se esté de cero, mayor similitud existirá entre los niveles de las tasas consideradas.

Se utilizará además el promedio de las desviaciones de las tasas (sin tomar su valor absoluto), junto con los intervalos de confianza correspondientes.

4. Análisis de potenciales sustitutos para la tasa Libor a 1 mes

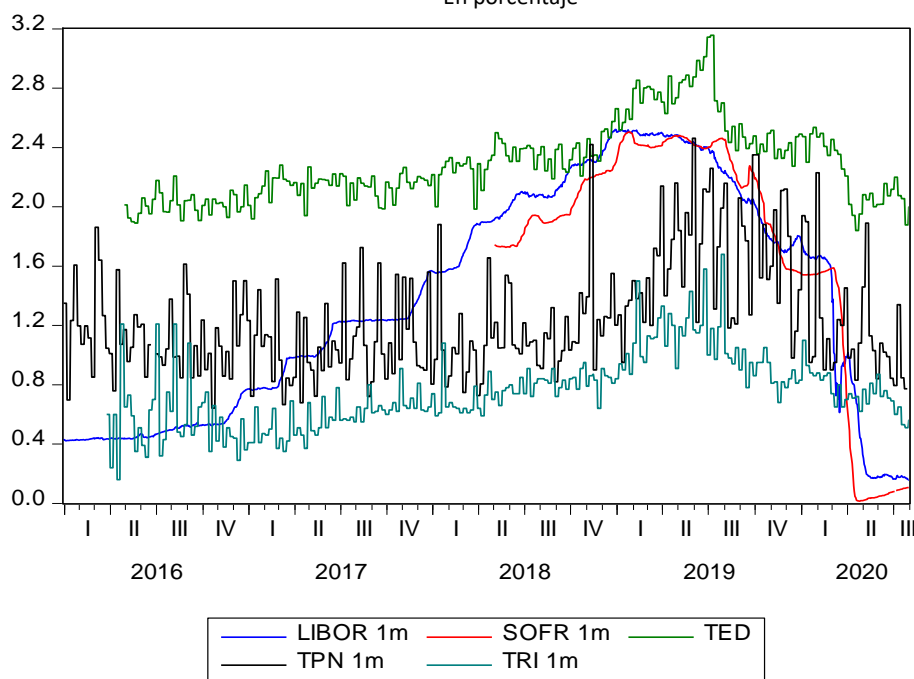
Tal y como se mencionó anteriormente, la ley No. 7558 en su artículo 52, indica que el Fondo de Crédito para el Desarrollo reconocerá el 50% de la tasa Libor a un mes para los fondos en moneda extranjera. Por lo tanto, esta es una de las referencias de la actual LOBCCR que deberá cambiar.

El Gráfico 1 muestra la tasa Libor a 1 mes, junto con sus posibles sustitutos: promedio SOFR de 1 mes, TED, y TPN y TRI a 1 mes. De este gráfico se observa que la tasa que sigue a la Libor más cercanamente es la SOFR de 1 mes. Las tasas de interés locales tienden a comportarse de forma similar entre ellas, son más volátiles que las internacionales y, además, reflejan condiciones de financiamiento distintas a las que refleja la Libor.

¹² Se refiere al lector al Anexo 1 en el cual se exponen los principales elementos del análisis de cointegración.

Gráfico 1: Libor a 1 mes y candidatos a sustituto

- En porcentaje -



Fuente: elaboración propia.

El análisis gráfico sugiere que las series de tasas de interés consideradas no son estacionarias, propiedad que debe corroborarse a partir de sus propiedades estadísticas e identificar su orden de integración, antes de proceder a realizar un análisis de largo plazo (cointegración)¹³.

La gran mayoría de las pruebas muestran estacionariedad al diferenciar las series una vez. Es decir, que son integradas de orden 1, por tanto, es posible estudiar las relaciones de largo plazo entre la Libor y cada una de las restantes tasas de interés mediante un análisis de cointegración¹⁴.

El Cuadro A.2-2 del Anexo 2 presenta varias pruebas de cointegración entre la tasa Libor a 1 mes y sus posibles sustitutos¹⁵. De acuerdo con la especificación con constante y sin tendencia, existe una relación de cointegración entre la Libor a 1 mes y cada una de las tasas de interés que potencialmente la sustituirían.

Como se mencionó en la sección anterior, la existencia de cointegración entre dos series habla de que existe una relación estable entre ambas que se mantienen en el tiempo, es decir, existe una relación de equilibrio de largo plazo entre ellas.

¹³ En el Cuadro A.2-1 del Anexo 2 se presentan los resultados de tres pruebas de estacionariedad: Dickey-Fuller aumentada (DFA), Phillips-Perron (PP), y Kwiatkowski-Phillips-Schmidt-Shin (KPSS). Cada tasa de interés se evalúa de acuerdo con tres especificaciones (con intercepto, con intercepto y tendencia, y sin intercepto ni tendencia) en niveles, primeras y segundas diferencias.

¹⁴ Las pruebas PP no descartan estacionariedad en niveles para la TPN y la TRI. Sin embargo, las ADF y la KPSS indican que son estacionarias al diferenciarlas una vez.

¹⁵ La falta de tendencia en los datos sugiere concentrarse en las primeras dos especificaciones del cuadro A.2-2 del Anexo 2. La primera especificación (relación de cointegración sin intercepto) se debe usar cuando los datos tienen media cero, que no es el caso en estudio.

No obstante, en el corto plazo es posible identificar desviaciones con respecto a esa trayectoria de equilibrio. Para modelar estas desviaciones de corto plazo, se recurre a un modelo de corrección de errores (MCE)¹⁶.

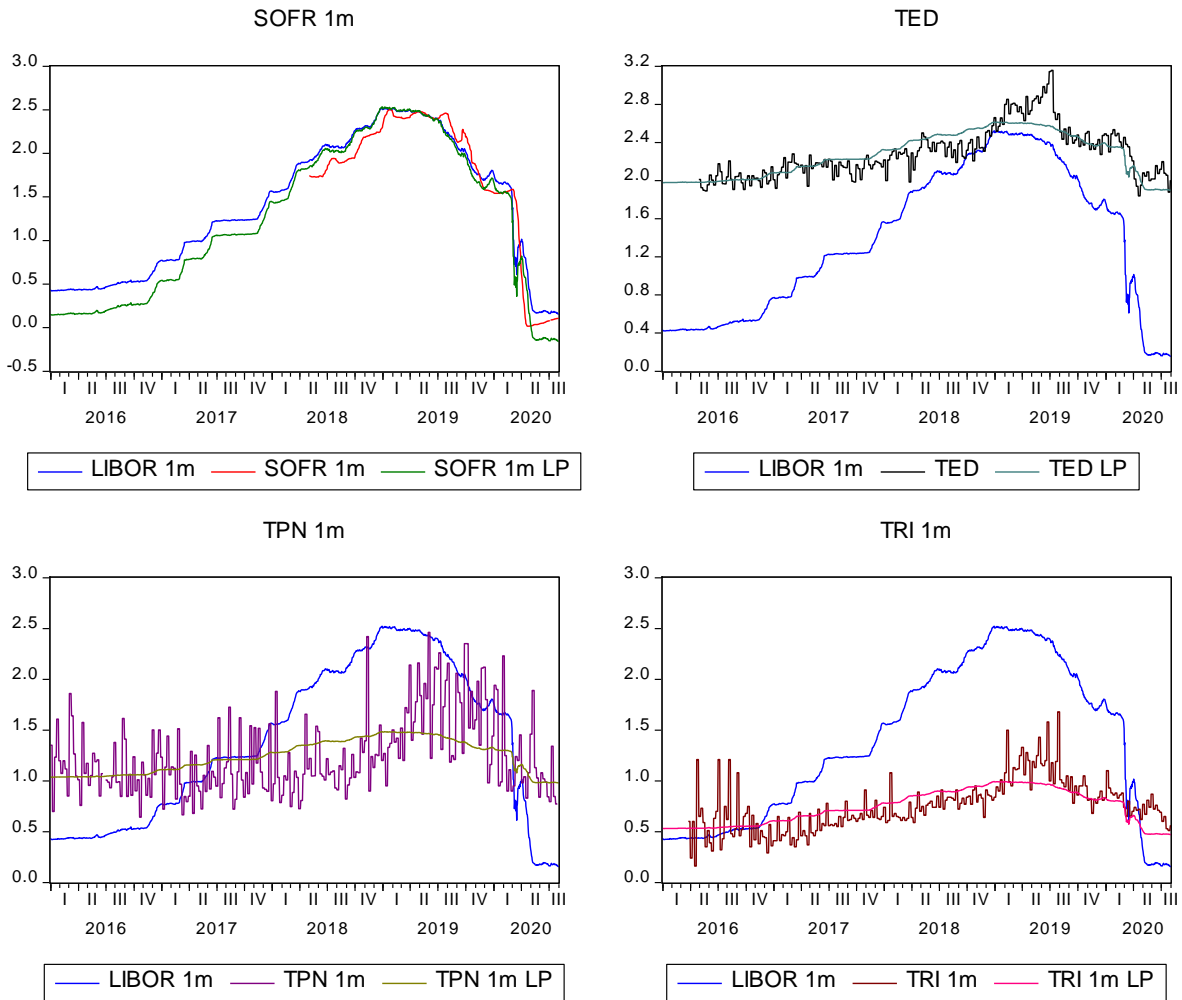
Mediante un MCE es posible identificar, ante una desviación con respecto a la relación de largo plazo, cuántos periodos se requieren para retornar al equilibrio (esta característica se conoce como la velocidad de ajuste).

Las relaciones de cointegración identificadas son estadísticamente significativas en todas las estimaciones. Por su parte, los coeficientes de la velocidad de ajuste no son significativos en las ecuaciones de los cambios de los posibles sustitutos. Esto significa que las tasas de interés tienen una relación de largo plazo y que en ella la tasa Libor precede (causalidad en el sentido de Granger) a los posibles sustitutos.

El Gráfico 2 muestra, para cada posible sustituto, tres series de tiempo: la Libor a 1 mes, el posible sustituto, y la relación de largo plazo estimada. Para esta última, se toma como variable independiente la tasa Libor a 1 mes. Es decir, se supone que la causalidad va únicamente de la tasa Libor a sus posibles sustitutos. Con esto, se cuenta con otro indicador de cómo el fenómeno subyacente que causa los movimientos en la tasa Libor se manifiesta en los candidatos a sustituirla. Este gráfico muestra que, de los cuatro posibles sustitutos, el promedio de un mes de observaciones de la SOFR sigue a la Libor más cercanamente que el resto de indicadores.

¹⁶ Sus principales resultados, la relación de cointegración de largo plazo estimada, la velocidad de ajuste (alfa, el coeficiente asociado a las desviaciones de la relación de largo plazo), y el R-cuadrado del modelo de vectores autorregresivos asociado, se presentan en el Cuadro A.2-3 del Anexo 2.

Gráfico 2: Libor a 1 mes, posibles sustitutos, y sus relaciones estimadas de largo plazo (LP)
 - En porcentaje -



Fuente: elaboración propia.

Corresponde ahora evaluar a los potenciales candidatos de acuerdo con las correlaciones que muestran, y al análisis de desviaciones entre las tasas. Esta información se presenta en el Cuadro 1, que contiene los coeficientes de correlación, las desviaciones absolutas promedio y las desviaciones promedio con el correspondiente intervalo de confianza al 90%.

La correlación lineal entre la tasa Libor a 1 mes y el promedio SOFR de 1 mes es la más alta, y es muy cercana a 1. Es decir, muchos de los cambios en la tasa Libor a 1 mes se reflejan en cambios en el promedio SOFR de 1 mes en la misma dirección; la correlación es casi perfecta.

El análisis de desviaciones entre las tasas indica que el promedio SOFR de 1 muestra la menor desviación media y la menor desviación absoluta media con respecto a la tasa Libor a 1 mes.

Los intervalos de confianza para las desviaciones promedio permiten descartar que estas diferencias sean estadísticamente iguales a cero. Específicamente en el caso de la SOFR de 1 mes, si bien las desviaciones son las más bajas, no son cero.

Cuadro 1: Evaluación de candidatos a sustituir la tasa Libor a 1 mes

Tasa a evaluar	Coefficiente de correlación	Desviación absoluta promedio	Desviación promedio	Intervalo de confianza al 90%
Promedio SOFR 1 mes	0,971	0,154	0,082	[0,069 , 0,095]
TED	0,821	0,842	-0,841	[-0,867 , -0,814]
TPN a 1 mes	0,398	0,610	0,142	[0,108 , 0,175]
TRI a 1 mes	0,649	0,784	0,674	[0,644 , 0,704]

Fuente: elaboración propia.

Se concluye del análisis de esta sección que, de las tasas evaluadas, el promedio SOFR de 1 mes es la que tiene mayor correspondencia con la tasa Libor a 1 mes. Concretamente, existe una relación de largo estadísticamente significativa entre ambas; el coeficiente de correlación es el más alto y las desviaciones promedio con respecto a la Libor son las más bajas.

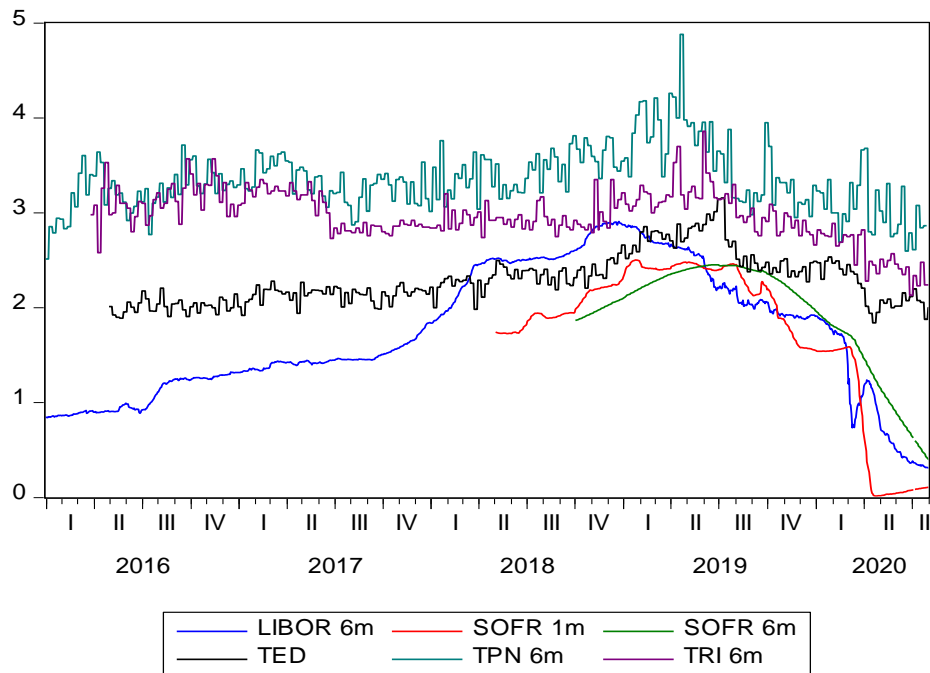
5. Análisis de eventuales sustitutos a la tasa Libor a 6 meses

La LOBCCR, en su artículo 80 indica que, por el encaje legal en moneda extranjera, en exceso del 15%, se deberá pagar una tasa de interés igual a la tasa Libor a 6 meses plazo.

Para identificar la tasa de interés que mayor relación tiene con la Libor a 6 meses, se evaluará además el promedio de 1 mes de observaciones de la SOFR. El siguiente gráfico muestra esa tasa junto con Libor a 6 meses, TED, TPN y TRI en moneda extranjera a 6 meses y el promedio SOFR de 6 meses.

Gráfico 3: Libor a 6 meses y candidatos a sustituirla

- En porcentaje -



Fuente: elaboración propia.

De este gráfico se infiere que: las tasas locales que reflejan condiciones internas se siguen más cercanamente entre ellas que con la Libor, y son más volátiles; los promedios de un mes y seis meses de observaciones de las SOFR muestran menor desviación con respecto a la Libor¹⁷.

El Cuadro A.2-5 del Anexo 2 muestra las posibles relaciones de cointegración entre la tasa Libor a 6 meses y sus potenciales sustitutos. De allí se desprende que existe una relación de cointegración (largo plazo) entre los niveles de cada una de las tasas de interés y la tasa Libor.

En los casos en que se encontraron relaciones de cointegración, se procedió a estimar modelos de corrección de errores. Estos confirman que las relaciones son estadísticamente significativas (Cuadro A.2-6 del Anexo 2). Los coeficientes de la velocidad de ajuste con respecto a las desviaciones de largo plazo son significativos en las ecuaciones de las posibles tasas sustitutas.

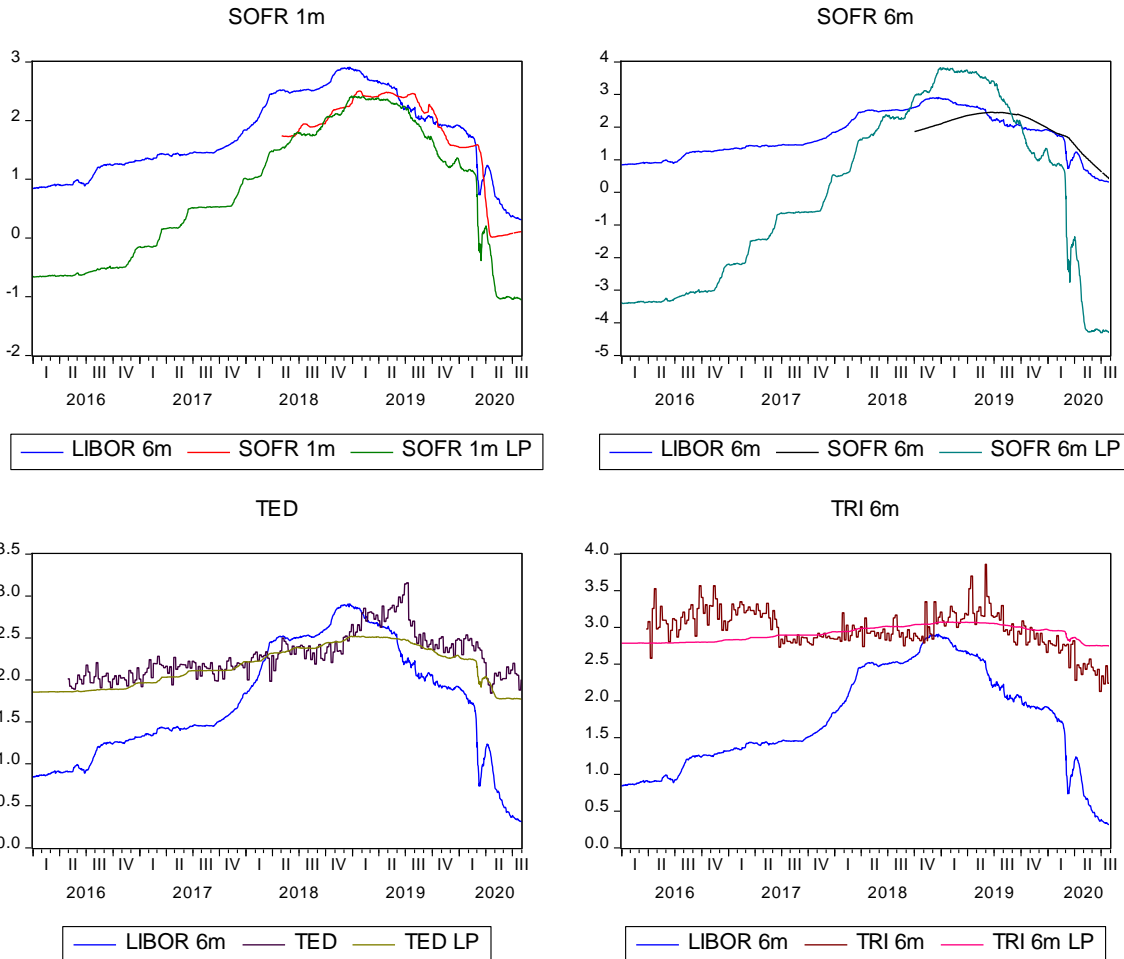
En las ecuaciones de la tasa Libor, esto solo sucede para la tasa TED. Los promedios SOFR de 1 y 6 meses, junto con la TRI en dólares a 6 meses indican ser causadas (en el sentido de Granger) por la tasa Libor en el largo plazo.

Una manera adicional de examinar las tasas de interés resultantes de la relación de cointegración es gráficamente. Esto se hace en el Gráfico 4, donde se observa que los

¹⁷ En el Cuadro A.2-4 del Anexo 2 se presentan las pruebas de estacionariedad de estas series. La mayoría presenta orden de integración 1. La excepción es la TPN a 6 meses cuyo orden de integración es 0. En vista de ello, se excluye del resto del análisis puesto que, la diferencia en el orden de integración con la Libor (que es integrada de orden 1), indica que no existirá una relación estable (de equilibrio) entre ambas.

promedios SOFR siguen más cercanamente a la tasa Libor. En este caso, sin embargo, la relación con la TED de largo plazo es la que sigue más cercanamente a la Libor a 6 meses.

Gráfico 4: Libor a 6 meses, posibles sustitutos, y sus relaciones estimadas de largo plazo
- En porcentaje -



Fuente: elaboración propia.

Finalmente, se analizan las correlaciones y desviaciones entre las tasas de interés. Esto se presenta en el Cuadro 2.

Cuadro 2: Evaluación de candidatos a sustituir la tasa Libor a 6 meses

Tasa evaluada	Coefficiente de correlación	Desviación absoluta promedio	Desviación promedio	Intervalo de confianza al 90%
Promedio SOFR 1 mes	0,896	0,401	0,314	[0,290 , 0,338]
Promedio SOFR 6 meses	0,838	0,372	0,032	[-0,002 , 0,066]
TED	0,707	0,603	-0,497	[-0,523 , -0,472]
TRI a 6 meses	0,304	1,199	-1,198	[-1,230 , -1,167]

Fuente: elaboración propia.

En este caso, la correlación más alta se presenta con el promedio SOFR de 1 mes, y el análisis de desviaciones indica que los promedios de SOFR de 1 y 6 meses son las series que evidencian valores más cercanos a la Libor 6 meses.

En el caso del promedio SOFR de 6 meses, la desviación absoluta media es ligeramente menor; con la particularidad de que en este caso el intervalo de confianza para la desviación promedio contempla el cero, por tanto, estadísticamente, no se puede descartar que sea cero con un 90% de confianza.

Esto presenta una disyuntiva: el promedio SOFR de 1 mes muestra una mayor correlación con la tasa Libor a 6 mes, y el promedio SOFR de 6 meses muestra menores desviaciones en promedio. Al analizar más detalladamente estos datos y la naturaleza de las tasas, el promedio de un mes de observaciones de la SOFR podría considerarse un adecuado sustituto de la tasa Libor a 6 meses.

El promedio de un mes de observaciones de la SOFR reflejará mejor las condiciones financieras recientes que un promedio de los últimos 6 meses. Así, ante situaciones económicas cambiantes, es preferible el promedio de 1 mes, que reacciona más rápidamente.

A manera de conclusión, el promedio de un mes de observaciones de la SOFR exhibe buenas propiedades para sustituir la tasa Libor a 6 meses, tienen una relación estadísticamente significativa de largo plazo, la correlación más alta entre las opciones estudiadas, y desviaciones promedio entre sí, bajas.

6. Comentarios finales

Este documento analiza las características estadísticas de un grupo de tasas de interés que eventualmente podrían sustituir las tasas Libor a 1 y 6 meses, dado el anuncio, por parte de la Autoridad de Conducta Financiera del Reino Unido, sobre el cese de su publicación a finales de 2021.

El análisis se enfocó en estudiar cointegración (existencia de relaciones estadísticamente significativas de largo plazo), correlación, y diferencias entre la Libor y el potencial sustituto, según corresponda.

Con respecto a la tasa Libor a 1 mes, el análisis del promedio de un mes de observaciones de la SOFR muestra los mejores resultados entre las diferentes opciones consideradas.

De forma coincidente, este indicador resultó ser el que mejores características muestra si se le analiza y compara con la tasa Libor a 6 meses: mantiene una relación estadística de largo plazo, muestra la correlación más alta entre los candidatos, al igual que diferencias bajas.

En conclusión, el promedio de un mes de observaciones de la tasa SOFR es un indicador que muestra las mejores propiedades estadísticas si se le compara con la tasa Libor tanto a uno como a seis meses plazo.

Lo anterior no implica que se recomiende incluir esta referencia (promedio de un mes de la tasa SOFR) en la Ley Orgánica del BCCR. Sino que, en el momento de concluir esta investigación, dicha tasa es la que presenta una serie de características estadísticas deseables para usarla como referencia.

No obstante, hay que reconocer que la tasa SOFR es relativamente nueva (menos de tres años desde su creación), por lo que es prudente verificar en el futuro si mantiene las propiedades estadísticas como tasa de referencia.

Por tanto, los artículos 52 y 80 de la LOBCCR, podrían indicar que la Junta Directiva del BCCR, dictaminará cual es la tasa apropiada para los propósitos de esos artículos, en el entendido que hará de conocimiento público los criterios utilizados para la escogencia de la tasa que decida en cada momento.

7. Referencias

- Dolado, J.J., Gonzalo, J. & Marmol, F. (2007). Cointegration. En *A Companion to Theoretical Econometrics*, B.H. Baltagi (Ed.).
- Engle, R.F., & C.W.J. Granger (1987). Co-integration and error correction: Representation, estimation and testing. *Econometrica* 55, 251– 76.
- Granger, C.W.J. (1981). Some properties of time series data and their use in econometric model specification. *Journal of Econometrics* 23, 121– 30.
- Lütkepohl, H. (2005) *New Introduction to Multiple Time Series Analysis*. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin / Heidelberg.

Anexo 1. Elementos generales del análisis de cointegración

El análisis de cointegración a partir de la década de 1980 representó un gran avance en la econometría de series de tiempo. Gran parte de los aportes están documentados en Granger (1981), Engle & Granger (1987) y Johansen (1988), entre otros.

La utilidad de este enfoque recae en el tratamiento que brinda a las series de tiempo que no son estacionarias.

Una serie de tiempo es estacionaria si sus primeros dos momentos estadísticos (media y variancia) son constantes en el tiempo (Lutkepohl, 2005). Es decir, su media y su variancia son invariantes en el tiempo, no dependen del momento en que se realice su cálculo.

Esta es una propiedad crítica en los modelos de regresión: sin ella, varios de los resultados de la inferencia estadística dejan de ser válidos, y se podrían obtener relaciones estadísticas falsas (problema conocido como regresión espuria).

Las series de tiempo económicas frecuentemente son no estacionarias (series de tiempo con tendencias, con estacionalidad o bien se comportan como caminatas aleatorias), por lo que esto es un problema relevante para el análisis económico.

Una solución ante la ausencia de estacionariedad es aplicar transformaciones a las series de tiempo que no lo son, y así obtener nuevas series que sí lo sean. Esto permite realizar los análisis econométricos ya establecidos en el modelo de regresión clásico. Un ejemplo de estas transformaciones es el operador diferencia que, en lugar de tomar los niveles originales de las series de tiempo, toma sus cambios entre periodos.

El operador de diferencia está íntimamente relacionado con el concepto de orden de integración.

Una serie de tiempo se dice tener orden de integración d si se requiere aplicar d veces el operador de diferencia para obtener una serie estacionaria, y se denota $I(d)$. Por lo tanto, al analizar una serie de tiempo $I(d)$, una estrategia válida es tomar d diferencias, y trabajar con la serie resultante que será estacionaria.

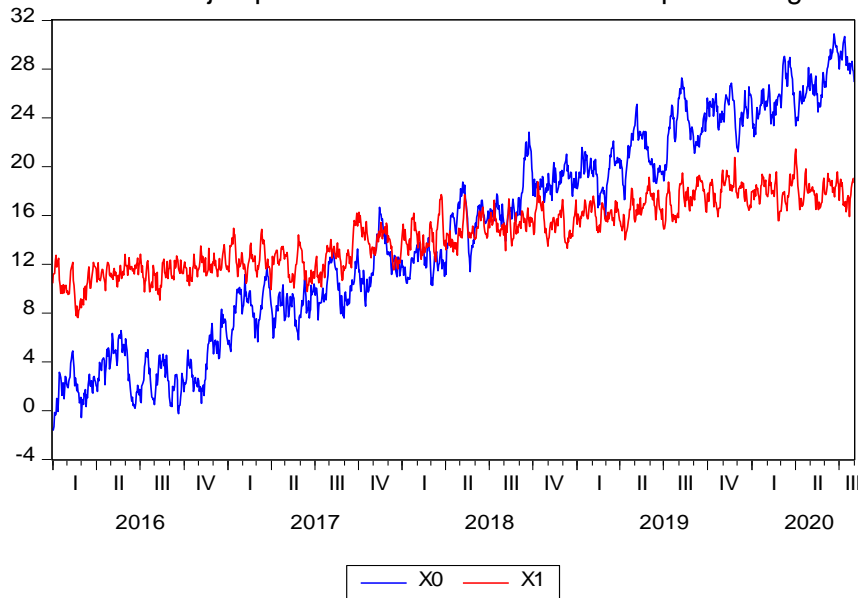
Una desventaja de tal estrategia es la pérdida de información potencialmente relevante. Los niveles de las series de tiempo, en adición a sus cambios, pueden contener información relevante sobre el fenómeno económico bajo estudio.

Una solución para enfrentarse a esta desventaja es recurrir al análisis de cointegración.

Este se basa en las relaciones de equilibrio a largo plazo que las variables puedan tener, aún las no estacionarias. Un ejemplo de estas variables que no son estacionarias y mantienen relaciones de largo plazo son el ingreso y el consumo: son variables que pueden tener tendencias estocásticas en común.

Para ilustrar esta idea, se procedió a generar artificialmente 2 series, que se presentan en el Gráfico A 1.

Gráfico A 1: Ejemplo de series no estacionarias que cointegran



Fuente: elaboración propia.

En este ejemplo, ambas variables son $I(1)$. También tienen tendencias estocásticas en común, por lo que presentan una relación de largo plazo que es $I(0)$, es decir, que estas variables son cointegradas.

Que las variables sean cointegradas tiene implicaciones para sus movimientos en el largo plazo y en el corto plazo.

En el largo plazo, existe una relación que puede ser representada por un vector de cointegración (β_1, β_2) ¹⁸ que es distinto de cero. Así, en el largo plazo se cumple que $\beta_1 X_0 + \beta_2 X_1 = 0$: las variables X_0 y X_1 pueden exhibir fluctuaciones amplias, pero van a fluctuar de forma conjunta, de acuerdo con la relación de cointegración.

En el corto plazo, pueden darse desviaciones de esta relación de cointegración. Es decir, no siempre va a cumplirse que $\beta_1 X_0 + \beta_2 X_1 = 0$. Sin embargo, la combinación $\beta_1 X_0 + \beta_2 X_1$ es $I(0)$, por lo que las desviaciones con respecto a esta relación de cointegración o de largo plazo, irán disminuyendo con el tiempo.

En términos más generales, podemos considerar un grupo de datos donde cada una de sus series es $I(d)$. Estos datos pueden cointegrar entre sí, y mostrar un orden de integración menor. Si esta combinación lineal es b órdenes menor (es decir, la combinación lineal es $I(d-b)$), decimos que este grupo de datos es cointegrado de orden (d, b) y lo denotamos $CI(d, b)$.

De forma más precisa, un grupo de datos es cointegrado de orden (d, b) (denotado $CI(d, b)$) si todos sus componentes son $I(d)$ y hay una combinación lineal (distinta de cero) que es $I(d-b)$. Esta combinación lineal se expresa por medio del vector de cointegración, que refleja la relación de largo plazo entre las variables.

Si se tienen variables que son $CI(1, 1)$, el sistema dinámico se puede expresar por medio de un modelo de corrección de errores. Este tiene la ventaja de tener una interpretación

¹⁸ El vector de cointegración no es único, por lo que usualmente se impone la normalización $\beta_1 = 1$.

intuitiva: separa los componentes de corto y largo plazo, al tiempo que permite estimar explícitamente el vector de cointegración entre las variables.

Anexo 2. Pruebas estadísticas

Cuadro A.2-1: Pruebas de estacionariedad, tasas de interés a 1 mes

Tasa	Variables auxiliares	ADF			PP			KPSS		
		P-value			P-value			Estadístico de prueba		
		Nivel	1era dif	2da dif	Nivel	1era dif	2da dif	Nivel	1era dif	2da dif
Libor 1m	Intercepto	0,908	0,000	0,000	0,899	0,000	0,000	1,967	1,313	0,011
	Int+Tendencia	1,000	0,000	0,000	1,000	0,000	0,000	0,821	0,341	0,011
	Ninguna	0,539	0,000	0,000	0,533	0,000	0,000			
SOFR 1m	Intercepto	0,852	0,005	0,000	0,990	0,000	0,000	1,742	0,631	0,018
	Int+Tendencia	0,651	0,011	0,000	0,930	0,000	0,000	0,725	0,055	0,018
	Ninguna	0,320	0,000	0,000	0,309	0,000	0,000			
TED	Intercepto	0,355	0,000	0,000	0,116	0,000	0,000	1,851	0,181	0,500
	Int+Tendencia	0,871	0,000	0,000	0,270	0,000	0,000	0,516	0,074	0,500
	Ninguna	0,633	0,000	0,000	0,609	0,000	0,000			
TPN 1m	Intercepto	0,156	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	1,659	0,087	0,500
	Int+Tendencia	0,346	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,348	0,076	0,500
	Ninguna	0,399	0,000	0,000	0,069	0,000	0,000			
TRI 1m	Intercepto	0,488	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	2,506	0,173	0,500
	Int+Tendencia	0,864	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,482	0,125	0,500
	Ninguna	0,496	0,000	0,000	0,014	0,000	0,000			

Fuente: elaboración propia.

Cuadro A.2-2: Pruebas de cointegración con tasa Libor a 1 mes

		Especificación del modelo				
		No	No	Lineal	Lineal	Cuadrática
		No	Sí	Sí	Sí	Sí
		No	No	No	Sí	Sí
Tasa	Prueba	Relaciones de cointegración				
SOFR 1M	Traza	1	1	1	1	1
	Eigenvalor máximo	1	1	1	1	1
TED	Traza	0	1	1	2	1
	Eigenvalor máximo	0	1	1	2	1
TPN 1M	Traza	1	1	1	1	1
	Eigenvalor máximo	1	1	1	1	1
TRI 1M	Traza	1	1	1	1	1
	Eigenvalor máximo	1	1	1	1	1

Fuente: elaboración propia.

Cuadro A.2-3: Resultados principales de estimaciones de modelos de corrección de errores^a

Tasa por evaluar	Relación de cointegración			Velocidad de ajuste		R-cuadrado	
	Libor	Constante	Tasa	Libor	Tasa	Libor	Tasa
Promedio SOFR de 1 mes			-0,879 (0,045) [-19,584]	-0,004 (0,006) [-0,654]	0,015 (0,003) [4,982]		
			-3,305 (0,301) [-10,974]	0,001 (0,003) [1,165]	0,018 (0,003) [6,015]	0,210	0,486
TED	1,000	6,115	-4,690 (0,413) [-11,345]	0,0003 (0,003) [0,849]	0,034 (0,003) [10,215]	0,223	0,033
			-4,535 (0,332) [-13,646]	0,001 (0,001) [1,849]	0,034 (0,003) [9,732]	0,221	0,082
TPN a 1 mes	1,000	1,981				0,223	0,078

Fuente: elaboración propia.

^aPara los coeficientes de las tasas y las velocidades de ajuste, adicionalmente se presentan los errores estándar (entre paréntesis redondos), el estadístico *t* (la razón entre el coeficiente estimado y su error estándar, entre paréntesis cuadrados).

Cuadro A.2-4: Pruebas de estacionariedad, tasas de interés a 6 meses

Tasa	Variables auxiliares	ADF			PP			KPSS		
		P-value			P-value			Estadístico de prueba		
		Nivel	1era dif	2da dif	Nivel	1era dif	2da dif	Nivel	1era dif	2da dif
Libor 6m	Intercepto	0,916	0,000	0,000	0,948	0,000	0,000	1,452	1,341	0,035
	Int+Tendencia	1,000	0,000	0,000	1,000	0,000	0,000	0,867	0,268	0,033
	Ninguna	0,503	0,000	0,000	0,516	0,000	0,000			
SOFR 6m	Intercepto	0,832	0,878	0,000	1,000	0,000	0,000	1,668	2,547	0,034
	Int+Tendencia	0,980	0,272	0,000	1,000	0,000	0,000	0,681	0,174	0,034
	Ninguna	0,079	0,725	0,000	0,124	0,000	0,000			
TED	Intercepto	0,355	0,000	0,000	0,116	0,000	0,000	1,851	0,181	0,500
	Int+Tendencia	0,871	0,000	0,000	0,270	0,000	0,000	0,516	0,074	0,500
	Ninguna	0,633	0,000	0,000	0,609	0,000	0,000			
TPN 6m	Intercepto	0,042	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,563	0,288	0,500
	Int+Tendencia	0,179	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,488	0,074	0,500
	Ninguna	0,606	0,000	0,000	0,661	0,000	0,000			
TRI 6m	Intercepto	0,651	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	1,374	0,197	0,091
	Int+Tendencia	0,514	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,372	0,075	0,091
	Ninguna	0,371	0,000	0,000	0,373	0,000	0,000			

Fuente: elaboración propia.

Cuadro A.2-5: Pruebas de cointegración con tasa Libor a 6 meses

		Especificación del modelo				
		No	No	Lineal	Lineal	Cuadrática
		No	Sí	Sí	Sí	Sí
		No	No	No	Sí	Sí
Tasa	Prueba	Relaciones de cointegración				
SOFR 1M	Traza	1	1	1	1	1
	Eigenvalor máximo	1	1	1	1	1
SOFR 6M	Traza	1	1	1	2	2
	Eigenvalor máximo	1	1	1	2	2
D(SOFR 6M) ^a	Traza	0	0	0	0	2
	Eigenvalor máximo	0	0	0	0	0
TED	Traza	0	1	1	1	1
	Eigenvalor máximo	0	1	1	1	1
TRI 6M	Traza	0	1	1	1	1
	Eigenvalor máximo	0	1	1	1	1

Fuente: elaboración propia.

^a Se incluyó la primera diferencia del promedio SOFR de 6 meses, dado que algunas pruebas de estacionariedad indicaron un orden 2 de integración. Una vez más, los datos no parecen mostrar tendencia, y su media no es cero. Por lo tanto, la especificación adecuada es con constante.

Cuadro A.2-6: Resultados principales de estimaciones de modelos de corrección de errores

Tasa por evaluar	Relación de cointegración			Velocidad de ajuste		R-cuadrado	
	Libor	Constante	Tasa	Libor	Tasa	Libor	Tasa
Promedio SOFR de 1 mes			-0,682 (0,101) [-6,728]	0,004 (0,003) [1,625]	0,007 (0,002) [4,208]		
	1,000	-0,875				0,151	0,480
Promedio SOFR de 6 meses			-0,290 (0,062) [-4,649]	0,005 (0,003) [1,610]	0,008 (0,001) [12,830]		
	1,000	-1,412				0,145	0,622
TED			-3,156 (0,344) [-9,184]	0,002 (0,001) [2,743]	0,015 (0,003) [5,748]		
	1,000	5,431				0,165	0,031
TRI 6 meses ^a			-7,283 (1,242) [-5,865]	-0,0003 (0,001) [-1,157]	0,007 (0,001) [5,446]		
	1,000	19,865				0,161	0,026

Fuente: elaboración propia.