

**UNIVERSIDAD NACIONAL
SISTEMA DE ESTUDIOS DE POSGRADO
CENTRO INTERNACIONAL DE POLÍTICA ECONÓMICA
PARA EL DESARROLLO SOSTENIBLE
MAESTRÍA EN GESTIÓN Y FINANZAS PÚBLICAS
MGFP**

**GESTIÓN DE LA DEUDA: PROPUESTA DE UNA ESTRATEGIA DE
COLOCACIÓN DE MEDIANO PLAZO DE OPTIMIZACIÓN DE COSTO - RIESGO
PARA LA DEUDA DEL GOBIERNO CENTRAL DE COSTA RICA, 2022-2027.**

MARCO VINICIO VALERIO BERROCAL

**HEREDIA, COSTA RICA
NOVIEMBRE DEL 2022**

**Trabajo presentado para optar al grado de Magíster en Gestión y Finanzas
Públicas. Cumple con los requisitos establecidos por el Sistema de Estudios
de Posgrado de la Universidad Nacional. Heredia. Costa Rica.**

**GESTIÓN DE LA DEUDA:
PROPUESTA DE UNA ESTRATEGIA DE COLOCACIÓN DE MEDIANO PLAZO
DE OPTIMIZACIÓN DE COSTO - RIESGO PARA LA DEUDA DEL GOBIERNO
CENTRAL DE COSTA RICA, 2022-2027.**

MARCO VINICIO VALERIO BERROCAL

HOJA APROBACIÓN.

Este Trabajo Final de Graduación fue aprobado por el Tribunal Examinador como requisito para optar al grado de Máster en Gestión y Finanzas Públicas – CINPE – UNA

Ph.D. Olman Segura Bonilla
Coordinador del Posgrado

Ph.D. Mary Luz Moreno Díaz
Profesor del curso Seminario de Investigación Aplicada

M.Sc. Marco Otoya Chavarría
Lector No. 1

M.Sc. Michael Contreras Solera
Lector No. 2

Lic. Marco Vinicio Valerio Berrocal
Sustentante

Agradecimientos

Un agradecimiento especial a los profesores del CINPE, principalmente a Suyen Alonso, Keynor Ruiz, Mary Luz Moreno, Michael Contreras, y Marco Otoyá por sus aportes a este trabajo. También agradezco a Martha Cubillo y Julio Espinosa, los cuales confiaron en mi trabajo durante mis años en la Tesorería Nacional del Ministerio de Hacienda. A mi amigo y bibliotecólogo David Portillo por su ayuda con el formato, a mi cuñado Jairo Pérez por la revisión filológica del documento, y a mi esposa, ya que sin ella nada de esto sería posible.

Dedicatoria

A mi esposa Dra. Tatiana Pérez Ovares.

Contenido

| | |
|--|-----------|
| Agradecimientos..... | iii |
| Dedicatoria..... | iv |
| Índice de tablas..... | vi |
| Índice de figuras..... | vi |
| Resumen Ejecutivo..... | viii |
| Summary..... | ix |
| INTRODUCCIÓN..... | 1 |
| CAPÍTULO I. ANTECEDENTES Y JUSTIFICACIÓN..... | 4 |
| 1.1. Antecedentes..... | 4 |
| 1.2. Justificación del problema..... | 9 |
| 1.3. Problema..... | 11 |
| 1.4. Objetivos..... | 13 |
| CAPÍTULO II. MARCO TEÓRICO- METODOLÓGICO..... | 14 |
| 2.1. Marco Conceptual..... | 14 |
| 2.2 Marco metodológico..... | 28 |
| CAPÍTULO III. ANÁLISIS DE LA EVOLUCIÓN DE LA DEUDA DEL GOBIERNO CENTRAL DE COSTA RICA..... | 44 |
| CAPÍTULO IV. IDENTIFICACION DE LOS RIESGOS RELEVANTES DE LA DEUDA DEL GOBIERNO CENTRAL DE COSTA RICA..... | 57 |
| CAPÍTULO V. PROPUESTA DE UNA ESTRATEGIA ÓPTIMA DE COLOCACIÓN DE DEUDA DE MEDIANO PLAZO..... | 63 |
| 5.1. Modelo satélite y proyecciones macroeconómicas..... | 63 |
| 5.2. Calibración de condiciones iniciales de la simulación..... | 67 |
| 5.3. Resultados de estimaciones de la estrategia de mediano plazo..... | 76 |
| 5.4. Sensibilidad de la estrategia a escenarios macroeconómicos..... | 80 |
| CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES..... | 84 |
| Conclusiones..... | 84 |
| Recomendaciones..... | 87 |
| Referencias..... | 89 |
| Anexos..... | 95 |

| | | |
|----|--|-----|
| 1. | Programación de modelo satélite en RStudio | 95 |
| 2. | Programación de variables en niveles de en RStudio | 98 |
| 3. | Programación de función de simulación de costos en RStudio | 99 |
| 4. | Programación de modelo de optimización en RStudio | 101 |
| 5. | Proyecciones del modelo VECM..... | 109 |
| 6. | Escenario de reducción de 200pb sobre el saldo primario y su efecto en la estrategia. | 110 |

Índice de tablas

| | | |
|-----------------|--|----|
| Tabla 1 | Resumen Metodológico | 42 |
| Tabla 2 | Indicador de variabilidad y plazo promedio de vencimiento (junio 2022) | 52 |
| Tabla 3 | Matriz de varianzas y covarianzas de los costos de la deuda | 70 |
| Tabla 4 | Calibración de los costos iniciales según instrumento de deuda del Modelo de Simulación..... | 71 |
| Tabla 5 | Indicadores de costo y Maduración promedio para modelo calibrado y observado .. | 73 |
| Tabla 6 | Instrumentos y condiciones iniciales del saldo de la deuda para modelo calibrado .. | 74 |
| Tabla 7 | Saldo primario como porcentaje del PIB proyectado por el MH según el Proyecto de Presupuesto Nacional del 2022 | 75 |
| Tabla 8 | Resultado de optimización y efecto de cada objetivo sobre la Función de Pérdida .. | 78 |
| Tabla 9 | Efecto porcentual de cada objetivo sobre la Función de Pérdida..... | 79 |
| Tabla 10 | CeR para los escenarios estimados | 81 |
| Tabla 11 | Sensibilidad de la estrategia estimada a escenarios macroeconómicos adversos .. | 83 |

Índice de figuras

| | | |
|-----------------|---|----|
| Figura 1 | Gobierno Central de Costa Rica Deuda Pública como Proporción del PIB..... | 45 |
| Figura 2 | Deuda Pública del Gobierno Central de Costa Rica, Estructura del Saldo por Tipo de Instrumento..... | 46 |

| | |
|---|----|
| Figura 3 Deuda Pública del Gobierno Central de Costa Rica, Estructura del Saldo por Moneda..... | 47 |
| Figura 4 Deuda Pública del Gobierno Central de Costa Rica, Estructura del Saldo por Plazo de Vencimiento..... | 48 |
| Figura 5 Deuda Pública del Gobierno Central de Costa Rica, Estructura del Saldo por Plaza de colocación..... | 49 |
| Figura 6 Deuda Vencimientos de la Deuda Pública del Gobierno Central de Costa Rica..... | 50 |
| Figura 7 Costo promedio ponderado de la Deuda Pública del Gobierno Central de Costa Rica según Plaza de colocación | 51 |
| Figura 8 Variación Interanual del Índice de Actividad Económica Tendencia Ciclo | 53 |
| Figura 9 Variación Interanual del Índice de Precios al Consumidor..... | 54 |
| Figura 10 Tipo de Cambio colón-dólar, promedio de compraventa del índice de referencia .55 | |
| Figura 11 Tasa de Interés Promedio ponderado del Mercado Integrado de Liquidez..... | 55 |
| Figura 12 Resultado Financiero del Gobierno Central según Resultado Primario y Pago de Intereses..... | 56 |
| Figura 13 Proyección de variables del modelo satélite VECM | 66 |
| Figura 14 Comparación de vencimientos acumulados observados en el Perfil de la Deuda y condiciones iniciales calibradas para el modelo | 72 |
| Figura 15 Convergencia de la estrategia estimada por instrumento, según iteraciones del algoritmo de optimización | 76 |
| Figura 16 Estrategia de endeudamiento de Mediano Plazo Estimada para el Gobierno Central | 77 |
| Figura 17 Dinámica de las perturbaciones del modelo VECM en Puntos Porcentuales..... | 82 |

Resumen Ejecutivo

Los portafolios de deuda mal estructurados, ya sea en términos de vencimientos, monedas o tasas de interés, y los elevados niveles de pasivos contingentes, han sido factores importantes que han inducido o propagado las crisis económicas en muchos países a lo largo de la historia (FMI, 2020, p.111). El Ministerio de Hacienda (MH) no hace una optimización completa con función objetivo (apetito por riesgos) al estimar la estrategia por lo que existe un vacío técnico de información que lleva a sesgos de selección en la estrategia, siendo que los riesgos no cuantificados pueden llevar a vulnerabilidades.

La gestión de la deuda se define “como las operaciones de mercado llevadas a cabo por el gobierno con el objetivo de cambiar la composición del saldo de la deuda emitida” (Paalzow, 1992, p.8). Y atendiendo al Fondo Monetario Internacional (2014), el objetivo de la gestión de la deuda es: “asegurar las fuentes de financiamiento para las necesidades del gobierno y el cumplimiento de sus obligaciones de pago al menor costo posible en el mediano a largo plazo y en forma compatible con un nivel prudente de riesgo” (p.21).

De la investigación se logran identificar vulnerabilidades en la deuda, por lo que el MH deberá renegociar las condiciones de plazo y la tasa en el mercado bajo una coyuntura macroeconómica menos favorable para el emisor, y también las composiciones del portafolio de deuda, ya que la exposición a los riesgos del portafolio ha aumentado. Asimismo, producto de la investigación se logró calibrar una función de apetito al riesgo mediante la definición de los riesgos relevantes de la deuda, a partir de mejores prácticas internacionales para la elaboración de estrategias de endeudamiento de mediano plazo.

Mediante las simulaciones se logró estimar la estrategia de colocación de mediano plazo que, con respecto al apetito al riesgo, logra optimizar las métricas. La estrategia es: para instrumentos de cero cupones en 8%, para instrumentos tasa fija en 45%, en títulos tasa variable 13%, y 16% en instrumentos indexados. Se estimó que la posición en moneda extranjera debe ser 39% (superior a la Estrategia del MH). Como parte del ejercicio se logró determinar que la Estrategia del MH publicada para el 2022 no es consistente con el apetito al riesgo, y se infiere que el principal problema de la estrategia del MH es su corta duración.

Summary

Poorly structured debt portfolios, whether in terms of maturities, currencies or interest rates, and high levels of contingent liabilities have been important factors that have induced or propagated economic crises in many countries throughout history (IMF, 2020, p.111). The Ministry of Finance (MoF) does not make a complete optimization with an objective function (Appetite for risks), there is a technical information gap, and this leads to selection bias in the Strategy, unidentified risks can lead to vulnerabilities.

Public debt management is defined as “operations made by the government on the financial markets in order to change the composition of the outstanding public debt” (Paalzow, 1992, p.8). According to the International Monetary Fund (2014), the objective of debt management is "(...)to raise the required amount of funding at the lowest possible cost over the medium to long run, consistent with a prudent degree of risk.” (p.21).

From the investigation it was possible to identify vulnerabilities, namely, that the MoF will have to renegotiate the term conditions of the debt in the market, under a less favorable macroeconomic situation for the issuer and the exposure to the risks of the portfolio has been increased. As a result of the research, it was possible to calibrate a risk appetite function by defining the relevant risks of the debt, based on the best international practices for the development of medium-term debt strategies.

Throughout the simulations, we estimate that the medium-term strategy, with respect to risk appetite, manages to optimize the metrics. The strategy is: for zero coupon instruments at 8%, for fixed rate instruments at 45%, for variable rate securities 13%, and 16% for indexed instruments. It was estimated that the foreign currency position should be 39%, higher than the MoF Strategy proposed. As part of the results, it was determined that the Ministry of Finance Strategy published for 2022 is not consistent with risk appetite, and it is inferred that the main problem with the Ministry of Finance Strategy is its short duration.

INTRODUCCIÓN

En este documento se propone una estrategia de colocación de mediano plazo para la deuda del Gobierno Central para el periodo de proyección 2022-2027, pues es un elemento fundamental de la Gestión de la Deuda.

La estrategia de colocación, es aquella que logre minimizar una función de pérdida que se construye a partir de un promedio ponderado de las desviaciones de los objetivos de mediano plazo sobre la exposición a riesgos de la deuda. La Política de Endeudamiento Público del Ministerio de Hacienda (2022), la Estrategia de Deuda de Mediano Plazo para Gobierno Central (2022) y (2020) publicada por el Ministerio de Hacienda (MH), muestran un ejercicio limitado al riesgo de tasas de interés, y con una estimación de la frontera eficiente de estrategias que no se ajusta a la información presentada¹. Debido a que no incluye entre los elementos de análisis el riesgo cambiario, el riesgo de refinanciamiento, u otros riesgos como la duración; solo se incluye “el gasto de intereses ajustado por revaloración de los saldos y la deuda como porcentaje del PIB” (Ministerio de Hacienda, 2020, p.12) como medida de costo y por riesgo utiliza la volatilidad de este gasto en intereses, situación que se mantiene en la estrategia publicada en el 2022.

La metodología presentada en este Trabajo Final de Graduación del Posgrado de Gestión y Finanzas Públicas, representa una propuesta a las limitaciones detectadas en el ejercicio de estimación de la Estrategia del Ministerio de Hacienda, ya que como se mencionó, el Ministerio de Hacienda no hace una optimización completa con función objetivo que incluya diversos riesgos y métricas, por lo que existe un vacío técnico de información, y esto lleva a sesgos de selección o inestabilidad temporal de la selección al no existir una regla definida de optimización. La estrategia presentada en este documento deriva de un modelo de optimización de costo - riesgo que

¹ Lo anterior a pesar de que el objetivo del Ministerio de Hacienda es el mismo indicado por el FMI (2014).

completa los vacíos presentados por el ejercicio realizado por el Ministerio de Hacienda.

El escenario macroeconómico previsto para el próximo quinquenio es menos favorable y obliga a una gestión de la deuda precisa. Entonces, todo lo anterior representa un reto, ya que el costo de la deuda del Gobierno Central de Costa Rica tiene riesgos al alza importantes, pues el costo promedio de la deuda pública es de 9.3%, y el pago de intereses representan un 4.8% del PIB al cierre del 2021, según la información publicada por el Ministerio de Hacienda. Dados los datos anteriores, el objetivo de esta investigación se centra en la elaboración de un modelo de optimización de costo – riesgo que incluya los riesgos relevantes para la gestión de la deuda pública de Costa Rica, y que permita incorporar la evolución reciente de la deuda, sus riesgos y dar como resultado la estrategia de colocación de mediano plazo óptima.

El presente trabajo se divide en seis capítulos, que se describen a continuación:

El capítulo 1 incluye los antecedentes, justificación, problema y objetivos del Trabajo Final de Graduación.

El capítulo 2, muestra el Marco Teórico y Metodológico de la investigación que son la base para el análisis de los resultados.

En el capítulo 3, de análisis de resultados, se describe la evolución de la deuda del Gobierno Central de Costa Rica: su perfil, composición, vulnerabilidades, indicadores de gestión de la deuda y contexto macroeconómico del 2001 al 2021, y algunas perspectivas de la coyuntura del 2022.

En el capítulo 4, se describen los riesgos relevantes de la deuda, a partir de mejores prácticas internacionales, para la elaboración de estrategias de endeudamiento de mediano plazo, y se define la función objetivo que será utilizada para el proceso de optimización del capítulo 3.

En el capítulo 5 se calibra el modelo de simulación, se presenta las condiciones iniciales de los parámetros y se propone la estrategia de colocación de deuda de mediano plazo mediante un modelo de optimización del costo - riesgo para la deuda

pública de Costa Rica, para el periodo de proyección 2021-2027, se comparan estos resultados con los de la estrategia actual del Ministerio de Hacienda, y se realizan simulaciones de diversos escenarios.

El capítulo 6 presenta las conclusiones y recomendaciones del Trabajo Final de Graduación.

CAPÍTULO I. ANTECEDENTES Y JUSTIFICACIÓN

1.1. Antecedentes

La gestión de la deuda puede definirse como “las operaciones de mercado llevadas a cabo por el gobierno con el objetivo de cambiar la composición del saldo de la deuda emitida” (Paalzow, 1992, p.8). La idea fundamental detrás de la gestión de la deuda es que pueda ser utilizada como un instrumento de política económica, al funcionar como una referencia de la estructura de plazos de la economía y al financiar la operación del Estado.

Al respecto y considerando las directrices de gestión de la deuda del Banco Mundial (BM) y del Fondo Monetario Internacional (2014), el objetivo de la gestión de la deuda es “asegurar las fuentes de financiamiento para las necesidades del gobierno y el cumplimiento de sus obligaciones de pago al menor costo posible en el mediano o largo plazo y en forma compatible con un nivel prudente de riesgo” (p.21).

De este objetivo de la gestión de la deuda se desprenden tres elementos fundamentales:

- Cubrir las necesidades del gobierno: para un gobierno el acceso a financiamiento será necesario, debido a que los impuestos y los gastos no ocurren en momentos temporales idénticos, es decir, para garantizar la operación del Estado se deben emitir instrumentos de deuda.
- Recurrir al menor costo posible: esto está limitado a ciertos factores de mercado, como el plazo y el riesgo.
- Los riesgos de refinanciamiento: la deuda emitida tiene un perfil que debe ser administrado por lo que no se deben incurrir en riesgos elevados.

A nivel macroeconómico en Costa Rica, Soto (2018) indica que “variables como el crecimiento real, inflación interanual y tasa básica pasiva han determinado el sendero de la deuda del Gobierno Central hasta el 2007” (p.16), pero para el periodo del 2008 al 2018, el anterior autor indica que acciones deliberadas de política económica: como el plan Escudo propuesto por el gobierno aumentaron el gasto

corriente, esto en elementos del gasto que son persistentes como salarios e incentivos, lo que provocó que la deuda aumentara. Cabe resaltar que Soto (2018) menciona que los elementos de mercado pueden tener un efecto agravante y producir un aumento acelerado de la deuda si las condiciones de los mercados no favorecen al costo, ya que la deuda es un saldo dinámico que tiene factores de acumulación como los intereses, que se pagan con nueva deuda.

En el caso de Costa Rica, la tendencia del saldo de la deuda pública fue un factor determinante para que el país aprobara una reforma fiscal que empezó a regir en mayor parte en junio de 2019; pero las medidas de restricción de la pandemia sobre la producción deterioraron la recaudación tributaria; al mismo tiempo que aumentó las demandas sobre el gasto. Según Villamichel (2021): “en el 2020, el déficit fiscal fue de 8% del PIB, mientras que la deuda pública alcanzó el 67%” (p.3).

Ante esta situación, un factor relacionado con la tendencia al alza de la deuda es su sostenibilidad, ya que la deuda no puede crecer indefinidamente sin llegar a ser considerada en algún punto como insostenible. La deuda pública de un país se considera sostenible si el gobierno puede cumplir con todas las obligaciones de pago. La tendencia creciente de la deuda de Costa Rica, y las preocupaciones de la insostenibilidad de la deuda, llevaron al país a aprobar una reforma fiscal (Ley 9635) en diciembre del 2018, que entró a regir hasta junio 2019 en la mayoría de sus incisos.

El tema de la sostenibilidad también guarda relación con la gestión de la deuda, ya que una deuda mal gestionada puede llevar al gobierno a no cumplir con sus obligaciones de pago. La deuda emitida y por emitirse también guarda una relación muy estrecha con la macroeconomía, ya que depende de las tasas de interés del mercado. Adicionalmente, la relación entre política monetaria y la emisión de la deuda pública es fundamental y, aunque el panorama de políticas monetarias de bajas tasas de interés permitió al país lograr mantener el pago de su deuda, la disponibilidad de créditos baratos por parte de organismos internacionales no

persistirá en el tiempo, pues a nivel internacional las tasas de interés tienden a aumentar.

Aunque los cambios vistos por medio de la reforma fiscal y la política monetaria durante la pandemia lograron mejorar algunos indicadores de la deuda como su costo promedio, “la evidencia no permite argumentar de una mejora clara y notable de las condiciones de las cuentas fiscales” (Villamichel, 2021, p.26), lo que quiere decir que la mejora es producto de la coyuntura económica y no de cambios estructurales en el manejo de deuda.

Debido que el objetivo final de la gestión de la deuda soberana es minimizar el costo de la deuda a largo plazo, y dada la disyuntiva entre el costo del servicio de la deuda y el riesgo, para lograr una mejor gestión de la deuda pública por parte de los administradores de ésta, se hace relevante generar instrumentos de medición de los riesgos subyacentes en el portafolio, para una elección insesgada de las estrategias de endeudamiento del gobierno (FMI, 2014). La selección será insesgada en tanto existe una función de optimización que funciona como regla que refleja los apetitos a los riesgos de la deuda, y es una regla cuantitativa o función de optimización objetivo.

Por su parte, Claessens et al. (1995), plantean que el establecer un portafolio de referencia de la deuda soberana es equivalente a encontrar una solución óptima al problema estocástico dinámico, dados los procesos aleatorios de variables exógenas, como los tipos de cambio y las tasas de interés. Este enfoque también es análogo a encontrar una cartera de activos óptima en las teorías de inversión, según lo desarrollado por Markowitz (1952) y ampliado por numerosos autores, incluidos Merton (1971) y Breeden (1979).

Tradicionalmente, el indicador central en la gestión del riesgo de la deuda del gobierno es la duración. Sin embargo, Hahm y Kim (2002) indican que el valor de mercado de la deuda no tiene mucha relevancia para un emisor, por lo tanto, para

la cartera de deuda del gobierno central lo más apropiado es “evaluar el costo relacionado con la deuda y su posible fluctuación ante perturbaciones macroeconómicas” (p.9). Adicionalmente, en relación con la duración de la deuda de gobierno lo importante es evaluar este indicador desde el punto de vista del plazo promedio restante al vencimiento, ya que, en promedio, cuanto mayor sea la duración, menores serán los vencimientos de la deuda del gobierno central en el corto plazo, lo que significa que las fluctuaciones de las tasas de interés van a tener un impacto más lento en el servicio de la deuda.

Grill y Östberg (2003) mencionan que para evaluar la correlación entre los costos y el riesgo se debe utilizar un indicador que exprese el efecto de las fluctuaciones de los tipos de interés en el pago por intereses de la deuda. Este indicador de riesgo se denomina "Costo en riesgo" (CeR) y expresa el aumento máximo esperado en los costos anuales de la Deuda del Gobierno Central con una probabilidad dada durante un período de tiempo dado.

Asimismo, para Hahm y Kim (2002), lo ideal es optimizar ambas medidas el CeR y la duración. Por otra parte, el portafolio de referencia es aquel que logre minimizar una función de pérdida que se construye a partir de un promedio ponderado de las desviaciones de los objetivos de mediano plazo de 1) minimizar el riesgo y 2) lograr el objetivo de duración del portafolio. El portafolio de óptimo elegido funciona como un punto de referencia contra el cual el portafolio actual de la deuda y los planes de endeudamiento pueden ser evaluados, por lo que agrega la duración como objetivo adicional de la gestión de la deuda, y va más allá del análisis de solo el costo y el riesgo del portafolio.

La Política de Endeudamiento Público del Ministerio de Hacienda (2020), menciona que “...la estrategia de endeudamiento público ... se concentrará en gestionar el portafolio de deuda del Gobierno conforme al objetivo de esta política de endeudamiento, logrando la captación de recursos al menor costo posible y dentro

de un nivel prudente de riesgo” (p.7), lo que es coherente con el objetivo delimitado por el FMI.

La Estrategia de Deuda de Mediano Plazo para Gobierno Central (2022) y (2020) publicada por el Ministerio de Hacienda muestra un ejercicio limitado al riesgo de tasas de interés, y con una estimación de la frontera eficiente de estrategias que no se ajusta a la información presentada. No incluye entre los elementos de análisis el riesgo cambiario, el riesgo de refinanciamiento, u otros riesgos como la duración. Solo se incluye “el gasto de intereses ajustado por revaloración de los saldos y la deuda como porcentaje del PIB” (Ministerio de Hacienda, 2020, p.12) como medida de costo y por riesgo utiliza la volatilidad de este gasto en intereses, situación que se mantiene en la estrategia de deuda publicada para el 2022 (Ministerio de Hacienda, 2022).

Luego de revisar el ejercicio actualizado en el 2022 del Ministerio de Hacienda, se detecta que este ejercicio utiliza la hoja de cálculo del MTDS (Medium-Term Debt Management Strategy: Analytical Tool Manual) del FMI, pero es importante mencionar que este modelo sigue limitado a los temas expuestos, ya que el Modelo del FMI es genérico y simple y está limitado en el flujo de caja anual. El FMI menciona que:

“Si bien este supuesto es suficiente para analizar estrategias alternativas de gestión de la deuda, en algunos casos, especialmente en países que dependen en gran medida de valores a corto plazo con vencimientos inferiores a un año, sería útil trabajar con flujos de efectivo con mayor frecuencia” (2022, p.32).

Por lo que reconoce que el modelo es un punto de partida y no una imposición a aplicar, y se permite a los países ir más allá con respecto a sus capacidades técnicas. Ante esta situación, el propósito de esta investigación busca proponer una estrategia de colocación de mediano plazo que sea producto de un modelo de optimización del costo y el riesgo de la deuda que capture todos los riesgos relevantes.

1.2. Justificación del problema

Diferentes diagnósticos mencionan que “el país aún mantiene debilidades estructurales en sus finanzas públicas y en la gestión de la deuda” (Villamichel, 2021, p.3). Incluso en la revisión de los instrumentos de definición de estrategia del Ministerio de Hacienda se indica que el instrumento queda corto para analizar riesgos adicionales de la gestión de deuda y se limita al gasto en intereses.

Soto (2018) menciona que durante los últimos años de análisis el gobierno ha asumido mayores riesgos cambiarios, de tasa y refinanciamiento, por lo que la gestión de la deuda cobra una mayor relevancia para mitigar estos riesgos. Para ello, deben incluirse estos riesgos en el análisis de la estrategia de endeudamiento y debe indicarse cuál es la función para optimizar por parte del gobierno en consecución de sus objetivos de gestión de la deuda, ya que el ejercicio del Ministerio de Hacienda solo tiene los escenarios de colocación y no sus criterios de optimización. Lo que genera un vacío en la metodología utilizada por el Ministerio de Hacienda.

El informe de fiscalización DFOE-SAF-IF-00024-2020 de la Contraloría General de la República de Costa Rica (CGR, 2020) menciona que:

La definición de una EDMP oficializada, es de gran utilidad para un país en la gestión del endeudamiento que conlleve a la búsqueda del equilibrio entre el costo de financiamiento en el mercado nacional e internacional y la exposición al riesgo del portafolio de deuda; lo anterior, orientado al análisis para obtener financiamiento a costos más bajos, manteniendo niveles aceptables de riesgo en una coyuntura fiscal deficitaria como la que vive Costa Rica actualmente (Contraloría General de la República, 2020, p.23).

Lo anterior implica que la estrategia de mediano plazo no está oficializada. Para el mejoramiento en materia de gestión de la deuda se mantienen pendientes incluir

riesgos adicionales al análisis y utilizar un modelo de optimización robusto para estimar la frontera de eficiencia de costo - riesgo. Así, queda pendiente, en el cálculo del Ministerio de Hacienda, definir una función de decisión que permita contrarrestar con la frontera de eficiencia y definir una estrategia óptima.

En sí, el ejercicio del MH está incompleto ya que incluye los escenarios de costo y riesgo, pero la selección del escenario óptimo no es técnica y no se detalla en los documentos oficiales. Esto puede causar que la selección esté sesgada hacia una postura acomodaticia que busque mantener la estructura del saldo de la deuda en el *status quo* sin que esto sea necesariamente ideal desde el punto de vista técnico, lo que acentúa el vacío de información antes mencionado.

El programa macroeconómico 2022-2023 del Banco Central de Costa Rica (2022) hace explícito algunos elementos que indican un panorama macroeconómico menos favorable para el costo de la deuda. Se proyectan mayores tasas de interés locales e internacionales, mayor inflación y restricciones al crecimiento. Lo anterior es una situación crítica para la deuda la cual puede materializar riesgos de sostenibilidad asociados al costo.

Dado los anteriores argumentos, la presente investigación se justifica por las siguientes razones:

- El Ministerio de Hacienda no hace una optimización completa con función objetivo, por lo que existe un vacío técnico de información, y esto lleva a sesgos de selección o inestabilidad temporal de la selección al no existir una regla definida de optimización.
- La Contraloría General de la República señala que la Estrategia de Colocación no se encuentra debidamente oficializada y completa.
- El escenario macroeconómico previsto es menos favorable y obliga a una gestión de la deuda precisa.

- El ejercicio de optimización propuesto interioriza una mayor cantidad de riesgos de la deuda, y no solo el riesgo de tasas de interés como lo expuesto por el Ministerio de Hacienda (2022).

En este documento se propone un modelo de optimización de costo en riesgo para el Gobierno de Costa Rica, el cual permita incluir los riesgos de la deuda, los criterios de las variables a optimizar, así como proyectar los resultados de la deuda que se desprenden del escenario estimado. El principal aporte es de carácter práctico - metodológico, porque se podrá contar con un instrumento robusto que permita analizar de manera integral los diversos riesgos de la gestión de la deuda, y que permita administrar las vulnerabilidades de la gestión de la deuda durante el periodo 2022-2027.

1.3. Problema

Los portafolios de deuda mal estructurados, ya sea en términos de vencimientos, monedas o tasas de interés, y los elevados niveles de pasivos contingentes, han sido factores importantes que han inducido o propagado las crisis económicas en muchos países a lo largo de la historia (FMI, 2020, p.111). Los riesgos no cuantificados pueden llevar a vulnerabilidades.

La carga de interés aún representa una gran proporción del déficit financiero debido a que la razón de la deuda con respecto al PIB es alta en comparación al límite natural de la deuda del 50% (Chaverri, 2017), lo que se espera que genere un mayor riesgo de refinanciamiento a medida que los inversionistas reducen la duración de sus portafolios.

Adicionalmente, la Bolsa Nacional de Valores (BNV) en su Plan de Desarrollo del Mercado indica la necesidad de “promover la mayor liquidez, profundidad, transparencia y formación de precios de mercado” (2012, p.11). En grandes términos, el plan menciona que problemas de formación de precios causados por las emisiones y las operaciones de deuda Over The Counter (OTC) genera

distorsiones al mercado, y las fragmentaciones en muchas emisiones de deuda reducen la liquidez del mercado.

El FMI (2018) ha indicado que “la formación de precios en el mercado primario es cada vez más débil y el mercado carece de transparencia” (p.27). Los bonos son vendidos muy frecuentemente en el mercado primario, lo que no incentiva la competencia y no desarrolla la actividad en el mercado secundario. Así, la baja liquidez de los bonos genera un mayor costo para las emisiones del gobierno.

Diversos modelos macroeconómicos resaltan la relación entre tasas de interés en su forma de bonos corporativos y el rol en la operación de las empresas. En este punto, la curva de rendimiento del gobierno (representación del costo de la deuda emitida según el plazo), es una referencia para el financiamiento de operaciones productivas que utilizan crédito en una economía de mercado. Gray (1997) menciona que la curva de rendimiento es “la frase que se usa para describir el patrón de las tasas de interés para diferentes plazos de vencimiento. La forma de la curva de rendimiento provee una indicación de las expectativas del mercado para las futuras tasas de interés” (p.6), por lo que una correcta gestión de la deuda permite que los mercados reflejen información importante sobre el ciclo económico.

El costo de la deuda del Gobierno Central de Costa Rica tiene riesgos al alza importantes, el costo promedio de la deuda pública es de 9.3%, y el pago de intereses representan un 4.8% del PIB al cierre del 2021. Con respecto a algunos riesgos, la deuda tiene una madurez promedio de 7.09 años. El 8.9% de la deuda vence a menos de un año, el 39.8% de la deuda se encuentra emitida en moneda extranjera, y el 25.1% de la deuda emitida está en títulos de tasa variable al cierre del 2021, todo esto según los datos publicados por el Ministerio de Hacienda.

Dados los datos anteriores, la principal inquietud de esta investigación se centra en la elaboración de un modelo de optimización de costo – riesgo que incluya los riesgos relevantes para gestión de la deuda pública de Costa Rica, y que permite

incorporar la evolución reciente de la deuda, sus riesgos y dar como resultado la estrategia de colocación de mediano plazo óptima.

1.4. Objetivos

Objetivo General

Elaborar un modelo de optimización de costo – riesgo que incluya los riesgos relevantes para gestión de la deuda pública de Costa Rica.

Objetivos Específicos

1. Describir la evolución de la deuda del Gobierno Central de Costa Rica considerando su perfil, composición, vulnerabilidades, indicadores de gestión de la deuda y contexto macroeconómico del 2001 al 2021.
2. Definir los riesgos relevantes de la deuda, a partir de mejores prácticas internacionales, para la elaboración de estrategias de endeudamiento de mediano plazo.
3. Proponer una estrategia de colocación de deuda de mediano plazo mediante un modelo de optimización del costo - riesgo para la deuda pública de Costa Rica para el periodo de proyección 2022-2027.

CAPÍTULO II. MARCO TEÓRICO- METODOLÓGICO

2.1. Marco Conceptual

En este apartado se presenta la función de la deuda pública dentro de la economía y su dinámica generadora. Después de ello se presentan las mejores prácticas en gestión de la deuda, y lo que esto representa en términos de gestión de riesgos de la deuda pública y su medición.

Comparando lo anterior con los costos e instrumentos de colocación existentes en Costa Rica, se obtiene la combinación del costo riesgo de cada una de las estrategias y se explica en qué consiste el Costo en Riesgo, además se describen algunos mecanismos de gestión de la deuda como las operaciones de gestión de pasivos. Finalmente, se definirá la estrategia de colocación y su función en el modelo de optimización.

2.1.1 Función de la deuda pública dentro de la economía y su dinámica

La deuda pública hace referencia a “los pasivos acumulados y los compromisos adquiridos por un gobierno soberano por las colocaciones de deuda” (FMI, 2001, p. 407). Esta acumulación de pasivos ocurre debido a que el gobierno incurre en un déficit y debe financiar su operativa. Para ello hace uso del ahorro de la economía generando un efecto denominado “estrujamiento”.

Desde el punto de vista de Frankel (1983), el efecto “estrujamiento” ocurre en los mercados de negociación de instrumentos de deuda donde participan Bancos Comerciales, Financieras, Cooperativas, Puestos de Bolsa, con el fin de captar recursos y financiar sus actividades. En el enfoque de Frankel, el gobierno es un competidor y se enfrenta a todos estos agentes. En un mercado de deuda competitivo, la necesidad de financiamiento de un gobierno deficitario presionará al alza las tasas de interés del mercado financiero, y luego este incremento se propagará a la economía real reduciendo la inversión. Desde este punto de vista, entender la dinámica de la deuda y su gestión es imperativo ya que tiene efectos sobre el equilibrio macroeconómico.

La deuda es un saldo, y es afectada por sus flujos creadores y reductores de la deuda. La versión más sencilla de la ecuación de la dinámica de la deuda es presentada por Talvi y Végh (1998) y utilizada en el ámbito costarricense por Espinosa y Valerio (2014), los cuales indican que la deuda del PIB puede expresarse en términos del déficit primario, la tasa de interés real y el crecimiento de la economía (p.76). La ecuación de dinámica de la deuda se puede expresar como:

$$d_t = (1 + r_t - \gamma_t)d_{t+1} - (t_t - g_t) \quad (1)$$

Donde:

d_t : Ratio de deuda madura como porcentaje del PIB nominal

d_{t+1} : Ratio de la deuda pública emitida en t con fecha de maduración t+1 como porcentaje del PIB nominal

r_t : La tasa de interés real de la deuda pública

γ_t : Tasa de crecimiento del PIB a largo plazo

t_t : Ratio de ingreso público al PIB nominal

g_t : Ratio del gasto público excluyendo pago de intereses al PIB nominal

t: periodo.

Esta ecuación permite analizar que la deuda al PIB en cada nuevo período va a ser el resultado de: la deuda ya emitida, su tasa de interés, así como el crecimiento de la economía, menos el resultado primario. Considerando que la economía de Costa Rica puede emitir deuda en “colones, dólares y Unidades de Desarrollo” la ecuación de dinámica de la deuda ha sido reescrita por el Ministerio de Hacienda (Vindas, 2014, p.6). Y para este modelo se desagregarán los resultados para tener información de análisis según cada instrumento de endeudamiento.

De ese modo la ecuación de dinámica de la deuda para incorporar la estrategia requiere que la necesidad de financiamiento en el período t, lleve a un cambio en el

saldo de la deuda total para financiar el déficit primario, los pagos por intereses de la deuda pública, y los vencimientos de deuda. Lo que se representa con la ecuación²:

$$D_{t+1} = \sum_{i=1}^I NF_t * E_i + (D_t - Venc_t) \quad (2)$$

Dónde:

E_i : es la estrategia de financiamiento para la nueva deuda para cada instrumento i .

NF_t : son las necesidades de financiamiento.

D_t : es el saldo de la deuda.

$Venc_t$: son los vencimientos del periodo.

t : periodo.

Esta ecuación permite analizar cómo la deuda de cada nuevo período va a ser el resultado de la deuda ya emitida, su tasa de interés, los vencimientos, el resultado primario, y la estrategia de colocación de la nueva deuda. La estrategia es fundamental ya que cambia la composición de la deuda y los costos y riesgos de esta.

Por último, el costo de la deuda será definido por la fórmula

$$Pint_t = D_{t-1}r_t \quad (3)$$

Donde:

$Pint_t$: es el pago de intereses de la deuda para un periodo.

D_{t-1} : es el saldo de la deuda contratada en el periodo anterior.

r : corresponde al costo promedio (o tasa implícita) de la deuda.

t : periodo.

² Se escribe en mayúsculas ya que corresponden a saldos nominales y no como ratio al PIB como en la ecuación 1.

2.1.2 Mejores prácticas en gestión de la deuda

Establecer los objetivos de la gestión de la deuda con las mejores prácticas internacionales inicia con establecer un manejo prudente del costo y el riesgo de la deuda. Wheeler (2004) indica que las “mejores prácticas” de la gestión de la deuda pública, como mínimo, deberían incluir una estrategia de gestión de la deuda pública, abarcando todas las obligaciones de deuda en moneda nacional y extranjera del gobierno central.

Esto implica el establecimiento de objetivos de gestión fundamentados en las “mejores prácticas”, que se vean acompañados por una estrategia de manejo de costo y riesgo, asegurándose de que todas las transacciones realizadas en el portafolio de la deuda sean consistentes con la estrategia de mediano plazo y sean ejecutadas de la manera más eficiente. Y por último el autor menciona que deben existir procedimientos para reportar las desviaciones de la estrategia y definir responsables.

La gestión de la deuda es importante por diversas razones: en primer lugar, la deuda del gobierno suele ser la cartera financiera más grande de un país, por lo que representa un riesgo para la estabilidad financiera; en segundo lugar, las estructuras incluidas en los portafolios son complejas y de alto riesgo ya que pueden incluir instrumentos de deuda sofisticados. Wheeler (2004) indica que históricamente las estructuras riesgosas de la deuda caracterizadas por montos altos de corto plazo, con instrumentos denominados en tasa variable o indexados, así como instrumentos denominados en moneda extranjera, han sido fuertes factores para crisis financieras.

Una estrategia de gestión de la deuda busca la composición de monedas y tasas de interés apropiada para reducir la exposición a esos riesgos. Sobre esto también es importante mencionar que “Los altos costos de la deuda pueden reducir los

recursos para otras prioridades del gobierno, no debería ser normal que el gasto en deuda supere el presupuesto de salud o educación” (Wheeler, 2004, p. 6).

Por otra parte, el FMI (2001) determina que el financiamiento del gobierno debe ser orientado al mercado, para mantener los principios de la competencia y credibilidad ante los inversionistas. Un fundamento de la gestión de la deuda es la estrategia de mediano plazo, la estrategia debe evaluarse y ser discutida con los participantes del mercado. Un consenso debe ser alcanzado que ayude a reducir la presión política para un enfoque a corto plazo y, por lo tanto, la gestión de la deuda y una estrategia clara debe mantener la disciplina de la gestión.

Las “mejores prácticas” de gestión de la deuda del FMI (2001) indican que la gestión debe tener un objetivo claro el cual el Fondo Monetario Internacional define como: “asegurar las fuentes de financiamiento para las necesidades del gobierno y el cumplimiento de sus obligaciones de pago al menor costo posible en el mediano a largo plazo y en forma compatible con un nivel prudente de riesgo” (2014, p. 21). La gestión requiere un manejo prudente de riesgos, por lo que indica un proceso de reflexión, de identificar los riesgos y medirlos. Adicionalmente requiere un marco institucional robusto que defina el espacio de la coordinación política, lo cual se abordará a continuación.

2.1.3. Riesgos de la deuda de pública y su medición

Un riesgo se define como el “efecto de la incertidumbre sobre los objetivos” ISO 31000. Es decir, son las pérdidas asociadas a la ocurrencia de una desviación respecto a lo previsto. Por tanto, el riesgo se asocia a dos términos: a la probabilidad y la exposición.

Un concepto indispensable para la gestión o medición de riesgos es el de “apetito al riesgo”. Deloitte (2018) lo define como el rango donde el riesgo está dentro de los límites aceptados. También se puede definir como la exposición de riesgo que la organización está dispuesta a asumir para conseguir sus objetivos según la

definición de la norma ISO 31000. Por tanto, una institución debe realizar su propio manejo de los riesgos definiendo cuáles son los riesgos relevantes o que tienen una afectación sobre la gestión y son identificados para su control y evaluación; considerando de esta forma los límites aceptados.

Siguiendo el manual del FMI (2001), el manejo prudente de riesgos requiere identificar los riesgos que se enfrenta la deuda pública son:

- El riesgo de tasas de interés: se define como las posibles fluctuaciones en el costo de mantener el saldo de la deuda ante cambios en las condiciones de los rendimientos de mercado. Los cambios en los rendimientos serán afectados por las variaciones del precio y el cupón de las emisiones. La exposición a este riesgo varía según el tipo de instrumento, por ejemplo, los instrumentos de tasa fija tienen un menor riesgo ya que sus condiciones quedan pactadas en el momento de la emisión, los instrumentos indexados y tasa variable tienen un mayor riesgo. La exposición del portafolio será la proporción de la deuda denominada en los instrumentos en tasa variable, por otra parte, la probabilidad de una variación será parte del riesgo.
- El riesgo de tipo de cambio hace referencia al costo adicional de una fluctuación del tipo de cambio hacia la depreciación, y esto es importante ya que el gobierno central es deudor en moneda extranjera y no tiene suficientes ingresos en esta moneda, por lo que recurre al mercado cambiario. La exposición a este riesgo será el porcentaje de la deuda en moneda extranjera, y la probabilidad de una modificación será parte del riesgo.
- El riesgo de inflación, los instrumentos Unidades de Desarrollo (UDES) se encuentran indexados a la inflación. Por lo que un incremento en el IPC encarece los cupones de los instrumentos denominados en esta unidad. La exposición al riesgo será la proporción de la deuda en UDES, y la probabilidad de inflaciones altas será parte de este riesgo.

- El riesgo de refinanciamiento se relaciona con la cantidad de vencimientos que enfrenta el gobierno, si los vencimientos son altos y el mercado no tiene recursos, el gobierno puede caer en impago lo que aumenta su costo de captación, o bien puede presionar los precios a la baja a la hora de ofrecer más bonos. Generalmente este riesgo se mide con la proporción de vencimientos a menos de un año.
- El riesgo de crédito está relacionado con la gestión de activos del gobierno, por ejemplo, una gestión de flujo de caja activa permite al estado gestionar su caja como un banco y por lo tanto puede realizar inversiones de sus excedentes de caja, el riesgo de crédito se materializa cuando se comete un impago.
- Riesgos de pasivos contingentes: son erogaciones de recursos por causa de un default de un emisor con garantía del estado, las empresas públicas podrían tener emisiones garantizadas, que, de, no ser pagas, le corresponderá al gobierno cumplir con los compromisos, lo que implica un gasto adicional para el gobierno.
- Riesgos operativos: son riesgos o errores internos de la gestión que pueden causar pérdidas al gobierno o aumentar el costo de la deuda, vía mayores necesidades de financiamiento.
- Riesgo contraparte: es la pérdida potencial por el incumplimiento de una contraparte lo que lleva a un default, esto puede causar riesgos de liquidez. Un ejemplo de este riesgo es una situación en donde las colocaciones asignadas en una subasta no liquiden por un fallo de la contraparte.
- Riesgo de liquidez: este tiene una relación importante con el riesgo de refinanciamiento ya que hace referencia al flujo de caja, pero en este caso el

riesgo es el de incumplir los pagos determinados por la ley de presupuesto. En este caso el gobierno puede verse en dificultades de captar recursos de corto plazo. Las necesidades de financiamiento guardan una relación muy estrecha con el riesgo de liquidez, ya que las necesidades de financiamiento altas son un ya que unas necesidades de financiamiento altas pueden materializar los riesgos anteriores, sin un mecanismo de acceso a mercados internacionales (FMI, 2020, p.106).

Al igual, el manejo del flujo de caja y los mecanismos de gestión de liquidez son necesarios para suavizar los requerimientos de liquidez. Las nuevas necesidades de financiamiento se presentan de la siguiente forma:

$$NF_t = sp_t + r_t D_{t-1} + Venc_t \quad (4)$$

Dónde:

NF_t : necesidades de financiamiento del gobierno central t.

sp_t : déficit primario en el período t.

$r_t D_{t-1}$: los pagos de intereses correspondientes a la deuda pública.

$Venc_t$ vencimientos del stock de deuda.

t: periodo.

Por lo que el pago de intereses depende del tamaño de la deuda, su composición y el costo de cada instrumento, y por lo tanto la dinámica de la deuda afecta el costo de esta (Espinosa & Valerio, 2014).

Existen otros mecanismos para gestión de riesgos y de los vencimientos, los cuales son las operaciones de canje de deuda y subasta inversa. Estas operaciones tienen implicaciones para los costos y dinámica de la deuda y serán definidas a posterior.

2.1.4. Costos e instrumentos de colocación existentes en Costa Rica

El gobierno de Costa Rica puede emitir su deuda en diversos instrumentos los cuales tienen costos y riesgos distintos, así como características de plazo (corto o largo plazo), moneda (local o extranjera), tipo de tasa (fija o variable). El Ministerio de Hacienda (MH), a través de la Tesorería Nacional, se encarga de colocar títulos valores para captar recursos en el mercado interno, y la dirección de Crédito Público se encarga de las emisiones externas esto según la Ley de Administración Financiera y Presupuestos públicos. Estos títulos valores se diferencian entre ellos según su plaza de colocación (Deuda externa y deuda interna), plazo (Vencimientos a menos de un año o más de un año), estandarización y mecanismo de colocación (Subasta, ventanilla, tesoro directo).

Para realizar las colocaciones por subasta y ventanilla se utiliza como intermediario a la Bolsa Nacional de Valores (BNV). Es a través de la BNV que los puestos de bolsa en nombre de terceros compran los títulos valores del gobierno. Así mismo, en el mercado secundario de valores se negocian estos instrumentos, lo que define los rendimientos de la curva de rendimientos, lo cual es una referencia para las nuevas colocaciones del Ministerio de Hacienda.

La guía de elaboración de Planes de Emisión para los Gobiernos del Banco Mundial (2015), hace referencia a que en diferentes países las principales fechas para los vencimientos es de 3 y 6 meses para los instrumentos de cero-cupón de 1, 2, 5, 7, 10 y 15 años para los instrumentos de renta fija con cupón. A los Gobiernos se les recomienda emitir en estos plazos específicos para aumentar la profundidad y liquidez de las emisiones, pues un gobierno que emita a plazos muy diversos sustituiría el rol del mercado secundario, lo que limita la formación de precios y aumenta el costo de las emisiones.

Los instrumentos de emisión en Costa Rica están creados vía Decreto del Poder Ejecutivo por el Ministerio de Hacienda:

- Los Títulos de Propiedad (TP) mediante el decreto 20653-H se autoriza al Ministerio de Hacienda a emitir títulos de deuda para los plazos de 5, 10 y 15 años. Los instrumentos TP son bonos de deuda soberana de renta fija los cuales tienen un cupón fijo pagadero semestralmente y el pago del principal a la fecha de vencimiento con precio 100%. Los instrumentos TP están sujetos a la valoración del mercado por lo que se emiten a precios de mercado. La emisión de los TP se da en colones o en dólares TP\$. Las emisiones en dólares se aprobaron por el decreto 24101-H.
- Los Títulos de Propiedad Cero Cupón (TP0) son instrumentos creados mediante el decreto 32097-H, su emisión es a descuento y no tienen cupones. Se venden a precios inferiores a 100 y pagan al vencimiento su precio 100. Su rendimiento se calcula como la fluctuación porcentual del precio de emisión y el precio al vencimiento.
- Títulos de Propiedad Real Ajustable (TPRAS) se autorizó mediante el decreto 39939-H, este instrumento paga un cupón variable indexado a la curva soberana vigente, toma el cálculo de la curva soberana publicada por el BCCR y se ajusta de manera semestral. Cabe indicar que el cupón ajustado depende del plazo al vencimiento del instrumento.
- Los Títulos de Propiedad Tasa Básica Ajustable (TPTBA) estos instrumentos son similares al TPRAS en tanto su cupón es variable, pero en este caso el cupón está indexado a la Tasa Básica Pasiva publicada por el BCCR, y un margen definido en la creación de los instrumentos. Su costo está ligado a las tasas de captación de los intermediarios financieros.
- Los Títulos de Unidades de Desarrollo (TUDES) fueron autorizados vía decreto 21193-H y son similares a los TP en cuanto se emiten a un cupón fijo pero su valor se encuentra indexados al valor de las Unidades de Desarrollo, las Unidades de Desarrollo son un índice que se ajusta cada mes con los

cambios de la inflación, por lo que pagan la inflación más la tasa cupón. Los TUDES se pagan en colones, ya que las UDES no son una moneda de curso legal sino más bien un índice.

Otros instrumentos especiales disponibles pero que requieren aprobaciones de leyes específicas son los Bonos de Deuda Externa o Eurobonos, y los créditos con organismos internacionales. El Ministerio de Hacienda no es capaz de emitir estos instrumentos sin una ley especial que lo habilite a ello, según lo indicado en la Ley de Administración Financiera y Presupuestos Públicos, y la división a cargo será la Dirección de Crédito Público, tal como lo indica el artículo 80 de la misma Ley.

Los costos de los instrumentos estarán definidos por su rendimiento de mercado y, en el apartado metodológico, se indicará su relación con las variables del modelo ya que cada uno de ellos responde de manera distinta ante los escenarios económicos y tienen riesgos distintos que serán definidos. Pero en general, el costo de la emisión de un instrumento para el Ministerio de Hacienda está definido por el rendimiento, que depende del valor nominal del cupón, así como del precio de los bonos emitidos.

Una vez definidos los costos de los instrumentos, es importante resumir esta información en indicadores que incorporen ambos términos costo y riesgo que han sido analizados.

2.1.5. Indicador de Costo en Riesgo

En esta sección se introduce el concepto o indicador del Costo en Riesgo (CeR) mide la pérdida que se podría sufrir en condiciones normales de mercado en un intervalo de tiempo y con un cierto nivel de probabilidad o de confianza por concepto de la variabilidad del pago por intereses de la deuda (Grill & Östberg, 2003, p.67). Cabe resaltar que el CeR solo proporciona una medida resumida del riesgo del mercado, los otros riesgos serán medidos e identificados con otros indicadores.

El CeR se calcula como:

$$CeR_t = Pint_t + t_\alpha * \sigma_t^{Pint} \quad (5)$$

Dónde:

$Pint_t$: Es el pago de intereses de la Deuda Interna

σ_t^{Pint} : La variabilidad del Pago de Intereses de la Deuda Interna

t_α : Percentil de la distribución T de Student al nivel de confianza α .

CeR_t : es el nivel del Costo en Riesgo.

t: periodo.

Por otra parte, el indicador se puede interpretar de manera proporcional al pago total de intereses:

$$CeR_t^{Proporcional} = \frac{t_\alpha * \sigma_t^{Pint}}{PIB_t} \quad (6)$$

Donde:

PIB_t : es el PIB Nominal.

t_α : Percentil de la distribución T de Student al nivel de confianza α .

σ_t^{Pint} es la variabilidad proyectada del pago de intereses mediante simulaciones.

t: periodo.

Es importante considerar este indicador, porque resume las métricas más representativas con respecto al costo y riesgo en un solo valor.

2.1.6. Operaciones de gestión de pasivos

En Costa Rica se utilizan dos tipos de operaciones de gestión de pasivos llevadas a cabo por la Tesorería Nacional según el decreto 38263-H y son definidas por Blommestein et al (2012):

- Subasta Inversa: Mecanismo que consiste en adelantar el vencimiento parcial o total de una serie de bonos en circulación, permite a los emisores retirar deuda pendiente de pago en efectivo, antes de su fecha de vencimiento a un precio competitivo.

- Canje de títulos valores: “Mecanismo que consiste en adelantar el vencimiento parcial o total de una serie de bonos en circulación, por medio del cual se otorga a los ahorrantes bonos a cambio de títulos con características distintas.

Las principales razones para el uso de los canjes y subasta inversa en el documento del Banco Mundial (2015) destacan:

- Son utilizadas como herramientas de gestión de riesgos utilizadas en los mercados de valores gubernamentales.
- Las principales funciones son para mejorar la liquidez del mercado y para mitigar los riesgos de refinanciamiento.
- No proporcionan fondos adicionales, pero afectan la composición de la cartera de la deuda mediante la reestructuración de una deuda pendiente ajustando la exposición a los riesgos de la deuda.
- Contribuyen a reducir presiones sobre pagos futuros en periodos determinados (suavizar el perfil de vencimientos).
- Permiten al emisor alargar el perfil de sus vencimientos.
- Sirven como instrumento para afrontar, corregir o tomar ventaja de las distorsiones del mercado, como por ejemplo durante los períodos de estrés.
- Pueden reducir el costo de servicio de la deuda reportada o bajar la relación deuda / PIB reportada para un periodo determinado.
- Contribuye a mejorar las valoraciones de las inversiones y la liquidez del Emisor y del mercado.
- Estimulan la acumulación de emisiones de bonos de referencia y ayudan a construir puntos de referencia de mayor plazo.
- Ayudar a los inversores para reestructurar y diversificar su portafolio.
- Contribuyen a la mejora de la actividad comercial en general y a la calidad de la información del mercado del emisor, dando mejores señales de expectativas a los inversionistas (p.67).

En línea con Medeiros et al. (2007), existen tres objetivos de las operaciones de canjes y subasta inversa. El primer objetivo es el de “minimizar el pago por el servicio de la deuda, el segundo objetivo es reducir los riesgos inherentes al portafolio de deuda, y el tercer objetivo es coadyuvar al desarrollo de los mercados financieros” (p.6). Por lo que es claro que los objetivos de las operaciones de gestión de pasivos son coherentes con los objetivos de la gestión de la deuda.

Las operaciones de gestión de pasivos persiguen tres objetivos, estos representan una dificultad ya que siguiendo el principio de Tinbergen (1956) un instrumento debe de tener un objetivo. Por lo tanto, es necesario contar con un criterio de selección de optimización que defina las preferencias de los gestores y pueda realizar una selección óptima de su estrategia.

2.1.7. Estrategia de colocación

El Banco Mundial (2015) indica que la estrategia de colocación de mediano plazo es el punto de referencia, “es el ideal que guía al gobierno en términos de opciones de financiamiento, y la compensación de costo-riesgo asociada” (p.4).

La guía determina que en los casos en que se haya desarrollado una estrategia de mediano plazo los objetivos de la estrategia deben definir indicadores clave de riesgo de la cartera. Debido a que estos son la guía para desarrollar el plan de emisión de deuda del gobierno, que es el instrumento de mediano plazo para la gestión de la deuda.

El Banco Mundial (2015) aclara que, en condiciones inestables del mercado, el administrador de la deuda necesita tomar “decisiones tácticas con respecto a los instrumentos, tamaño y el momento de la emisión de deuda” (p.22), por lo que pueden existir un desvío de corto plazo, y lo ideal es que el diseño del marco institucional sea capaz de registrar y comunicar los mismos.

En términos prácticos, se interpreta que la estrategia de colocación se resumirá en una tabla que indicará el tipo de instrumento y el porcentaje de las necesidades de financiamiento a colocar en cada uno de estos instrumentos. Es relevante porque la estrategia es la variable de control que cambiará el perfil de la deuda y sus riesgos asociados. Y es producto de un ejercicio de optimización de costo y riesgo.

2.1.8. Modelo de optimización

Un modelo de optimización es una representación matemática de un problema, este problema define un objetivo y restricciones.

Las restricciones serán los costos, las necesidades de financiamiento, la deuda ya emitida y el entorno macroeconómico. La función objetivo será la minimización del riesgo y el costo que dependen de metas de mediano plazo y la estrategia de colocación de nueva deuda, cuestiones que se detallarán en el apartado metodológico. La variable para optimizar es la estrategia, es decir, se realizan las simulaciones para seleccionar la Estrategia de Mediano Plazo. Esto se detallará en el apartado metodológico.

Algunos métodos de optimización tradicionales utilizados para este objetivo son mencionados en Brandimarte (2003). Se utilizará el método Montecarlo por flexibilidad para enfrentarse a problemas de optimización con variables aleatorias y no lineales (p.209-287). Por lo que se utilizará para buscar la estrategia de mediano plazo óptima en términos de costo y riesgos.

2.2 Marco metodológico

A continuación, se explicará como se realizará la investigación, se expondrán los métodos necesarios para cumplir con los objetivos anteriormente planteados.

2.2.1 Métodos de Investigación

Siguiendo a Hernández-Sampieri. et al. (2018), se clasifica esta investigación dentro de un enfoque cuantitativo que tiene, en primer lugar, un carácter correlacional; ya

que “estudia la relación entre dos o más variables” (p.378); estrategia de mediano plazo de deuda y el costo-riesgo de la deuda pública. En segundo lugar, la investigación es de carácter analítica; porque estudia los factores de un determinado fenómeno, y el riesgo ante ese fenómeno.

2.2.2 Método y etapas de la investigación

Mediante métodos de análisis estadístico descriptivo se analizan indicadores y la deuda pública, y se podrá describir la evolución de la deuda del Gobierno Central de Costa Rica considerando su perfil, composición, vulnerabilidades, indicadores de gestión de la deuda y contexto macroeconómico del 2001 al 2021.

Por otro lado, a partir de “mejores prácticas internacionales”, para la elaboración de estrategias de endeudamiento de mediano plazo se definirán los riesgos relevantes. Se analizan esas prácticas y se compara con el perfil de la deuda, para detectar cuáles riesgos son importantes para la gestión de la deuda, esto mediante un análisis histórico de datos y revisión bibliográfica.

Por último, mediante la optimización matemática y el uso del software RStudio se estima un modelo de optimización de costo-riesgo, que permite proponer una estrategia de colocación de deuda de mediano plazo para la deuda pública de Costa Rica para el periodo de proyección 2022-2027.

2.2.3. Fuentes de Información

Para el desarrollo de la investigación se utilizarán fuentes primarias como libros especializados en las áreas de la macroeconomía, política fiscal, gestión de la deuda, matemática y estadística, publicaciones de investigaciones realizadas por bancos centrales, y artículos de revistas científicas internacionales ubicados, principalmente, en la base de datos bibliográficas.

Los datos macroeconómicos requeridos para realizar la estimación de los parámetros del modelo, y realizar la inferencia estadística sobre el problema de

investigación, son publicados por el Banco Central de Costa Rica y el Ministerio de Hacienda.

Siguiendo a Valerio (2016), las series de tiempo no son tratadas con filtros de estacionalidad, debido a que se puede eliminar información importante para la estimación (p.5). Esto concuerda con la posición de Hansen y Sargent (1993) que defiende el hecho de que los agentes toman decisiones sobre datos sin desestacionalizar, por esta razón remover la estacionalidad implica una pérdida de información en las estimaciones de los parámetros.

La muestra de los datos de la investigación abarca el periodo de 2001-2021. Los datos utilizados son de periodicidad anual para los históricos y mensual para el planteo de las simulaciones. Las simulaciones y pronósticos se realizan en el periodo 2022-2027.

El software utilizado para la estimación del modelo es RStudio principalmente el módulo de carga de datos (Wickham H, Bryan J, 2022), de estimación de modelo VAR y VECM (Hyndman RJ, Khandakar Y, 2008) (Hyndman R, et al. 2022), y series de tiempo (Stigler, M, 2019) (Di Narzo, A. Aznarte, J. Stigler, M. 2009), y la programación base de R (R Core Team, 2022); rutinas necesarias para estimar lo planteado.

2.2.4. Descripción de los Instrumentos

En esta sección se presentan los instrumentos de análisis relacionados a los objetivos específicos.

2.2.4.1. Descripción y análisis del perfil de la deuda

Para describir la evolución de la deuda del Gobierno Central de Costa Rica su perfil, composición, vulnerabilidades, indicadores de gestión de la deuda y contexto macroeconómico del 2001 al 2021, se trabajará mediante el uso de promedios,

tendencias y proporciones, para lo cual se utiliza el perfil de la deuda pública del gobierno central. El “perfil” es un conjunto de información que es publicada por el Gobierno Central que indica un desglose del saldo de la deuda según diferentes características.

La evolución de la deuda del gobierno central es el foco de análisis, ya que de esta se desprenden las exposiciones de los riesgos, así como diferentes eventos que tuvieron un efecto sobre el saldo, así como la pandemia del COVID-19. Reconocer este contexto es necesario para poder realizar las proyecciones necesarias en los próximos apartados, así como para identificar los riesgos que han aumentado su exposición en los últimos años y comienzan a ser relevantes para la gestión de la deuda.

El rango temporal para analizar es el periodo que comprende entre los años 2001-2021, un periodo de 20 años, que es relevante para definir tendencias. La estimación de la estrategia al tratarse de un tema de mediano plazo requiere el uso de la información de cada uno de estos años. La periodicidad será mensual en las proyecciones y simulaciones para aumentar los grados de libertad de las estimaciones. Pero se hará hincapié en los datos de cierre de año, ya que se analizarán saldos que tienen revisiones y cierres anuales producto de la lógica de los ciclos presupuestarios del Gobierno.

Además, se estudiará la tendencia de la deuda con respecto del PIB como un todo ya que los flujos de pagos de intereses pueden generar una inercia importante.

Se analizarán indicadores como:

- Costo promedio ponderado, tasa de interés nominal de toda la deuda.
- Maduración promedio, es el plazo promedio de la deuda.
- Composición por moneda, la deuda en moneda extranjera y su proporción con respecto al total.

- Composición por plazo, proporción de la deuda a menos de un año.
- Composición por tipo de tasa, proporción de la deuda en tasa variable.

Para estos indicadores se comparará el promedio y variabilidad y su tendencia.

Adicionalmente, se describirán los datos de los flujos de vencimientos según año y promedio anual, ya que pueden existir concentraciones que serán sujetas a análisis, pues el gobierno tiene la capacidad de realizar operaciones de canje por lo que es importante revelar cuáles son los periodos donde estas operaciones se concentrarían, por lo que deberá ser incluido dentro de las proyecciones.

Para lo anterior se analizará el promedio de operaciones de gestión de pasivos, y en los instrumentos y plazos donde estas se concentran y para poder describir cómo estos mecanismos coadyuvan a la gestión de los riesgos de la deuda.

Todo lo anterior permitirá estudiar la composición, identificar las principales vulnerabilidades de la deuda, y describir la evolución de algunos indicadores de gestión de la deuda y todo ello dentro de la descripción del contexto macroeconómico del 2001 al 2021 que afectó al saldo de la deuda.

2.2.4.2. Definición de los riesgos relevantes.

Para definir los riesgos relevantes de la deuda, se parte de la teoría de las “mejores prácticas internacionales” para la elaboración de estrategias de endeudamiento de mediano plazo, según lo indicado en el apartado 2.1.3 del marco teórico.

Para ello se tomará lo recomendado por Wheeler (2004) en referencia a los riesgos, adicionalmente se revisarán las metas publicadas por el Ministerio de Hacienda, sobre la composición del saldo de la deuda en su ejercicio de Estrategia y Plan de Colocación Trimestral. Para los riesgos que no tengan una meta se propondrá una con respecto a lo indicado por el FMI (2001). Estas metas serán revisadas en torno

al apetito por riesgo del Ministerio de Hacienda, o bien utilizando el cálculo de volatilidades relativas para medir la probabilidad de materialización de los riesgos de la deuda desde un enfoque histórico de los datos

Los riesgos relevantes se definirán a razón de la cantidad de exposición de la deuda a la serie de riesgos citados, y se incluirán dentro de la función objetivo del problema de optimización, y la calibración de los objetivos y el peso relativo de cada riesgo en la función de pérdida se llevará a cabo en el capítulo IV de resultados

2.2.4.3. Propuesta de la estrategia de colocación de mediano plazo

Para lograr estimar la propuesta de estrategia de colocación, se deben definir los elementos previos para realizar la estimación. Lo que requiere simular la dinámica de la deuda, realizar proyecciones de los costos de los instrumentos de tasas de interés, y estimar el contexto macroeconómico mediante proyecciones, todo el proceso de optimización se realizará en RStudio mediante la optimización de costo riesgo de la deuda pública. Los detalles de este proceso de estimación se definen a continuación.

2.2.4.3.1. Proyecciones macroeconómicas

Las proyecciones macroeconómicas serán la economía simulada y son realizadas con un modelo satélite, se plantea utilizar la metodología de estimación de Vector de Corrección de Errores (VECM) para obtener una estimación pasiva del contexto económico que tome en cuenta las relaciones de convergencia de largo plazo de las variables y la estimación de las funciones de impulso respuesta que funcionan para sensibilizar las estimaciones.

Los VECM son modelos ateóricos no estructurales que se concentran en identificar en mecanismo generador de datos de las variables económicas, bajo una perspectiva meramente estadística. La ventaja operativa de estos modelos subyace

en que no son modelos teóricos y se ajustan a los datos bajo el criterio de selección del error de pronóstico.

Las variables que tienen una tendencia se pueden transformar en variables estacionarias al calcular su variación absoluta con respecto al periodo anterior, ya que una raíz unitaria genera problemas de proyección, debido a que la serie de tiempo seguiría una caminata aleatoria. Una variable que cumpla con esta transformación se le llama variable integrada de orden 1. Ahora bien, la cointegración (tendencia estocástica común, o relación de largo plazo) ocurre cuando la combinación en un modelo de dos variables integradas de orden 1 resulta en una variable estacionaria, en este caso se demuestra que las variables combinadas tienen una tendencia estocástica común y por lo tanto convergen en el largo plazo.

Como se acaba de mencionar, la cointegración es una propiedad de las series de tiempo que implica una relación de convergencia en el largo plazo. Esto ocurre cuando dos variables siguen una tendencia estocástica común. Formalmente si w'_t son w''_t integradas de orden 1, y $v_t = w'_t\gamma + \gamma'w''_t$, donde v_t es estacionaria entonces las variables están cointegradas. Si las variables están cointegradas se puede estimar un Vector de Corrección de Errores:

$$\Delta w_t = \beta_0 + \Pi w_t + \sum_{k=1}^K \beta_k \Delta w_{t-k} + u_t \quad (7)$$

$$\Pi = -(I - \beta_o(L)) \quad (8)$$

Donde:

w_t : es el vector de las variables a proyectar.

u_t : es un error de pronóstico

L : es el orden del vector de cointegración.

Δ : representa la variación absoluta de las variables.

Π : es un vector que incluye las relaciones de cointegración (las ecuaciones de largo plazo) y la velocidad de ajuste de las variables.

El proceso de estimación de las relaciones de cointegración de las variables es un paso indispensable para continuar con la estimación de las funciones de impulso respuesta y la descomposición de la varianza de pronóstico cuando se tratan con variables no estacionarias.

El efecto de la tasa de las colocaciones sobre las tasas de mercado se estimará con las funciones impulso respuesta (magnitud y duración) y la proporción o importancia de este efecto se estimará con la descomposición de la varianza de pronóstico.

En el análisis de escenarios se utilizan funciones de Impulso-Respuesta: estas funciones permiten capturar el efecto del ajuste de una variable luego de ser impactada por una perturbación o política económica, y representan la desviación de una variable con respecto al escenario base. En términos formales, si se considera un sistema dinámico de la forma:

$$w_{t+1} = (I - \beta_o(L))^{-1} \Sigma_{t+1}; \frac{dw_{t+h}}{d\Sigma_h} = \beta_h \quad (9)$$

Donde:

w_t : es el vector de las variables a proyectar.

L : es el orden del vector de cointegración.

La descomposición de la varianza de pronóstico muestra el porcentaje de contribución de las variables al error de pronóstico. Esto permite analizar la magnitud en la cual la variabilidad de una variable se puede explicar por sus determinantes. Se tiene que el error de pronóstico:

$$e_{t+h} = w_{t+h} - w_t(h) = \sum_{i=0}^{h-1} \beta_h \quad (10)$$

Donde:

w_t : es el vector de las variables a proyectar.

e_t : son los cambios medidos por la función de impulso respuesta.

Nótese que la contribución de cada variable al error de pronóstico se puede denotar como una proporción del error cuadrático medio³.

2.2.4.3.2. Método de simulación de tasas de interés y deuda

La evolución de las tasas de interés y el costo de la deuda en el futuro es incierta, por lo que se hace uso de técnicas de simulación para estimar todas las combinaciones probables de evolución de las tasas de interés. Las simulaciones de escenarios futuros de costo y riesgo dependen de la estrategia y la evaluación futura de los rendimientos de los diversos instrumentos, los instrumentos son simulados utilizando las características de las emisiones (Indexadas, tasa fija variable, plazo, moneda, etc.).

Los instrumentos tasa fija y cero cupones dependen de la evolución de los rendimientos de la curva soberana, pero la variabilidad ocurre solo para las nuevas colocaciones. Por otra parte, los títulos TPRAS dependen de la evolución de la curva soberana tanto del costo de todos los TPRAS emitidos y no solo los emitidos, por lo que se ajustan a las nuevas emisiones de TP.

Los UDES dependen de la inflación por lo que su valor será tomado de las proyecciones macroeconómicas del modelo satélite. Adicionalmente, la variación del tipo de cambio es una de las variables que resulta del modelo satélite, por lo que esto afectará todos los instrumentos denominados en moneda extranjera.

Los títulos de tasa básica dependerán del rendimiento de corto plazo estimado por el modelo satélite, ya que la tasa básica es un promedio del costo de captación del sistema financiero, lo que tiene una relación directa con las tasas de interés definidas por el Banco Central de Costa Rica.

³ La demostración se omite pero puede ser consultada en Hamilton, J. (1994, p.323) Time Series Analysis, ó en Lutkepohl, H. Kratzig, M. (2004, p. 180) Applied Time Series Econometrics

Las simulaciones se realizarán con procesos estocásticos autorregresivos de promedio móviles (ARMA) con parámetros de volatilidad calibrados con datos históricos, para acercar las simulaciones a los datos históricos, y estimar trayectorias probables de los costos de los instrumentos.

2.2.4.3.3. Dinámica de la Deuda del Gobierno Central

El cálculo del saldo de la deuda se llevará a cabo mediante la ecuación de la dinámica de la deuda que incluye la necesidad de financiamiento en el período t, esto lleva a que la estrategia permite evaluar el cambio en el saldo de la deuda total para financiar el déficit primario, los pagos por intereses de la deuda pública, y los vencimientos de deuda.

$$D_{t+1} = \sum_{i=1}^I NF_t * E_i + (D_t - Venc_t) \quad (11)$$

Dónde:

D_{t+1} : es la deuda futura.

E_i : es la estrategia de financiamiento.

NF_t : son las necesidades de financiamiento.

$Venc_t$: Son los vencimientos.

D_t : Es la deuda actual.

t: periodo.

De manera agregada se puede determinar que la deuda futura D_{t+1} es igual a las necesidades de financiamiento, más de deuda existente menos los vencimientos durante el año. Lo que es una desagregación contable de la ecuación teórica propuesta por Talvi y Végh (1998, p.9).

2.2.4.3.4. Generación de estrategias aleatorias

Como se detalló con anterioridad el valor E_i es la estrategia de financiamiento para la nueva deuda para cada instrumento i . En términos proporcionales la estrategia debe sumar el 100%, por eso la creación de números aleatorios debe realizarse en dos etapas. El algoritmo deberá probar la mayor cantidad de estrategias factibles, con el fin de asegurar la validez de los resultados, y la formación de la frontera de eficiencia (región de factibilidad).

En la primera etapa se genera un vector de números aleatorios asociados a una distribución de probabilidad uniforme.

$$E^o = E(e_1, \dots, e_i, \dots, e_n) \forall e_i \text{ iid. } U(0,1) \quad (12)$$

Donde:

E : es un vector que contiene la composición de la deuda para cada i .

i : instrumento de colocación.

n : número de instrumentos de colocación disponibles.

Luego se divide cada vector aleatorio por su total, de esta manera se asegura que la suma de las proporciones sea igual al 100%.

$$E_i = \frac{E(e_1, \dots, e_i, \dots, e_n)}{\sum_{i=1}^n E(e_1, \dots, e_i, \dots, e_n)}; \text{ donde } \sum_{i=1}^0 E_i = 1 \quad (13)$$

Donde:

E_i constituye una transformación del vector E^o que tiene como objetivo generar una variable que cumpla con la condición $\sum_{i=1}^0 E_i = 1$, es decir, que la suma de las proporciones de colocación por instrumento sea el 100% y mantiene la estabilidad al no aumentar las necesidades de financiamiento, sino distribuirlas entre los instrumentos existentes.

i : instrumento de colocación.

n : número de instrumentos de colocación disponibles.

2.2.4.3.5. Definición del Portafolio de Referencia (Función objetivo)

Para identificar la estrategia de financiamiento de mediano plazo que se encuentra en un conjunto de portafolios factibles. El portafolio resultado es el que logre minimizar la función de pérdida, que se construye a partir de un promedio ponderado de las desviaciones cuadráticas de los objetivos de minimizar el riesgo y el mínimo costo.

La función de pérdida tiene la forma:

$$f = \sum \varphi \sqrt{(x - c)^2} \quad (14)$$

$$x = g(E_i, D_{t+1}) \quad (15)$$

Donde:

f : es la función de pérdida a minimizar.

x : es la exposición al riesgo.

φ : es el apetito al riesgo x .

E_i : es la estrategia.

D_{t+1} : es el saldo de la deuda futura.

c : son los objetivos asociados a las exposiciones al riesgo.

Donde los riesgos relevantes identificados formarán parte de la sumatoria de los elementos a minimizar, adicional el parámetro c de cada uno de la ecuación será calibrado según las metas de mediano plazo que define el apetito por riesgo. Por lo tanto, este criterio objetivo permite mantener la consistencia en la selección de la estrategia de mediano plazo.

Con respecto al parámetro φ que es el peso de objetivo dentro de la función, se procede a ponderar desde un punto de vista de la probabilidad frecuentista. Adicional se aplica un factor de variabilidad, por medio del coeficiente de variación, esto logra capturar la magnitud de las variaciones del indicador al que se está expuesto, así se obtiene una medida ponderada de probabilidad e impacto, que al multiplicarse por la desviación sobre el objetivo del indicador da como resultado la

exposición al riesgo no deseada que se debe minimizar por parte del modelo de optimización.

2.2.4.3.6. Proceso de optimización costo-riesgo para la estimar la estrategia

El problema de optimización tiene una función objetivo y una serie de restricciones, que serán los costos, las necesidades de financiamiento, la deuda ya emitida y el entorno macroeconómico. La función objetivo será la minimización del riesgo y el costo, que dependen de metas de mediano plazo y la estrategia de colocación de nueva deuda.

Matemáticamente, la estrategia de colocación de mediano plazo propuesta será la solución al siguiente problema de optimización:

$$\begin{aligned} \text{Min } f &= \sum_{j=1}^J \varphi \sqrt{(g(E_i, D_{t+1}) - c)_j^2} & (16) \\ \text{St. } \left\{ \begin{aligned} D_{t+1} &= \sum_{i=1}^n NF_{t,i} * E_i + (D_t - Venc_t) & (17) \\ NF_{t,i} &= sp_t + \begin{pmatrix} (i_t - \pi_t) D_{i,t-1}^d \\ (i_t - \pi_t + e_t) D_{i,t-1} \end{pmatrix} + Venc_{i,t} & (18) \\ \begin{pmatrix} i_t \\ \pi_t \\ e_t \end{pmatrix} &= \beta_0 + \sum_{k=1}^K \beta_k \begin{pmatrix} r_{t-k} \\ \pi_{t-k} \\ e_{t-k} \end{pmatrix} + \varepsilon_t & (19) \end{aligned} \right. \end{aligned}$$

Donde:

f es la función objetivo que depende de los riesgos $g(E_i, D_{t+1})$ que dependen de la estrategia E_i , y D_{t+1} , la deuda proyectada con respecto a un objetivo de mediano plazo del riesgo c , que durante la evaluación de los riesgos relevantes se calibrará este parámetro.

Las restricciones son D_{t+1} que es la deuda proyectada, que depende de las necesidades de financiamiento a financiarse con la estrategia, y el saldo de la deuda anterior menos los vencimientos de la deuda.

Las necesidades de financiamiento $NF_{t,i}$ dependen del saldo primario sp_t que es la diferencia entre ingresos y gastos del gobierno central, que dependen de los ingresos proyectados (escenario macroeconómico) y los gastos determinados por la regla fiscal de la Ley de Fortalecimiento de las Finanzas Públicas.

La matriz $\begin{pmatrix} i_t \\ \pi_t \\ e_t \end{pmatrix}$ se desprende del modelo satélite VECM presentado anteriormente, y representa el escenario macroeconómico proyectado de la economía simulada.

Por último, el resultado del proceso de optimización y simulación dará como resultado un vector E_i que resuelve el problema, y representará la estrategia de colocación de mediano plazo.

2.2.5. Cuadro de variables

Tabla 1

Resumen Metodológico

| Objetivo específico | Variables | Método | Técnicas | Fuentes de información |
|--|---|-----------------------|---|--|
| Describir la evolución de la deuda del Gobierno Central de Costa Rica su perfil, composición, vulnerabilidades, indicadores de gestión de la deuda y contexto macroeconómico del 2001 al 2021. | Deuda al PIB | | | |
| | Composición de la deuda por tasa, moneda, plaza, plazo. | | | Manuales de Gestión de la Deuda FMI (2014), Wheeler (2004) y definiciones. |
| | Déficit primario y financiero del Gobierno Central. | Análisis estadístico | Análisis de promedios, tendencias, variabilidades y proporciones. | Banco Central de Costa Rica. |
| | Inflación. | Descriptivo | | |
| | Tasa de interés. | | | Ministerio de Hacienda de Costa Rica. |
| | Tipo de cambio. | | | |
| | Actividad Económica. | | | |
| Definir los riesgos relevantes de la deuda, a partir de mejores prácticas internacionales para la elaboración de estrategias de endeudamiento de mediano plazo. | Riesgos de la deuda identificados. | Análisis exploratorio | Definición de riesgos relevantes mediante análisis de datos. | Información publicada por el Ministerio de Hacienda sobre ingresos y gastos, y el perfil de la deuda, utilizada en el apartado anterior. |

| Objetivo específico | Variables | Método | Técnicas | Fuentes de información |
|--|---|--------------------------|---|---|
| Proponer una estrategia de colocación de deuda de mediano plazo mediante un modelo de optimización del costo - riesgo para la deuda pública de Costa Rica para el periodo de proyección 2022-2027. | <p>Necesidades de financiamiento.</p> <p>Plazo al vencimiento.</p> <p>Costos de instrumentos.</p> <p>Colocación de deuda.</p> <p>Dinámica de la deuda</p> <p>Estrategia de colocación de deuda.</p> | Optimización matemática. | Modelo de costo en riesgo, y método Montecarlo de simulación. | Modelo de costo en riesgo, programado en RStudio, con los datos publicados por el Ministerio de Hacienda. |

Fuente: Elaboración propia.

CAPÍTULO III. ANÁLISIS DE LA EVOLUCIÓN DE LA DEUDA DEL GOBIERNO CENTRAL DE COSTA RICA

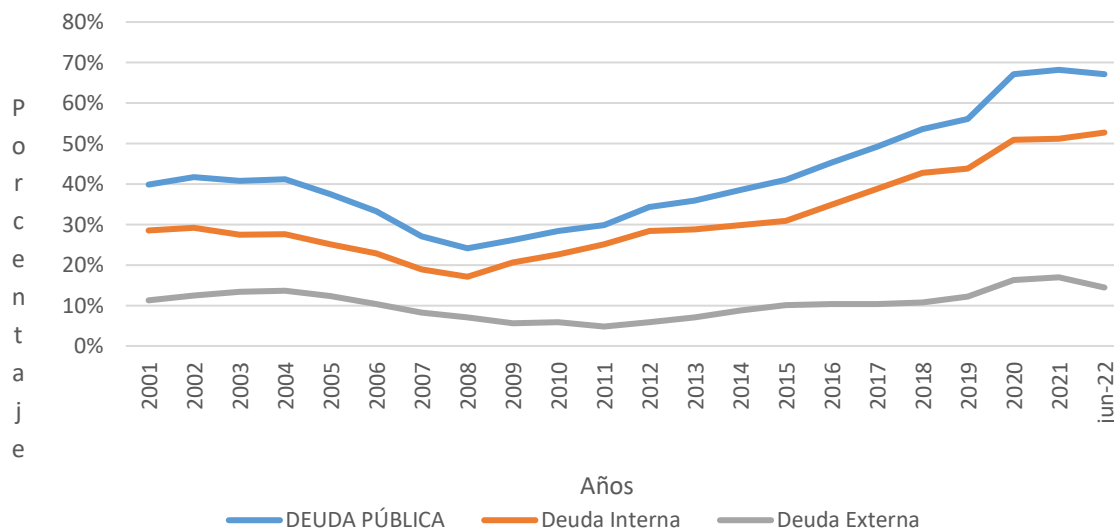
En este capítulo se realiza una descripción de la evolución de la deuda del Gobierno Central de Costa Rica, para ello se analiza su perfil, composición, vulnerabilidades, indicadores de gestión de la deuda y contexto macroeconómico del 2001 al 2021. Durante este periodo se encontraron algunos hechos estilizados, que determinaron los cambios en su evolución y condiciones y que han provocado cambios en la composición de la deuda, y sus riesgos. En la segunda parte de este capítulo se describen las variaciones más importantes de las variables de contexto macroeconómico y su afectación sobre la deuda. Los datos históricos provistos por el Ministerio de Hacienda que se presentan son un empalme con respecto a dos series históricas publicadas esto debido al cambio metodológico de las estadísticas producto de la aprobación de Ley de Estadísticas N°9694.

La Figura 1 muestra la evolución del saldo de deuda como proporción al PIB, y se observa una reducción desde el 2001 al 2008, donde el Gobierno Central logra amortizar la deuda hasta llegar a un saldo de 24.12%, el cual es el mínimo del periodo. Diversas políticas que aumentaron el déficit primario causaron un aumento de la deuda sostenida hasta el 2019, donde se estabiliza producto de la aprobación de la Ley 9635. Sin embargo, en el 2020, producto de la caída de la producción la deuda se eleva a los niveles de 67%, donde una combinación de factores como la alta inflación, la regla fiscal que reduce el gasto, y la recuperación de la economía lleva el nivel del saldo a 67.12% a junio del 2022.

Ahora bien, en términos de la composición de la deuda durante los años 2012 al 2015, y el 2019 se realizaron emisiones de deuda externa, y créditos con organismos internacionales, lo que elevó el saldo hasta 14.41% del PIB.

Figura 1

Gobierno Central de Costa Rica Deuda Pública como Proporción del PIB (2001 a junio 2022).



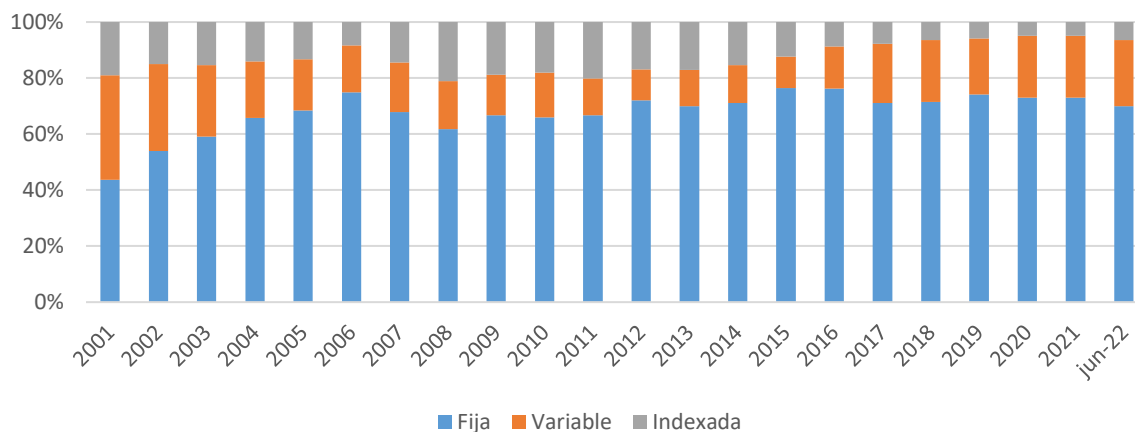
Nota. Fuente: Ministerio de Hacienda, Gobierno de Costa Rica (2022).

En la Figura 2 se muestra la composición porcentual de la deuda, que describe un proceso de recomposición de tasas variables e indexadas hacia tasas fijas, que se detiene en el 2016, donde la coyuntura fiscal hace que aumenten las colocaciones en instrumentos de tasa variable, hecho que coincide con la creación por parte del Ministerio de Hacienda del instrumento TPRAS en 2016. La reducción de los instrumentos indexados es un fenómeno esperable en tanto la inflación, que se mantuvo baja y estable desde el año 2009, a medida que el régimen de metas de inflación del BCCR entraba en una etapa de transición más madura.

Con respecto a la composición a junio del 2022, el 69.93% de la deuda se encuentra a tasa fija, lo que indica que esta proporción de la deuda contratada tiene completa certeza sobre los flujos de pago de cupones (con alguna incertidumbre sobre el tipo de cambio), mientras que el 23.64% mantiene riesgos de fluctuaciones de las tasas de interés, y el restante 6.43% depende de la evolución de la inflación.

Figura 2

Deuda Pública del Gobierno Central de Costa Rica, Estructura del Saldo por Tipo de Instrumento (2001-junio 2022).

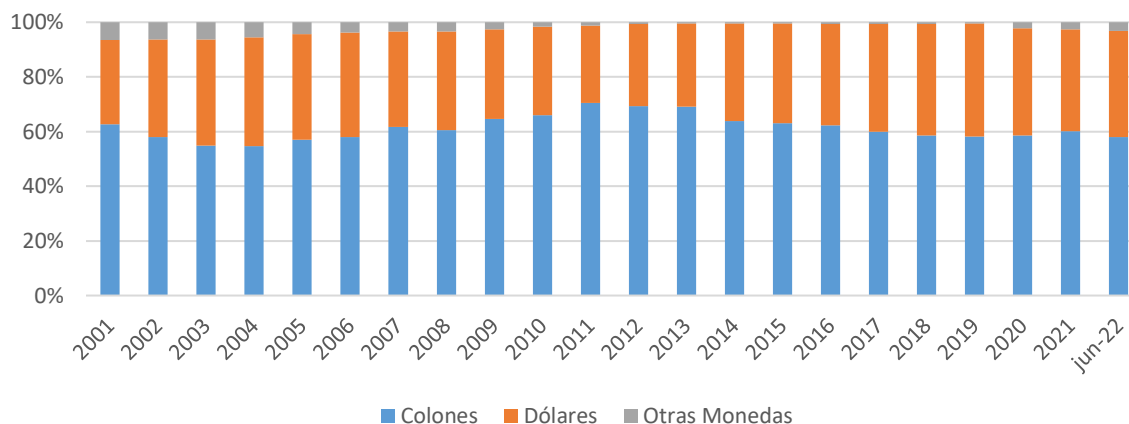


Nota. Fuente: Ministerio de Hacienda, Gobierno de Costa Rica (2022).

Realizando un análisis de la composición por moneda (ver Figura 3), se detecta que el Gobierno Central se endeuda en dos monedas principalmente colones y dólares, y el pequeño saldo en otras monedas, correspondientes a algunos créditos con organismos internacionales que pueden estar en yuanes, yenes, euros etc. Cabe resaltar que el Gobierno puede emitir en dólares instrumentos de deuda interna, ya que la clasificación depende de la plaza (Interna o Externa) de colocación y no de la moneda, además como la Unidades de Desarrollo no corresponden a una moneda de curso legal, estas se clasifican dentro de la categoría de colones. La evolución del portafolio de colocación por moneda muestra que a partir del año 2011 el Ministerio de Hacienda tiende a dolarizar su deuda, producto de las nuevas colocaciones de deuda externa las cuales tienen un menor costo de las locales, y debido a que la estabilidad relativa del tipo de cambio durante ese período permitió al Ministerio de Hacienda reducir el costo de la deuda, pero asumiendo una mayor exposición a los riesgos de fluctuaciones en el Tipo de Cambio. La proporción para junio del 2022 se divide en un 58.07% en colones, 38.76% en dólares, y un 3.167% en otras monedas.

Figura 3

Deuda Pública del Gobierno Central de Costa Rica, Estructura del Saldo por Moneda (2001-junio 2022).

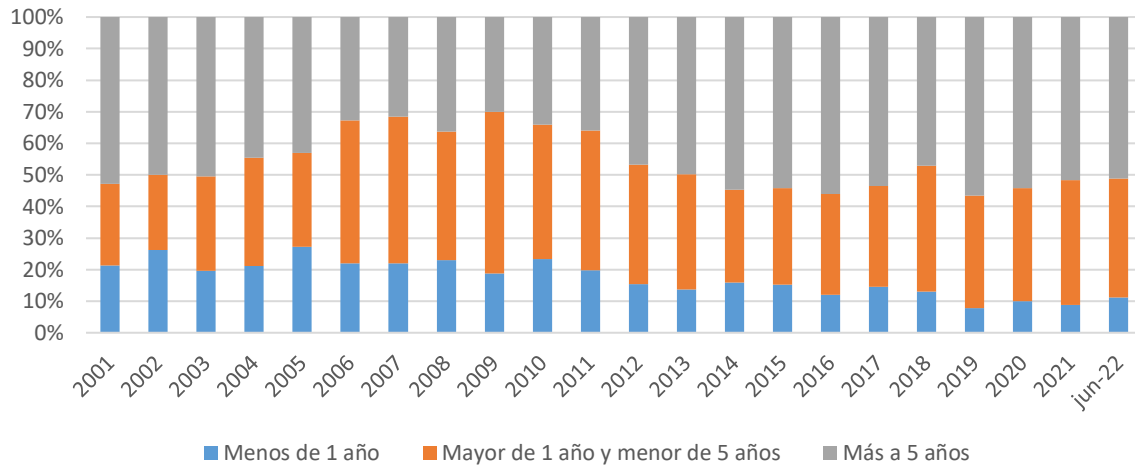


Nota. Fuente: Ministerio de Hacienda, Gobierno de Costa Rica (2022).

El análisis por estructura de vencimiento presentado en la Figura 4, detalla la estructura de la deuda, mediante 3 categorías que corresponden a menos de un año, de 1 a 5 años, y más de 5 años, es decir, a corto, mediano y largo plazo respectivamente. En el periodo del 2011 al 2022 se muestra una reducción del saldo de deuda a menos de un año, favoreciendo el plazo de más de 5 años, producto principalmente de las colocaciones de deuda externa las cuales se emiten a 10 y 15 años, aproximadamente.

Figura 4

Deuda Pública del Gobierno Central de Costa Rica, Estructura del Saldo por Plazo de Vencimiento (2001-junio 2022).



Nota. Fuente: Ministerio de Hacienda, Gobierno de Costa Rica (2022).

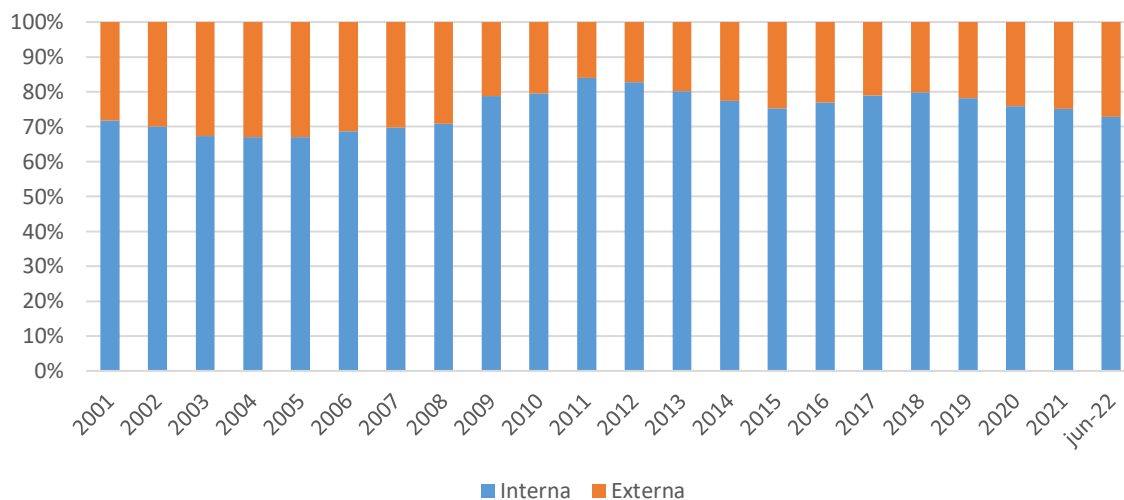
Por otra parte, las colocaciones de deuda interna se concentraron en el plazo de 1 a 5 años, producto a que el mercado local de deuda no invierte en el largo plazo por consideraciones de gestión de riesgos de mercado de los inversionistas locales.

La composición por plazo para junio del 2022 es de un 11.11% de la deuda a menos de un año. El 37.68 % de la deuda entre 1 a 5 años, y el 51.21% de la deuda a más de 5 años. Cabe resaltar que la gestión de pasivos, canjes y subastas inversas, tienen un impacto en estos porcentajes, como se detallará más adelante.

Si se analiza la deuda según su plaza de colocación, como se muestra en la Figura 5, donde se detalla la composición de la deuda por plaza esta vez como porcentaje del total de la deuda, se infiere que el porcentaje de la deuda externa en el periodo de estudio oscila entre 30% y 25% del portafolio de la deuda, esta se coloca en 27.10% de deuda externa y 72.9% de deuda interna para junio del 2022.

Figura 5

Deuda Pública del Gobierno Central de Costa Rica, Estructura del Saldo por Plaza de colocación (2001-junio 2022).



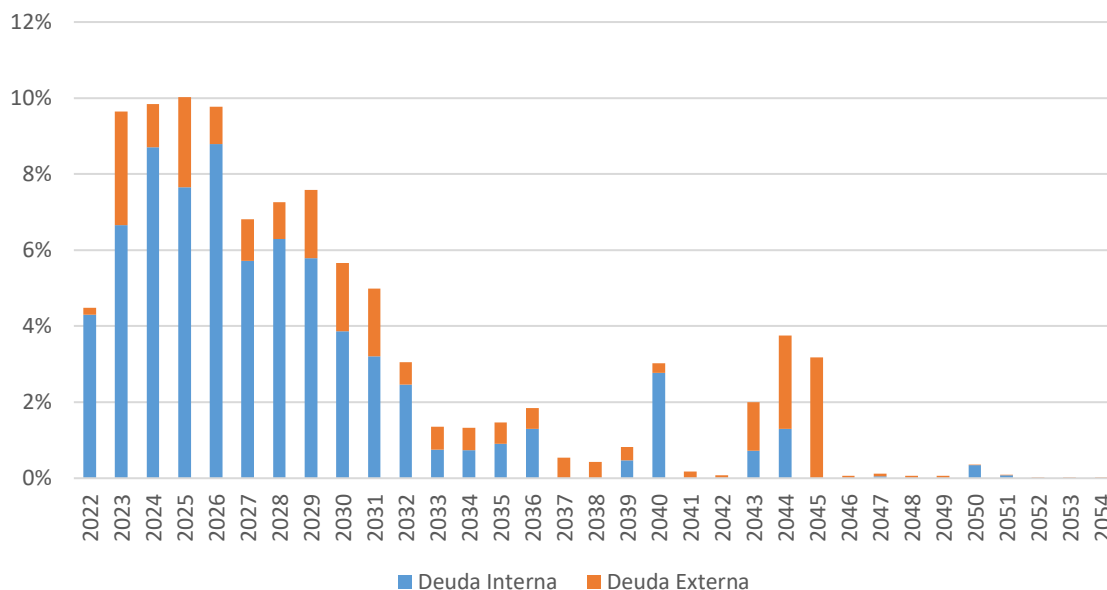
Nota. Fuente: Ministerio de Hacienda, Gobierno de Costa Rica (2022)

La proyección de vencimientos de la deuda como porcentaje de la deuda total, y plaza de colocación se detalla en la Figura 6. El periodo 2023-2026 muestra las barras más altas de vencimientos, e incluyen vencimientos de deuda externa de emisiones de 1000 millones de dólares para los años 2023 y 2025, de los instrumentos emitidos en el 2013 y 2015. Lo que representa una vulnerabilidad en términos del fondeo en moneda externa y refinanciamiento de estos saldos.

En los años mencionados, los vencimientos ascienden a aproximadamente el 10% del saldo de la deuda para los próximos 4.5 años. También en la Figura 6 se evidencia, que el apetito de los inversionistas locales por instrumentos con vencimientos mayores a 5 años bajó, y el mayor porcentaje de la deuda a más 5 años corresponde a las emisiones de deuda externa con vencimiento en el 2043, 2044, 2045. Existen algunas emisiones internas particulares como al 2040 y 2050 que corresponden a instrumentos en Unidades de Desarrollo, es decir indexados a la inflación. De la Figura 6 se desprende que existirán presiones para el refinanciamiento y altas necesidades de liquidez para los próximos 5 años.

Figura 6

Vencimientos de la Deuda Pública del Gobierno Central de Costa Rica, (junio 2022).



Nota. Fuente: Ministerio de Hacienda, Gobierno de Costa Rica (2022)

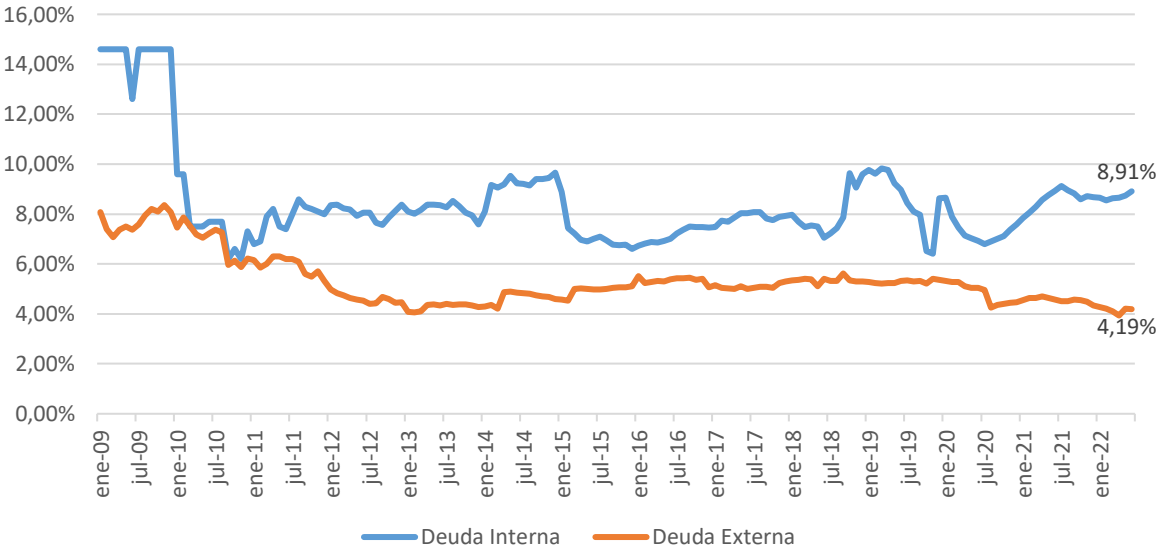
La evolución del costo de la deuda se describe en el Figura 7, esta muestra que en general durante el periodo la plaza de colocación externa tiene un menor costo para el Ministerio de Hacienda y se ubica en 4.19% para junio del 2022, mientras que el costo de la plaza interna tiene una tendencia a partir del 2020 al alza y se ubica en 8.91%. Además, del gráfico se desprende que la volatilidad de este costo es mayor para el mercado interno.

Con respecto a los indicadores de la deuda, se obtuvo que aquellos sobre el plazo promedio de la deuda, tanto la duración y la duración modificada tienen resultados similares, pero interpretaciones distintas. La duración es el tiempo en cuanto el flujo de pagos compensa la inversión inicial, mientras que la duración modificada representa la sensibilidad de los precios de los títulos a cambios en la tasa de interés. El Average Time to Refix (ATR) es una medida del tiempo promedio

ponderado hasta que todos los pagos de capital en la cartera de deuda quedan sujetas a una nueva tasa de interés (es una medida de riesgo de tasa para los portafolios de renta fija), por otra parte, la maduración promedio es un indicador sobre el plazo promedio ponderado de vencimiento de la deuda (es un indicador de riesgo de refinanciamiento), en los cuatro casos, presentados en la Tabla 2, el indicador se interpreta en años. Para todos los cuatro indicadores el plazo de la deuda se ha reducido, lo que implica que el riesgo de refinanciamiento ha aumentado, y según se detalla en el apartado 2.1.3 del marco teórico tiene relación con el plazo de promedio al vencimiento.

Figura 7

Costo promedio ponderado de la Deuda Pública del Gobierno Central de Costa Rica según Plaza de colocación, (enero 2009 - junio 2022).



Nota. Fuente: Ministerio de Hacienda, Gobierno de Costa Rica (2022)

Tabla 2.*Indicador de variabilidad y plazo promedio de vencimiento (junio 2022)*

| Indicadores de la Deuda | 2015 | 2016 | 2017 | 2018 | 2019 | 2020 | 2021 | jun-22 |
|--------------------------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|---------------|
| Maduración Promedio | | | | | 8,00 | 7,50 | 7,08 | 7,25 |
| ATR | 7,10 | 6,65 | 5,83 | 5,30 | 6,00 | 5,47 | 5,14 | 5,26 |
| Duración | | | | | 5,15 | 4,84 | 4,93 | 4,38 |
| Duración Modificada | | | | | 4,99 | 4,67 | 4,80 | 4,24 |

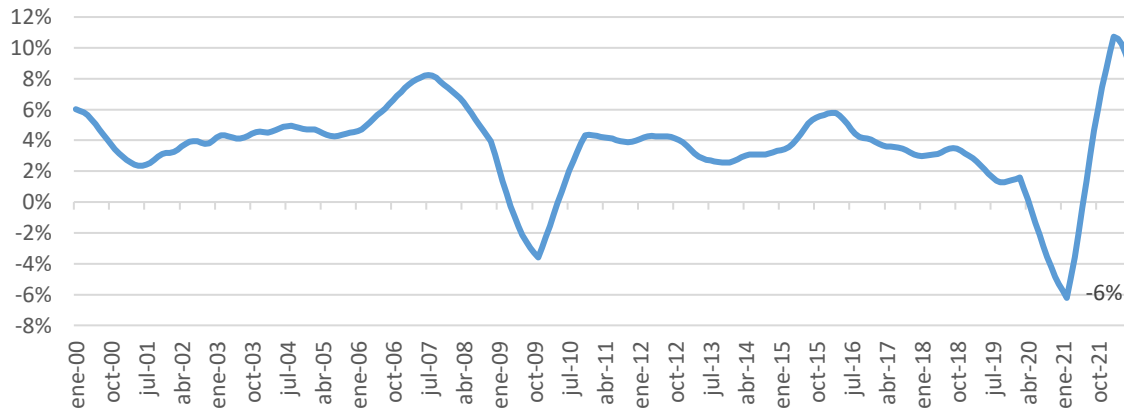
Nota. Fuente: Ministerio de Hacienda, Gobierno de Costa Rica (2022)

Con lo que respecta al contexto macroeconómico de la economía costarricense en el periodo de análisis (Ver Figura 8), se pueden identificar dos periodos de recesión en la actividad económica, la crisis financiera del 2008 y la crisis por el COVID-19. Estas afectaciones produjeron reacción de política económica.

En la crisis del 2008 el gobierno aplicó el plan Escudo que aumentó el gasto corriente: en elementos del gasto que son persistentes como salarios e incentivos, lo que provocó que la deuda aumentara. La actividad económica tiene un periodo de estabilización entre el 2009 y el 2019, durante ese periodo la deuda aumentó producto de un déficit primario cada vez más elevado. Luego de la crisis del 2020 provocada por la pandemia de COVID-19, la actividad económica aumenta, en el 2021, rápidamente producto del efecto base, pero esta aceleración de la producción tuvo consecuencias en diversas variables económicas como inflación y tasas de interés, los desequilibrios provocados por la pandemia aún siguen presentes en la economía.

Figura 8

Variación Interanual del Índice de Actividad Económica Tendencia Ciclo, (enero 2000 - junio 2022).



Nota. Fuente: Banco Central de Costa Rica (2022)

La evolución del Índice de Precios al Consumidor se presenta en la Figura 9, la cual es una medida de la Inflación, donde se muestra que la inflación redujo su nivel a partir del 2009, producto de la crisis del 2008 y debido a cambios en el régimen de política monetaria, la cual se caracterizó por una mayor volatilidad del tipo de cambio, primero al cambiar el régimen cambiario a banda cambiaria y luego a flotación administrada. Lo anterior, está correlacionado con la adopción del esquema de Meta de Inflación.

A partir del 2020, la inflación incrementa su nivel, producto de diferentes factores: La crisis de los contenedores, la guerra en Ucrania, y el exceso de liquidez de la economía. Esto provocó diversas reacciones en los Bancos Centrales los cuales incrementaron su tasa de interés.

Figura 9

Variación Interanual del Índice de Precios al Consumidor, (enero 2000 - junio 2022).



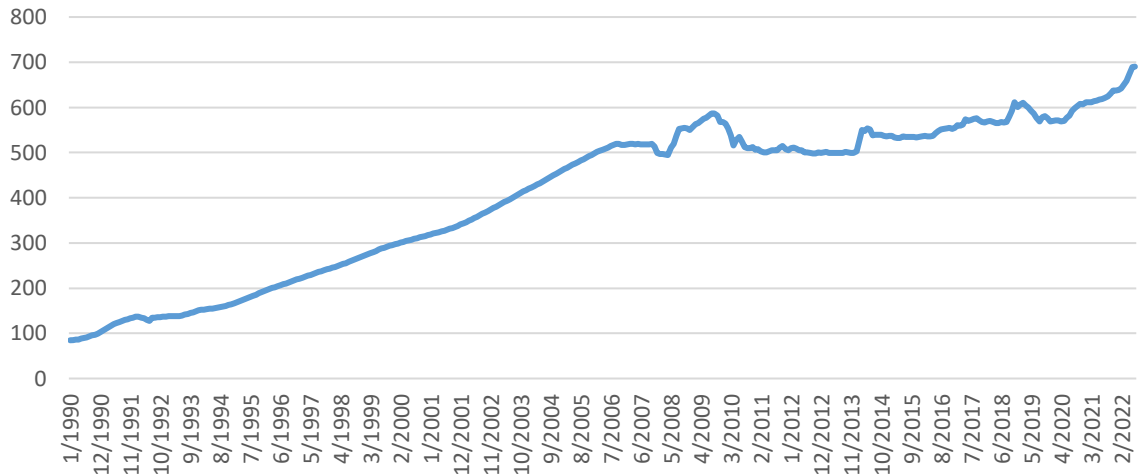
Nota. Fuente: Banco Central de Costa Rica (2022).

La Figura 10 muestra el tipo de cambio promedio de compraventa de referencia publicado por el Banco Central de Costa Rica, en la serie de datos se evidencian los cambios del régimen cambiario, el cual pasó de paridad reptante, a banda cambiaria, y luego a flotación administrada. Esta volatilidad permitió al Banco Central, tener una mayor independencia de la política monetaria, logrando así mantener la inflación baja y estable durante el periodo 2009 y 2020. Y tiene un efecto sobre la gestión de la deuda, ya que agrega incertidumbre sobre el precio de la divisa que implica un riesgo como será analizado posteriormente.

En la Figura 11 se muestra la Tasa de Interés Promedio ponderado del Mercado Integrado de Liquidez, se destaca su incremento producto de las variaciones de la Tasa Política Monetaria para el control de inflación en el último año. Durante el periodo de estudio, en el periodo posterior del 2009 al 2016 las tasas se comenzaron a reducir por el efecto de una menor inflación producto del éxito del régimen de meta de inflación del Banco Central de Costa Rica (BCCR), por otra parte, el incremento entre 2016 al 2019 se debe principalmente a un esfuerzo del BCCR para restaurar

Figura 10

Tipo de Cambio colón-dólar, promedio de compraventa del índice de referencia, (enero 2000 - junio 2022).



Nota. Fuente: Banco Central de Costa Rica (2022).

Figura 11

Tasa de Interés Promedio ponderado del Mercado Integrado de Liquidez (octubre 2009 - junio 2022).



Nota. Fuente: Banco Central de Costa Rica (2022).

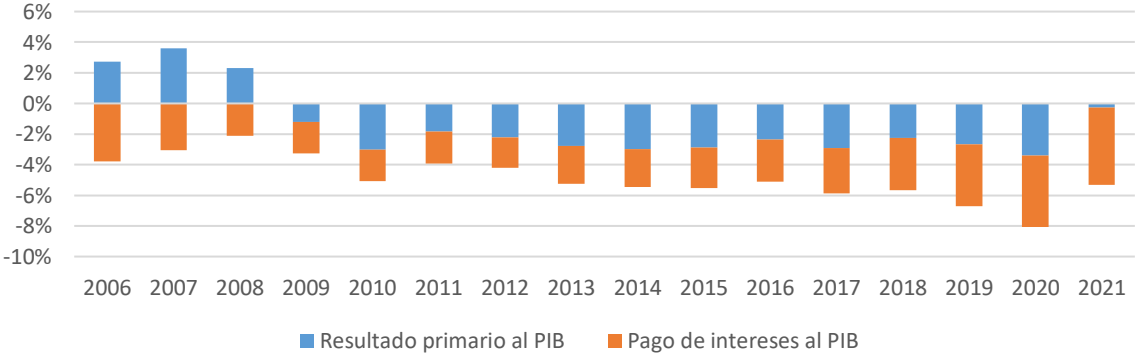
el premio de invertir en colones y estabilizar el mercado cambiario. Además, las presiones del déficit fiscal aumentaron las tasas de interés durante este periodo. Por último, la reducción de tasas entre 2019 y 2020 se debe a los esfuerzos para estimular el crédito por parte del BCCR producto de la crisis del Covid-19 que deprimió la demanda agregada.

El resultado financiero del Gobierno Central se presenta en la Figura 12, el resultado primario que excluye el pago de intereses muestra un deterioro hasta llegar a ser déficit en el 2009.

Ahora bien, como muestra la Figura 12 la presión del flujo de pago de intereses es alta y aumenta, y como se desprende del análisis realizado del perfil de deuda, los riesgos de la deuda han incrementado durante las últimas dos décadas. Lo que producto de la investigación de las vulnerabilidades identificadas en este capítulo, y el deterioro de las condiciones macroeconómicas en el corto plazo, lleva a poner especial énfasis en los riesgos de la deuda, de los cuales se debe calibrar un apetito al riesgo fundamentado en la información histórica. En el siguiente capítulo se detalla el proceso de calibración del apetito tomando en cuenta la información macroeconómica y de la deuda acá analizada.

Figura 12

Resultado Financiero del Gobierno Central según Resultado Primario y Pago de Intereses, (2006 - 2021).



Nota. Fuente: Ministerio de Hacienda, Gobierno de Costa Rica (2022).

CAPÍTULO IV. IDENTIFICACION DE LOS RIESGOS RELEVANTES DE LA DEUDA DEL GOBIERNO CENTRAL DE COSTA RICA

En este capítulo se define dentro de la función de optimización los riesgos relevantes de la deuda, a partir de mejores prácticas internacionales, para la elaboración de estrategias de endeudamiento de mediano plazo. Además de la definición dentro del modelo, se calibran los parámetros de apetito al riesgo mediante el uso de información histórica de los mercados, y se analizan los objetivos sobre algunos de estos indicadores de riesgo en el caso que estos sean explícitados por el Ministerio de Hacienda.

Como se mencionó en el apartado teórico el concepto de riesgo de la ISO 31000 da como resultado que los riesgos sean evaluados como las pérdidas asociadas a la ocurrencia de una desviación respecto a lo previsto, es decir, al analizar las desviaciones sobre los objetivos de mediano plazo, y los trade-off que existen entre exposiciones al riesgo. Esto implica que los efectos de estas desviaciones se deben incluir dentro de la función de pérdida del modelo de optimización como una diferencia con respecto al objetivo de mediano plazo, y ponderada por el apetito según el riesgo asociado.

Producto del análisis del marco teórico, es claro que el riesgo al ser valorado tiene dos componentes la probabilidad y la exposición, (y no solo exposición, como se deriva de los ejercicios del Ministerio de Hacienda). Por este motivo, a la exposición a los riesgos que se analizó en el capítulo anterior, se le agrega el análisis de la probabilidad de ocurrencia de incrementos en el costo por desvíos en los objetivos, esto para poder definir el apetito al riesgo que es incluido en el modelo.

Con respecto a la identificación de riesgos, al analizar la deuda, se deriva que del marco de las mejores prácticas indicados en el apartado 2.1.3 del Marco Teórico los riesgos relevantes de la deuda son:

- Volatilidad en el pago de intereses.
- El riesgo de tasas de interés.
- El riesgo de tipo de cambio.
- El riesgo de inflación.
- El riesgo de refinanciamiento.
- El riesgo de liquidez.

Del análisis se obtiene como resultado de que otros riesgo no financieros o relacionados con la operativa (igualmente mencionados por las mejores prácticas) tienen la particularidad que son independientes a la estrategia de colocación, por lo que dejan de ser relevantes en este análisis son:

- El riesgo de crédito (inversiones)
- Riesgos de pasivos contingentes
- Riesgos operativos
- Riesgo contraparte

La función de pérdida definida busca la agregación de los riesgos mediante una combinación lineal o sumatoria de elementos, esto para generar una medida única y estándar de cada estrategia evaluada dentro de los criterios de apetito según el apartado 2.2.4.3.5. del marco teórico.

Donde en la ecuación 20 para el costo y riesgo en el pago de intereses (volatilidad del costo) se utiliza el cálculo de la tasa de interés implícita de la deuda (La razón pago de intereses, al saldo de la deuda), y la volatilidad de este resultado dentro de las simulaciones del entorno económico subyacente del modelo, y estos se ponderan por φ_{Costo} y $\varphi_{Volatilidad}$ que son medidas de la importancia relativa de cada uno de estos indicadores dentro del apetito. Estos dos indicadores reflejan el enfoque tradicional de gestión de la deuda de solo preocuparse por estos dos indicadores, que en conjunto representan el CeR, cuando $\varphi_{Costo} = 1$ (neutral) y

$\varphi_{Volatilidad} = 1.645$, el número 1.645 es el cuantil de una distribución normal de una cola al 5% de confianza.

Como resultado la función sujeta a minimizar es de la forma:

$$\begin{aligned}
 f = & \left(\varphi_{Costo} i_t + \varphi_{Volatilidad} \sqrt{\sigma_{i_t}^2} \right) + \varphi_{Duración} \sqrt{\left(\frac{X_{duración}}{Obj_{Duración}} - 1 \right)^2} + \\
 & \varphi_{tasa} \sqrt{(X_{tasa} - Obj_{tasa})^2} + \varphi_{cambiarío} \sqrt{(X_{cambiarío} - Obj_{cambiarío})^2} + \\
 & \varphi_{refinanciamiento} \sqrt{(X_{refinanciamiento} - Obj_{refinanciamiento})^2} + \\
 & \varphi_{inflación} \sqrt{(X_{inflación} - Obj_{inflación})^2} + \varphi_{liquidez} \sqrt{(X_{liquidez} - Obj_{liquidez})^2} + \\
 & \varphi_{plaza} \sqrt{(X_{plaza} - Obj_{plaza})^2} \tag{20}
 \end{aligned}$$

Donde la calibración para estos parámetros obtenidos para el modelo es:

- Exposición al riesgo cambiario (en dólares) **$Obj_{cambiarío} = 30\%$** .
- Exposición a riesgo de liquidez (Vencimientos a menos de un año) **$Obj_{liquidez} = 7.5\%$** .
- Exposición a riesgo de inflación (Indexados) **$Obj_{inflación} = 10\%$** .
- Exposición a riesgo de tasa (Tasa variable) **$Obj_{tasa} = 17.5\%$**
- Exposición a vencimientos a menos de 3 años **$Obj_{refinanciamiento} = 45\%$**
- Objetivo sobre el plazo de vencimiento de la deuda **$Obj_{duración} = 7.7$ años**
- Exposición a mercados internacionales **$Obj_{plaza} = 25\%$** .

El costo en riesgo según lo indicado en el apartado 2.1.5 del marco teórico se incluye en la función de pérdida como:

$$CeR = \left(i_t + 1.645 \sqrt{\sigma_{i_t}^2} \right) \tag{21}$$

Para los otros riesgos identificados se utilizarán φ para cada riesgo, este parámetro se interpreta como la importancia relativa de cada uno de los riesgos dentro del apetito, y las desviaciones cuadráticas sobre los objetivos de la exposición al riesgo de cada uno de estos serán las diferencias para minimizar, por el modelo.

La calibración de los parámetros de objetivo de los apetitos se define con lo que el Ministerio de Hacienda ha anunciado como deseable, y se toma el punto medio de los rangos anunciados en los planes de colocación semestrales del Ministerio de Hacienda.

Para los parámetros de objetivos de vencimientos a 3 años e indicadores de plazo al vencimiento se definen basado en OCDE (2022), se fundamenta en promedio siguiendo a Hahm y Kim (2002), que definen su promedio analizando las deudas de otros países.

Con respecto al indicador de deuda externa se utiliza el promedio de exposición a este riesgo de los últimos 20 años, debido a que se carece de un indicador objetivo para este rubro.

Una vez definidos los objetivos se procede a analizar los pesos de los apetitos al riesgo de cada uno de los objetivos, la calibración de estos valores se realizó con información histórica de las variables. Para el cálculo se cuentan, desde un punto de vista frecuentista, los meses en que las variables de referencia materializan el riesgo, a lo cual se le asigna un valor y este se calcula como proporción del total de los datos (por lo que se interpreta como la probabilidad de que el tipo de cambio aumente, por ejemplo). Como ya se mencionó, se requiere, además de la probabilidad la exposición por lo que se le aplica al resultado un factor de variabilidad, por medio del coeficiente de variación. Esto logra capturar la magnitud de las variaciones del indicador al que se está expuesto, así se obtiene una medida ponderada de probabilidad e impacto.

De manera que los apetitos se calculan con la fórmula:

$$\varphi_x = P(x_t - x_{t-1} > 0) * \left(1 + \frac{\sigma_x}{\bar{x}}\right) \quad (22)$$

Donde $P(x_t - x_{t-1} > 0)$ es la probabilidad que el riesgo se materialice, y $\left(1 + \frac{\sigma_x}{\bar{x}}\right)$ es un factor de variabilidad que utiliza el coeficiente de variación de la variable.

Lo que como resultado se calculan los parámetros en:

- Parámetro de Riesgo de Tasa $\varphi_{tasa} = 41\%$
- Parámetro de Riesgo Cambiario $\varphi_{cambiario} = 81\%$
- Parámetro de Riesgo de Inflación $\varphi_{inflación} = 88\%$
- Parámetro de Riesgo de Liquidez $\varphi_{liquidez} = 90\%$
- Parámetro de Riesgo de Plaza $\varphi_{plaza} = 53\%$
- Parámetro de Riesgo de Refinanciamiento $\varphi_{refinanciamiento} = 55\%$
- Ponderación del objetivo de plazo del portafolio $\varphi_{Duración} = 10$

Para el objetivo de duración, se calibra en el valor de 10 (un valor relativamente alto), la razón de definir este valor se explica por las siguientes razones: 1) Es un indicador medido en años, lo que reduce su magnitud al calcular desviaciones porcentuales, 2) el plazo es un indicador clave ya que resume el riesgo de refinanciamiento y de tasa, 3) siguiendo la línea de Hahm y Kim (2002), se indica que las fluctuaciones de corto plazo pueden influenciar el valor de mercado de la deuda, por lo que en muchos países se define un objetivo de duración, lo que permite controlar los riesgos de mediano plazo, y los riesgos de liquidez. 4) Aumentar el plazo de vencimiento es clave para evitar presiones de aumento de tasa en el mercado financiero, y promueve el desarrollo del mercado de valores.

Como resultado de la calibración se determina que la función de pérdida a incluir en el proceso de optimización se define como:

$$\begin{aligned}
 f = & \left(i_t + 1.645 \sqrt{\sigma_{i_t}^2} \right) + 10 \sqrt{\left(\frac{X_{duración}}{7.7} - 1 \right)^2} + 0.41 \sqrt{(X_{tasa} - 0.175)^2} + \\
 & 0.81 \sqrt{(X_{cambiarío} - 0.30)^2} + 0.55 \sqrt{(X_{refinanciamiento} - 0.45)^2} + \\
 & 0.88 \sqrt{(X_{inflacion} - 0.1)^2} + 0.90 \sqrt{(X_{liquidez} - 0.075)^2} + 0.53 \sqrt{(X_{plaza} - 0.25)^2}
 \end{aligned}
 \tag{23}$$

La función 23 se interpreta como el apetito al riesgo del Ministerio de Hacienda, y es la que es incorporada en el modelo y será la función para minimizar como parte de los resultados del capítulo V sobre el cálculo de la propuesta de la estrategia de colocación de mediano plazo.

En este capítulo se calculó la función de optimización con los riesgos relevantes identificados para la deuda, esto a partir de los indicado en las mejores prácticas internacionales, y a la información histórica y vulnerabilidades previamente identificadas. En el siguiente capítulo se tomará la información del apetito del riesgo para calcular y proponer la estrategia de deuda de mediano plazo mediante el modelo de optimización del costo - riesgo para la deuda pública de Costa Rica.

CAPÍTULO V. PROPUESTA DE UNA ESTRATEGIA ÓPTIMA DE COLOCACIÓN DE DEUDA DE MEDIANO PLAZO

En este capítulo el objetivo es proponer una estrategia de colocación de deuda de mediano plazo mediante un modelo de optimización del costo - riesgo para la deuda pública de Costa Rica para el periodo de proyección 2021-2027. Es importante mencionar que para lograr esto, se realiza una explicación de los pasos previos para validar los resultados de la simulación y el proceso de optimización.

En una primera parte se detallan los elementos del modelo satélite o economía simulada donde se alimenta el modelo de simulación. Luego se describen los pasos tomados para lograr simular la evolución de los costos de la deuda. Se detalla el proceso de calibración de las condiciones iniciales del modelo, y se finaliza con la estimación del proceso de optimización que da como resultado la propuesta de la estrategia de colocación óptima. Adicionalmente se pone a disposición el código de programación del modelo en Rstudio como se detalla en los anexos del 1 al 4.

5.1. Modelo satélite y proyecciones macroeconómicas

Como ya se presentó en el marco teórico, las proyecciones macroeconómicas serán la economía simulada y son realizadas con un modelo satélite, se utiliza la metodología de estimación de Vector de Corrección de Errores (VECM) (El código de programación del modelo en RStudio se detalla en el Anexo 1), para obtener una estimación pasiva del contexto económico que tome en cuenta, las relaciones de convergencia de largo plazo de las variables y la estimación de las funciones de impulso- respuesta que funcionan para sensibilizar las estimaciones.

Se presentan los pasos de estimación a grandes rasgos ya que el modelo de proyección es soporte al modelo de simulación y su insumo principal serán las proyecciones de largo plazo. El modelo VECM proyecta 4 variables clave, para el modelo de simulación estas son la Inflación, la Actividad Económica, la Tasa de Interés, y el tipo de cambio, cuyos hechos estilizados y movimientos se analizaron

en el capítulo III, y evidencian un aumento de la inflación, tasas de interés, tipo de cambio con una desaceleración de la actividad económica.

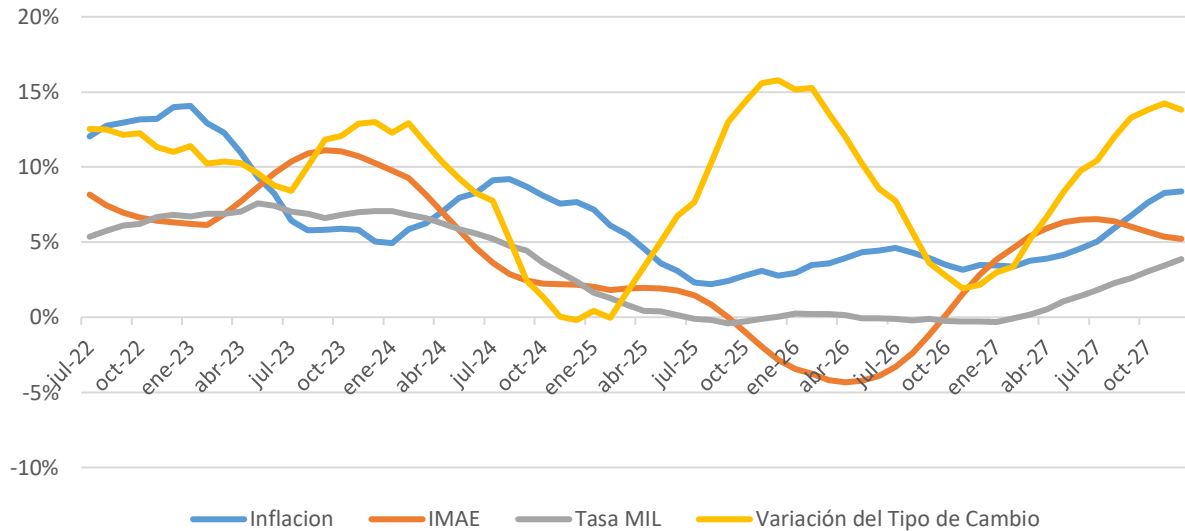
Con respecto a la estimación del modelo satélite de proyección requerido por la metodología, se define la cantidad de rezagos utilizando el criterio de información de Hannan–Quinn estimado para el Vector autorregresivo sin restricciones (VAR), para lo que se selecciona el rezago 14. Como parte de las pruebas de diagnóstico al modelo VAR, y al realizar las pruebas de estabilidad, este no las supera. Por esta razón, se realizan pruebas de raíz unitaria, en las pruebas de integración de las variables se detecta que la inflación y las tasas de interés siguen procesos integrados de orden 1. Por lo que se procede con la metodología VECM según lo previsto, los resultados de cointegración del modelo indican que las variables tienen un rango 2, por lo que se estima el VECM con dos vectores de largo plazo. El modelo se estima en RStudio y las proyecciones de línea base se detallan en la Figura 13, y en el anexo 5.

Los resultados de las proyecciones (ver Figura 13) muestran un ciclo de tasas de interés que aumentan hasta el año 2024, que disminuye hasta el inicio del 2027 y luego se proyectan incrementos, producto de la estabilización del ciclo.

La inflación se proyecta que disminuye su valor lentamente, con oscilaciones que corresponden al ciclo económico, que marca la proyección del IMAE, el tipo de cambio tiene una volatilidad mayor que las otras variables, pero es claro que guarda relación con la dinámica de la inflación y tasas de interés. Es importante mencionar que el modelo estima en el año 2025 hasta el 2026, una desaceleración económica que llega a valores de tasas de crecimiento negativas. Esto coincide con estimaciones de recesión para las economías, producto del incremento acelerado de las tasas de interés durante el 2022, y posibles efectos de segunda ronda en la inflación, debido a las afectaciones de la crisis de suministros, la guerra en Ucrania y los efectos de la post pandemia del COVID-19.

Figura 13

Proyección de variables del modelo satélite VECM



Nota. Fuente: Elaboración propia.

Las proyecciones de la Figura 13 serán transformadas de tasas de crecimiento a niveles en el caso que sea necesario utilizar el dato para la proyección dentro de la ecuación de dinámica de la deuda, por ejemplo, para el cálculo del tipo de cambio, el PIB, y el tipo de cambios UDES. La proyección del saldo primario, que es necesaria para el cálculo de las necesidades de financiamiento de la deuda, es tomada como exógena y se presentará más adelante.

Las proyecciones también serán insumos para las simulaciones de instrumentos indexados, de tasas variable y en moneda extranjera ya que el saldo de deuda proyectada dentro de las simulaciones es denominado en colones o como porcentaje del PIB (El código de programación de las proyecciones en niveles en RStudio se detalla Anexo 2).

En una sección posterior los resultados de las proyecciones son sensibilizados con las funciones de impulso respuesta del modelo VECM, para generar escenarios diversos.

5.2. Calibración de condiciones iniciales de la simulación

En este apartado se muestran los resultados de la calibración de las condiciones iniciales del modelo de simulación, así como el proceso seguido para las simulaciones de las trayectorias de los costos de los instrumentos de deuda. Además, se muestran los resultados de los datos publicados para junio 2022 que son condiciones iniciales para algunos saldos, y la composición del perfil de la deuda. También se exponen las proyecciones del Ministerio de Hacienda acerca del Resultado Primario del Déficit Fiscal de los próximos 5 años, estos resultados son primordiales para el cálculo de las necesidades de financiamiento del Ministerio de Hacienda.

5.2.1. Simulación y calibración de los costos de instrumentos de colocación de deuda

Las simulaciones de las trayectorias de los intereses, se realizan siguiendo el principio de que la evolución de las tasas de interés y el costo de la deuda en el futuro son inciertas. Las simulaciones de escenarios futuros de costo y riesgo dependen de la estrategia y la evaluación futura de los rendimientos de los diversos instrumentos, los instrumentos son simulados utilizando las características de las emisiones (Indexadas, tasa fija variable, plazo, moneda, etc.).

Las simulaciones se realizan con procesos estocásticos Autorregresivos de promedio Móviles (ARMA), con parámetros de volatilidad calibrados con datos históricos, para acercar las simulaciones a los datos históricos, y estimar trayectorias probables de los costos de los instrumentos (El código de programación de la función personalizada de simulación en RStudio se detalla Anexo 3).

La generación de números aleatorios conserva la correlación entre la evolución de las tasas de interés, para ello se utilizó la factorización de Cholesky de la matriz de varianzas y covarianzas (Γ), ya que las trayectorias no son independientes,

dependen de la estructura de plazos y otros factores. Las ecuaciones 24 a la 27 muestran el proceso seguido para las simulaciones.

$$r_t = \bar{r} * \alpha + (1 - \alpha)r_{t-1} + u_t \quad (24)$$

$$u_t = \Gamma * v_t \quad (25)$$

$$u_t \sim N(0, \sigma_i^2) \quad (26)$$

$$v_t \sim N(0,1) \quad (27)$$

Donde:

r : es el costo del instrumento de deuda.

\bar{r} : es la condición inicial del costo del instrumento de deuda.

u_t : es un valor aleatorio de error con varianza calibrada.

v_t : es un valor aleatorio distribuido según una normal estándar.

Γ : es la descomposición de cholesky de la matriz de varianzas y covarianzas.

α : es un factor de autocorrelación de los datos.

La matriz de varianzas y covarianzas se presenta en la Tabla 3, esta se estima utilizando datos históricos de instrumentos ya emitidos en el mercado secundario que fueron series de referencia y se encuentran en profundidad porque han sido colocados en el mercado primario, cuyos nemotécnicos serán mencionados a continuación.

El parámetro σ es calibrado en 0.05 para mantener la variabilidad de las variaciones entre los parámetros de autocorrelación de las variables simuladas, y los costos para cada uno de los instrumentos de colocación se presentan en la Tabla 4, es importante mencionar que para los instrumentos de cero cupón se utiliza como

referencia la serie con el nemotécnico CRN151123⁴, para los instrumentos renta fija en colones para los plazos de 3, 5, 7 y 10 años se utilizan las series CRG220223, CRG290125, CRG250827, y CRG270230.

Para los instrumentos de renta fija en dólares se utilizan las siguientes series para los plazos de 0, 3, 5, 7, 10 años respectivamente CRE\$120723, CRG\$240523, CRG\$160725, CRG\$210727 y G\$221130. Para los instrumentos en UDES se utilizan las series U240724, CRU250134, CRU250140 como las referencias para 5, 10 y 15 años respectivamente. Para los instrumentos en Udes y dólares para colonizar los efectos, se utiliza los resultados de variación del tipo de cambio e inflación del modelo de proyección macroeconómico.

Para los instrumentos de tasa básica se utiliza este indicador como referencia, para los instrumentos TPRAS se utiliza la curva soberana para el plazo de 10 años. Y para los bonos de deuda externa como referencia a 5 años se utiliza la serie US221597BS57 y USP3699PGH49 para el plazo de 10 años. Para los créditos se simplifica el indicador para utilizar la LIBOR (porque tiene historia para simular, pero se es consciente de que el indicador será descontinuado).

⁴ Los nemotécnicos en Costa Rica tienen una estructura estándar; CR significa Costa Rica, G significa Gobierno, a veces como cuarta letra se agrega una letra o símbolo el cual denota si el instrumento es de tasa variable (U: TUDES, S: TPRAS) o se denomina en dólares (\$), los últimos 6 dígitos hacen referencia a su fecha de vencimiento, por ejemplo 151123 significa que bono vence el 15 de noviembre del 2023.

Tabla 3

Matriz de varianzas y covarianzas de los costos de la deuda

| | 0tp | tp3 | tp5 | tp7 | tp10 | tbp | tpras | 0tp\$ | tp\$3 | tp\$5 | tp\$7 | tp\$10 | TUDES5 | TUDES10 | TUDES15 | Eurobonos5 | Eurobonos10 | Creditos |
|--------------------|------------|------------|------------|------------|-------------|------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|---------------|---------------|----------------|----------------|-------------------|--------------------|-----------------|
| 0tp | 0,001% | -0,006% | 0,000% | -0,002% | -0,002% | 0,000% | -0,001% | -0,002% | -0,003% | -0,002% | -0,002% | 0,000% | 0,000% | 0,000% | 0,000% | -0,001% | 0,000% | 0,001% |
| tp3 | -0,006% | 0,138% | 0,009% | 0,053% | 0,050% | 0,010% | 0,039% | 0,020% | 0,113% | 0,061% | 0,046% | 0,023% | 0,006% | 0,011% | 0,002% | 0,040% | 0,012% | -0,007% |
| tp5 | 0,000% | 0,009% | 0,003% | 0,004% | 0,003% | 0,001% | 0,002% | 0,000% | 0,011% | 0,006% | 0,004% | 0,002% | 0,000% | 0,001% | 0,000% | 0,005% | 0,003% | 0,001% |
| tp7 | -0,002% | 0,053% | 0,004% | 0,025% | 0,022% | 0,004% | 0,018% | 0,007% | 0,049% | 0,027% | 0,019% | 0,012% | 0,002% | 0,004% | 0,001% | 0,017% | 0,005% | -0,002% |
| tp10 | -0,002% | 0,050% | 0,003% | 0,022% | 0,021% | 0,004% | 0,017% | 0,007% | 0,044% | 0,024% | 0,017% | 0,010% | 0,002% | 0,004% | 0,001% | 0,014% | 0,004% | -0,002% |
| tbp | 0,000% | 0,010% | 0,001% | 0,004% | 0,004% | 0,001% | 0,003% | 0,001% | 0,008% | 0,005% | 0,003% | 0,001% | 0,000% | 0,001% | 0,000% | 0,003% | 0,001% | 0,000% |
| tpras | -0,001% | 0,039% | 0,002% | 0,018% | 0,017% | 0,003% | 0,014% | 0,005% | 0,034% | 0,018% | 0,013% | 0,008% | 0,002% | 0,003% | 0,001% | 0,010% | 0,002% | -0,002% |
| 0tp\$ | -0,002% | 0,020% | 0,000% | 0,007% | 0,007% | 0,001% | 0,005% | 0,006% | 0,015% | 0,009% | 0,006% | 0,004% | 0,001% | 0,001% | 0,000% | 0,005% | 0,001% | -0,002% |
| tp\$3 | -0,003% | 0,113% | 0,011% | 0,049% | 0,044% | 0,008% | 0,034% | 0,015% | 0,109% | 0,060% | 0,043% | 0,025% | 0,004% | 0,010% | 0,002% | 0,041% | 0,014% | -0,003% |
| tp\$5 | -0,002% | 0,061% | 0,006% | 0,027% | 0,024% | 0,005% | 0,018% | 0,009% | 0,060% | 0,034% | 0,024% | 0,014% | 0,002% | 0,006% | 0,001% | 0,023% | 0,008% | -0,002% |
| tp\$7 | -0,002% | 0,046% | 0,004% | 0,019% | 0,017% | 0,003% | 0,013% | 0,006% | 0,043% | 0,024% | 0,017% | 0,009% | 0,002% | 0,004% | 0,001% | 0,016% | 0,006% | -0,001% |
| tp\$10 | 0,000% | 0,023% | 0,002% | 0,012% | 0,010% | 0,001% | 0,008% | 0,004% | 0,025% | 0,014% | 0,009% | 0,008% | 0,001% | 0,002% | 0,000% | 0,009% | 0,003% | 0,000% |
| TUDES5 | 0,000% | 0,006% | 0,000% | 0,002% | 0,002% | 0,000% | 0,002% | 0,001% | 0,004% | 0,002% | 0,002% | 0,001% | 0,000% | 0,000% | 0,000% | 0,001% | 0,000% | 0,000% |
| TUDES10 | 0,000% | 0,011% | 0,001% | 0,004% | 0,004% | 0,001% | 0,003% | 0,001% | 0,010% | 0,006% | 0,004% | 0,002% | 0,000% | 0,001% | 0,000% | 0,004% | 0,002% | 0,000% |
| TUDES15 | 0,000% | 0,002% | 0,000% | 0,001% | 0,001% | 0,000% | 0,001% | 0,000% | 0,002% | 0,001% | 0,001% | 0,000% | 0,000% | 0,000% | 0,000% | 0,001% | 0,000% | 0,000% |
| Eurobonos5 | -0,001% | 0,040% | 0,005% | 0,017% | 0,014% | 0,003% | 0,010% | 0,005% | 0,041% | 0,023% | 0,016% | 0,009% | 0,001% | 0,004% | 0,001% | 0,020% | 0,008% | 0,000% |
| Eurobonos10 | 0,000% | 0,012% | 0,003% | 0,005% | 0,004% | 0,001% | 0,002% | 0,001% | 0,014% | 0,008% | 0,006% | 0,003% | 0,000% | 0,002% | 0,000% | 0,008% | 0,004% | 0,001% |
| Creditos | 0,001% | -0,007% | 0,001% | -0,002% | -0,002% | 0,000% | -0,002% | -0,002% | -0,003% | -0,002% | -0,001% | 0,000% | 0,000% | 0,000% | 0,000% | 0,000% | 0,001% | 0,002% |

Nota. Fuente: Elaboración propia.

Tabla 4

Calibración de los costos iniciales según instrumento de deuda del Modelo de Simulación

| Instrumento | Plazo (Años) | Costos |
|--------------------|-------------------------|---------------|
| Otp | 1 | 2,96% |
| tp3 | 3 | 5,98% |
| tp5 | 5 | 2,69% |
| tp7 | 7 | 5,68% |
| tp10 | 10 | 8,73% |
| tbp | 10 | 6,86% |
| tpas | 10 | 7,22% |
| Otp\$ | 1 | 1,53% |
| tp\$3 | 3 | 5,51% |
| tp\$5 | 5 | 6,59% |
| tp\$7 | 7 | 3,90% |
| tp\$10 | 10 | 6,88% |
| TUDES5 | 5 | 4,58% |
| TUDES10 | 10 | 3,90% |
| TUDES15 | 15 | 6,83% |
| Eurobonos5 | 5 | 5,56% |
| Eurobonos10 | 10 | 8,50% |
| Créditos | 12 | 2,39% |

Nota. Fuente: Elaboración propia.

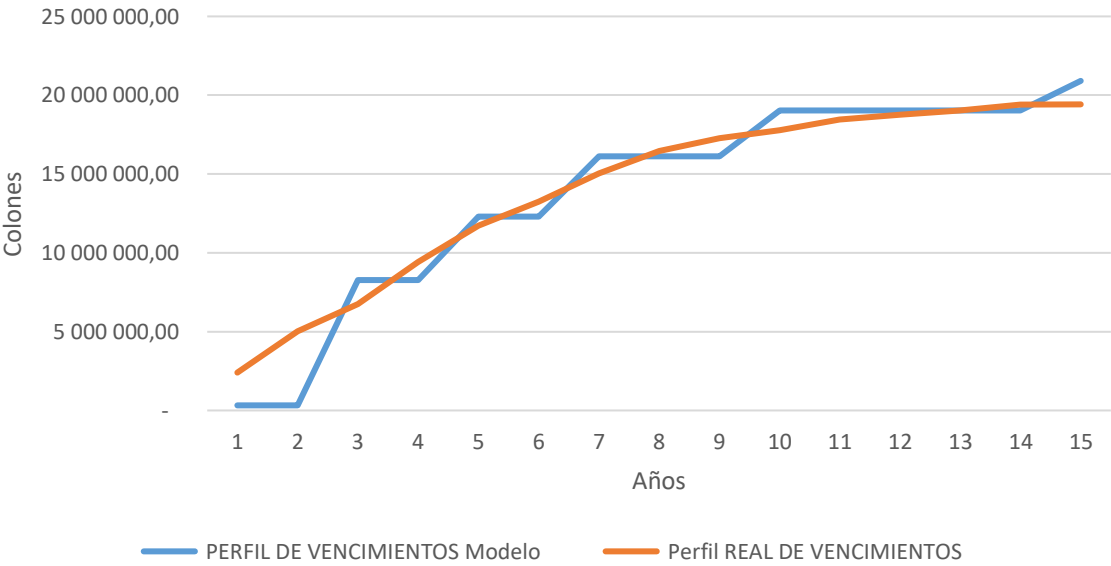
5.2.2. Calibración de las condiciones iniciales del Saldo de la Deuda

Para la calibración del saldo de la deuda se utiliza el saldo de junio del 2022 de 28 443 391.98 millones de colones, según lo indicado por el perfil de la deuda publicado por el Ministerio de Hacienda. Para los instrumentos de los cuales se tiene información del saldo de la deuda emitida, se toman estos datos del perfil de la deuda. Para el componente de renta fija en colones, dólares y UDES no se tiene la descomposición combinada por plazo e instrumento de la deuda en el Perfil de la Deuda.

Para solucionar este problema se realiza en la herramienta Solver de Excel, se realiza un ajuste que permite utilizar la información disponible sobre los totales para estimar la composición, lo que permite calibrar los vencimientos utilizando información de los vencimientos reales de la deuda publicados por el Ministerio de Hacienda. Esto permite poder calibrar las composiciones de los instrumentos cumpliendo el requisito de que los totales cierren con los que se encuentran publicados. El resultado de la comparación de vencimientos se muestra en la Figura 14, lo que muestra que las diferencias son mínimas y valida la calibración.

Figura 14

Comparación de vencimientos acumulados observados en el Perfil de la Deuda y condiciones iniciales calibradas para el modelo.



Nota. Fuente: Elaboración propia.

Adicional se comparan los indicadores de costo y maduración promedio entre los datos calibrados y los observados y se valida que las diferencias son las mínimas (ver Tabla 5).

Tabla 5

Indicadores de costo y maduración promedio para modelo calibrado y observado.

| Indicador | Observado | Calibrado |
|-------------------------|------------------|------------------|
| Maduración Promedio | 7,248 | 7,314 |
| Tasa Promedio Ponderada | 9,40% | 10,80% |

Nota. Fuente: Elaboración propia.

La Tabla 6 resume el saldo porcentual por instrumento de las condiciones iniciales del modelo calibrado, de las cuales también se presentan las características de los instrumentos del modelo en términos de tipo de tasa, moneda, plaza de colocación y plazo al vencimiento.

El porcentaje de deuda por vencer se calibra en 11.42% lo cual corresponde al promedio de vencimientos anuales para los próximos 5 años, dato calculado con el perfil de vencimientos de la deuda publicado por el Ministerio de Hacienda.

El saldo primario utilizado para la calibración del modelo se toma de la exposición de motivos del Presupuesto Nacional 2022 la cual incluye las proyecciones del Ministerio de Hacienda con respecto a esta variable.

Tabla 6*Instrumentos y condiciones iniciales del saldo de la deuda para modelo calibrado.*

| Instrumento | Plazo (Años) | Saldo de la deuda | Fij o | Variabl e | Colone s | Dólares s | Ude s | Corto Plazo | Deuda Interna | Deuda Externa |
|--------------------|-------------------------|------------------------------|------------------|----------------------|---------------------|----------------------|------------------|------------------------|--------------------------|--------------------------|
| Otp | 1 | 0,95% | 1 | 0 | 1 | 0 | 0 | 1 | 1 | 0 |
| tp3 | 3 | 13,37% | 1 | 0 | 1 | 0 | 0 | 1 | 1 | 0 |
| tp5 | 5 | 13,64% | 1 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 |
| tp7 | 7 | 13,20% | 1 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 |
| tp10 | 10 | 0,00% | 1 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 |
| tbp | 10 | 4,25% | 0 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 |
| tpras | 10 | 5,90% | 0 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 |
| Otp\$ | 1 | 0,16% | 1 | 0 | 0 | 1 | 0 | 1 | 1 | 0 |
| tp\$3 | 3 | 14,17% | 1 | 0 | 0 | 1 | 0 | 1 | 1 | 0 |
| tp\$5 | 5 | 0,23% | 1 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 1 | 0 |
| tp\$7 | 7 | 0,00% | 1 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 1 | 0 |
| tp\$10 | 10 | 0,00% | 1 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 1 | 0 |
| TUDES5 | 5 | 0,00% | 0 | 1 | 0 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 |
| TUDES10 | 10 | 0,00% | 0 | 1 | 0 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 |
| TUDES15 | 15 | 6,43% | 0 | 1 | 0 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 |
| Eurobonos5 | 5 | 3,59% | 1 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 1 |
| Eurobonos10 | 10 | 9,58% | 1 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 1 |
| Créditos | 12 | 14,52% | 1 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 1 |

Nota. Fuente: elaboración propia.

5.2.3. Saldo primario del Déficit Fiscal del Gobierno Central

La Tabla 7 muestra los resultados de las proyecciones del Ministerio de Hacienda con respecto al saldo primario, esta información es incorporada como exógena en el modelo de simulación, y dado que el modelo es mensual, se realiza un cambio de escala de las proyecciones.

Tabla 7

Saldo primario como porcentaje del PIB proyectado por el MH según el Proyecto de Presupuesto Nacional del 2022 (periodo de proyección 2022-2027)

| Fecha | Saldo primario Proyectado por el MH |
|--------------|--|
| 2022 | 1,19% |
| 2023 | 1,50% |
| 2024 | 1,58% |
| 2025 | 2,03% |
| 2026 | 2,21% |
| 2027 | 2,52% |

Nota. Fuente: Elaboración propia con base en los datos de la Dirección de Crédito Público, Ministerio Hacienda, Gobierno de Costa Rica (2022).

En el siguiente apartado se muestran los resultados de la estimación, y su comparación con dos estrategias, la publicada por el Ministerio de Hacienda (2022) y una estrategia pasiva de mantener los saldos de la deuda tal cual el saldo de la deuda de junio del 2022, es decir una estrategia que no gestiona la deuda.

En cada iteración el algoritmo selecciona un mínimo y este es depurado hasta alcanzar la convergencia de las estimaciones. Sobre las condiciones iniciales del algoritmo de simulación, este realiza 1000 iteraciones⁵, de las cuales en cada una

⁵ Lo anterior implica que el algoritmo ejecuta 165 millones de cálculos dentro de los bucles programados en RStudio. Lo anterior en una PC con un procesador Intel(R) Core(TM) i5-10210U CPU @ 1.60GHz 2.11 GHz, y 8,00 GB de RAM, tarda alrededor de 5 horas cada cálculo.

se prueban 50 estrategias, y 50 escenarios económicos, para 66 meses de proyección (El código de programación del modelo de optimización en RStudio se detalla Anexo 4).

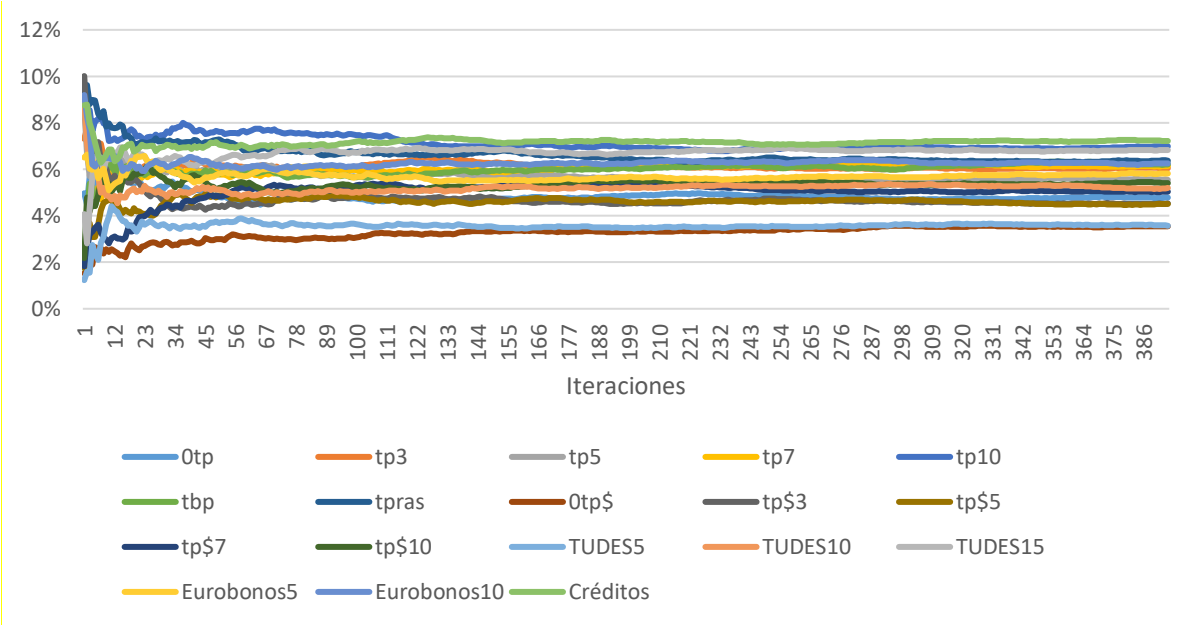
5.3. Resultados de estimaciones de la estrategia de mediano plazo

La Figura 15 muestra los resultados de las simulaciones en cada iteración y la convergencia del algoritmo de optimización a valores para cada uno de los instrumentos, en la estimación de 1000 iteraciones, la convergencia se alcanza alrededor de la iteración 200.

Los resultados de la estrategia base estimada se presentan en la Figura 16, en la cual destaca el aumento en instrumentos de largo plazo, ya que aumentar las colocaciones en plazos mayores de 10 años aumenta la duración del portafolio, y minimiza los riesgos de refinanciamiento.

Figura 15

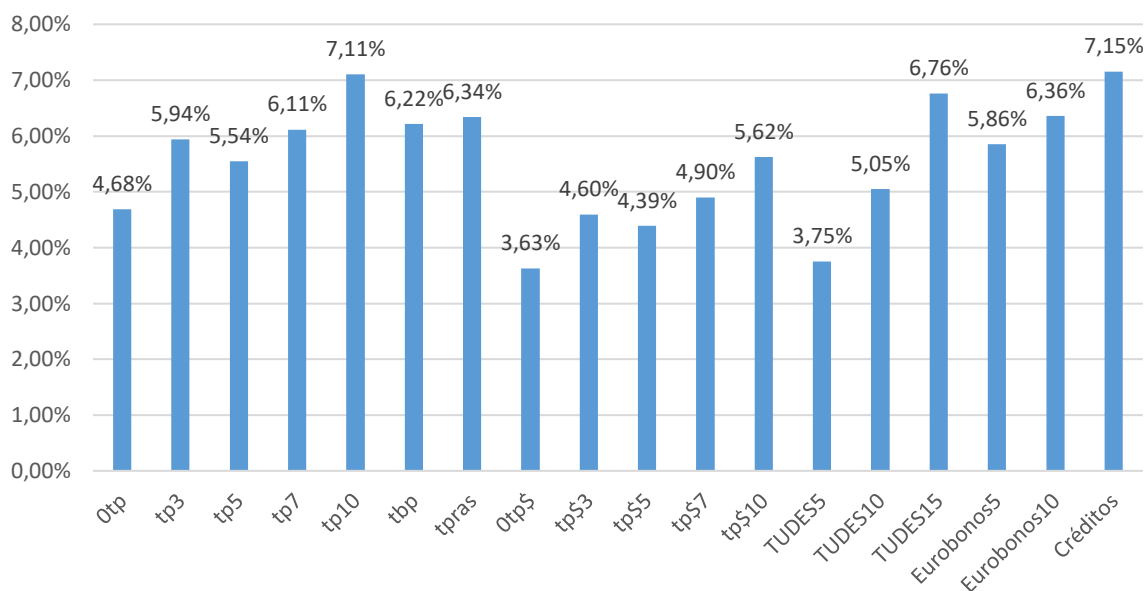
Convergencia de la estrategia estimada por instrumento, según iteraciones del algoritmo de optimización.



Nota. Fuente: Elaboración propia con base en estimaciones realizadas.

Figura 16

Estrategia de endeudamiento de Mediano Plazo Estimada para el Gobierno Central.



Notas. Fuente: Elaboración propia con base en las estimaciones realizadas.

La Tabla 8, detalla los aportes de cada uno de los objetivos en la función de pérdida, donde los desvíos en términos de la estrategia del Ministerio de Hacienda existen, por lo que la estrategia de nuevas colocaciones de MH, no es consistente con sus objetivos sobre la composición del saldo de la deuda. Adicionalmente, como esta acorta los plazos de colocación, representa una mayor exposición a riesgos que la que se encuentra en la composición del saldo de la deuda calibrado.

La estrategia del MH implica un aumento del 17,87%, sobre el saldo de la deuda con respecto a la función de pérdida, que representa el apetito al riesgo. El modelo de optimización estima una estrategia que es un -46.49% menor en la función de pérdida, por lo que en el global representa una menor exposición a riesgos.

Tabla 8*Resultado de optimización y efecto de cada objetivo sobre la Función de Pérdida*

| Factor | MH (2022) | Saldo de la deuda (Calibrado) | Estimación Base |
|--------------------------------|----------------------|--|----------------------------|
| Riesgo Tasa | 0,0062 | 0,0038 | 0,0438 |
| Riesgo Refinanciamiento | 0,1552 | 0,0707 | 0,1125 |
| Riesgo Cambiario | 0,0325 | 0,0995 | 0,1015 |
| Riesgo Inflación | 0,0088 | 0,0314 | 0,0489 |
| Riesgo Liquidez | 0,0045 | 0,0577 | 0,0073 |
| Riesgo Plaza | 0,0053 | 0,0143 | 0,0300 |
| Duración | 0,7338 | 0,5008 | 0,0151 |
| Costo Implícito | 6,099% | 6,134% | 6,151% |
| Volatilidad | 8,435% | 8,660% | 7,491% |
| Total de Función de pérdida | 1,0916 | 0,9261 | 0,4956 |

Nota. Fuente: Elaboración propia con base en las estimaciones realizadas.

Como se detalla en la Tabla 9, si esos aportes se representan de manera porcentual, se infiere que el principal problema de la Estrategia del MH es su corta duración relativa al objetivo de duración. La estimación base sacrifica la composición, para aumentar el plazo al vencimiento del portafolio. Lo que es óptimo considerando el apetito al riesgo calibrado, ya que logra un mejor resultado que la Estrategia del MH en términos absolutos.

Tabla 9

Efecto porcentual de cada objetivo sobre la Función de Pérdida

| Aportes % | MH (2022) | Saldo de la deuda (Calibrado) | Estimación Base |
|------------------|------------------|--|------------------------|
| Riesgos deuda | 19,47% | 29,95% | 69,42% |
| Duración | 67,22% | 54,08% | 3,05% |
| CeR | 13,31% | 15,97% | 27,53% |

Nota. Fuente: Elaboración propia.

Al comparar los resultados de la estimación base de la estrategia con la estrategia del Ministerio de Hacienda publicada en el 2022, destaca:

- La asignación a instrumentos cero cupones se mantienen en 8% en ambos casos.
- La porción de renta fija en colones es menor en la estrategia se estima en 24.71%, mientras que el Ministerio de Hacienda la coloca en 50%.
- Con respecto a las emisiones en dólares en mercado local, la estrategia la estima en 19.5%, mientras que el Ministerio de Hacienda la coloca en 0%.
- El componente variable se estima en 12.56% vs el 9% del Ministerio de Hacienda.
- Y la deuda externa se estima en 19.37%, vs un 26% del Ministerio de Hacienda.

El principal beneficio de la estrategia estimada en este documento, es que minimiza los riesgos identificados al aumentar la duración. Este cambio está enfocado en las emisiones locales, que vencen en más del 50% en los próximos 5 años, y no depende de la deuda externa para ello, cuyos vencimientos están concentrados en años específicos.

5.4. Sensibilidad de la estrategia a escenarios macroeconómicos

Para sensibilizar el modelo, se utilizan las funciones de Impulso Respuesta del modelo VECM estimado, y se ajustan en la magnitud de las perturbaciones imputadas en el modelo a las proyecciones de línea base del modelo, para ello se utilizan las funciones de impulso respuesta a 1 desviación estándar, y la dinámica de la economía simulada es la estimada por el modelo VECM, y su vector de corrección de errores.

La tabla 11 muestra los resultados de los escenarios, cabe resaltar que el modelo de simulación base ya agrega un componente de incertidumbre a la línea base de las proyecciones macroeconómicas, por ese motivo el agregar las perturbaciones macroeconómicas tiene un efecto marginal en la estrategia estimada, ya que el algoritmo de optimización del modelo busca la estrategia que mejor se ajusta al apetito en un ambiente de incertidumbre macroeconómico alto.

Sobre los escenarios, las perturbaciones se muestran en la Figura 17. El escenario 1 corresponde a un incremento de la inflación en el ciclo económico, es decir, una inflación persistente; el escenario 2 promedio de tasas de interés más altas, lo que es correspondiente al escenario anterior, ya que una inflación persistente llevará a tasas de interés más altas, en este caso los escenarios se evalúan por separado; el escenario 3 corresponde a una aceleración del proceso de depreciación del tipo de cambio, pero manteniendo su volatilidad.

Estas perturbaciones implican en todos los casos un incremento del Indicador CeR (ver Tabla 10), para los escenarios 1 y 2. Para el escenario 3, el efecto dinámico sobre las demás variables propicia un entorno de menores tasas de interés en el largo plazo, ya que el freno a la demanda agregada de esta perturbación reduce las tasas de interés e inflación para los años superiores al 2024.

Se realizó una prueba de sensibilidad a cambios en el saldo primario, en la cual se estimó un escenario con un saldo primario de 200 puntos base por debajo de las proyecciones del Ministerio de Hacienda (ver tabla 7), los resultados de estas simulaciones indican que no hay cambios significativos en la composición estimada en la estrategia, por lo que este escenario se descartó se coloca en el anexo 6.

Tabla 10

CeR para los escenarios estimados.

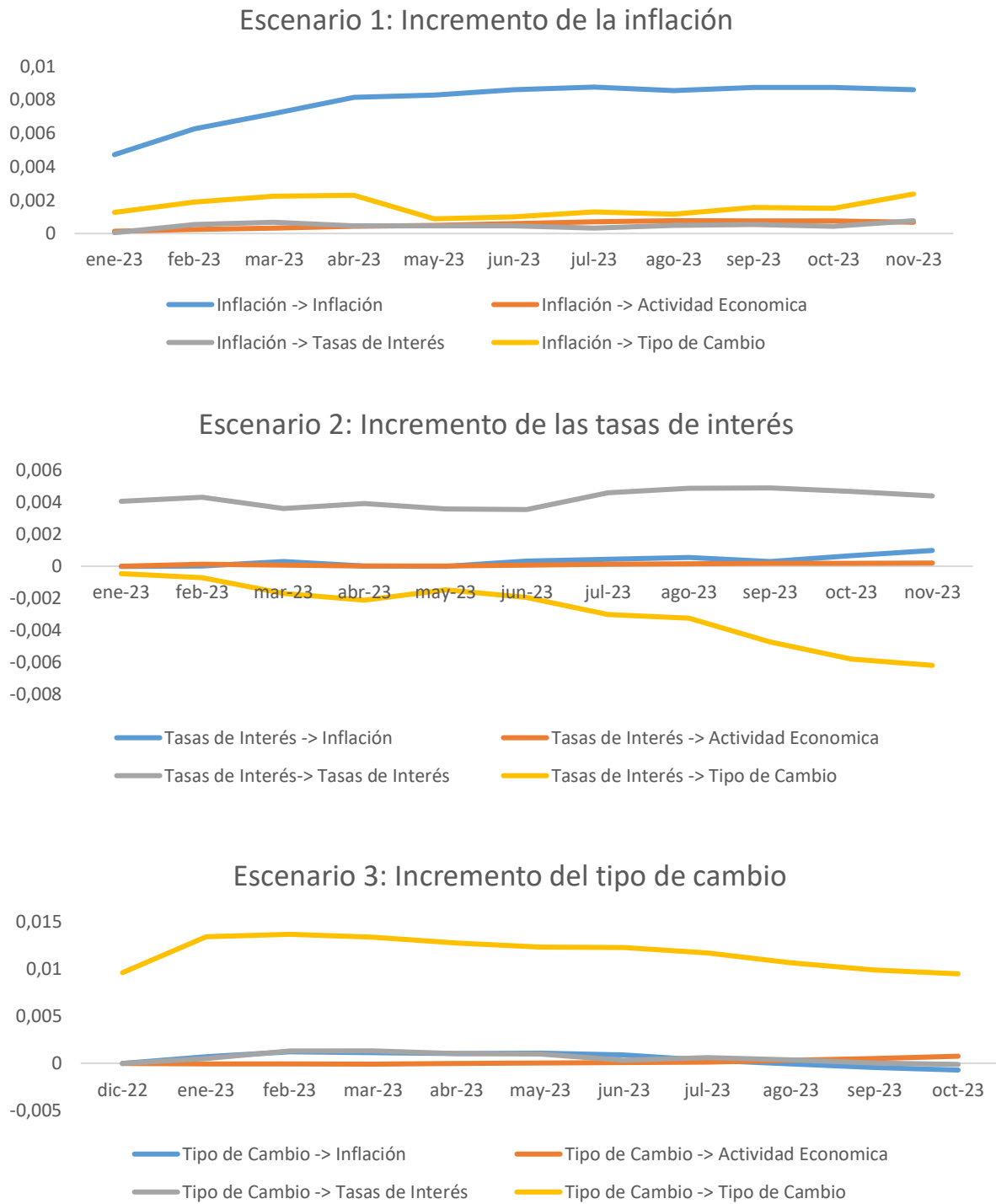
| Indicador | Estimación Base | Escenario 1 | Escenario 2 | Escenario 3 |
|------------------|------------------------|--------------------|--------------------|--------------------|
| CeR | 13,642% | 15,013% | 16,965% | 13,086% |

Nota. Fuente: Elaboración propia.

Los resultados, indican que el alargar el plazo de vencimiento de la deuda tiene un mayor efecto a la reducción de riesgos de la deuda que la exposición a fluctuaciones económicas por parte de instrumentos de deuda diversos. Es claro que como parte del ciclo económico que proyecta el modelo macroeconómico base, la estrategia de colocación de mediano plazo se debe beneficiar de las oscilaciones a la baja de indicadores importantes como las tasas de interés. Por lo que se propone la estrategia base generada en la presente investigación como una estrategia de colocación de mediano plazo que optimiza la relación entre el costo - riesgo para la deuda pública de Costa Rica para el periodo de proyección 2022 al 2027. Para lograr esta composición se puede utilizar el cambio en la composición de las nuevas colocaciones, u operaciones de gestión de pasivos de canje y subasta inversa para alcanzar la composición deseada de una manera más rápida.

Figura 17

Dinámica de las perturbaciones del modelo VECM en Puntos Porcentuales.



Nota. Fuente: Elaboración propia.

Tabla 11*Sensibilidad de la estrategia estimada a escenarios macroeconómicos adversos.*

| Instrumento | MH (2022) | Saldo de la deuda (Calibrado) | Estimación Base | Escenario 1 | Escenario 2 | Escenario 3 |
|--------------------|----------------------|--|----------------------------|------------------------|------------------------|------------------------|
| Otp | 8,00% | 0,95% | 4,68% | 4,83% | 4,85% | 4,84% |
| tp3 | 9,00% | 13,37% | 5,94% | 6,15% | 6,13% | 6,18% |
| tp5 | 15,00% | 13,64% | 5,54% | 5,60% | 5,58% | 5,59% |
| tp7 | 26,00% | 13,20% | 6,11% | 6,20% | 6,17% | 6,16% |
| tp10 | 0,00% | 0,00% | 7,11% | 6,93% | 6,94% | 6,96% |
| tbp | 7,00% | 4,25% | 6,22% | 6,06% | 6,03% | 6,02% |
| tp _{pr} | 0,00% | 5,90% | 6,34% | 6,46% | 6,44% | 6,47% |
| Otp\$ | 0,00% | 0,16% | 3,63% | 3,32% | 3,32% | 3,31% |
| tp\$3 | 0,00% | 14,17% | 4,60% | 4,46% | 4,53% | 4,49% |
| tp\$5 | 0,00% | 0,23% | 4,39% | 4,61% | 4,58% | 4,57% |
| tp\$7 | 0,00% | 0,00% | 4,90% | 5,38% | 5,37% | 5,36% |
| tp\$10 | 0,00% | 0,00% | 5,62% | 5,58% | 5,52% | 5,53% |
| TUDES5 | 4,50% | 0,00% | 3,75% | 3,50% | 3,49% | 3,50% |
| TUDES10 | 4,50% | 0,00% | 5,05% | 5,19% | 5,21% | 5,21% |
| TUDES15 | 0,00% | 6,43% | 6,76% | 6,66% | 6,71% | 6,70% |
| Eurobonos5 | 0,00% | 3,59% | 5,86% | 5,69% | 5,69% | 5,72% |
| Eurobonos10 | 14,00% | 9,58% | 6,36% | 6,21% | 6,24% | 6,20% |
| Créditos | 12,00% | 14,52% | 7,15% | 7,18% | 7,19% | 7,19% |

Nota. Fuente: Elaboración propia.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Conclusiones

El presente trabajo describe la evolución de la deuda del Gobierno Central de Costa Rica, su perfil, composición, vulnerabilidades, indicadores de gestión de la deuda y contexto macroeconómico del 2001 al 2021.

Se concluye que producto de las políticas de expansión del gasto, se generó una brecha en el resultado primario del Gobierno Central, lo que provocó el cambio en la tendencia del saldo de la deuda PIB, lo a su vez desencadenó en un incremento en el flujo de pago de intereses.

En el año 2018, luego de un deterioro fuerte de las condiciones de la deuda, y presiones del déficit en las tasas de interés, se aprobó la Ley 9635, la cual modernizó los impuestos, lo que aumentó la recaudación e introdujo una regla fiscal ligada a la deuda como medida de contención del gasto. Esto último redujo la brecha del déficit primario, y se espera que se logre la estabilización de la deuda.

En términos de las políticas aplicadas en el 2020, se firmó un acuerdo con el FMI para garantizar la estabilización de la deuda, y para impulsar una agenda de reformas fiscales que apresure la consolidación fiscal, mantenga la sostenibilidad, y blinde la reforma de la Ley 9635.

Sobre las vulnerabilidades de la deuda se dejan ver que existen retos para el Ministerio de Hacienda, ya que deberá renegociar las condiciones de plazo y la tasa en el mercado bajo una coyuntura macroeconómica menos favorable para el emisor, y como se detalló en las composiciones del portafolio de deuda, la exposición a los riesgos del portafolio ha aumentado.

Con respecto al contexto macroeconómico, se infiere que las variables macroeconómicas que afectan a la gestión de la deuda son menos favorables. Las condiciones se agravan a medida que el entorno externo se complica, y las condiciones financieras de la economía se vuelven restrictivas, lo que dificulta el

refinanciamiento de los vencimientos y la gestión de la deuda se ve restringida por ello. Esto coincide con periodos claves para la consolidación fiscal, como la acumulación de déficit primarios que llevan a las dificultades fiscales del 2018 que desembocan en la reforma fiscal, y efectos externos de la pandemia que se materializan con el periodo de pandemia y obligan al acuerdo con el FMI.

Dado todo lo anterior, es claro que las vulnerabilidades de la deuda se mantienen a pesar de la Ley 9635, y el entorno económico cada vez es menos favorable (como lo fue luego de la crisis internacional del 2008 con tasas de financiamiento externas muy bajas) lo que complica la gestión de la deuda, todo esto amplifica la necesidad de mantener los riesgos de la deuda identificados, valorados y monitoreados al contar con herramientas precisas y una estrategia de colocación óptima.

En el Capítulo 4 se definieron los riesgos relevantes de la deuda, a partir de mejores prácticas internacionales, para la elaboración de estrategias de endeudamiento de mediano plazo. Los riesgos identificados que están presentes en la deuda de Costa Rica y que por su exposición son relevantes son: volatilidad en el pago de intereses, el riesgo de tasas de interés, el riesgo de tipo de cambio, el riesgo de inflación, el riesgo de refinanciamiento, y el Riesgo de liquidez, se excluyeron del modelo mediante el análisis otros riesgos que son independientes a la estrategia de colocación. Además, se definió una función de apetito al riesgo, la cual se calibró con la información histórica disponible.

En el capítulo 5 se propuso una estrategia de colocación de deuda de mediano plazo mediante un modelo de optimización del costo - riesgo para la deuda pública de Costa Rica para el periodo de proyección 2022-2027.

Como parte de la elaboración de la estrategia se estimó el modelo de proyección que es soporte al modelo de simulación y su insumo principal serán las proyecciones de largo plazo. El modelo VECM proyectaron 4 variables clave, para el modelo de simulación estas son la Inflación, la Actividad Económica, la Tasa de Interés, y el tipo de cambio.

Se determinó que es posible calibrar el modelo al comparar los vencimientos del saldo de la deuda, y los calibrados por el modelo, además al comparar los indicadores de costo y maduración promedio entre los datos calibrados y los observados, lo que permitió validar que las diferencias entre el saldo y la calibración son tolerables. Se lograron obtener las proyecciones del Ministerio de Hacienda con respecto al saldo primario, esta información se logró incorporar en el modelo como exógena.

Mediante las simulaciones se estima la estrategia de colocación de mediano plazo que con respecto al apetito al riesgo logra optimizar las métricas, el resultado de la estimación muestra que debe lograrse un aumento en instrumentos de largo plazo. Para instrumentos de cero cupones se estima que debe mantenerse en 8%, para instrumentos tasa fija en 45%, en títulos tasa variable 13%, y 16% en instrumentos indexados. Se estimó que la posición en moneda extranjera debe ser 39%, con un menor uso de la plaza externa, y si mantener colocaciones locales en moneda extranjera.

Como parte del ejercicio se determina que la Estrategia del MH publicada para el 2022 no es consistente con el apetito al riesgo, y la composición del saldo de la deuda. Se logró inferir que el principal problema de la Estrategia del MH es su corta duración relativa al objetivo de duración. Por lo que se le debe brindar atención a este indicador, plantearse una meta sobre el mismo, como si se incluye en el modelo estimado en este documento. Este cambio está enfocado en las emisiones locales, que vencen en más del 50% en los próximos 5 años, y no depende de la deuda externa para ello, cuyos vencimientos están concentrados en años específicos.

Se logró estimar que, a partir de los escenarios de simulación, que la estimación es robusta a diversas perturbaciones ya que la estimación es realizada contemplando un alto nivel de variabilidad del entorno macroeconómico dentro del modelo de simulación.

En este documento, a partir de la aplicación de la metodología se logró elaborar un modelo de optimización de costo – riesgo que incluye los riesgos relevantes para gestión de la deuda pública de Costa Rica.

Recomendaciones

Se sugiere que al proyectar un escenario económico poco favorable es apropiado mejorar los instrumentos técnicos de análisis de la gestión de la deuda, al aplicar los conceptos de Apetito de Riesgo al análisis de frontera de eficiencia e incluir elementos dinámicos y de precisión, como lo hace el modelo de simulación presentado en este Trabajo de Graduación. Se infiere que los riesgos de la deuda han aumentado en las últimas 2 décadas, por lo que, a pesar de la proyección de un mejor déficit primario, se recomienda mantener una gestión de deuda precisa. El pago de intereses representa una vulnerabilidad, a pesar de la consolidación fiscal.

El Ministerio de Hacienda debe realizar un mapeo e identificación de riesgos, que vaya más allá de la exposición, y capturar métricas de impacto para la evaluación de riesgos. Se debe contar con una cultura de riesgos madura, e ir más allá que una gestión de deuda basada en costos, la evaluación del éxito de la estrategia va más allá que la reducción del pago de intereses.

Adicionalmente, se recomienda que el Ministerio de Hacienda defina una función de apetito al riesgo en la estimación de estrategias dentro de su análisis, para ser temporalmente consistente y evitar sesgos de selección. Para ello debe considerar elementos estructurales para definir una estrategia de mediano plazo, y ser consistente en su selección.

Como un componente fundamental para la gestión de deuda se debe adoptar un objetivo de duración, para sopesar los riesgos de refinanciamiento que se contraponen al costo, debe haber un incentivo de mercado para invertir en el largo plazo.

Se recomienda al Ministerio de Hacienda modificar su ejercicio de cálculo de estrategia para capturar la complejidad económica y técnica requerida para el cálculo de una estrategia de endeudamiento robusta, e incluir dentro de su ejercicio una función de pérdida que capture su apetito al riesgo.

Se debe indicar que, aunque pueden existir desvíos a la estrategia, estos deben ser documentados e informados, y no se debe modificar la estrategia para reducir estas desviaciones de corto plazo (se deben admitir desvíos tácticos, pero ellos deben ser justificados), ya que esto reduce la utilidad del instrumento para la gestión de la deuda.

Para lograr esta composición se deben utilizar las nuevas colocaciones, u operaciones de gestión de pasivos de canje y subasta inversa para alcanzar la composición deseada de una manera más rápida. Las operaciones de gestión de pasivos deben ser menos discrecionales y responder a los objetivos documentados en el apetito al riesgo.

Adicional a lo anterior, se recomienda aumentar la capacidad de cómputo para lograr más iteraciones con el objetivo de lograr mayor precisión en las estimaciones, en términos del equipo utilizado para ejecutar las simulaciones y la eficiencia del algoritmo en R.

Con respecto a futuras investigaciones, es importante generar instrumentos de investigación que permitan caracterizar el apetito de riesgos desde las preferencias de los gestores, para ir más allá de la información histórica y agregar un componente predictivo, además se debe profundizar en el papel de las operaciones de canje y subasta inversa, sus objetivos y sus costos. Por último, se podrían probar modelos satélites de otra índole como Dynamic Stochastic General Equilibrium (DSGE) u otras técnicas de pronóstico macroeconómico.

Referencias

Antonio, Fabio Di Narzo, Jose Luis Aznarte and Matthieu Stigler (2009). *tsDyn: Time series analysis based on dynamical systems theory*.

Banco Mundial. (2015). *Issuance Plan for Government Securities: Guidance Note. Government bond markets advisory services*.
<https://documents1.worldbank.org/curated/en/692031468185649213/pdf/104179-WP-PUBLIC-Issuance-Plan-for-Government-Securities.pdf>

Blommestein, H., M. Elmadag & J. Ejsing. (2012). Buyback and Exchange Operations: Policies, Procedures and Practices among OECD Public Debt Managers. *OECD Working Papers on Sovereign Borrowing and Public Debt Management* 5(1), 1-44. <http://dx.doi.org/10.1787/5k92v18rh80v-en>

Brandimarte, P. (2003). *Numerical Methods in Finance: A MATLAB-Based Introduction*. Wiley-Interscience. http://www.untag-smd.ac.id/files/Perpustakaan_Digital_1/FINANCE%20Numerical%20Methods%20in%20Finance%20and%20Economics%20A%20MATLAB-Based%20Introduction,%202nd%20Edition.pdf

Claessens, S., Kreuser. J., Seigel. L. & R. Wets. (1995). *A Strategic Approach to Asset/Liability Management in Developing Countries*. Research Proposal, Banco Mundial.

Consejo Nacional para el Desarrollo del Mercado de Valores. (2012). *Ruta Estratégica para el Desarrollo del Mercado de Valores de Costa Rica*.
<https://www.bccr.fi.cr/publicaciones/DocConsejoMercadoValores/RUTAESTRATEGICADESARROLLOMERCADOVALORES.pdf>

Deloitte Touche Tohmatsu Limited. (2018). *Apetito al Riesgo: Ajustando los riesgos a nuestra medida*.
<https://www2.deloitte.com/content/dam/Deloitte/mx/Documents/risk/2018/3.Apetito-al-Riesgo.pdf>

- Espinoza, J. & Valerio, M. (2014). Sostenibilidad fiscal en Costa Rica, 1991-2013: Una aproximación a través del método Monte Carlo. *Economía y Sociedad*, 19(45). 72-95. <https://doi.org/10.15359/eys.19-45.3>
- Fondo Monetario Internacional. (2001). *Developing Government Bond Markets: A Handbook*. <https://openknowledge.worldbank.org/handle/10986/13865>
- Fondo Monetario Internacional & Banco Mundial. (2014). *Directrices revisadas para la gestión de la deuda pública*. <https://www.imf.org/external/np/mae/pdebt/2002/esl/112102s.pdf>
- Fondo Monetario Internacional (2018) *Aide Memoire: Deepening Local Debt Markets*. Fondo Monetario Internacional.
- Fondo Monetario Internacional. (2020). *Curso Regional sobre Gestión de Tesorería: Gestión de la Deuda*. Fondo Monetario Internacional.
- Fondo Monetario Internacional. (2021). *Informe del Artículo IV: Costa Rica*. Fondo Monetario Internacional.
- Fondo Monetario Internacional. (2022). *Medium-Term Debt Management Strategy: Analytical Tool Manual*. <https://www.imf.org/en/Publications/TNM/Issues/2019/05/14/Medium-Term-Debt-Management-Strategy-Analytical-Tool-Manual-46897>
- Frankel, J. (1983). A Test of Portfolio Crowding-Out and Related Issues in Finance. *NBER Working Papers 1205*(1). 1-53. <https://doi.org/10.3386/w1205>
- Gobierno de Costa Rica, Contraloría General de la Republica. (2020). *Informe de auditoría de carácter especial sobre la administración de la deuda del gobierno central, respecto a las colocaciones, pago y registro*. DFOE-SAF-IF-00024-2020. https://cgrfiles.cgr.go.cr/publico/docs_cgr/2020/SIGYD_D/SIGYD_D_2020021125.pdf

- Gobierno de Costa Rica, Banco Central. (2022). *Programa Macroeconómico 2022-2023*. <https://www.bccr.fi.cr/publicaciones/pol%C3%ADtica-monetaria-e-inflaci%C3%B3n/programas-macroecon%C3%B3micos>
- Gobierno de Costa Rica, Ministerio de Hacienda. (2020). *Política de Endeudamiento para el sector Público Costarricense*. <https://www.hacienda.go.cr/docs/PoliticaDeEndeudamientoParaElSectorPublicoCostarricense.pdf>
- Gobierno de Costa Rica, Ministerio de Hacienda. (2020). *Estrategia de Deuda de Mediano Plazo para Gobierno Central*. Ministerio de Hacienda.
- Gobierno de Costa Rica, Ministerio de Hacienda. (2022). *Estrategia de Deuda de Mediano Plazo para Gobierno Central*. <https://www.hacienda.go.cr/Documentos/MasDetalles/MarcoFiscalDeLargoPlazo/20220429%20Estrategia%20de%20Deuda%20de%20Mediano%20Plazo%202022-2027.pdf>
- Gray, S. (1997). *The Management of Government Debt*. Bank of England. https://www.researchgate.net/publication/4999414_The_Management_of_Government_Debt
- Grill, T. & Östberg, H. (2003). *A Financial Optimization Approach to Quantitative Analysis of Long Term Government Debt Management in Sweden*. <http://www.diva-portal.org/smash/get/diva2:19553/FULLTEXT01.pdf>
- Hahm, J. & Kim, J. (2002). *Cost-at-Risk and Benchmark Government Debt Portfolio in Korea*. *International Economic Journal*, 17(1) 79-103. <https://doi.org/10.1080/10168730300080014>
- Hamilton, J. (1994). *Time Series Analysis*. http://www.ru.ac.bd/stat/wp-content/uploads/sites/25/2019/03/504_02_Hamilton_Time-Series-Analysis.pdf

- Hansen, L. & Sargent, T. (1993). Seasonality and approximation errors in rational expectations models. *Journal of Econometrics, Elsevier*, 55(1-2), 21-55. <https://ideas.repec.org/a/eee/econom/v55y1993i1-2p21-55.html>
- Hernández Sampieri, R., Fernández Collado, C. y Baptista Lucio, P. (2018). *Metodología de la investigación* (7ma ed.). McGraw-Hill.
- Hyndman R, Athanasopoulos G, Bergmeir C, Caceres G, Chhay L, O'Hara-Wild M, Petropoulos F, Razbash S, Wang E, Yasmeen F (2022). *_forecast: Forecasting functions for time series and linear models_*. R package version 8.18, <<https://pkg.robjhyndman.com/forecast/>>.
- Hyndman RJ, Khandakar Y (2008). "Automatic time series forecasting: the forecast package for R." *_Journal of Statistical Software_*, *26*(3), 1-22. doi:10.18637/jss.v027.i03 <<https://doi.org/10.18637/jss.v027.i03>>.
- International Organization for Standardization. (2018). *ISO 31000:2018: Gestión del Riesgo - Directrices*. Ginebra: ISO.
- Ley de la Administración Financiera de la República y Presupuestos Públicos N.º 8131, reformada, Diario la Gaceta, 18 de septiembre de 2001 (Costa Rica).
- Ley de Fortalecimiento de las finanzas públicas N.º 9635, Diario la Gaceta, 03 de diciembre de 2018 (Costa Rica).
- Lütkepohl, H. & Kratzig, M. (2004). *Applied Time Series Econometrics*. <http://zalamsyah.staff.unja.ac.id/wp-content/uploads/sites/286/2019/11/7-Applied-Time-Series-Econometrics-PETER-C.B.-PHILLIPS.pdf>
- Matthieu Stigler (2019). *tsDyn: Threshold cointegration: overview and implementation in R*, Handbook of Statistics, Volume 41, Elsevier
- Ministerio de Hacienda. (2022). Bases de datos de información sobre la Deuda Pública. <https://www.hacienda.go.cr/DocumentosInteres.html>

Medeiros, C., Polan, M. & Ramlogan, P. (2007). A Primer on Sovereign Debt Buybacks and Swaps. *IMF Working Paper (07)58*. 1-51. <https://www.imf.org/external/pubs/ft/wp/2007/wp0758.pdf>

Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económicos. (2021). *Sovereign Borrowing Outlook for OECD Countries 2021*. <https://www.oecd.org/daf/fin/public-debt/Sovereign-Borrowing-Outlook-in-OECD-Countries-2021.pdf>

Paalzow, A. (1992). *Public Debt Management [Tesis de Doctorado]*. <https://ex.hhs.se/dissertations/222004-FULLTEXT01.pdf>

Presidencia de la República de Costa Rica. (1991). *Decreto 20653-H. Reforma Autorización Títulos Propiedad a 5 10 y 15 años plazo*. Presidencia de la República de Costa Rica.

Presidencia de la República de Costa Rica. (1993). *Decreto 21193-H. Autoriza Ministerio de Hacienda emitir títulos de propiedad en Unidades de Desarrollo*. Presidencia de la República de Costa Rica.

Presidencia de la República de Costa Rica. (1995). *Decreto 24101-H. Autoriza al Ministerio Hacienda la emisión de títulos de propiedad en dólares*. Presidencia de la República de Costa Rica.

Presidencia de la República de Costa Rica. (2001). *Decreto 38263-H. Reglamento de Organización de la Tesorería Nacional*. Presidencia de la República de Costa Rica.

Presidencia de la República de Costa Rica. (2004). *Decreto 32097-H. Reglamento sobre la emisión y colocación de valores cero cupón y sobre la creación del pagaré de la Tesorería Nacional*. Presidencia de la República de Costa Rica.

Presidencia de la República de Costa Rica. (2016). *Decreto 39939-H. Creación del título de propiedad rendimiento ajustable soberano*. Presidencia de la República de Costa Rica.

- R Core Team (2020). R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. URL <https://www.R-project.org/>.
- Soto, M. (2018). *Informe Estado de la Nación en Desarrollo Humano Sostenible. Gestión de la deuda pública e implicaciones sobre la economía.* <https://repositorio.conare.ac.cr/handle/20.500.12337/2535?locale-attribute=en>
- Talvi, E. Vegh, C. (1998). *Fiscal Policy Sustainability: A Basic Framework.* <https://idbdocs.iadb.org/wsdocs/getdocument.aspx?docnum=787999>
- Tinbergen, J. (1956). *Economic policy: Principles and Design.* <https://doi.org/10.2307/2228014>
- Valerio, M. (2016). Un modelo de equilibrio general dinámico estocástico estimado para la economía costarricense (2006-2014). *Economía y Sociedad.* 21(1). 1-33. <https://doi.org/10.15359/eyes.21-50.2>.
- Villamichel, P. (2021). *Informe Estado de la Nación en Desarrollo Humano Sostenible Análisis de las finanzas públicas y gestión de la deuda en Costa Rica.* <https://repositorio.conare.ac.cr/handle/20.500.12337/8236>
- Vindas, M. (2014). *Modelo de Sostenibilidad Estocástico.* Gobierno de Costa Rica, Ministerio de Hacienda.
- Wheeler, G. (2004). *Sound Practice in Government Debt Management.* <http://hdl.handle.net/10986/15017>
- Wickham H, Hester J, Bryan J (2022). `_readr: Read Rectangular Text Data_`. R package version 2.1.3, <<https://CRAN.R-project.org/package=readr>>.
- Wickham H, Bryan J (2022). `_readxl: Read Excel Files_`. R package version 1.4.0, <<https://CRAN.R-project.org/package=readxl>>.

Anexos

1. Programación de modelo satélite en RStudio

```
library(readxl)

data <- read_excel("C:/Users/mvaleriob/Desktop/Modelo Estrategia/01 Datos
modelo de proyeccion/data.xlsx", col_types = c("date", "numeric", "numeric",
"numeric", "numeric"))

View(data)

series<-ts(data[,c(2:5)] ,frequency=12,start=2000)

# grafico de las series

ts.plot(series, xlab="Tiempo",col=c(1,2),main="Informacion macroeconomica")

# graficos en primera diferencia

ts.plot(diff(series),xlab="Tiempo", col=c(1,2))

library("vars")

VARselect(series,lag.max=15,type="const")

modelo<-VAR(series,p=14,type=c("const"))

modelo

summary(modelo,equation="pii")

roots(modelo)

plot(modelo, names="y")

plot(modelo, names="pii")

acf(residuals(modelo)[, 1])

serial.test(modelo,lags.pt=14)
```

```

serial.test(modelo,lags.bg=14)

normality.test(modelo, multivariate.only=FALSE)

grangertest(diff(y) ~ diff(x),order=1,data=Datos)

grangertest(diff(x) ~ diff(y),order=1,data=Datos)

modelo.irf<-irf(modelo,impulse="i", response="pii")

modelo.irf2<-irf(modelo,impulse="i", response="y")

modelo.irf3<-irf(modelo,impulse="i", response="i")

plot(modelo.irf)

plot(modelo.irf2)

plot(modelo.irf3)

#Proyeccion con raiz unitaria

library("forecast")

library("vars")

library("tsDyn")

#Run Augmented Dickey-Fuller tests to determine stationarity and differences to
achieve stationarity.

ndiffs(series[, "pii"], alpha = 0.05, test = c("adf"))

ndiffs(series[, "i"], alpha = 0.05, test = c("adf"))

ndiffs(series[, "y"], alpha = 0.05, test = c("adf"))

ndiffs(series[, "e"], alpha = 0.05, test = c("adf"))

##cointegracion r=2

```

```

jotest=ca.jo(series, type="trace", K=2, ecdet="none", spec="longrun")

summary(jotest)

#Fit a VECM with Johansen MLE estimator:

vecm.jo<-VECM(series, lag=14, r=2 , estim="ML")

summary(vecm.jo)

modelo.irf<-irf(vecm.jo,impulse="i", response="pii")

modelo.irf2<-irf(vecm.jo,impulse="i", response="y")

modelo.irf3<-irf(vecm.jo,impulse="i", response="i")

plot(modelo.irf)

plot(modelo.irf2)

plot(modelo.irf3)

#Forecasting

(j=12*5+6)

prd <- predict(vecm.jo, n.ahead =j)

print(prd)

vecm.level <- vec2var(jotest, r = 2)

vecm.prd <- predict(vecm.level,n.head=j)

print(vecm.prd)

#Gráfico de abanico

dev.off()

fanchart(vecm.prd,mar = c(1,1,1,1))

```

```
#Guardar datos

write.csv(prd,"C:/Users/mvaleriob/Desktop/Resultados de Proyecciones.csv")

## Descomposicion de la varianza

fevd(vecm.jo, n.ahead = 12*5+6)
```

2. Programación de variables en niveles de en RStudio

```
library(readr)

Resultados_de_Proyecciones <- read_csv("C:/Users/mvaleriob/Desktop/Modelo
Estrategia/01 Datos modelo de proyeccion/Resultados de Proyecciones.csv")

Precios<-c(690,1000,43235155.6)

pronostico<-(Resultados_de_Proyecciones[,c(2,5,3)]+1)^(1/12)-1

TC=matrix(data = NA ,ncol = 1,nrow = 66)

UDES=matrix(data=NA, ncol = 1,nrow = 66)

PIBN=matrix(data=NA, ncol = 1,nrow = 66)

for(i in 1:66){

  if (i==1){

    TC[i,1]<-Precios[1]

    UDES[i,1]<-Precios[2]

    PIBN[i,1]<-Precios[3]

  } else {

    TC[i,1]<-(TC[i-1,1]*(1+pronostico[i-1,1]))
```

```

      UDES[i,1]<-(UDES[i-1,1]*(1+pronostico[i-1,2]))

      PIBN[i,1]<-(PIBN[i-1,1]*(1+pronostico[i-1,3])) #+pronostico[i-1,2]
    }

  }

forecast.precios<-data.frame(cbind(TC,UDES,PIBN))

names(forecast.precios)<-c("Tipo de Cambio Colon/Dolar","Tipo de Cambio
UDES","PIB Nominal")

write.csv(forecast.precios,"C:/Users/mvalerlob/Desktop/Proyecciones Nivel.csv")

```

3. Programación de función de simulación de costos en RStudio

```

CostosSim<-
function(Portfolio,Resultados_de_Proyecciones,Matriz_de_covarianza){

library(stats)

Portfolio<-Portfolio

Resultados_de_Proyecciones<-Resultados_de_Proyecciones

Matriz_de_covarianza<-Matriz_de_covarianza

k=length(t(Resultados_de_Proyecciones[,1])) # de periodos para adelante

Cov<-as.matrix(Matriz_de_covarianza)

#Vectores iniciales de analisis de portafolio

Instrumento<-as.vector(Portfolio$Instrumento)

Plazo<-as.vector(Portfolio$Plazo)

Base<-as.vector(Portfolio$Stock)

```

```

Costos<-as.vector(Portfolio$Costos)

Tipo<-as.vector(Portfolio$Tipo)

Moneda<-as.vector(Portfolio$Moneda)

Sim<-matrix(NA,nrow = length(Costos),ncol = k)

alpha<-matrix(0.5,nrow = length(Costos),ncol = 1)

for(i in 1:k){

  if (i==1){

    Sim[,i]<-as.matrix(Costos)

  } else {

    Sim[,i]<- as.matrix(Costos)*alpha+(1-alpha)*Sim[,i-1]+t(chol(Cov))%*%rnorm(n
= length(Costos),mean = 0,sd = 1)+Resultados_de_Proyecciones$i[i]-
Resultados_de_Proyecciones$i[i-1]

  }

}

Simcol<-
Sim+Portfolio$Moneda2%*%t(Resultados_de_Proyecciones$e)+Portfolio$Moneda
a3%*%t(Resultados_de_Proyecciones$pii)
#+((Sim1+Resultados_de_Proyecciones$pii)*Portfolio$Moneda3)+

return(Simcol)

}

```

4. Programación de modelo de optimización en RStudio

```
#### Modelo de optimizacion de la estrategia de la deuda

#### TFG Marco Valerio, CINPE 2022.

## Funcion de simulaci?n de la dinamica de los intereses

source("C:/Users/mvaleriob/Desktop/Modelo Estrategia/04 Simulaciones
intereses/fsim.R")

set.seed()

## Carga de condiciones iniciales de los instrumentos

library(readr)

library(readxl)

Portfolio <- read_excel("C:/Users/mvaleriob/Desktop/Modelo Estrategia/04
Simulaciones intereses/Portfolio.xlsx")

Portfolio_risk <- read_excel("C:/Users/mvaleriob/Desktop/Modelo Estrategia/05
Modelo de dinamica de la deuda/Portfolio Riesgos.xlsx")

Resultados_de_Proyecciones <- read_csv("C:/Users/mvaleriob/Desktop/Modelo
Estrategia/01 Datos modelo de proyeccion/Resultados de Proyecciones.csv")

Matriz_de_covarianza <- read_excel("C:/Users/mvaleriob/Desktop/Modelo
Estrategia/04 Simulaciones intereses/Matriz de covarianza.xlsx", col_types =
c("skip", "numeric", "numeric", "numeric", "numeric", "numeric", "numeric",
"numeric", "numeric", "numeric", "numeric", "numeric", "numeric", "numeric",
"numeric", "numeric", "numeric", "numeric", "numeric"))
```

```
Proyecciones_Nivel <- read_csv("C:/Users/mvaleriob/Desktop/Modelo
Estrategia/02 Proyecciones a nivel/Proyecciones Nivel.csv")

Saldo_primario.pibd <- read_excel("C:/Users/mvaleriob/Desktop/Modelo
Estrategia/06 Calibracion/Saldo primario/Saldo primario.xlsx")

## Condiciones de la funcion objetivo

##Pesos de apetito parametros de riesgo

tasa_p<-0.41

Refinanciamiento_p<-0.55

cambiario_p<-0.81

Inflacion_p<-0.87

Liquidez_p<-0.90

Duracion_p<-10

Costo_p<-1

Volatilidad_p<-1.645

plaza_p<-0.53

## Objetivos de cada riesgo

tasa_obj<-0.175

Refinanciamiento_obj<-0.45

cambiario_obj<-0.3

Inflacion_obj<-0.1

Liquidez_obj<-0.075
```



```

Costo_obj<-1

Volatilidad_obj<-1

Duracion_obj<-7.7

plaza_obj<-0.25

## Condiciones Iniciales de la deuda

saldo.primario.pib<-matrix(Saldo_primario.pibd$mensual) ## tomado de la
exposicion de motivos

saldo.primario<-saldo.primario.pib*Proyecciones_Nivel$`PIB Nominal`

Deudastock<-as.matrix(Portfolio$Stock)

Saldo.deuda<-c(28443391.98)      ## Calibrado el 17 de agosto archivo
"Perfil de la deuda" dato a cierre Junio

Intereses<-matrix(NA,nrow =18 ,ncol =65)

Cost<-matrix(NA,nrow=66 ,ncol =1 )

Deudastock<-matrix(NA,nrow=18 ,ncol =66 )

Deudastock[,1]<-(Saldo.deuda*Portfolio$Stock)

parametro.vencimientos<-0.1142/12      ## Calibrado el 17 de agosto
archivo "Calibracion de vencimientos"

## Parametros generales de Simulacion

W=1000 ## Iteraciones de optimizacion ##500

N=50 ## Numero de estrategias      ## 1000

k=50 ## numero de escenario economico ## 1000

i=66 ## periodo en meses (5 A?OS)      ## 66

```

```

## Matrices vacias

StratCost<-matrix(NA,nrow =N ,ncol =k )

StratRisk<-matrix(NA,nrow =N ,ncol =k )

Estrategia<-matrix(NA,nrow =18 ,ncol =N )

Estrategia_promedio<-matrix(NA,nrow =18,ncol=W)

Costo_promedio<-matrix(NA,nrow =1,ncol=W)

Volatilidad_promedio<-matrix(NA,nrow =1,ncol=W)

Costos<-
as.matrix(CostosSim(Portfolio,Resultados_de_Proyecciones,Matriz_de_covarianz
a))

#ts.plot(t(Costos))

#ts.plot((Resultados_de_Proyecciones[c(2:5)]))

## Bucle de modelo de simulacion de frontera de eficiencia

pb <- txtProgressBar(min = 0, max = W, style = 3)

for(w in 1:W){

for (n in 1:N){

(Estrategia0<-matrix(runif(n = 18,0,1),ncol =1 ))

(Estrategia[,n]<-t(Estrategia0)/sum(Estrategia0))

for (j in 1:k){

```

```

Costos<-
as.matrix(CostosSim(Portfolio,Resultados_de_Proyecciones,Matriz_de_covarianz
a))

for (i in 1:65){

  (vencimientos<-parametro.vencimientos*Deudastock[i])

  (Nueva.Deuda=-
saldo.primario[i]+sum(t((Costos[,i]/12)*Deudastock[,i]))+vencimientos)

  (Deudastock[,i+1]=t(Nueva.Deuda*t(Estrategia[,n])+Deudastock[,i]))

  (Intereses[,i]<-Deudastock[,i+1]*Costos[i]) ##costo anualizado

}

## indicadores por escenario

StratCost[n,j]<-sum(Intereses)

StratRisk[n,j]<-sd(Intereses)

}

## indicadores de estrategia
}

#Deuda al PIB

#ts.plot(colSums(Deudastock)/(Proyecciones_Nivel$`PIB Nominal`))

#ts.plot(colSums(Deudastock))

#frontera de eficiencia

cost<-colMeans(t(StratCost/66))/mean(Proyecciones_Nivel$`PIB Nominal`)

```

```

risk<-colMeans(t(StratRisk*12))/mean(Proyecciones_Nivel$`PIB Nominal`)

## Riesgos para frontera de eficiencia

tasa<-colSums(Portfolio_risk$Tasa_risk*Estrategia)

Refinanciamiento<-colSums(Portfolio_risk$Refinanciamiento_risk*Estrategia)

cambiarior<-colSums(Portfolio_risk$Cambiarior_risk*Estrategia)

Inflacion<-colSums(Portfolio_risk$Inflacion_risk*Estrategia)

Liquidez<-colSums(Portfolio_risk$Liquidez*Estrategia)

Duracion<-colSums(Portfolio$Plazo*Estrategia)

plaza<-colSums(Portfolio_risk$Plaza_ext*Estrategia)

Costo<-rowMeans(StratCost)/mean(Proyecciones_Nivel$`PIB Nominal`)/66

Volatilidad<-rowMeans(StratRisk*12)/mean(Proyecciones_Nivel$`PIB Nominal`)

Z<- Costo*Costo_p+Volatilidad*Volatilidad_p+tasa_p*sqrt((tasa-
tasa_obj)^2)+Refinanciamiento_p*sqrt((Refinanciamiento-
Refinanciamiento_obj)^2)+cambiarior_p*sqrt((cambiarior-
cambiarior_obj)^2)+Inflacion_p*sqrt((Inflacion-
Inflacion_obj)^2)+Liquidez_p*sqrt((Liquidez-
Liquidez_obj)^2)+Duracion_p*sqrt((Duracion/Duracion_obj-
1)^2)+plaza_p*sqrt((plaza-plaza_obj)^2)

x1<-which (colSums(t(Z)) == min (colSums(t(Z))), arr.ind = TRUE)

EstrategiaMin<-Estrategia[,x1]  ## Estrategia que mimiza la funcion

Estrategia_promedio[,w]<-EstrategiaMin

Costo_promedio[,w]<-Costo[x1]

Volatilidad_promedio[,w]<-Volatilidad[x1]

```

```

CAR<-Costo_promedio/Volatilidad_promedio

setTxtProgressBar(pb, w)
}

close(pb)

Estrategia_promedio_<-rowMeans(Estrategia_promedio)

Costo_promedio_<-rowMeans(Costo_promedio)

Volatilidad_promedio_<-rowMeans(Volatilidad_promedio)

plot(Costo_promedio,Volatilidad_promedio)

barplot(Estrategia_promedio_,names.arg = Portfolio_risk$Instrumento)

(tasa<-Portfolio_risk$Tasa_risk%*%Estrategia_promedio_)

(Refinanciamiento<-
Portfolio_risk$Refinanciamiento_risk%*%Estrategia_promedio_)

(cambiarior<-Portfolio_risk$Cambiarior_risk%*%Estrategia_promedio_)

(Inflacion<-Portfolio_risk$Inflacion_risk%*%Estrategia_promedio_)

(Liquidez<-Portfolio_risk$Liquidez%*%Estrategia_promedio_)

(Duracion<-Portfolio_risk$Duracion_risk%*%Estrategia_promedio_)

(plaza<-Portfolio_risk$Plaza_ext%*%Estrategia_promedio_)

Costo_promedio_

Volatilidad_promedio_

(Z<-
Costo_promedio_*Costo_p+Volatilidad_p*Volatilidad_promedio_+tasa_p*sqrt((ta
sa-tasa_obj)^2)+Refinanciamiento_p*sqrt((Refinanciamiento-

```

```
Refinanciamiento_obj)^2)+cambiarior_p*sqrt((cambiarior-  
cambiarior_obj)^2)+Inflacion_p*sqrt((Inflacion-  
Inflacion_obj)^2)+Liquidez_p*sqrt((Liquidez-  
Liquidez_obj)^2)+Duracion_p*sqrt((Duracion/Duracion_obj-  
1)^2)+plaza_p*sqrt((plaza-plaza_obj)^2))  
  
write.csv(Estrategia_promedio, "estrategias.csv")  
  
write.csv(CAR, "Costo_riesgo.csv")
```

5. Proyecciones del modelo VECM

| Fecha | Inflacion | IMAE | Tasa MIL | Variación del Tipo de Cambio |
|--------|-----------|--------|----------|------------------------------|
| jul-22 | 12,05% | 8,16% | 5,36% | 12,52% |
| ago-22 | 12,76% | 7,46% | 5,77% | 12,50% |
| sep-22 | 12,95% | 6,96% | 6,11% | 12,14% |
| oct-22 | 13,16% | 6,62% | 6,23% | 12,27% |
| nov-22 | 13,22% | 6,43% | 6,66% | 11,34% |
| dic-22 | 14,00% | 6,32% | 6,82% | 10,99% |
| ene-23 | 14,07% | 6,22% | 6,72% | 11,38% |
| feb-23 | 12,92% | 6,13% | 6,88% | 10,24% |
| mar-23 | 12,29% | 6,86% | 6,88% | 10,38% |
| abr-23 | 10,99% | 7,72% | 7,01% | 10,27% |
| may-23 | 9,34% | 8,65% | 7,59% | 9,60% |
| jun-23 | 8,25% | 9,59% | 7,42% | 8,75% |
| jul-23 | 6,42% | 10,36% | 7,04% | 8,43% |
| ago-23 | 5,78% | 10,91% | 6,89% | 10,04% |
| sep-23 | 5,83% | 11,12% | 6,60% | 11,83% |
| oct-23 | 5,88% | 11,04% | 6,81% | 12,07% |
| nov-23 | 5,82% | 10,72% | 7,01% | 12,88% |
| dic-23 | 5,05% | 10,27% | 7,06% | 12,98% |
| ene-24 | 4,93% | 9,77% | 7,08% | 12,27% |
| feb-24 | 5,84% | 9,28% | 6,82% | 12,94% |
| mar-24 | 6,24% | 8,16% | 6,59% | 11,57% |
| abr-24 | 7,02% | 6,98% | 6,25% | 10,35% |
| may-24 | 7,95% | 5,77% | 5,85% | 9,24% |
| jun-24 | 8,26% | 4,60% | 5,57% | 8,29% |
| jul-24 | 9,12% | 3,62% | 5,23% | 7,75% |
| ago-24 | 9,18% | 2,88% | 4,77% | 5,18% |
| sep-24 | 8,72% | 2,45% | 4,44% | 2,44% |
| oct-24 | 8,11% | 2,24% | 3,62% | 1,35% |
| nov-24 | 7,56% | 2,19% | 2,99% | 0,04% |
| dic-24 | 7,67% | 2,15% | 2,37% | -0,19% |
| ene-25 | 7,18% | 2,03% | 1,64% | 0,44% |
| feb-25 | 6,09% | 1,80% | 1,26% | -0,02% |
| mar-25 | 5,50% | 1,92% | 0,80% | 1,70% |
| abr-25 | 4,57% | 1,96% | 0,41% | 3,32% |
| may-25 | 3,57% | 1,93% | 0,39% | 5,03% |
| jun-25 | 3,08% | 1,79% | 0,15% | 6,74% |
| jul-25 | 2,31% | 1,44% | -0,12% | 7,65% |
| ago-25 | 2,20% | 0,85% | -0,17% | 10,25% |
| sep-25 | 2,40% | 0,00% | -0,41% | 13,01% |
| oct-25 | 2,78% | -0,96% | -0,28% | 14,33% |
| nov-25 | 3,08% | -1,96% | -0,10% | 15,59% |
| dic-25 | 2,77% | -2,83% | 0,05% | 15,78% |
| ene-26 | 2,96% | -3,44% | 0,24% | 15,16% |
| feb-26 | 3,47% | -3,78% | 0,19% | 15,28% |
| mar-26 | 3,57% | -4,18% | 0,20% | 13,56% |
| abr-26 | 3,95% | -4,33% | 0,12% | 11,98% |
| may-26 | 4,33% | -4,24% | -0,07% | 10,23% |
| jun-26 | 4,43% | -3,92% | -0,08% | 8,54% |
| jul-26 | 4,60% | -3,31% | -0,12% | 7,72% |
| ago-26 | 4,30% | -2,39% | -0,21% | 5,64% |
| sep-26 | 3,94% | -1,18% | -0,09% | 3,63% |
| oct-26 | 3,47% | 0,17% | -0,25% | 2,73% |
| nov-26 | 3,17% | 1,57% | -0,28% | 1,93% |
| dic-26 | 3,48% | 2,84% | -0,29% | 2,16% |
| ene-27 | 3,44% | 3,85% | -0,32% | 2,99% |
| feb-27 | 3,38% | 4,62% | -0,06% | 3,37% |
| mar-27 | 3,75% | 5,39% | 0,19% | 5,18% |
| abr-27 | 3,92% | 5,94% | 0,52% | 6,72% |
| may-27 | 4,17% | 6,31% | 1,05% | 8,36% |
| jun-27 | 4,59% | 6,51% | 1,44% | 9,77% |
| jul-27 | 5,04% | 6,54% | 1,82% | 10,43% |
| ago-27 | 5,91% | 6,37% | 2,27% | 12,00% |
| sep-27 | 6,73% | 6,04% | 2,58% | 13,28% |
| oct-27 | 7,62% | 5,67% | 3,05% | 13,80% |
| nov-27 | 8,28% | 5,35% | 3,46% | 14,22% |
| dic-27 | 8,39% | 5,22% | 3,88% | 13,81% |

Nota. Fuente: Elaboración Propia.

6. Escenario de reducción de 200pb sobre el saldo primario y su efecto en la estrategia.

| Instrumento | Estimación Base | Escenario Saldo primario | Diff |
|--------------------|------------------------|---------------------------------|-------------|
| Otp | 4,68% | 4,69% | 0,01% |
| tp3 | 5,94% | 5,93% | -0,01% |
| tp5 | 5,54% | 5,54% | -0,01% |
| tp7 | 6,11% | 6,10% | -0,01% |
| tp10 | 7,11% | 7,12% | 0,01% |
| tbp | 6,22% | 6,22% | 0,01% |
| tpras | 6,34% | 6,36% | 0,01% |
| Otp\$ | 3,63% | 3,63% | 0,00% |
| tp\$3 | 4,60% | 4,58% | -0,01% |
| tp\$5 | 4,39% | 4,38% | 0,00% |
| tp\$7 | 4,90% | 4,91% | 0,01% |
| tp\$10 | 5,62% | 5,63% | 0,01% |
| TUDES5 | 3,75% | 3,74% | -0,01% |
| TUDES10 | 5,05% | 5,06% | 0,01% |
| TUDES15 | 6,76% | 6,74% | -0,02% |
| Eurobonos5 | 5,86% | 5,86% | 0,00% |
| Eurobonos10 | 6,36% | 6,37% | 0,01% |
| Créditos | 7,15% | 7,13% | -0,02% |

Nota. Fuente: Elaboración Propia.