



NOTA TÉCNICA

N.º 01|2024

Implementación de la curva soberana estimada por el BCCR en las pruebas de tensión de instrumentos de renta fija

Adriana Corrales Quesada

Fabio Gómez-Rodríguez

Carlos Segura-Rodríguez

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

Pruebas de tensión del Banco Central de Costa Rica: Valoración del riesgo de instrumentos de renta fija

Adriana Corrales Quesada[†], Fabio Gómez-Rodríguez[‡], Carlos Segura-Rodríguez[§]

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

Resumen

Esta nota técnica describe el procedimiento que actualmente utiliza el Banco Central de Costa Rica (BCCR) para realizar pruebas de tensión a la cartera de las entidades financieras. El análisis permitió identificar dos oportunidades de mejora con respecto al que se realiza en la actualidad; procedimiento que se implementó como parte de una asistencia técnica provista por parte del FMI en el 2016. En primer lugar, se calculan las pruebas de tensión a partir de la estimación de las curvas de rendimiento PAR en colones y dólares que realiza el BCCR y que reflejan mejor el comportamiento del mercado costarricense. En segundo lugar, se utilizan métodos de remuestreo para determinar la distribución de pérdidas basadas en los datos disponibles, en lugar de utilizar solo choques predefinidos, lo que facilita la comparación de los choques predefinidos que se utilizan en la actualidad con los eventos realmente observados. Como conclusión, se recomienda implementar estas dos mejoras en la ejecución de las pruebas de tensión.

Palabras clave: Pruebas de Tensión, Curvas de Rendimiento, Crisis Financieras

Clasificación JEL: G21, G28, C63

[†]Departamento de Estabilidad Financiera. División Económica, BCCR. corralesqa@bccr.fi.cr.

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

[§]Departamento de Investigación Económica. División Económica, BCCR. segurarc@bccr.fi.cr.

Stress Testing of the Central Bank of Costa Rica: Risk Assessment of Fixed-Income Instruments.

Adriana Corrales Quesada[†], Fabio Gómez-Rodríguez[‡], Carlos Segura-Rodríguez[§]

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

Summary

This technical note describes the procedure currently used by the Central Bank of Costa Rica (BCCR, by its initials in Spanish) to conduct stress tests on the portfolios of financial entities. The analysis identified two opportunities for improvement compared to the current practice; a procedure that was implemented as part of a technical assistance provided by the IMF. First, the stress tests are calculated based on the estimation of the PAR yield curves in colones and dollars carried out by the BCCR, which better reflect the behavior of the Costa Rican market. Secondly, resampling methods are used to determine the loss distribution based on available data, rather than using only predefined shocks, which facilitates the comparison of the predefined shocks currently used with the actual observed events. In conclusion, it is recommended to implement these two improvements in the execution of the stress tests.

Key words: Stress Tests, Yield Curve Estimation, Financial Crisis

JEL Codes: G21, G28, C63

[†]Financial Stability Department. Economic Division, BCCR. corralesqa@bccr.fi.cr.

[‡]Economic Research Department. Economic Division, BCCR. gomezrj@bccr.fi.cr.

[§]Economic Research Department. Economic Division, BCCR. segurarc@bccr.fi.cr.

1. Introducción

El Banco Central de Costa Rica, como parte de sus objetivos subsidiarios, debe “promover un sistema de intermediación financiera estable, eficiente y competitivo”. Para el cumplimiento de dicho objetivo¹, una de las tareas que realiza es dar seguimiento a las operaciones de entidades que forman parte del Sistema Financiero Nacional, entre ellas, entidades bancarias, cooperativas, aseguradoras, participantes del mercado de valores y fondos de pensión.

La importancia de este objetivo se debe a que el papel que desempeña el sistema financiero es de suma importancia para el desarrollo económico del país, ya que es responsable de la asignación eficiente de los recursos. Un buen funcionamiento del sistema permite la adecuada canalización del ahorro, lo que facilita un ritmo de crecimiento sostenido. No obstante, la actividad financiera está expuesta a fallas de mercado y esto es más evidente durante las crisis financieras.

La existencia de fallas de mercado y los graves efectos adversos que la inestabilidad financiera tiene sobre la economía real, justifican las acciones que realiza el Banco Central para “promover un sistema de intermediación financiera estable, eficiente y competitivo”. En ese sentido, el BCCR ha hecho esfuerzos para establecer metodologías que le permitan a la entidad contar con los insumos necesarios para la toma de decisiones y recomendaciones de política que permitan cumplir con este objetivo.

En el año 2016, como parte de este proceso, se solicitó una asistencia técnica al Fondo Monetario Internacional, llamada “Desarrollo de metodologías de análisis de riesgo de financiamiento, mercado y crédito”, cuyo objetivo fue desarrollar modelos para la realización de pruebas de resistencia de las entidades financieras ante los distintos riesgos financieros.

El modelo utilizado para el cálculo del riesgo de mercado, producto de dicha Asistencia Técnica, parte de la construcción de curvas de rendimiento soberanas bajo la metodología de Nelson y Siegel (1987), con las cuales se valoran los instrumentos financieros que conforman el portafolio de inversión de las entidades en análisis y se calcula la pérdida por valoración de los instrumentos de renta fija ante un choque de tasas de interés.

Sin embargo, en años recientes, el Banco Central ha avanzado en la tarea de calcular curvas de rendimiento soberanas PAR tanto para instrumentos financieros en colones como en dóla-

¹Ley Orgánica del BCCR, N°7558, Art. 2 inciso d.

res (Segura-Rodriguez y Ulate Sancho, 2022b) negociables en mercado local. Por esta razón se propone, con el fin de estandarizar insumos, que el modelo de cálculo del riesgo de mercado utilice las curvas de Banco Central para la estimación de las pruebas de sensibilización de los portafolios de inversión, a partir de la premisa de que con dicha mejora se logrará obtener resultados más precisos para dichas pruebas.

La siguiente sección describe como se estima el cambio en el valor de un instrumento como consecuencia de un choque que modifica la curva de rendimientos. La tercera sección describe las diferentes estimaciones de la curva de rendimientos en colones y dólares. La cuarta sección presenta diferentes diseños de los choques para las pruebas de tensión de riesgo de mercado, para luego presentar un ejemplo de una medición de riesgo. La última sección concluye.

2. Cálculo del cambio en el valor de un instrumento financiero de renta fija

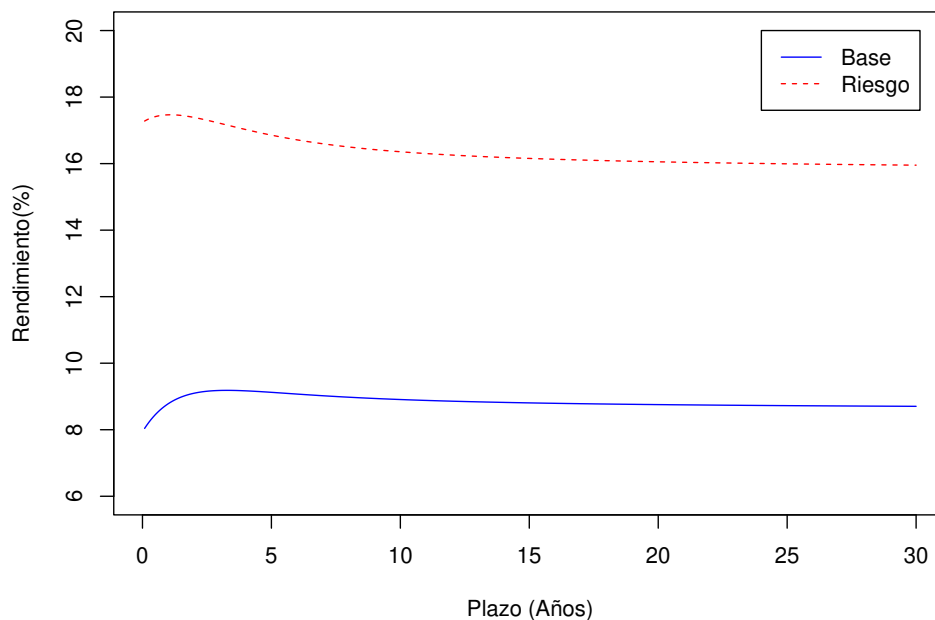
El insumo principal de las pruebas de tensión de riesgo de mercado que ilustraremos en esta nota son las curvas de rendimientos, que pueden estar expresadas en colones o en dólares. Estas curvas representan el rendimiento implícito que el mercado determina para instrumentos financieros en función del tiempo que toman estos en madurar, es decir, su *duración*.

Sin embargo, en esta sección, comenzamos con una situación en la que ya contamos con la curva de rendimientos para un escenario base, por lo que le llamaremos “curva base”. A los eventos que generan un cambio significativo en el mercado financiero, y por ende, modifican los rendimientos, le llamaremos *un choque*. Y, finalmente, consideraremos otra curva de rendimientos que corresponde a los rendimientos observados después de un choque, a esta curva le llamaremos “curva en riesgo”. El objetivo de esta sección es demostrar cómo se calcula el cambio en el valor de un instrumento financiero al pasar del escenario base al escenario de riesgo.

Utilizaremos y_b para referirnos a la curva base y y_r para referirnos a la curva en riesgo. Es importante destacar que y_b y y_r son funciones que indican el rendimiento de los instrumentos financieros en consideración según la duración. Por ejemplo, $y_b(d)$ representa el rendimiento

que la curva base asigna a instrumentos de una duración d . De manera similar, esto aplica al escenario en riesgo y la curva y_r . La Gráfica 1 muestra un ejemplo de cómo puede cambiar la curva de rendimientos en respuesta a un choque.

Gráfico 1. Ejemplo de una curva de rendimiento antes y después de un choque.



Fuente: Elaboración propia.

Ante un cambio en la curva de rendimientos, por ejemplo, un incremento en las tasas de interés, el valor de un instrumento cambia. Siguiendo con el ejemplo de un incremento en las tasas, en este caso, el valor de un instrumento de renta fija se reduce. Esto se debe a que el valor del instrumento debe ser más bajo para que el desembolso final genere el retorno de inversión que se observa en ese momento en el mercado. Es importante mencionar que en este caso consideramos las curvas llamadas 'par' y no 'cero cupón'. Esto nos indica que el cambio en el valor del instrumento se basa en una estimación de la curva que se fundamenta en lo observado. Cuando se utilice una curva cero cupón, esta estimación representará las expectativas del mercado.

El valor de un instrumento se obtiene utilizando el *monto* y la tasa de interés correspondiente que se denota por $y_b(d)$, donde d representa la duración residual del instrumento. Así, el valor

viene dado por la fórmula:

$$\text{valor}_{\text{base}} = \text{monto} \cdot (1 + y_b(d))^{-d}. \quad (1)$$

Es importante resaltar que la tasa de rendimientos tiene un efecto inverso en el valor de un instrumento. Dicho de otra forma, un incremento en los rendimientos genera una pérdida de valor de los instrumentos.

De igual forma se obtiene el valor del instrumento en el escenario de riesgo, después del choque, que se infiere de la curva y_r :

$$\text{valor}_{\text{riesgo}} = \text{monto} \cdot (1 + y_r(d))^{-d}. \quad (2)$$

Finalmente, la diferencia entre el valor base obtenido en (1) y el valor en el escenario de riesgo (2) corresponde al monto total en riesgo. El cálculo se resume en la siguiente ecuación:

$$\begin{aligned} \Delta \text{valor} &= \text{valor}_{\text{base}} - \text{valor}_{\text{riesgo}} \\ &= \text{monto} \cdot \left((1 + y_b(d))^{-d} - (1 + y_r(d))^{-d} \right). \end{aligned} \quad (3)$$

La formula 3 se utiliza para determinar la pérdida en valor de un instrumento ante un choque. En el caso en que “ Δvalor ” sea positivo, el valor del instrumento en el escenario base es mayor que en el escenario de riesgo correspondiente. En este caso, se produce una pérdida.

Mas allá del cálculo del cambio en el valor de un instrumento, al realizar una prueba de tensión hay una serie de factores que influyen en la definición de los escenarios (base y riesgo) y como estos se traducen en cambios en la curva de rendimientos.

A continuación, presentamos algunos de los factores que influyen en los escenarios de una prueba de tensión:

- **El riesgo específico que se quiere considerar:** Hay que considerar que la curva de rendimiento responde ante una amplia serie de factores. Algunos ejemplos son inflación, la percepción de capacidad de pago del emisor de la deuda, inestabilidad política interna o externa, una pandemia, entre otros.
- **Escenario base:** La definición del escenario base también determina en parte el valor en riesgo. Este escenario puede corresponder al último mes observado o una observación

anterior, un promedio en un intervalo de tiempo o quizá un escenario diseñado o artificial.

- **Tamaño del choque:** La curva de rendimientos, según el modelo que se utilice, puede variar de múltiples formas. La forma particular en que se especifica el cambio en la curva es un aspecto adicional a considerar cuando se mide el valor en riesgo.

Antes de explicar como definimos los escenarios de tensión, en la siguiente sección se describe las diferentes técnicas de estimación de la curva de rendimientos.

3. La curva de rendimientos

Como se mencionó anteriormente, una curva de rendimientos es una representación gráfica que muestra la relación entre los plazos de vencimiento y los rendimientos de una serie de instrumentos financieros, como bonos o títulos valores. Esta curva proporciona información sobre las tasas de interés o rendimientos esperados para diferentes plazos de inversión.

Es importante tener en cuenta que el modelado de curvas de rendimientos es una tarea compleja y requiere considerar varios factores, como la liquidez del mercado, las expectativas futuras de tasas de interés y el riesgo de crédito asociado con los instrumentos financieros. Los modelos utilizados pueden variar desde enfoques simples hasta modelos más sofisticados basados en teorías financieras y econometría.

Aquí se presentan las curvas de rendimiento que se utilizan y las que se implementarán para las pruebas de tensión de riesgo de mercado del Banco Central de Costa Rica. Se tienen a disposición curvas en colones y dólares derivadas de la asistencia técnica por parte del Fondo Monetario Internacional y la estimación propia de la curva de rendimientos del BCCR (Segura-Rodriguez y Ulate Sancho (2022a) y Segura-Rodriguez y Ulate Sancho (2022b)).

3.1. Estructura de la curva de rendimientos

Las dos estimaciones de la curva de rendimientos que se consideran en esta nota utilizan la metodología que propusieron Nelson y Siegel (1987):

$$y(d) = \beta_0 + \beta_1 \left[\frac{1 - \exp(-d\lambda)}{d\lambda} \right] + \beta_2 \left[\frac{1 - \exp(-d\lambda)}{d\lambda} - \exp(-d\lambda) \right]. \quad (4)$$

Esta estructura se deriva de la resolución de ecuaciones diferenciales que modelan el comportamiento del mercado y las tasas de rendimiento. Además, esta estructura permite darle

una interpretación a los parámetros β_0, β_1 y β_2 . Cuando el valor de d tiende a infinito (largo plazo), la expresión converge a β_0 . Por esta razón, β_0 representa los efectos que persisten aún cuando el plazo de duración es amplio, por eso este parámetro representa los efectos de largo plazo. Por otro lado, cuando d es un valor muy pequeño (tiende a 0), la expresión se acerca a la suma $\beta_0 + \beta_1$. Es por esto que β_1 es el parámetro que se utiliza para modelar cambios al corto plazo. El valor de β_1 representa la diferencia entre los efectos de corto plazo y los de largo plazo. El valor de β_2 representa efectos de mediano plazo, esto porque su valor se disipa cuando d es pequeño (corto plazo) y cuando es grande (largo plazo).

La curva de rendimientos que se utiliza a partir de la asistencia técnica del FMI se basa en (Alfaro, 2011). Esta corresponde a una versión discreta (no continua) de la curva. A pesar de esta diferencia, hay una equivalencia en la interpretación y utilización de los parámetros de ambas curvas.

Al considerar la siguiente substitución $\varphi = \exp(-\lambda)$, y además aproximar el valor λ con la expresión $1 - \varphi$ usando una expansión de Taylor² se puede obtener una versión en tiempo discreto de la curva dinámica de rendimientos (Alfaro, 2011):

$$y(d) = \beta_0 + \frac{\beta_1}{d} \left[\frac{1 - \varphi^d}{1 - \varphi} \right] + \frac{\beta_2}{d} \left[\frac{1 - \varphi^d}{1 - \varphi} - n \cdot \varphi^{n-1} \right]. \quad (5)$$

En contraste, la estimación de la curva que se efectúa en el Banco Central de Costa Rica se basa en la fórmula (4). Cabe resaltar que en ambos casos la interpretación de los coeficientes β_0, β_1 y β_2 es la misma.

3.2. Estimación de los parámetros a partir de la asistencia técnica por parte del FMI

En esta sección se resaltan algunos de los detalles más significativos de la estimación de la curva de rendimientos en la que se basan las pruebas de tensión producto de la asistencia técnica por parte del Fondo Monetario Internacional.

Curva en Colones. Una vez que se ha fijado la estructura de las curvas de rendimiento, existen diferentes procedimientos que se pueden implementar para obtener los parámetros $\beta_0, \beta_1, \beta_2$ y φ . Para realizar esta estimación en cada periodo t se requiere de una serie de observaciones que contengan las duraciones $d_t^{(i)}$ y los rendimientos $y_t^{(i)}$ de una serie de

² $\lambda = -\log(\varphi) = -\log(1 - 1 + \varphi) \approx -\log(1) - (\varphi - 1) \log'(1) = 1 - \varphi$

instrumentos financieros. Para la curva en colones, la asistencia técnica utilizó datos de los bonos soberanos emitidos por el Ministerio de Hacienda y el BCCR que se transaron en el mercado local.

En el caso de esta curva, la estimación se realiza de la siguiente forma: Primero, se fija un valor para el parámetro φ (en este caso se utiliza $\varphi = e^{-0,06}$, obtenido de una estimación previa). A partir de la serie de datos mencionada, se obtiene una serie de T duraciones $\{d^{(1)}, d^{(2)}, \dots, d^{(T)}\}$ y los correspondientes rendimientos $\{y^{(1)}, y^{(2)}, \dots, y^{(T)}\}$, que se derivan del precio de las transacciones registradas en los datos. Para cada duración $d^{(i)}$, se obtiene la siguiente matriz de datos:

$$\left[1 \quad \left[\frac{1-\varphi^{d^{(i)}}}{d^{(i)}(1-\varphi)} \right] \quad \left[\frac{1-\varphi^{d^{(i)}}}{d^{(i)}(1-\varphi)} - \frac{n \cdot \varphi^{n-1}}{d^{(i)}} \right] \right].$$

Esta matriz de datos se utiliza como variables independientes y se emplea para explicar el rendimiento correspondiente $y^{(i)}$ (variable dependiente). Se utiliza una regresión lineal para obtener los valores estimados de β_0 , β_1 y β_2 a partir de estos datos. Para cada mes, se obtienen diferentes valores de los parámetros β_i , los cuales se utilizan para construir la curva de rendimientos correspondiente a dicho mes.

Curva en Dólares. Para la estimación de la curva en dólares, se utiliza como punto de referencia la curva de rendimientos "PAR" (Treasury Par Yield Curve) de los Estados Unidos, a la que se le realiza un ajuste por el riesgo país. Se parte de la curva de rendimientos "PAR" publicada por el Departamento del Tesoro de los Estados Unidos³. A partir de esta curva, se generan una serie de duraciones y rendimientos utilizando la fórmula (6):

$$d = 12 \cdot \left(1 + \frac{1}{y_t^i} \right) \left(1 - (1 + y_t^i)^{\frac{-d_0}{12}} \right). \quad (6)$$

Aquí, d_0 es el plazo correspondiente en la curva⁴. Como resultado, se obtiene una serie de datos que contiene rendimientos $y_t^i(d)$ con sus respectivas duraciones $d^{(i)}$. A continuación, se procede de manera similar a la curva en colones, fijando el valor de $\varphi = e^{-0,0586}$ obtenido igualmente de una estimación previa⁵.

Dado que esto generaría una curva de rendimientos basada en la curva "PAR" de los Estados

³Página Web del Departamento del Tesoro.

⁴En el código en el que se basa este documento, si el plazo es menor a un año, entonces no se realiza el ajuste y $d = d_0$.

⁵Se utiliza el valor del parámetro que se obtiene de la implementación de esa metodología en economías similares.

Unidos, es necesario ajustar el valor de β_0 sumando el riesgo país para Costa Rica⁶, con el fin de trasladar la curva de manera paralela. El ajuste se realiza de la siguiente manera:

$$\tilde{\beta}_0 = \beta_0 + r_{\text{país}}.$$

3.2.1. Estimación de parámetros con procedimiento que utiliza el BCCR

Desde el 2015 el BCCR publica una curva de rendimientos soberana PAR para Costa Rica para bonos en colones emitidos tanto por el Ministerio de Hacienda y el BCCR. Durante el 2022, Segura-Rodriguez y Ulate Sancho (2022a) y Segura-Rodriguez y Ulate Sancho (2022b) analizaron el uso de una metodología dinámica para la estimación de los parámetros de la curva de Nelson-Siegel, que se presentó en la Ecuación 4, para construir la curva de rendimientos soberana PAR para Costa Rica tanto en colones como en dólares, respectivamente.

La metodología que ellos proponen se basa en la que desarrollaron Diebold, Rudebusch y Aruoba (2006). La idea general es que los parámetros en la Ecuación 4 evolucionan lentamente de un periodo a otro, por lo que pueden ser tratados como variables de estado en un modelo de estado-espacio, en el que la curva de Nelson-Siegel es la ecuación de medida y se supone que los estados transicionan de acuerdo con un modelo vectorial autorregresivo de orden uno. Esto permite utilizar, en la estimación, la información del pasado de una forma óptima desde el punto de vista estadístico, lo que permite solventar el problema de que para algunos periodos se observan muy pocas negociaciones o no se observan negociaciones para ciertas secciones de plazos.

Para ambas monedas, ellos analizan el desempeño de la curva de rendimientos estimada tanto para los puntos observados como para los plazos en los que no se observan transacciones. Esto les permite concluir que la metodología dinámica genera curvas de rendimiento que reflejan mejor la coyuntura del mercado de deuda soberana que los métodos paramétricos estáticos de Nelson y Siegel (1987) y Svensson (1994). Este mejor desempeño es más evidente para aquellas semanas en las que se han observado pocas transacciones en el mercado.

Se refiere al lector interesado en mayores detalles a Segura-Rodriguez y Ulate Sancho (2022a) y Segura-Rodriguez y Ulate Sancho (2022b).

⁶Actualmente se utiliza un riesgo país de 588 puntos base, este se ha ajustado según la estimación en Damodaran (2023)

4. Diseño de los choques de las pruebas de tensión

Los escenarios para pruebas de tensión de riesgo de mercado varían según el contexto y los objetivos de las autoridades financieras que las realizan. Estas pruebas tienen como objetivo evaluar la resistencia y solidez del sistema financiero ante diferentes escenarios de riesgo.

Aquí nos enfocamos en dos tipos de escenarios: (i) escenario de **crisis financiera** que representa una situación de crisis financiera aguda y sistémica. Puede incluir la quiebra o problemas graves en instituciones financieras, congelamiento del mercado crediticio, disminución drástica de la liquidez y una fuerte caída en los precios de los activos, y, (ii) escenario de **fuerte aumento de tasas de interés**: este escenario evalúa el impacto de un aumento significativo e inesperado en las tasas de interés. Puede incluir un endurecimiento de la política monetaria, el aumento en los costos de financiamiento por una baja en la calificación crediticia del emisor soberano, entre otros.

A continuación presentamos el diseño de los choques que se utilizan para evaluar la capacidad del sistema financiero.

4.1. Choques predefinidos

Los choques o escenarios de tensión predefinidos, tanto para la curva de rendimientos en colones como para la curva de rendimientos en dólares, se determinan ya sea con base en aumentos históricos de los rendimientos durante un periodo de tiempo dado, con base en el criterio experto o con base en escenarios individuales o idiosincrásicos.

El objetivo de las pruebas de tensión es medir la resistencia de las entidades reguladas en términos de indicadores financieros como por ejemplo, suficiencia patrimonial o la rentabilidad ante la presencia de dichos choques.

En el caso de análisis se consideran 3 tipos de choques: uno histórico, uno moderado⁷ y uno específico. El primero se determina como el mayor aumento anualizado experimentado por los rendimientos de los instrumentos financieros durante el periodo 2005-2020, escenario que coincide con el aumento de los rendimientos durante la crisis financiera del 2008-2009. El segundo, se definió en coordinación con la Superintendencia General de Valores (SUGEVAL) y

⁷Al ser el choque histórico de gran magnitud, este otro tipo de choque representa un escenario menos severo que quizás es más probable de observar en el futuro.

corresponde a un escenario menos “extremo” que el histórico. En este sentido, se han considerado los mayores movimientos anuales al alza de los rendimientos por moneda, durante los últimos 5 años. Por último, se definen escenarios idiosincráticos o individuales por entidad, en los que se busca definir el choque que dejaría expuesta a la entidad en términos de límites regulatorios.

Cuadro 1. Ejemplo de choque predefinido, curva colones

	Choques (en puntos base)		
	Histórico	Moderado	Específico
β_0	715	394	1300
β_1	209	- 99	200
β_2	0	0	0
λ	0	0	0

Fuente: Elaboración propia

En el Cuadro 1, el choque correspondiente a β_0 es el choque simulado para el el largo plazo (duración por encima de 3 años) de la curva de rendimiento y el choque correspondiente a β_1 es la diferencia entre los choques simulados de corto y largo plazo.

Como se mencionó, el choque histórico se definió como el máximo aumento anualizado de los rendimientos durante el periodo 2005-2020, mismo que corresponde a los ajustes de las curvas de rendimiento durante la crisis financiera 2008-2009. Por otra parte, el choque moderado corresponde al máximo aumento de los rendimientos anualizados durante el período del 2018-2021 y el choque específico, que corresponde a la tercera columna del cuadro, es un ejemplo de un choque anual que resulta de un “*reverse test*” o prueba inversa, que consiste en calcular el tamaño del impacto que deberían experimentar las curvas de rendimiento para que una entidad específica entre en problemas regulatorios.

4.2. Choques usando el historial

La curva de rendimientos, al igual que el mercado en sí, se encuentra en constante cambio que fluctúa en tiempo real. De manera similar a las variaciones que se producen a diario, estas fluctuaciones se acumulan en impactos semanales y mensuales. Si consideramos los choques predefinidos, concebimos situaciones de prueba de tensión en sus extremos más intensos. No obstante, con el propósito de obtener una comprensión más nítida de los riesgos

que las entidades financieras afrontan, resulta fundamental poder contextualizar, en relación a la dinámica cotidiana del mercado, la magnitud de estos choques predefinidos. Esto implica la presentación de escenarios menos drásticos, pero también más probables. Este objetivo se puede lograr mediante la estimación de una distribución de pérdidas (y ganancias) para la cartera de inversiones, lo cual permite una visión más completa de los riesgos que enfrentan las entidades financieras.

Esta distribución se obtiene utilizando una metodología tipo *bootstrapping* o de re-muestreo. En este proceso se procede a extraer “choques” que han ocurrido en el pasado, y de los cuales se determinan las pérdidas o ganancias resultantes para cada instrumento financiero. Estos choques, luego, son utilizados como referencia para crear diversos escenarios y calcular la probabilidad de que cada uno de ellos suceda.

El procedimiento se basa en la suposición de que los parámetros que definen la curva de rendimientos en cada mes, siguen un proceso de caminata aleatoria. Cada vector de “errores” representa un choque a la curva de rendimientos, lo que nos permite construir un conjunto de choques históricos que han afectado dicha curva. Esta variación en los parámetros tiene un impacto en la valoración de las carteras independientemente de si son esperados o no por el mercado. Este hecho nos hace preferir un modelo basado en una caminata aleatoria en lugar de un proceso estacionario, en el cual se dispararía la magnitud de los choques cuando estos son en cierta parte “esperados” por el mercado.

La muestra histórica de la curva de rendimientos genera una serie de estos “choques” mensuales, que se representan a continuación

$$\mathcal{E} = \left\{ \begin{matrix} \begin{bmatrix} \epsilon^{\beta_0} \\ \epsilon^{\beta_1} \\ \epsilon^{\beta_2} \\ \epsilon^\lambda \end{bmatrix}_1, & \begin{bmatrix} \epsilon^{\beta_0} \\ \epsilon^{\beta_1} \\ \epsilon^{\beta_2} \\ \epsilon^\lambda \end{bmatrix}_2, & \dots, & \begin{bmatrix} \epsilon^{\beta_0} \\ \epsilon^{\beta_1} \\ \epsilon^{\beta_2} \\ \epsilon^\lambda \end{bmatrix}_{T-1} \end{matrix} \right\} = \{\epsilon_1, \epsilon_2, \dots, \epsilon_{T-1}\}.$$

De esta serie se pueden construir “choques” artificiales comparables a los predefinidos al

acumular doce⁸ de estos choques mensuales

$$\text{choque}_i = \sum_{m=1}^{12} \epsilon_m \quad (7)$$

donde la secuencia de choques $\epsilon_1, \epsilon_2, \dots, \epsilon_{12}$ se escogen, de manera aleatoria y con remplazo del conjunto \mathcal{E} . Esto se repite para $i = 1, 2, 3, \dots, 1000$, para generar un total de 1000 choques artificiales basados en la muestra de la curva de rendimientos.

Una vez que se tiene el escenario base (que puede ser la última curva observada o algún otro promedio de la curva en un intervalo específico), se calcula el cambio del valor de cada instrumento ante cada uno de los 1000 choques en el conjunto generados. Esto permite obtener una serie de revaloraciones para los instrumentos y la cartera, que se representan como $\mathcal{V} = \{v_1, v_2, v_3, \dots, v_{1000}\}$.

A partir de \mathcal{V} se pueden responder preguntas sobre la distribución de las revaloraciones. Por ejemplo, es posible estimar el peor caso ocurrido en la muestra, representado por $\text{máx}(\mathcal{V})$, donde vale recordar que valores positivos representan pérdidas. Para medir escenarios de riesgo menos severos, se ordenan los valores en \mathcal{V} de manera ascendente (de ganancias a pérdidas) y se selecciona el rendimiento en el percentil (v_α) correspondiente al nivel de confianza α . Por ejemplo, si se utiliza un nivel de confianza del 95 %, se selecciona el rendimiento que está en el percentil 95 de la distribución ordenada de rendimientos. Esto nos permite estimar que en el 95 % de los casos, las pérdidas serán menores que $v_{95\%}$.

Es importante notar que todos los choques representados por \mathcal{E} poseen una probabilidad idéntica de ser seleccionados. Aunque esta nota técnica no profundiza en este enfoque, es relevante resaltar que a través de esta metodología es viable explorar una serie de riesgos de naturaleza más específica. Por ejemplo, es factible modelar cómo estos parámetros responderían ante un aumento en la inflación o el hecho que la magnitud de los choques puede depender del choque recién observado, lo que se conoce como la condición de Markov. Esto se realizaría al asignar una probabilidad más alta a los choques en \mathcal{E} que coinciden con períodos de alta inflación. Con esta adaptación, los choques artificiales resultantes serían representativos de momentos característicos de inflación elevada. De este modo, se originaría un conjunto particular de revaluaciones denotado como \mathcal{V} , específicamente diseñado para

⁸Aunque la definición del choque predefinido histórico tiene como referencia “durante la crisis”, un análisis del periodo 2008-2009 determinó que la acumulación de un año de choques generaría choques comparables al histórico.

abordar el riesgo asociado a la inflación. Cabe destacar que este proceso puede aplicarse de manera análoga a otros tipos de riesgos.

Cuadro 2. Comparación de choques predefinido y simulados, curva colones

	Choques (en puntos base)					
	Histórico	Moderado	Específico	Simulado 1	Simulado 2	Simulado 3
β_0	715	394	1300	130	110	260
β_1	209	- 99	200	135	-113	22
β_2	0	0	0	1085	650	-165
λ	0	0	0	214	37	154

Fuente: Elaboración propia

El Cuadro 2 muestra una comparación de los tres choques predefinidos ya discutidos y tres (de los 1000) choques simulados. En el ejemplo que discutiremos en la siguiente sección, los choques simulados dos y tres generaron una pérdida prácticamente igual. Sin embargo, los parámetros son bastante diferentes, lo que nos ilustra la gran diversidad de posibles choques que pueden causar los mismos efectos (generan el mismo riesgo) en una cartera de inversión.

5. Ejemplo de una Entidad Financiera

El Departamento de Estabilidad Financiera cuenta con una base de datos que contiene la cartera de inversiones de todas las entidades financieras. Se utiliza esta información con corte al mes de diciembre de 2021 para generar una cartera *ficticia* a la cual nos referiremos como Banco “X”.

El proceso para generar este portafolio consiste en escoger una serie de instrumentos de manera aleatoria y provenientes de múltiples instituciones que reflejen en términos de tipo de moneda, monto y duración la cartera de alguna entidad financiera ficticia. Se utiliza una fórmula de distancia de montos por monedas y duración promedio⁹ que nos permite generar portafolios que sean similares pero nunca idénticos a los de ninguna entidad financiera en específico¹⁰.

⁹La distancia entre dos portafolios P_1 y P_2 se calcula con la siguiente fórmula:

$$\text{Distancia}(P_1, P_2) = (\text{monto}_{\text{C}}(P_1) - \text{monto}_{\text{C}}(P_2))^2 + (\text{monto}_{\text{S}}(P_1) - \text{monto}_{\text{S}}(P_2))^2 + \zeta(\text{duración}(P_1) - \text{duración}(P_2))^2.$$

dónde ζ es un parámetro que ajusta la importancia relativa de los montos y la duración (promedio) en la distancia.

¹⁰Se generan un total de 10.000 portafolios y se escoge el de menor distancia.

En este caso particular, la cartera de inversiones del banco está compuesta de 86 % por instrumentos de renta fija y 14 % de participaciones en fondos de inversión. De las inversiones en instrumentos de renta fija, que son las que se someterán a las pruebas de tensión, 70 % del total del monto corresponde a instrumentos en colones y 30 % están compuesto por instrumentos en dólares. De las inversiones en dólares, un 14 % del monto total corresponde a instrumentos que se negocian en mercados internacionales.

Cuadro 3. Banco “X”, Análisis general de la cartera de inversiones

Renta Fija	Composición	Duración (años)
Colones	70 %	2,74
Dólares	30 %	2,29
Total	100 %	2,62

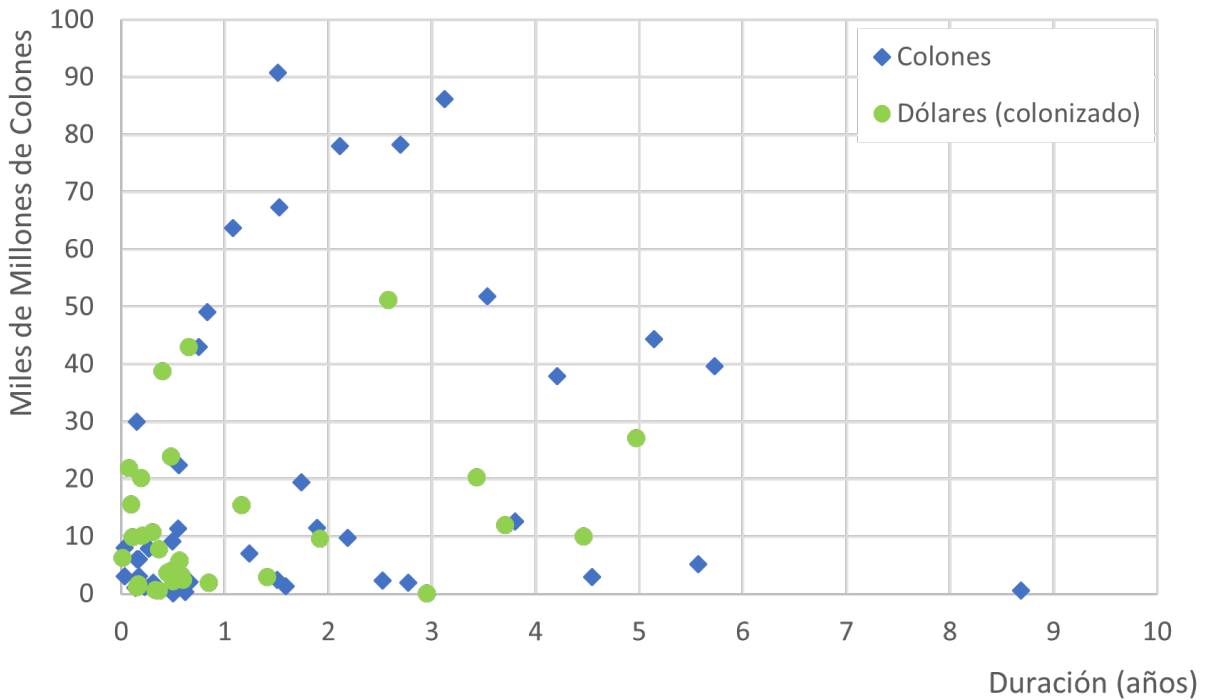
Fuente: Elaboración propia

Adicionalmente, para continuar con la descripción de la composición del portafolio del Banco “X” se hace un análisis instrumento por instrumento, con el cuál es posible visualizar la distribución de los instrumentos por volumen (valor del instrumento) y duración (años).

En el Gráfico 2 se observa que las inversiones tanto en colones (70 %) como en dólares (82 %), se concentran en plazos inferiores a 3 años. Esto responde a que en condiciones normales de mercado, las instituciones bancarias, por su giro de negocio, mantienen la cartera de inversiones financieras alrededor de 3 años, con el fin de gestionar la liquidez y tener los fondos disponibles en caso de que la demanda de crédito aumente. En condiciones adversas y cuando la expectativa respecto a las tasas de interés en colones es al alza, los participantes del mercado concentran sus inversiones financieras a corto plazo para aprovechar el premio por invertir en colones, con el fin de minimizar el riesgo de mercado asociado a la subida de las tasas de interés (caída en el precio de los activos).

Una vez realizado el análisis de la cartera, se procede a calcular el valor en riesgo de los instrumentos financieros que la componen, de acuerdo a los escenarios de tensión considerados para el análisis.

Gráfico 2. Descripción de los instrumentos por monto y duración (residual) del Banco “X”



Fuente: Elaboración propia

Cuadro 4. Banco “X”, Principales resultados de las pruebas de tensión bajo el choque histórico, por ISIN y según curvas de rendimiento utilizadas para su cálculo (Colones)

Características				Pérdidas			
ISIN	Moneda	Valor Facial (millones)	Duración (años)	Estimación actual		Estimación con curva del BCCR	
				(millones)	(%)	(millones)	(%)
CRG0000B9112	Colones	€89,665,250,000	4.13	€18,827,310,459.93	21 %	€20,417,342,677.18	23 %
CRG0000B8417	Colones	€81,944,700,000	3.70	€16,342,195,857.37	20 %	€17,646,592,140.45	22 %
CRG0000B9318	Colones	€71,534,700,000	2.52	€11,361,079,671.52	16 %	€12,118,775,252.74	17 %
CRG0000B5615	Colones	€55,188,750,000	3.20	€10,174,592,146.17	18 %	€10,928,247,737.54	20 %
CRG0000B45H0	Colones	€51,281,900,000	1.76	€6,281,833,962.66	12 %	€6,642,560,688.09	13 %
CRG0000B5919	Colones	€50,995,900,000	1.16	€4,456,757,898.61	9 %	€4,651,437,497.96	9 %
CRBCCR0B5145	Colones	€50,500,000,000	1.84	€6,392,572,783.07	13 %	€6,769,770,102.25	13 %
CRBCCR0B5145	Colones	€40,005,000,000	1.84	€5,064,056,914.59	13 %	€5,362,864,414.66	13 %
CRG0000B9318	Colones	€32,905,550,000	2.52	€5,226,031,215.41	16 %	€5,574,566,818.87	17 %
CRG0000B7819	Colones	€27,303,150,000	4.54	€5,954,225,139.79	22 %	€6,489,160,358.51	24 %

Fuente: Elaboración propia

En los cuadros 4 y 5 se presentan los resultados de las pruebas de tensión segmentados

Cuadro 5. Banco “X”, Principales resultados de las pruebas de tensión bajo el choque histórico, por ISIN y según curvas de rendimiento utilizadas para su cálculo (Dólares)

Características				Pérdidas			
ISIN	Moneda	Valor Facial (millones)	Duración (años)	Estimación actual		Estimación con curva del BCCR	
				(millones)	(%)	(millones)	(%)
CRG0000B5517	Dólares	\$128,184,000	3.59	\$15,603,955.14	12 %	\$17,634,388.79	14 %
CRG0000B2413	Dólares	\$83,967,000	1.67	\$5,923,544.08	7 %	\$6,549,635.81	8 %
USP3699PGB78	Dólares	\$67,824,000	1.10	\$2,447,341.87	4 %	\$2,459,970.19	4 %
CRG0000B8211	Dólares	\$66,500,000	1.41	\$4,123,032.41	6 %	\$4,516,934.57	7 %
CRG0000B2119	Dólares	\$43,143,000	0.64	\$1,333,117.90	3 %	\$1,427,307.21	3 %
CRG0000B2413	Dólares	\$25,561,000	1.67	\$1,803,228.77	7 %	\$1,993,821.87	8 %
CRG0000B5517	Dólares	\$18,925,000	3.59	\$2,303,757.50	12 %	\$2,603,529.36	14 %
CRG0000B91G6	Dólares	\$16,730,000	5.48	\$2,549,080.89	15 %	\$2,890,546.67	17 %
CRG0000B70G0	Dólares	\$15,365,000	3.96	\$1,983,507.56	13 %	\$2,243,518.14	15 %
CRG0000B2119	Dólares	\$15,230,000	0.64	\$470,606.72	3 %	\$503,856.68	3 %

Fuente: Elaboración propia

por ISIN¹¹. Estos resultados corresponden a las respuestas derivadas del choque histórico predefinido, como se detalla en 1. A partir de esta información, se ha clasificado y destacado a los 10 ISINs (en cada moneda) que reportan las pérdidas más significativas en valoración después de aplicar las pruebas de tensión.

La discrepancia observada entre las columnas de la metodología actual y la que utiliza la estimación de la curva soberana del BCCR se origina en la diferencia entre las metodologías adoptadas para estimar las curvas de rendimiento, que se utilizan en el cálculo. Estas metodologías ha sido descritas detalladamente en el apartado 3.

Los cuadros 4 y 5 muestran que las diferencias entre las pérdidas esperadas oscilan entre 1 y 3 puntos porcentuales al comparar una metodología con la otra y las pérdidas esperadas tienden a ser mayores cuando se utilizan las curvas de rendimiento calculadas por el BCCR.

Como resultado de este tipo de análisis se puede evaluar la severidad de los choques predefinidos en relación con los eventos observados en años recientes. Por ejemplo, encontramos que el choque histórico aplicado a colones generaría pérdidas que superarían hasta en un

¹¹International Securities Identification Number (ISIN) es un código único que identifica a nivel internacional un valor mobiliario. Este código es ampliamente reconocido y utilizado en mercados financieros globales, integrándose en los procesos de liquidación y custodia de los valores.

60 % la pérdida máxima registrada en algunos instrumentos durante la última década¹². Para los 10 instrumentos con mayor valor facial, las pérdidas resultantes del choque histórico son aproximadamente un 15 % superiores a las generadas en el escenario más adverso que se generó a partir de la muestra.

6. Conclusiones y recomendaciones

En este ejercicio se implementa satisfactoriamente la curva de rendimientos propuesta por el Banco Central en ambas monedas (dólares y colones) para realizar pruebas de tensión de riesgo de mercado. Esto permite utilizar una estimación de la curva de rendimientos que refleja de manera más adecuada el panorama económico local. Estas mejoras se deben principalmente a dos razones: (i) todos parámetros de las curvas (colones y dólares) son estimados para la economía costarricense, y, (ii) la curva en dólares es estimada con datos del mercado local, sin hacer uso de curvas de rendimiento internacionales como referencia. Durante este ejercicio se tuvo el cuidado de implementar, de manera paralela, la estimación con la metodología vigente. Esto permitió analizar las discrepancias entre ambos procedimientos. Se determinó que las diferencias pueden ser atribuidas a los diferentes conceptos utilizados al estimar cada una de las curvas de rendimiento.

Además, se ha implementado la curva en dólares de Costa Rica, con lo que se supera así la dependencia previa de la curva de rendimientos de los Estados Unidos. Esta adaptación propone un análisis que refleja de manera más certera el comportamiento de los rendimientos de los bonos emitidos en el mercado local en dólares..

Desde una perspectiva metodológica, se ha sugerido una estrategia novedosa que permite comparar los choques teóricos predefinidos con eventos adversos que efectivamente tuvieron lugar (en los datos). Esta propuesta facilita una contextualización y relativización de la intensidad de dichos choques basándose en evidencia empírica.

Además, al utilizar un portafolio ficticio, se ha ilustrado la aplicación de las pruebas de tensión de riesgo de mercado y la interpretación de los datos emergentes de esta nueva metodología. Este enfoque didáctico facilita el entendimiento y asimilación de las herramientas recientes, lo que amplía potencialmente el análisis a una diversidad mayor de portafolios.

¹²Se realizaron un total de 10,000 simulaciones con choque mensuales obtenidos de la muestra y se capturaron un total de 10000 diferentes escenarios y con ello variaciones del valor de la cartera de la institución.

Finalmente, con el objetivo de profundizar el análisis y otorgarle una visión holística, se recomienda ampliar los estudios a otros instrumentos financieros, en especial, aquellos vinculados a la renta variable. Estos instrumentos, dada su naturaleza y susceptibilidad a distintos factores, podrían enriquecer la comprensión de los riesgos que enfrentan las entidades financieras ante cambios en las condiciones económicas y financieras.

Referencias

- Alfaro, R. A. (2011). Affine Nelson–Siegel model. *Economics Letters*, 110(1), 1–3.
- Damodaran, A. (2023). Country Risk: Determinants, Measures and Implications–The 2023 Edition. *Measures and Implications–The*.
- Diebold, F. X., Rudebusch, G. D., y Aruoba, S. B. (2006). The macroeconomy and the yield curve: a dynamic latent factor approach. *Journal of econometrics*, 131(1-2), 309–338.
- Nelson, C. R. y Siegel, A. F. (1987). Parsimonious modeling of yield curves. *Journal of business*, 473–489.
- Segura-Rodriguez, C. y Ulate Sancho, C. (2022a). Metodología dinámica para el cálculo de la curva de rendimientos soberana en moneda nacional. *Banco Central de Costa Rica (BCCR). Nota Técnica NT-10-2022*.
- Segura-Rodriguez, C. y Ulate Sancho, C. (2022b). Una curva de rendimiento soberana en dólares: el uso de un enfoque dinámico. *Banco Central de Costa Rica (BCCR). Nota Técnica NT-06-2022*.
- Svensson, L. E. (1994). Estimating and interpreting forward interest rates: Sweden 1992-1994.