

DOCUMENTOS DE TRABAJO

Riesgo de Crédito Gestionado por Medio de un Modelo de Espacio-Estado Aplicado a un Portafolio Soberano

Pablo Tapia V.
Diego Vargas P.

N° 1068 Enero 2026

BANCO CENTRAL DE CHILE





La serie Documentos de Trabajo es una publicación del Banco Central de Chile que divulga los trabajos de investigación económica realizados por profesionales de esta institución o encargados por ella a terceros. El objetivo de la serie es aportar al debate temas relevantes y presentar nuevos enfoques en el análisis de los mismos. La difusión de los Documentos de Trabajo sólo intenta facilitar el intercambio de ideas y dar a conocer investigaciones, con carácter preliminar, para su discusión y comentarios.

La publicación de los Documentos de Trabajo no está sujeta a la aprobación previa de los miembros del Consejo del Banco Central de Chile. Tanto el contenido de los Documentos de Trabajo como también los análisis y conclusiones que de ellos se deriven, son de exclusiva responsabilidad de su o sus autores y no reflejan necesariamente la opinión del Banco Central de Chile o de sus Consejeros.

The Working Papers series of the Central Bank of Chile disseminates economic research conducted by Central Bank staff or third parties under the sponsorship of the Bank. The purpose of the series is to contribute to the discussion of relevant issues and develop new analytical or empirical approaches in their analyses. The only aim of the Working Papers is to disseminate preliminary research for its discussion and comments.

Publication of Working Papers is not subject to previous approval by the members of the Board of the Central Bank. The views and conclusions presented in the papers are exclusively those of the author(s) and do not necessarily reflect the position of the Central Bank of Chile or of the Board members.

Riesgo de Crédito Gestionado por Medio de un Modelo de Espacio-Estado Aplicado a un Portafolio Soberano

Pablo Tapia V.
Banco Central de Chile

Diego Vargas P.^{1,2}

Resumen

Este trabajo implementa un modelo de espacio-estado para descomponer los diferenciales soberanos en sus componentes latentes de crédito y liquidez, siguiendo el marco de Herrero y Mencía (2015). El modelo se aplica a un conjunto de países desarrollados —incluyendo Alemania y Estados Unidos— durante el período 2018–2025. Los resultados evidencian un contraste estructural entre ambos mercados. Alemania presenta un efecto de “activo refugio”, donde una prima de liquidez negativa compensa el riesgo de crédito en períodos de tensión. En cambio, la liquidez en Estados Unidos fluctúa de valores negativos a positivos, actuando como un coste marginal en tiempos de calma y como un amortiguador ante crisis. El modelo demuestra ser una herramienta valiosa para la gestión de riesgos, al permitir un monitoreo más granular que los indicadores convencionales y facilitar la identificación de señales tempranas de riesgo crediticio ocultas por dinámicas de liquidez. A pesar de las limitaciones de datos en algunos países, el estudio ofrece una base sólida para futuras investigaciones, incluyendo aplicaciones a economías emergentes y episodios de estrés como la pandemia de COVID-19.

Abstract

This paper implements a state-space model to decompose sovereign yield spreads into latent credit and liquidity components, following the framework of Herrero and Mencía (2015). The model is applied to a set of developed countries—including Germany and the United States—during the 2018–2025 period. Results show a structural contrast between both markets. Germany exhibits a “safe haven” effect, where a negative liquidity premium offsets credit risk during stress. In contrast, U.S. liquidity moves from negative to positive, acting as a marginal cost in calm periods and as a shock absorber in crises. The model proves to be a valuable risk management tool, offering more granular monitoring than conventional indicators and helping to identify early credit risk signals masked by liquidity dynamics. Despite data constraints in some countries, the study provides a strong foundation for future research, including applications to emerging markets and stress episodes such as the COVID-19 pandemic.

¹ Diego Vargas Palominos fue practicante en el Grupo de Análisis de Riesgo Financiero – División de Riesgo Corporativo – durante el 2025.

² Agradecemos a Natalia Oyanedel, jefa del grupo de análisis de riesgo financiero del Banco Central de Chile por su invaluable aporte y feedback entregado para la realización de este trabajo.

1. Introducción

En los últimos años, los mercados financieros han atravesado episodios de elevada tensión —desde la crisis soberana europea hasta la pandemia del COVID-19— que han puesto de manifiesto la importancia de comprender los determinantes del riesgo soberano. Durante estos períodos, los diferenciales de tasas entre bonos soberanos y activos libres de riesgo (“*sovereign spreads*”) han mostrado fuertes fluctuaciones, pero no siempre es evidente si estos movimientos reflejan un aumento en el riesgo crediticio del emisor o una disminución en la liquidez del mercado.

Esta distinción resulta crucial, ya que ambos factores tienen implicaciones diferentes para la valoración de activos, la estabilidad financiera y la gestión del riesgo en portafolios internacionales. Comprender su interacción permite identificar señales tempranas de vulnerabilidad y evitar interpretaciones erróneas de los precios soberanos en contextos de estrés.

En este sentido, el presente trabajo busca aportar evidencia empírica sobre la descomposición del spread soberano en sus dos componentes fundamentales: el riesgo de crédito y el riesgo de liquidez. Para ello, se implementa un modelo de espacio-estado basado en Herrero y Mencía (2015), quienes demostraron que los diferenciales soberanos pueden entenderse como la suma de dos primas latentes: una asociada al riesgo de incumplimiento y otra vinculada a la facilidad o dificultad de transar el activo en el mercado secundario.

Esta línea de análisis se inscribe en la literatura iniciada por Longstaff (2004), Beber et al. (2009) y Ejsing et al. (2012), que evidencian cómo, en episodios de aversión al riesgo, los flujos hacia activos “refugio” generan primas de liquidez negativas en países con alta credibilidad fiscal, mientras que en otros se amplifica la percepción de riesgo crediticio.

Para una correcta administración de riesgos de portafolio, es esencial poder determinar de forma cuantitativa los distintos tipos de riesgo controlados: crédito, liquidez y mercado. Para efectos del presente trabajo, se adoptan las siguientes definiciones:

- El riesgo de crédito se refiere a la posibilidad de que una contraparte incumpla sus obligaciones contractuales, generando pérdidas financieras. En el caso de emisores soberanos, este riesgo se manifiesta en aumentos en la probabilidad de default percibida por los inversionistas (Bomfim, 2022; Herrero y Mencía, 2015).

- El riesgo de liquidez es el riesgo de que una institución no pueda cumplir con sus obligaciones cuando vencen, sin incurrir en pérdidas inaceptables (BCBS, 2008).
- Finalmente, el riesgo de mercado es el riesgo de pérdidas en el valor de un portafolio que surgen a partir de movimientos en los precios de mercado, como tasas de interés, tipos de cambio, precios de acciones o precios de materias primas (Hull, J. C. 2018).

Distinguir entre riesgo de crédito y riesgo de liquidez es fundamental. Ambos responden a determinantes distintos y transmiten información complementaria. Mientras el primero refleja la solvencia y capacidad de pago del emisor, el segundo está asociado a las condiciones de negociación y a la percepción de liquidez del mercado. En períodos de tensión, una prima de liquidez negativa puede enmascarar un incremento real en el riesgo crediticio, por lo que analizarlos conjuntamente puede inducir errores en la valoración y en la gestión de riesgo soberano. Esta descomposición ofrece, por tanto, una visión más precisa del comportamiento de los diferenciales y permite una gestión de portafolios más informada.

En el ámbito del crédito existe un mercado de instrumentos derivados que permite monitorear cambios en el riesgo crediticio de contrapartes: los Credit Default Swaps (CDS). Estos instrumentos adquirieron amplia notoriedad con la crisis financiera global de 2008 (GFC)³, un CDS funciona como un seguro en el que se paga una prima —medido como puntos bases sobre notional— para protegerse contra el incumplimiento de la entidad de referencia (la contraparte frente a la cual se busca protección). Estos contratos, ofrecidos por corporaciones globales, se cotizan en el mercado secundario y se pueden transar. Cuando la contraparte posee un riesgo crediticio bajo, la prima pagada será baja, y viceversa. Por ejemplo, al 31/12/2024 el CDS de Alemania (la entidad de referencia) era de 13,4 puntos básicos, mientras que el de Argentina alcanzaba 1156 puntos básicos⁴.

Los derivados de crédito surgieron como alternativa a las calificaciones de riesgo crediticio emitidas por agencias clasificadoras (Financial Stability Board [FSB], 2010; Sy, 2009). Existen cuatro principales agencias de alcance global: Moody's, Fitch, S&P y DBRS. Estas entidades realizan evaluaciones periódicas en distintas dimensiones (plazo, tipo de emisor, instrumento, entre otras). Sin embargo, la experiencia ha demostrado que estas clasificadoras pueden ser lentas para ajustar sus evaluaciones (Tran et al., 2021) y presentan sesgos inherentes a su

³ Para más detalle revisar Bomm, Antulio N. (2022). *Credit Default Swaps*. Finance and Economics Discussion Series 2022-023. Washington: Board of Governors of the Federal Reserve System, <https://doi.org/10.17016/FEDS.2022.023>.

⁴ Datos proveídos por Bloomberg usando CMAN como fuente de precios para el plazo de 5 años en USD.

modelo de negocio (Bush, 2022; Sangiorgi y Spatt, 2017). A raíz de ello, el FSB (2014) recomendó a las instituciones financieras reducir su dependencia de las notas de rating como indicador principal de riesgo crediticio⁵.

A partir de estos antecedentes, la evaluación del riesgo crediticio no es trivial y puede abordarse desde distintas perspectivas. Este trabajo propone una metodología que combina información de mercado (curvas soberanas y CDS) para capturar de forma dinámica los componentes de crédito y liquidez del spread soberano.

En concreto, se sigue la línea de trabajos que perfeccionan la medición del riesgo crediticio en mercados soberanos. Longstaff (2004) estableció un marco inicial para separar el spread en sus componentes de crédito y liquidez; luego, Beber et al. (2009) y Ejsing et al. (2012) ampliaron este enfoque. Herrero y Mencía (2015) desarrollan un modelo de espacio-estado que permite estimar simultáneamente ambos factores mediante el uso del filtro de Kalman, metodología que este estudio replica y actualiza para el período 2018–2025.

Este trabajo se estructura de la siguiente forma: primero se revisan la literatura relacionada al trabajo planteado, luego se presentan los datos recopilados y se introducen definiciones y consideraciones, detallando los desafíos enfrentados. Posteriormente se desarrolla el modelo, presentando las consideraciones iniciales y el planteamiento matemático que lo sustenta, para luego exponer los resultados y algunas variantes propuestas. En la sección siguiente se muestran posibilidades que se abren con este modelo, incluidas potenciales mejoras y discusiones. Finalmente, se ofrecen las conclusiones, donde se destacan los beneficios y casos de uso que genera este modelo para la administración del riesgo crediticio en un portafolio.

1.1 Literatura relacionada y contribución

El estudio de los diferenciales soberanos y su descomposición en factores de crédito y liquidez ha sido objeto de un amplio desarrollo en la literatura financiera. Esta línea de investigación busca distinguir qué parte de los spreads responde al riesgo crediticio —la probabilidad de incumplimiento del emisor— y qué fracción proviene de factores de liquidez —la facilidad de negociación y profundidad del mercado—. Esta distinción es esencial, pues

⁵ Para mayor detalle revisar: Thematic Review on FSB Principles for Reducing Reliance on CRA Ratings (FSB, 2014)

ambos riesgos afectan de manera distinta la valoración de activos, la percepción de estabilidad financiera y la transmisión de la política monetaria.

El trabajo seminal de Longstaff (2004) introdujo el concepto de flight-to-liquidity premium para el mercado estadounidense, demostrando que en períodos de tensión los inversores están dispuestos a aceptar menores rendimientos a cambio de mantener activos más líquidos, incluso si comparten el mismo riesgo crediticio. Este hallazgo puso de manifiesto que los movimientos en los precios de los bonos del Tesoro no podían explicarse exclusivamente por el riesgo de crédito, sino también por la demanda de liquidez. Posteriormente, Beber, Brandt y Kavajecz (2009) extendieron este enfoque al mercado europeo, identificando empíricamente episodios de flight-to-quality y flight-to-liquidity en los que las primas de riesgo se ajustan de forma asimétrica según el país y la fase del ciclo financiero. Estos autores destacaron que la liquidez se vuelve un factor dominante en los momentos de estrés, lo que refuerza la necesidad de separar sus efectos del crédito soberano.

A partir de estos estudios, la literatura evolucionó hacia marcos econométricos más estructurados. Ejsing, Grothe y Grothe (2012) propusieron un modelo para descomponer las primas de riesgo en los rendimientos de bonos de gobiernos y agencias dentro de la Eurozona, utilizando la relación entre ambos como mecanismo para identificar los componentes de crédito y liquidez. Su trabajo evidenció que los diferenciales soberanos europeos durante la crisis de deuda reflejaban tanto percepciones de insolvencia como una fuerte prima por iliquidez. Más adelante, Herrero y Mencía (2015) introdujeron un modelo de espacio-estado que permite estimar dinámicamente los factores de crédito y liquidez a través del filtro de Kalman, lo que representó un avance metodológico significativo al capturar la evolución temporal de ambos componentes sin requerir observaciones directas. Su aplicación a países de la zona euro mostró cómo la prima de liquidez se vuelve negativa en activos considerados refugio, como los bonos alemanes, compensando el riesgo crediticio en momentos de estrés.

Otros enfoques complementarios han analizado los spreads soberanos mediante técnicas de factores comunes o cointegración. Por ejemplo, Monfort y Renne (2012) modelan los rendimientos de bonos europeos con un sistema de factores latentes que permite identificar choques específicos de crédito y liquidez, mientras que Dubecq et al. (2013) utilizan modelos afines estructurales para vincular los spreads con fundamentos macroeconómicos. Más recientemente, Benzoni et al. (2023) y Bomfim (2022) examinan el riesgo crediticio estadounidense desde la perspectiva del mercado de Credit Default Swaps (CDS), encontrando incrementos sustanciales en la probabilidad implícita de default durante

episodios de incertidumbre fiscal, como el debate del techo de la deuda. No obstante, estos trabajos se concentran en la dinámica del riesgo de crédito y no en la descomposición conjunta con la liquidez.

En comparación con esta literatura, el presente estudio aporta tres contribuciones principales.

- Primero, actualiza y extiende el marco metodológico de Herrero y Mencía (2015) para el período 2018–2025, incorporando episodios recientes como la pandemia del COVID-19 y el posterior ciclo global de endurecimiento monetario, lo que permite evaluar la robustez del modelo ante shocks inéditos.
- Segundo, aplica la metodología simultáneamente a dos economías avanzadas con estructuras de mercado contrastantes —Alemania y Estados Unidos—, permitiendo comparar un mercado caracterizado por su condición de “activo refugio” con otro de rol dominante en la liquidez global. Esta comparación intercontinental constituye una novedad frente a los trabajos previos, centrados mayoritariamente en la Eurozona.
- Tercero, integra información proveniente del mercado de CDS soberanos, que ofrece una medición directa del riesgo de incumplimiento percibido por los inversionistas, mejorando así la identificación del componente crediticio y proporcionando evidencia adicional sobre la interacción entre crédito y liquidez en los precios de la deuda pública.

En síntesis, este trabajo contribuye a la literatura al reproducir, validar y ampliar un marco analítico de relevancia comprobada, aplicándolo a un contexto más reciente y comparativo. Además, propone una herramienta de monitoreo que combina información de bonos, agencias y CDS, capaz de captar señales tempranas de riesgo crediticio enmascaradas por dinámicas de liquidez. Con ello, ofrece un aporte metodológico y empírico útil tanto para la investigación académica como para la gestión de riesgo en instituciones financieras y bancos centrales.

2. Modelo

2.1. Definiciones

En esta sección se presentan las variables y los modelos utilizados para llevar a cabo la descomposición de los factores de crédito y liquidez que explican los rendimientos de los bonos soberanos.

Primero, se expone el modelo base, indicando las ecuaciones del modelo en espacio de estados, para luego definir cada una de las variables y parámetros involucrados. A continuación, se introduce el modelo CDS, destacando las modificaciones que incorpora respecto al modelo anterior.

2.2. Modelo Base

A modo introductorio, un modelo de espacio de estados es una representación matemática utilizada para describir la evolución dinámica de un sistema mediante variables no observadas (estados latentes) y observaciones disponibles. Dado el foco del presente artículo, mayores detalles de la base cuantitativa se presentan en el Anexo 4, el cual contiene una descripción más extensa sobre su formulación general.

Al implementar un modelo de espacio de estados en el contexto del presente artículo, se define la variable observada como s_t , que corresponde al *spread* generado entre el rendimiento de un instrumento soberano de renta fija y el de un instrumento del mismo tipo de una agencia. Por tanto, ambos, se construyen a partir de información reportada por el mercado. En contraste, los estados (variables no observadas) son los factores de crédito y de liquidez, que atribuyen el valor observado del *spread* a lo largo del tiempo.

En consecuencia, uno de los componentes más relevantes del modelo es la definición de una ecuación de transición y de una ecuación de medición. La primera, describe la evolución del estado del sistema en el tiempo, es decir, cómo interactúan los factores de crédito y liquidez en cada período. La segunda vincula dichos estados latentes con las variables observadas, de modo que le permite al modelo relacionar los factores estimados con los *spreads* reportados por el mercado. Esto es crucial, ya que el modelo tiene la capacidad de adaptarse dinámicamente a medida que se incorpora nueva información.

De este modo, la ecuación de transición es la que se presenta en la ecuación (1).

$$x_t = Cx_{t-1} + v_t$$

$$\begin{pmatrix} x_{c,t} \\ x_{l,t} \end{pmatrix} = (\alpha_c \ 0 \ 0 \ \alpha_l) \begin{pmatrix} x_{c,t-1} \\ x_{l,t-1} \end{pmatrix} + (\sigma_c^2 \ 0 \ 0 \ \sigma_l^2) \quad (1)$$

$$\{x_{c,t} = \alpha_c \cdot x_{c,t-1} + \sigma_c^2 \quad x_{l,t} = \alpha_l \cdot x_{l,t-1} + \sigma_l^2$$

Donde:

$x_t = \begin{pmatrix} x_{c,t} \\ x_{l,t} \end{pmatrix}$ corresponde a los factores de crédito ($x_{c,t}$) y liquidez ($x_{l,t}$) en el tiempo t que explican los *spreads* (s) observados.

Se asume que los residuos distribuyen normal e independiente, por tanto: $v_t \sim iid N[0, (\sigma_c^2 \ 0 \ 0 \ \sigma_l^2)]$ y $\epsilon_t \sim iid N[0, (\sigma^2 \ 0 \ 0 \ \sigma^2)]$. Además, los parámetros que los definen se establecen como muestran las ecuaciones (2) y (3).

$$\sigma_c^2 = 1 - \alpha_c^2 \quad (2)$$

$$\sigma_l^2 = 1 - \alpha_l^2 \quad (3)$$

Los términos autorregresivos para el factor de crédito (α_c) y liquidez (α_l), pertenecientes a la matriz C , se asumen menores a uno en valor absoluto, con el fin de establecer que los rendimientos son estacionarios y presentan reversión a la media (*mean reverting*). Además, los valores nulos fuera de la diagonal en la matriz C se deben a la suposición de que los factores son condicional e incondicionalmente independientes.

Luego, la ecuación de medición se muestra en (4).

$$s_t = \delta + Ax_t + \epsilon_t$$

$$\begin{pmatrix} s_{sov,t} \\ s_{agn,t} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \delta_{sov} \\ \delta_{agn} \end{pmatrix} + (1 \ 1 \ 1 \ \theta) \begin{pmatrix} x_{c,t} \\ x_{l,t} \end{pmatrix} + (\sigma^2 \ 0 \ 0 \ \sigma^2) \quad (4)$$

$$\{s_{sov,t} = \delta_{sov} + x_{c,t} + x_{l,t} + \sigma^2 \quad s_{agn,t} = \delta_{agn} + x_{c,t} + \theta \cdot x_{l,t} + \sigma^2$$

En este caso, σ^2 representa la varianza de los errores de medición y la variable de medición es el *spread* (s), correspondiente a un determinado plazo (tenor) del emisor $i = \{sov, agn\}$ (soberano y agencia respectivamente) en el tiempo t , el cual se define en la ecuación (5).

$$s_{i,t} = y_{i,t} - r_t \quad (5)$$

Donde:

- $y_{i,t}$: corresponde al rendimiento del bono de un determinado plazo del emisor i en el tiempo t .
- r_t : representa la tasa libre de riesgo (OIS) para un determinado plazo en el tiempo t .

Luego, $\delta = \begin{pmatrix} \delta_{sov} \\ \delta_{agn} \end{pmatrix}$ son los interceptos del soberano y la agencia, lo que indica que el inicio de la serie no necesariamente comienza en cero.

Por último, $A = (1 \ 1 \ 1 \ \theta)$ es la *state matrix* y refleja el peso que tienen los factores al momento de explicar el *spread*. La diferencia entre soberano y agencia radica en θ , el cual se fundamenta en la teoría desarrollada en secciones anteriores. En efecto, ambas entidades comparten el riesgo de crédito, por lo que cualquier diferencia en sus rendimientos se atribuye a aspectos relacionados con la liquidez.

2.3. Modelo CDS

El modelo CDS incluye este instrumento bajo la premisa de que refleja exclusivamente el riesgo de crédito latente en el soberano. Esta adición implica únicamente la modificación de la ecuación de medición, como se muestra en (6).

$$\begin{pmatrix} S_{sov,t} \\ S_{agn,t} \end{pmatrix} CDS_t = \begin{pmatrix} \delta_{sov} \\ \delta_{agn} \end{pmatrix} \delta_{CDS} + (1 \ 1 \ 1 \ \theta \ 1 \ 0) \begin{pmatrix} x_{c,t} \\ x_{l,t} \end{pmatrix} + (\sigma^2 \ 0 \ 0 \ 0 \ \sigma^2 \ 0 \ 0 \ 0 \ \sigma^2) \quad (6)$$

$$\begin{cases} S_{sov,t} = \delta_{sov} + x_{c,t} + x_{l,t} + \sigma^2 S_{agn,t} = \delta_{agn} + x_{c,t} + \theta \cdot x_{l,t} + \sigma^2 CDS_t \\ = \delta_{CDS} + x_{c,t} + \sigma^2 \end{cases}$$

En la ecuación (m6) se observa que la variable observada CDS_t no incluye un factor de liquidez como parte de su igualdad. Esto se debe a que, como se mencionó anteriormente, dicha medición representa exclusivamente el riesgo de crédito.

2.4. Metodología

Con todo lo dicho, independientemente del modelo que se implemente, se sigue el siguiente procedimiento:

1. Se inicializa el modelo mediante valores iniciales.
2. Se estiman los parámetros mediante el método de Máxima Verosimilitud (*Maximum Likelihood Estimation*, MLE, por su sigla en inglés). Los parámetros estimados son: $\{\alpha_c, \alpha_l, \theta, \sigma, \sigma_c, \sigma_l\}$. El parámetro δ representa el punto inicial de la serie, una vez conocidos los factores de crédito y liquidez.

3. Se aplica el filtro de Kalman para estimar los factores de crédito y liquidez.
4. A partir de los resultados obtenidos, se aplica el suavizado de Kalman sobre los factores estimados para cada período.

Para más detalles sobre la metodología, véase el Anexo 5.

2.5 Data

Para la recopilación de los datos, el modelo a implementar requiere cuatro variables, que se clasifican en los siguientes grupos⁶:

- Bonos soberanos (Fuente: Bloomberg).
- Bonos de agencia (Fuente: Bloomberg).
- Tasa libre de riesgo (Fuente: Bloomberg).
- Credit Default swap de la contraparte soberana (Fuente: CapitalIQ).

Para mantener la consistencia con el trabajo en el que se basa esta replicación, se calculó la mediana semanal por cada serie. De esta forma, se redujo la cantidad de valores atípicos que podrían haber obedecido a eventos singulares de mercado. Además, para la construcción de los datos necesarios se utilizó una ventana de siete años, tomando como fecha de inicio: 01-01-2018⁷.

En este trabajo se seleccionaron los siguientes países: **Alemania, Australia, Canadá, Estados Unidos, Francia y Reino Unido**. La elección de estos Estados soberanos respondió a varios factores. En primer lugar, son países cuyos instrumentos poseen un mercado desarrollado, lo que facilita la recopilación de los datos necesarios. Además, algunos de ellos fueron usados por Herrero y Mencia, por lo que es interesante evaluar su evolución en otro periodo de tiempo. Por último, proceden de regiones geográficas diversas; ello permite cubrir la intersección entre mercados desarrollados y regiones y explorar si alguna zona en particular genera anomalías no explicitadas.

A continuación, se detallan las variables mencionadas al principio de esta sección.

⁶ Los tickers de Bloomberg específicos se detallan en el Anexo 3.

⁷ Se utilizó esta ventana de tiempo para coincidir con el trabajo de Herrero y Mencia (2015). Tomar en cuenta que mientras más larga la ventana escogida, el modelo podrá ajustar mejor sus parámetros. Por otro lado, a mayor rango temporal puede que haya dificultades para completar las distintas series requeridas.

2.5.1. Rendimiento Bonos Soberano

Para el rendimiento soberano se extrajeron los datos desde Bloomberg, para todos los países estudiados se utiliza el indicador *Generic Sovereign Bond*, metodología disponibilizada por este proveedor de datos que empalma los distintos bonos *On the run* - y genera la serie que mejor refleja la curva histórica de rendimiento soberana. En el análisis exploratorio y estadístico, no se encontraron razones de peso para preferir empalmar manualmente las series por sobre esta alternativa.

2.5.2. Rendimiento Bonos Agencia

Para el desarrollo de este modelo es **condición necesaria** contar con una institución denominada Agencia: una entidad cuyas obligaciones están completamente y explícitamente garantizadas por el gobierno (ECB, 2009). Este concepto se relaciona con la expresión "*Full Faith and Credit*", definida como la garantía incondicional o el compromiso de una entidad para respaldar los intereses y el principal de la deuda de otra entidad (Chen, 2024). Además, estas instituciones deben emitir instrumentos de deuda que se negocien en el mercado y tengan suficiente volumen para establecer un precio real durante los siete años de historia considerados.

Este trabajo se basa en la presunción de que el rendimiento de una agencia debe moverse de manera similar al del soberano que la respalda. De los países seleccionados, no se pudo obtener una agencia correspondiente para cada uno de ellos. En la Tabla 1 se especifican las relaciones.

Tabla 1: Relación soberano - agencia escogido para este trabajo.

País	Agencia
Alemania	Kreditanstalt für Wiederaufbau
Francia	Caisse d'Amortissement de la Dette Sociale
UK	No encontrada ⁸
Canadá	Export Development Canada
EEUU	Federal National Mortgage Association
Australia	No encontrada

Nota: elaboración propia.

⁸ Para el caso de UK y Australia no se logró establecer una relación con una institución que cumpla las características anteriormente descritas. Dado esto, buscamos diferentes posibilidades que pudieran imitar el movimiento del rendimiento soberano del país en cuestión, entre ellos: instituciones bancarias y corporaciones, sin encontrar un sustituto adecuado.

Para confirmar esta relación, se realizaron diversas pruebas estadísticas que cuantifican los valores de similitud en la relación entre Soberano y Agencia respectiva; los resultados se presentan en la Tabla 2. Para más detalles, ver Anexo 4.

Tabla 2: Resultados estadísticos Beta y T-student.

País	Correlación	Beta_reg	t value	Significancia
Alemania	0,9981	1,0683	712,30	p<0,0001
Francia	0,9981	1,0232	693,82	p<0,0001
Canadá	0,9168	1,4897	99,20	p<0,0001
EEUU	0,9991	0,9999	1026,39	p<0,0001

Nota: elaboración propia.

2.5.3. Tasa Libre de Riesgo

El tercer elemento imprescindible para constituir los modelos propuestos por Herrero y Mencía (2015), es determinar la tasa libre de riesgo por cada país.

La tasa libre de riesgo es la tasa de interés que un inversionista puede obtener sin asumir ningún tipo de riesgo (Hull, 2018). Representa el rendimiento asociado a un activo libre de riesgo. Generalmente, los valoradores utilizan un bono gubernamental a largo plazo como proxy de la tasa (Jacobs y Shivdasani, 2012).

En este trabajo se utiliza la tasa interbancaria *overnight* (OIS por sus siglas en inglés) para los distintos países y plazos. Esta elección mantiene la coherencia entre los países estudiados, sigue la propuesta de Herrero y Mencía y aprovecha la liquidez de esta curva — con *tickers* disponibles en Bloomberg—, lo que permite rescatar directamente su precio de mercado y evitar transformaciones adicionales. Esto se refleja en la Tabla 3.

Tabla 3: Asignación curva libre riesgo por país.

País	Moneda	Curva Rf - Ticker
Alemania	EUR	EESWE5 Curncy
Francia	EUR	EESWE5 Curncy
Canadá	CAD	CDSO5 Curncy
EEUU	USD	USOSFR5 Curncy

Nota: elaboración propia.

2.5.4. CDS

En términos de riesgo de crédito soberano, el mercado de Credit Default Swaps (CDS) ofrece una valiosa herramienta para medir los cambios en el riesgo crediticio de un instrumento emitido por un país⁹.

En este trabajo los CDS se utilizan como insumo adicional para aportar más información al llamado CDS *model*, lo que permite lograr una mayor precisión en sus iteraciones. Herrero y Mencía aclaran que incluir este insumo no convierte necesariamente al modelo en una versión mejorada del modelo base (*benchmark model*) aun así, se emplearán los datos de CDS cuando estén disponibles.

El “*precio*” del CDS se refiere al valor de mercado para un plazo determinado de la entidad de referencia¹⁰. Este valor indica el pago sobre el nominal que se realiza para cubrirse del riesgo de incumplimiento. Por tanto, un valor alto indica que el mercado considera más probable el default de esa contraparte en comparación con otra con un CDS más bajo¹¹. En general, este mercado ha ido ganando tracción y es usado cada vez más por distintas instituciones para ir monitoreando la probabilidad de incumplimiento de contrapartes.

El mercado de CDS ofrece instrumentos a distintos plazos, históricamente el plazo a cinco años ha sido el más líquido y conocido (Herrero y Mencía, 2015). Al analizar la información suministrada por S&P y los CDS, se valida esta conclusión. La Tabla 4 indica el porcentaje de datos provenientes de observaciones de mercado en la totalidad de la muestra¹², revelando que los plazos a cinco años, con amplia diferencia, reflejan valores reales versus precios modelados por el mismo proveedor .

Tabla 4: Proporción data observada mercado CDS por país.

País	Tenor		
	2 Years	5 Years	10 Years
Alemania	4%	96%	62%
Francia	22%	96%	69%
Canadá	0%	23%	4%
EEUU	15%	59%	37%

⁹ Para términos de este trabajo, la referencia “soberana” es indistinta si la deuda es originaria del gobierno central o banco central autónomo.

¹⁰ **Entidad de referencia:** Emisor sobre el cual se evalúa el riesgo de crédito en un contrato de crédito default swap (CDS). Su eventual incumplimiento activa los pagos estipulados en el contrato.

¹¹ Esta definición es cierta, aunque simplifica algunas características de este mercado. Al ser un mercado de pocos agentes, puede ser ilíquido o su precio estar marcado por movimientos de pocos agentes. Por tanto, en estricto rigor, no podríamos afirmar que el precio pagado es la probabilidad de default pura.

¹² Cálculo realizado usando ventana desde 2018. Se utiliza data diaria y la fuente de precios proviene de S&P.

Nota: Elaboración propia.

Para Alemania, Canadá, Francia y EE.UU, se cumple con tener cada uno de los respectivos componentes para generar el modelo propuesto. En las siguientes secciones, se observarán los resultados para estos países.

3. Resultados

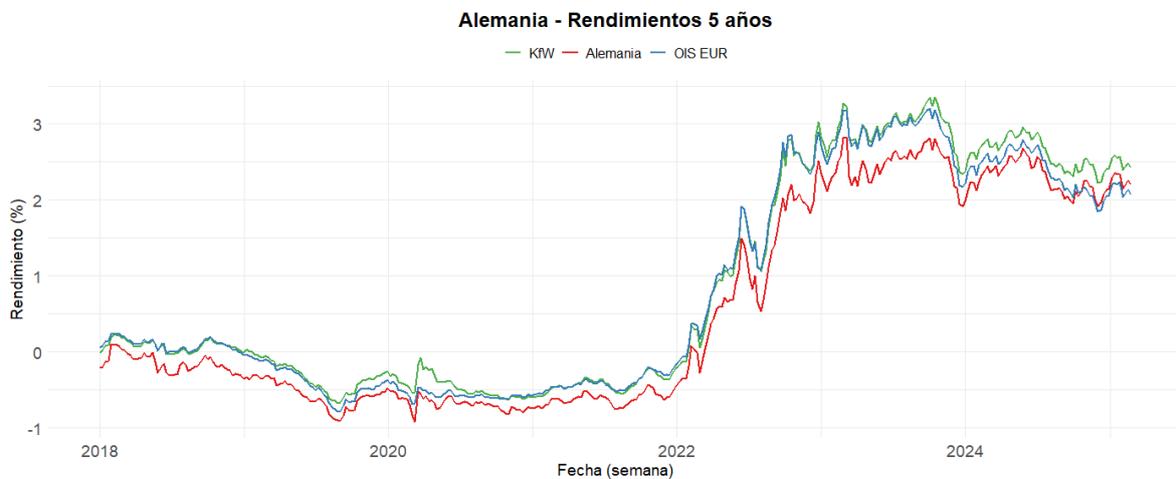
3.1. Modelo Base

Al evaluar los modelos indicados, se presentarán los casos de Alemania y Estados Unidos, ya que ilustran situaciones particularmente relevantes para el análisis. Los datos correspondientes a Canadá y Francia, junto con los de los países mencionados, se encuentran disponibles en la base de datos adjunta.

Asimismo, en línea con lo discutido en la Sección 2 (Data), respecto a la calidad de la información de los CDS, se opta por presentar exclusivamente los resultados asociados a cinco años, con el fin de facilitar su interpretación.

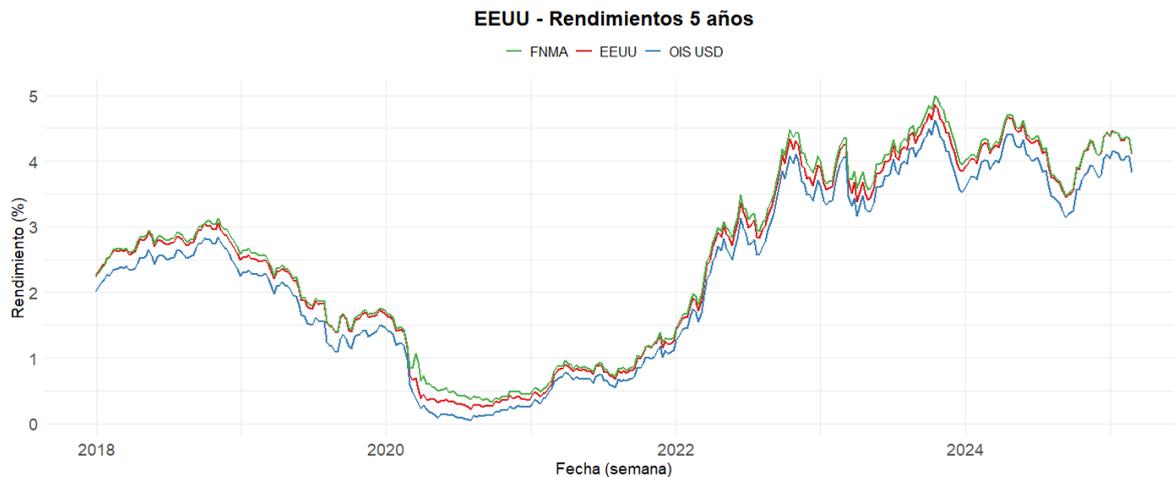
En la Figura 1 y 2 se muestra la comparación de los rendimientos de bonos para los casos de Alemania y Estados Unidos, respectivamente.

Figura 1: Rendimientos de Alemania, KfW y OIS (EUR) para plazo de 5 años.



Nota: Elaboración propia.

Figura 2: Rendimientos de Estados Unidos, Fannie Mae y OIS (USD) para plazo de 5 años.



Nota: Elaboración propia.

En el caso alemán se observa que el rendimiento del bono soberano (Bund) se sitúa por debajo de las tasa OIS empleadas como referencia libre de riesgo. Estos resultados están en línea con lo observado por Herrero y Mancía (2015) en su ventana temporal. Esta situación podría indicar que los inversores aceptan rendimientos inferiores al *risk-free* y están dispuestos a pagar a cambio de la máxima liquidez y calidad crediticia que ofrece la deuda alemana. En términos prácticos esto equivale a una prima de riesgo soberano negativa, en la que el inversor sacrifica rendimiento a cambio de invertir en un activo de mayor calidad.

En cuanto a la dinámica de los rendimientos, se observa un primer período de relativa estabilidad hasta inicios del 2022. A partir de esa fecha, estos valores se elevan hasta el comienzo de 2023, estabilizándose en torno al 2%.

Durante el periodo de estabilidad se observan valores negativos hasta finales de 2021, lo que es coherente con la política monetaria expansiva del Banco Central Europeo (BCE). Esto vinculado con el programa de compra de activos con el foco de la adopción de una política de tasas de interés negativas (Boucinha y Bulon, 2020), política mantenida e intensificada durante la pandemia (BCE, s.f.).

Posteriormente, se registra un incremento pronunciado a partir de inicios de 2022, que puede interpretarse como la reacción del mercado al shock inflacionario global. Este escenario motivó un giro restrictivo en la política del BCE, evidenciado por la subida de sus tres tipos de tasas de interés oficiales en 50 puntos básicos (BCE, 2022). La estabilización de los rendimientos a partir de 2023 en niveles superiores a los del período previo sugiere que el mercado habría internalizado el ciclo de alzas. Ello concuerda con la noción de *higher for longer*, término adoptado por los inversionistas tras las declaraciones de Jerome Powell en 2024, en las que

señaló la necesidad de mantener las tasas elevadas durante el tiempo que sea apropiado (Board of Governors of the Federal Reserve System, 2024).

A diferencia del caso alemán, en el mercado estadounidense no se observa un diferencial negativo persistente en el que el bono soberano rinda menos que la OIS. Esto podría deberse a la ausencia de una fuga hacia la calidad interna. A diferencia de la Eurozona, el mercado de deuda estadounidense es homogéneo, con un único emisor federal. Por ello no existe una demanda interna extraordinaria y concentrada que, en tiempos de crisis, eleve el precio de un bono específico (como ocurre con el bono alemán) y deprima, por consiguiente, su rendimiento. Otro factor posible es la oferta masiva de deuda del Tesoro, lo cual limita la aparición de una prima por escasez. En consecuencia, el rendimiento de los bonos del Tesoro tiende a mantenerse alineado con los fundamentos económicos, respetando el supuesto de que la OIS representa una tasa libre de riesgo.

En el período previo a la pandemia, hasta finales de 2019, los rendimientos en Estados Unidos se mantenían en niveles superiores a los de Europa. Ello se explica por el hecho de que la Reserva Federal (Fed), tras un ciclo de aumentos de tasas entre 2015 y 2018, se encontraba en una fase de “normalización monetaria”, en la que ajustaba su política según los datos económicos entrantes (Labonte, 2020).

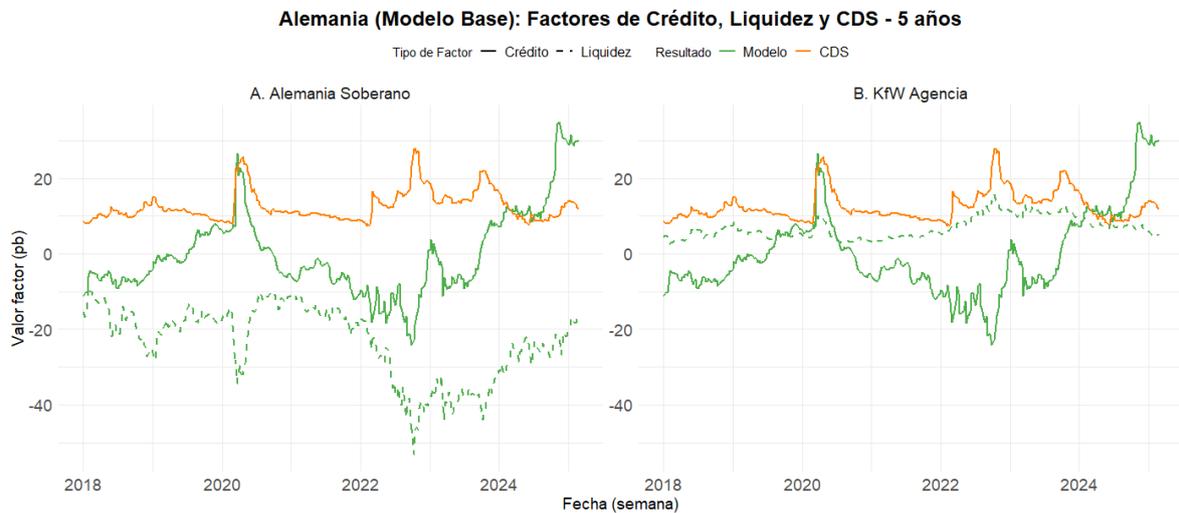
La drástica caída de los rendimientos observada desde marzo de 2020 se debió a que la Fed implementó un conjunto de medidas de flexibilización para estabilizar los mercados financieros. Estas acciones incluyeron la reducción de la tasa federal funds a su límite inferior efectivo (0 %-0,25 %) y el lanzamiento de un programa de compra de activos a gran escala (Clarida et al., 2021).

Por último, el repunte pronunciado y sostenido de los rendimientos desde 2022 se relaciona con el cambio de régimen de la Fed, motivado por una inflación que alcanzó el 9,1 % en su punto más alto. Ante este escenario, desde marzo de 2022 el banco central inició una serie de subidas agresivas de los tipos de interés y comenzó a reducir su balance (Powell, 2022).

Conviene destacar que los bonos emitidos por agencias en ambos países registran rendimientos superiores a los soberanos. Ello refleja la prima que los inversores exigen para activos que comparten riesgo de crédito pero no de liquidez. Por tanto, se valida la posibilidad de aislar el riesgo de crédito y el de liquidez, lo que explica por qué las agencias ofrecen retornos más elevados que la deuda soberana.

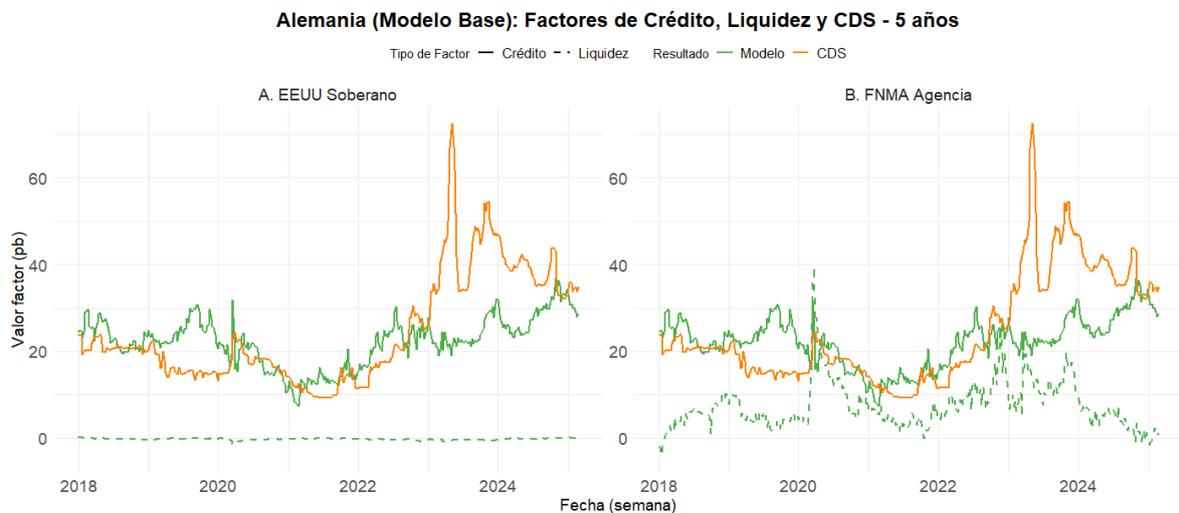
En definitiva, por las particularidades discutidas de ambos mercados, es que finalmente se optó por presentar sus resultados debido al contraste en sus comportamientos. Pese a eso, como se mostrará a continuación, los modelos consiguen capturar los factores de crédito y liquidez que explican sus curvas de rendimiento. Al implementar el modelo base, la Figura 3 indica los factores calculados para Alemania y KfW, en la Figura 4 hace lo mismo para EEUU y Fannie Mae.

Figura 3: Resultados del Modelo Base para los factores de crédito y liquidez de Alemania y KfW para plazo de 5 años.



Nota: Elaboración propia.

Figura 4: Resultados del Modelo Base para los factores de crédito y liquidez de Estados Unidos y Fannie Mae para un plazo de 5 años.



Nota: Elaboración propia.

En el bono soberano alemán (Figura 3.A), cabe destacar los resultados para el período de la pandemia (2020-2022). Se observa que un pronunciado incremento en el factor de crédito (línea sólida), que supera los 15 puntos base (pb), coincide con un descenso igualmente marcado en el factor de liquidez (línea punteada), que alcanza valores por debajo de los -30 pb. Esta dinámica es consistente con la fuga hacia la calidad: el modelo cuantifica que la mayor percepción de riesgo sistémico se compensa con una prima de liquidez negativa, reflejo de la intensa demanda por la seguridad y la liquidez superior del Bund.

En contraste, el comportamiento de la agencia KfW (Figura 3.B) valida la estructura del modelo. Si bien su factor de crédito se mueve en sincronía con el soberano, como lo asume el marco teórico al tener ambos el mismo garante, su factor de liquidez se mantiene consistentemente en territorio positivo. Esto significa que, a diferencia del soberano, la agencia no se beneficia del estatus de activo refugio. En su lugar, su rendimiento incorpora una prima de liquidez positiva, que compensa a los inversores por una menor profundidad de mercado.

En el período posterior a la pandemia, el patrón de la dinámica de crédito y liquidez se reitera: las nuevas alzas en el factor de crédito soberano son contrarrestadas por el efecto de su liquidez negativa. Para la agencia KfW, en cambio, la ausencia de esta compensación implica que el aumento del riesgo de crédito se traspasa más directamente a su rendimiento exigido, al que se suma la prima por su liquidez positiva.

En Estados Unidos, los resultados del modelo base (Figura 4) ofrecen una clara diferencia entre el bono soberano y el de la agencia Fannie Mae. En el bono soberano (Panel A), se observa que el factor de liquidez es prácticamente nulo durante la mayor parte del período, en línea con que el mercado de *treasuries* del país se denomina como el más líquido del mundo (Grothe et al., 2024). Esto indica que su diferencial de rendimiento sobre la tasa OIS es explicado casi en su totalidad por las fluctuaciones del factor de crédito.

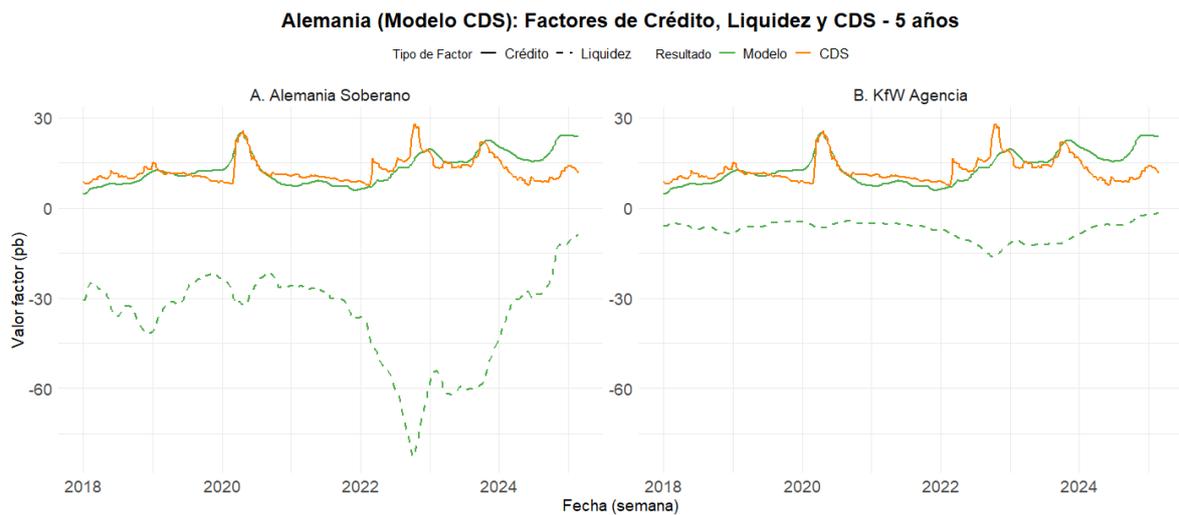
En contraste, para la agencia Fannie Mae (Panel B), la liquidez desempeña un papel relevante. Aunque su factor de crédito se mueve en sincronía con el del soberano, su factor de liquidez es consistentemente positivo, lo que refleja la prima de rendimiento que los inversores exigen para compensar la menor profundidad de mercado de sus bonos en comparación con los del Tesoro.

3.2. Modelo CDS

Aunque esta descomposición es coherente, el modelo base identifica los factores basándose únicamente en el diferencial en rendimiento entre ambos tipos de bonos. Para robustecer el análisis, la literatura sugiere incorporar una fuente de información más directa sobre el riesgo de

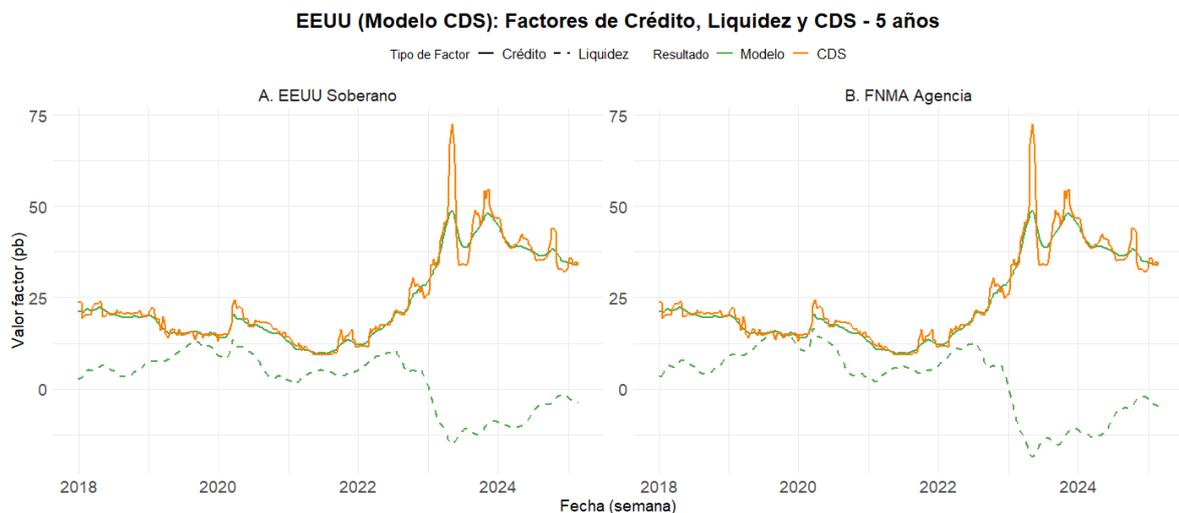
impago. Por ello, además de observar comportamientos similares en el factor de crédito, se implementa un modelo extendido que integra los Credit Default Swaps (CDS). El objetivo es mejorar la precisión en la identificación del componente de crédito: los CDS están diseñados para reflejar el riesgo de impago y aportan información proveniente de un mercado distinto al de bonos. A continuación se presentan los resultados de dicho modelo (figuras 5 y 6), utilizando el CDS a cinco años como referencia principal.

Figura 5: Resultados del Modelo CDS para los factores de crédito y liquidez de Alemania y KfW para plazos de 5 años.



Nota: Elaboración propia.

Figura 6: Resultados del Modelo CDS para los factores de crédito y liquidez de Estados Unidos y Fannie Mae para plazos de 5 años.



Nota: Elaboración propia.

La incorporación de los datos de CDS al modelo refina la descomposición de los factores de riesgo. Para Alemania, los resultados revelan que, tanto el bono soberano como el de la agencia KfW presentan un factor de liquidez negativo, que compensa parcialmente el riesgo de crédito. No obstante, la magnitud de este efecto es marcadamente asimétrica: el factor de liquidez del bono soberano (Panel A) alcanza valores significativamente más negativos que el de la agencia (Panel B).

Este hallazgo es consistente con el supuesto de que el bono soberano posee una liquidez y un estatus de activo refugio superiores. Adicionalmente, el hecho de que el factor de liquidez de la agencia KfW también sea negativo, aunque en menor grado, sugiere que el modelo captura cómo ambos instrumentos internalizan la prima de liquidez, pero con magnitudes diferentes. Si bien no es el activo refugio principal, su garantía soberana y alta calificación crediticia hacen que los inversores no solo no le exijan una prima por iliquidez, sino que le atribuyen un modesto "descuento" en su rendimiento por su propia seguridad y liquidez relativa frente a otros instrumentos.

Esta descomposición explica de manera más completa por qué el rendimiento de KfW (observado en la Figura 1) llega a niveles similares o incluso inferiores a la tasa OIS en ciertos períodos. Dicho rendimiento no solo se beneficia de un riesgo de crédito intrínsecamente bajo (idéntico al soberano), sino también de un factor de liquidez que, aunque de menor magnitud que el del Bund, contribuye a reducir el rendimiento final en lugar de aumentarlo.

En tanto que para Estados Unidos (Figura 6), la estimación del modelo con CDS revela una dinámica temporal matizada en el factor de liquidez soberano que no era aparente en el modelo base, ofreciendo una visión sofisticada de su rol en el mercado.

En el período previo a 2022, se observa que el factor de liquidez del bono soberano (Panel A) se sitúa de manera persistente en territorio positivo. Esto podría interpretarse como la existencia de una prima por iliquidez, donde el rendimiento está dominado por el factor de crédito. No obstante, se produce un cambio de régimen a partir de 2022. Coincidiendo con el fuerte incremento del factor de crédito (que refleja la incertidumbre macroeconómica y el ciclo de alzas de la Fed), el factor de liquidez soberano cruza a territorio negativo. En línea con lo mostrado también por el Benchmark Model, revisado anteriormente. Esto podría evidenciar un cambio de estatus de activo refugio del bono del Tesoro.

Por otro lado, el comportamiento de Fannie Mae (Panel B) es similar al de los bonos del Tesoro. Se observa que el nivel del factor de liquidez es un tanto más positivo que el del soberano, tanto

pre y post 2022. Tal diferencia, aunque menor, representaría la prima por iliquidez que le hace tener mayores rendimientos respecto al soberano.

4. Discusión y Conclusiones

El presente estudio valida la solidez del modelo propuesto por Herrera y Mencía (2015) para desarrollar un modelo de riesgo de crédito basado en información de mercado. Permitiendo obtener componentes para crédito y liquidez en base a la descomposición de los diferenciales de rendimiento (*spreads*). El hallazgo más significativo es el contraste estructural entre las dinámicas de Alemania y Estados Unidos obtenido gracias al modelo que incluye los CDS dentro de sus variables. Para Alemania, los resultados cuantifican un pronunciado efecto de "activo refugio", donde el aumento del riesgo de crédito en períodos de tensión es compensado por una prima de liquidez negativa. En cambio, el factor de liquidez soberano de Estados Unidos varía tomando valores positivos y negativos en el transcurso de la serie de tiempo modelada, actuando como un coste marginal en tiempos de calma para luego transformarse en un factor de mitigación de riesgo durante crisis sistémicas. Estos resultados, obtenidos en un período temporal posterior al del estudio original en que se basa este trabajo, revelan la robustez y flexibilidad del marco metodológico propuesto por los autores para capturar las respuestas del mercado a shocks de distinta naturaleza, como el COVID-19 y subsiguiente ciclo de endurecimiento monetario global.

Lo anterior da cuenta del valor de la efectividad de los modelos de espacio-estado en la descomposición por factores de las series temporales involucradas, mejorando la gestión de riesgo de un portafolio. A diferencia de indicadores tradicionales como las notas de rating o los valores de CDS por sí solos, este enfoque ofrece una visión desagregada que permite el monitoreo en tiempo real de los factores de riesgo utilizando el mercado de deuda. ADe este modo, es posible identificar señales tempranas en el componente de crédito que podrían estar temporalmente enmascaradas por el factor de liquidez, lo que complementa los análisis de exposición que se realizan sobre el portafolio.

Junto a lo anterior, los resultados del componente crediticio entregados por el modelo CDS constituyen una curva más "pura" para explicar la evolución del riesgo de impago de la contraparte, eliminando las distorsiones propias de un mercado y confirman lo expuesto en la introducción de este trabajo.

Otro aspecto a destacar de los resultados del modelo es la posibilidad de cuantificar la «fuga hacia la calidad» (*flight to quality*), un concepto frecuentemente utilizado de manera cualitativa en la jerga de la industria. Con estos resultados se propone medir la magnitud de dicho fenómeno, es decir, la preferencia de los inversionistas por activos de mayor seguridad.

No obstante, la implementación del modelo enfrenta dos limitaciones metodológicas principales. La primera es la dificultad de encontrar bonos de agencia que cumplan con los criterios requeridos en mercados importantes, lo que obligó a excluir a países como el Reino Unido y Australia de la muestra final. La segunda se refiere a la disponibilidad de datos suficientes para construir el modelo con todas las condiciones requeridas.

Estas barreras abren vías para futuras investigaciones. En primer lugar, se podría explorar el uso de otros instrumentos financieros como posibles sustitutos de las agencias y de la tasa libre de riesgo, desarrollando criterios estadísticos que validen su idoneidad. En segundo lugar, sería conveniente desarrollar una metodología para contrastar el factor de liquidez estimado con los precios de algún instrumento de mercado. Mientras que el factor de crédito posee a los CDS como referente, no se encontró un análogo directo para la liquidez; su construcción representaría un avance significativo.

Por último, sería útil incluir países de Asia, como China y Corea del Sur, para estudiar el modelo en esa región. Tal como proponen Herrera y Mencía en su estudio, al incorporar varios países de una misma región se podrían identificar riesgos sistémicos comunes y monitorearlos por región.

Dicho todo lo anterior, en definitiva, este trabajo no sólo replica y actualiza un marco analítico relevante, sino que también desarrolla una herramienta cuantitativa que permite complementar el análisis sobre un portafolio. Al descomponer el riesgo soberano en sus componentes de crédito y liquidez, se ofrece una visión más granular y dinámica, esencial para una gestión de portafolios en un entorno financiero complejo.

5. Bibliografía

- Banco Central Europeo. (s.f.). *Pandemic emergency purchase programme (PEPP)*. <https://www.ecb.europa.eu/mopo/implement/pepp/html/index.es.html>
- Banco Central Europeo. (2022). *Decisiones de política monetaria*. <https://www.ecb.europa.eu/press/pr/date/2022/html/ecb.mp220721~53e5bdd317.es.html>
- Basel Committee on Banking Supervision. (2013, enero). *Principles for effective risk data aggregation and risk reporting (BCBS 239)*. Bank for International Settlements. <https://www.bis.org/publ/bcbs239.pdf>
- Beber, A., Brandt, M. W., & Kavajecz, K. A. (2009). *Flight-to-quality or flight-to-liquidity? Evidence from the euro-area bond market*. *The Review of Financial Studies*, 22(3), 925-957. <https://doi.org/10.1093/rfs/hhm088>
- Boucinha, M., & Burlon, L. (2020). *Tasas negativas y transmisión de la política monetaria*. Banco Central Europeo. https://www.ecb.europa.eu/press/economic-bulletin/articles/2020/html/ecb.ebart202003_02~4768be84e7.en.html
- Board of Governors of the Federal Reserve System. (2024, mayo). *Transcript of Chair Powell's press conference* [Conferencia de prensa]. <https://www.federalreserve.gov/mediacenter/files/FOMCpresconf20240501.pdf>
- Bush, C. (2022). *Dealing with the conflicts of interest of credit rating agencies: a balanced cure for the disease*. *Capital Markets Law Journal*, 17(3), 334-364. <https://doi.org/10.1093/cmlj/kmac012>
- Clarida, R. H., Duygan-Bump, B., & Scotti, C. (2021). *The COVID-19 crisis and the Federal Reserve's policy response* (Finance and Economics Discussion Series, No. 2021-035). Board of Governors of the Federal Reserve System. <https://doi.org/10.17016/FEDS.2021.035>

- Chen, J. (2024). Full Faith and Credit: *What It Is, How It Works*. Investopedia. <https://www.investopedia.com/terms/f/full-faith-credit.asp>
- Ejsing, J., Grothe, M., & Grothe, O. (2012, julio). *Liquidity and credit risk premia in government bond yields*. (CBE Working Paper No. 1440) <https://www.ecb.europa.eu/pub/pdf/scpwps/ecbwp1440.pdf>
- European Central Bank. (2009). (Box 4:) *New Evidence on Credit and Liquidity Premia in Selected Euro Area Sovereign Yields*. European central bank - monthly bulletin. https://www.ecb.europa.eu/pub/pdf/other/mb200909_focus04.en.pdf
- Financial Stability Board. (2010). *Principles for reducing reliance on CRA ratings*. https://www.fsb.org/uploads/r_101027.pdf
- Herrero, Á. M., & Mencía, J. (2015). *Credit and liquidity risk in sovereign bonds*. *Revista Estabilidad Financiera*, Banco de España, 28, 105-124. <https://www.bde.es/f/webbde/GAP/Secciones/Publicaciones/InformesBoletinesRevistas/RevistaEstabilidadFinanciera/15/MAYO%202015/restfin201528.pdf>
- Labonte, M. (2020). *Monetary policy and the Federal Reserve: Current policy and conditions* (CRS Report No. RL30354). Congressional Research Service, Library of Congress. <https://www.congress.gov/crs-product/RL30354>
- Longstaff, F. A. (2004). *The Flight-to-Liquidity Premium in U.S. Treasury Bond Prices*. *The Journal of Business*, 77(3), 511–526. <https://doi.org/10.1086/386528>
- Petris, G. (2010). *An R package for dynamic linear models*. *Journal of statistical software*, 36, 1-16.10.18637/jss.v036.i12
- Powell, J. H. (2022). *Inflation and the Labor Market*. "Reassessing Constraints on the Economy and Policy", un simposio sobre política económica patrocinado por el Banco de la Reserva Federal de Kansas City, Jackson Hole, Wyoming. <https://www.federalreserve.gov/newsevents/speech/powell20220826a.htm>
- Sangiorgi, F., & Spatt, C. (2017). *Opacity, credit rating shopping, and bias*. *Management Science*, 63(12), 4016-4036. <https://doi.org/10.1287/mnsc.2016.2558>

Sy, A. N. R. (2009, junio). *The systemic regulation of credit rating agencies and rated markets*.
(IMF Working Paper No. 09/129)
https://www.imf.org/external/pubs/ft/wp/2009/wp09129.pdf?utm_source=chatgpt.com

Tran, Y., Vu, H., Klusak, P., Kraemer, M., & Hoang, T. (2021). *Sovereign credit ratings during the COVID-19 pandemic*. *International review of financial analysis*, 78, 101879.
<https://doi.org/10.1016/j.irfa.2021.101879>

UN Trade and Development. (2025). *Credit rating agencies, developing countries and bias*.
https://unctad.org/system/files/official-document/gds2024d3_en.pdf

6. Anexos

6.1. Anexo 1: Formulación general de un modelo de espacio de estados

Un modelo de espacio de estados se compone de dos ecuaciones fundamentales que permiten representar sistemas dinámicos en presencia de variables no observadas. Estas son: la ecuación de transición (dinámica del estado) (6.4.1.) y la Ecuación de medición (observación del estado).

$$x_t = f(x_{t-1}, u_t) \quad (6.4.1.)$$

$$y_t = g(x_t, u_t) \quad (6.4.2.)$$

Donde:

- x_t : es el vector de estado no observable en el tiempo t,
- u_t : es el vector de *inputs* en el sistema en el tiempo t,
- y_t : es el vector de observaciones disponibles en el tiempo t,
- $f(\circ, \circ)$ y $g(\circ, \circ)$ son funciones (lineales o no lineales) que describen la evolución del estado y su relación con las observaciones.

Lo anterior, para el caso del informe, se expresa de forma lineal (específicamente afín), sin *inputs* sobre el sistema y asumiendo normalidad, resultando en un sistema que de forma general se expresa como queda en las ecuaciones (6.4.3.) y (6.4.4.)

$$x_t = Cx_{t-1} + v_t; x, v \in R^n \quad (6.4.3.)$$

$$y_t = \delta + Ax_t + \epsilon_t; y, \epsilon \in R^m \quad (6.4.4.)$$

Donde $v_t \sim N(0, V_t)$ y $\epsilon_t \sim N(0, E_t)$, A y C son matrices con la dimensionalidad adecuada, las cuales podrían variar con el tiempo, pero para este caso se asumen constantes. Esto hace que el modelo de espacio de estados se considere como un sistema LTI (*Linear Time-Invariant*)

6.2. Anexo 2: Metodología de aplicación en un modelo de espacio de estados.

Este anexo presenta los fundamentos metodológicos utilizados para la estimación de los factores no observables del modelo, específicamente la aplicación del Método de Máxima Verosimilitud (MLE), el Filtro de Kalman y el Suavizado de Kalman, implementados mediante la biblioteca `dln` del lenguaje R (Petris, 2010). A continuación, se describe cómo se llevó a cabo la implementación y se detallan los principales cálculos que realiza internamente la librería al aplicar esta metodología.

6.2.1. Estimación por Máxima Verosimilitud (MLE)

El Método de Máxima Verosimilitud (Maximum Likelihood Estimation, MLE) busca los valores de los parámetros desconocidos que hacen que el modelo de espacio de estados explique con mayor precisión los datos observados.

Por medio de `dln`, se utiliza la función **`dlnMLE()`** que implementa el MLE de la siguiente manera:

1. Definición modular del objetivo

- **`dlnMLE()`** requiere que se le proporcione: la serie temporal de observaciones, un vector de valores iniciales para los parámetros y una función que, a partir de un vector de parámetros, construye el modelo de espacio de estados.
- Para cada conjunto de parámetros candidato, **`dlnMLE()`** invoca internamente la función **`dlnLL()`**, que calcula el negativo del logaritmo de la función de densidad multivariante asociada al vector completo de observaciones, es decir, la probabilidad conjunta de que la serie temporal adopte exactamente los valores registrados en cada instante. De este modo, no es necesario derivar ni codificar manualmente la función de verosimilitud del modelo.

2. Optimización numérica

- Una vez definida la función objetivo, el negativo de la log-verosimilitud, **`dlnMLE()`** llama a **`optim()`**, el optimizador genérico de R, para minimizarla.

- **optim()** explora el espacio de parámetros partiendo de los valores iniciales y los ajusta iterativamente según los criterios de convergencia y las opciones de método, tolerancias y restricciones que se configuraron.

6.2.2. Filtro de Kalman

El filtro de Kalman es un procedimiento recursivo que estima en cada instante de tiempo las variables de estado no observables a partir de las observaciones disponibles y de la estructura dinámica del modelo de espacio de estados. Su objetivo es actualizar de manera óptima la predicción de los estados latentes conforme se incorporan nuevos datos.

Para su implementación por medio de dlm, se lleva a cabo el siguiente procedimiento:

1. Entradas requeridas

- Serie temporal de observaciones.
- Valor inicial del estado y su covarianza.
- Especificación del modelo (matrices de transición y de observación)

2. Predicción

En cada periodo t , el filtro utiliza inicialmente el valor inicial (y en periodos posteriores la estimación en $t - 1$) junto con la covarianza correspondiente para proyectar el estado al periodo t antes de incorporar la observación en ese período. Este paso anticipa la evolución del sistema y cuantifica la incertidumbre asociada.

3. Actualización

Se incorpora la observación en t , lo cual hace que el algoritmo compare la predicción con el dato real, así corrigiendo el valor del estado. La magnitud de la corrección depende de la incertidumbre de la predicción (covarianza del estado) y de la incertidumbre de la medición (covarianza del ruido de observación).

4. Resultados principales

- Estados filtrados: estimaciones actualizadas \hat{x}_t para cada período.
- Covarianzas filtradas: matrices que miden la precisión de cada estimación.

- Innovaciones (residuales): diferencias entre las observaciones y las predicciones, útiles para evaluar el ajuste del modelo.

De esta manera, el filtro de Kalman combina de forma sistemática la información teórica del modelo y los datos empíricos, produciendo una trayectoria de estados latentes junto con su medida de incertidumbre. Estos resultados sirven como insumo para el siguiente paso, el suavizado de Kalman.

6.2.3. Suavizado de Kalman

El suavizado de Kalman refina las estimaciones de los estados latentes al incorporar información de todo el conjunto de observaciones, tanto anteriores como posteriores al periodo de interés. En dlm, este proceso se ejecuta mediante la función **dlmSmooth()**, que toma los resultados del filtrado y los ajusta retrospectivamente.

En esta etapa, el algoritmo fusiona las estimaciones obtenidas en la fase de filtrado con las observaciones posteriores, ponderando cada fuente de información según su nivel de incertidumbre. De este modo, las trayectorias de los estados latentes se corrigen teniendo en cuenta datos que no estaban disponibles en tiempo real, lo cual mejora la precisión y coherencia de las estimaciones.

Entonces, el suavizado permite reducir la varianza de las estimaciones de estado al incorporar datos que no estaban disponibles en tiempo real. De este modo, las estimaciones suavizadas ofrecen mayor estabilidad, favoreciendo la validación del modelo y la detección de posibles anomalías.

6.3. Anexo 3: Tickers Bloomberg utilizados

En la Tabla 6.1.1. se indican los tickers de los bonos soberano (“Sob”), agencia (“Agn”) y OIS (“OIS”) para los tenores de 2, 5 y 10 años (“2Y”, “5Y” y “10Y” respectivamente).

Tabla 6.1.1.: Tickers Bloomberg utilizados

Soberano	Sob. 2Y	Sob. 5Y	Sob. 10Y	Agn. 2Y	Agn. 5Y	Agn. 10Y	OIS 2Y	OIS 5Y	OIS 10Y
Alemania	GTDEM2Y Govt	GTDEM5Y Govt	GTDEM10Y Govt	IB02KFW BVLI Index	IB05KFW BVLI Index	IB10KFW BVLI Index	EESWE2 Curncy	EESWE5 Curncy	EESWE10 Curncy
Canadá	GTCAD2Y Govt	GTCAD5Y Govt	GTCAD10Y Govt	BVEXCA02 BVLI Index	BVEXCA05 BVLI Index	No disponible	CDSO2 Curncy	CDSO5 Curncy	CDSO10 Curncy
Estados Unidos	GT2 Govt	GT5 Govt	GT10 Govt	UIC2ADBE BVLI Index	UIC5ADBE BVLI Index	UICTADBE BVLI Index	USOSFR2 Curncy	USOSFR5 Curncy	USOSFR10 Curncy
Francia	GTFRF2Y Govt	GTFRF5Y Govt	GTFRF10Y Govt	BV02CADE BVLI Index	BV05CADE BVLI Index	BV10CADE BVLI Index	EESWE2 Curncy	EESWE5 Curncy	EESWE10 Curncy

Nota: Elaboración propia.

6.4. Anexo 4: Explicación en detalle de pruebas estadísticas de agencias

Para estandarizar la elección de las agencias, se debe seguir el siguiente procedimiento.

6.4.1. Candidatas respaldadas completamente por el soberano.

Se deben elegir como candidatas a todas las instituciones siguiendo la definición de la sección (2.5.).

De forma ilustrativa, se puede ver el caso **alemán** con **KfW** (*Kreditanstalt für Wiederaufbau*; Instituto de Crédito para la Reconstrucción) o el **estadounidense** con **Fannie Mae** (*Federal National Mortgage Association*; Asociación Nacional Federal Hipotecaria). Ambas, instituciones completamente respaldadas por el soberano.

Si ocurre el caso en que las agencias candidatas no presentan data sobre los rendimientos de sus bonos, se debe buscar instituciones privadas que puedan ser categorizadas como *too big to fail*.

6.4.2. Pruebas estadísticas.

Teniendo distintas agencias candidatas, se deben realizar dos pruebas respecto a los rendimientos de **bonos diarios a 5 años con registro de al menos siete años** entre el soberano y la agencia.

6.4.2.1. Poseer una correlación (ρ) mayor o igual al 95%.

Esta decisión nace de cómo se interpreta el parámetro (Tabla 6.4.1.), en que se busca que siempre sea lo más elevado posible para establecer la existencia de una relación de sincronía entre los comportamientos del soberano y agencia.

Tabla 6.4.1.: Interpretación del valor de la correlación entre dos series de tiempo.

Valor de correlación	Interpretación
$\rho=1$	Los rendimientos del soberano se mueven en perfecta sincronía con los rendimientos de la agencia.
$\rho>0$	Los rendimientos del soberano tienden a moverse en la misma dirección que los rendimientos de la agencia.
$\rho=0$	Los rendimientos del soberano no tienen relación con los rendimientos de la agencia.
$\rho<0$	Los rendimientos del soberano tienden a moverse en dirección opuesta a los rendimientos de la agencia.

$\rho=-1$	Los rendimientos del soberano se mueven en perfecta oposición a los rendimientos de la agencia.
-----------	---

Nota: Elaboración propia.

6.4.2.1. Obtener un beta (β) con significancia al $p < 0,0001$ (***).

La interpretación de los valores beta al regresionar agencia y soberano se presenta en la Tabla 6.4.2. Aunque estos son relevantes para comprender la magnitud de los movimientos entre los bonos, lo crucial es determinar si existe un nivel alto de significancia que permita establecer que dicho comportamiento no es producto del azar.

Por lo tanto, se requiere que el valor p sea lo más pequeño posible para asegurar la hipótesis de la separación de factores, es decir, que la diferencia en los rendimientos se explica por el riesgo de liquidez.

Tabla 6.4.2.: Interpretación del valor de la correlación entre dos series de tiempo.

Valor de correlación	Interpretación
$\beta > 1$	La agencia es más volátil que el soberano. Si el soberano sube un 1%, se espera que la agencia suba más del 1%. De manera similar, si el soberano baja un 1%, la agencia bajará más del 1%.
$\beta = 1$	La agencia tiene la misma volatilidad que el soberano. Si el soberano sube o baja un 1%, se espera que la agencia suba o baje también un 1%.
$\beta < 1$	La agencia es menos volátil que el soberano. Si el soberano sube un 1%, se espera que La agencia suba menos del 1%. De manera similar, si el soberano baja un 1%, la agencia bajará menos del 1%.
$\beta < 0$	La agencia se mueve en dirección opuesta al soberano. Si el soberano sube un 1%, se espera que la agencia baje, y viceversa.

Nota: Elaboración propia.

6.5. Anexo 3: Transformación de curva de rendimiento ante distintas monedas en la emisión de bonos.

Otro desafío importante surgió con las **diferencias de moneda** entre los bonos soberanos y las agencias seleccionadas. En los casos en que ocurrió esta disparidad, fue necesario realizar una **transformación de las curvas** de rendimiento, de tal forma de llevar la emisión de los bonos de la agencia a la moneda que el soberano emite sus bonos.

La transformación se basó en la ecuación de *interest rate parity*, que se utilizó para ajustar las curvas de rendimiento en función de las diferencias de tasas de cambio entre las monedas involucradas. Las ecuaciones de la transformación se muestran en (6.3.1.) y (6.3.2.).

$$F_{x|y} = S_{x|y} \cdot \frac{1 + r_x}{1 + r_y} \quad (6.3.1.)$$

$$r_{agn,y} = (1 + r_{agn,x}) \cdot \frac{F_{x|y}}{S_{x|y}} - 1 \quad (6.3.2.)$$

Donde:

- $F_{x|y}$ es la tasa forward de la moneda x a la moneda y .
- $S_{x|y}$ es la tasa spot de la moneda x a la moneda y .
- $r_{sov,x,t}$ es el rendimiento de los bonos con tenor t del soberano cuya moneda es x .
- $r_{sov,y,t}$ es el rendimiento de los bonos con tenor t del soberano cuya moneda es y .
- $r_{agn,x,t}$ es rendimiento de los bonos con tenor t de la agencia en moneda x .
- $r_{agn,y,t}$ es rendimiento de los bonos con tenor t de la agencia en moneda y .

Esta transformación resultó ser pertinente para casos como Canadá, ya que la agencia seleccionada emitió bonos en USD, mientras que el soberano en CAD. Por eso, y a modo de ejemplo, las ecuaciones antes mostradas al reemplazarlas para este contexto quedan como se observa en (6.3.3.) y (6.3.4.).

$$F_{USD|CAD} = S_{USD|CAD} \cdot \frac{1 + r_{USA,USD,t}}{1 + r_{CAN,CAD,t}} \quad (6.3.3.)$$

$$r_{agn,CAD} = (1 + r_{agn,USD}) \cdot \frac{F_{USD|CAD}}{S_{USD|CAD}} - 1 \quad (6.3.4.)$$

<p align="center">Documentos de Trabajo Banco Central de Chile</p>	<p align="center">Working Papers Central Bank of Chile</p>
<p align="center">NÚMEROS ANTERIORES</p>	<p align="center">PAST ISSUES</p>
<p>La serie de Documentos de Trabajo en versión PDF puede obtenerse gratis en la dirección electrónica: www.bcentral.cl/esp/estpub/estudios/dtbc.</p>	<p>Working Papers in PDF format can be downloaded free of charge from: www.bcentral.cl/eng/stdpub/studies/workingpaper.</p>
<p>Existe la posibilidad de solicitar una copia impresa con un costo de Ch\$500 si es dentro de Chile y US\$12 si es fuera de Chile. Las solicitudes se pueden hacer por fax: +56 2 26702231 o a través del correo electrónico: bcch@bcentral.cl.</p>	<p>Printed versions can be ordered individually for US\$12 per copy (for order inside Chile the charge is Ch\$500.) Orders can be placed by fax: +56 2 26702231 or by email: bcch@bcentral.cl.</p>

DTBC – 1068

**Riesgo de Crédito Gestionado por Medio de un Modelo de Espacio-Estado
Aplicado a un Portafolio Soberano**

Pablo Tapia, Diego Vargas

DTBC – 1067

**Macroeconomic Effects of Carbon-intensive Energy Price Changes: A Model
Comparison**

Matthias Burgert, Matthieu Darracq Pariès, Luigi Durand, Mario González, Romanos Priftis, Oke Röhe, Matthias Rottner, Edgar Silgado-Gómez, Nikolai Stähler, Janos Varga

DTBC – 1066

Bank Branches and the Allocation of Capital across Cities

Olivia Bordeu, Gustavo González, Marcos Sorá

DTBC – 1065

Effects of Tariffs on Chilean Exports

Lucas Bertinatto, Lissette Briones, Jorge Fornero

DTBC – 1064

Does Participation in Business Associations Affect Innovation?

Felipe Aguilar, Roberto Álvarez

DTBC – 1063

Characterizing Income Risk in Chile and the Role of Labor Market Flows

Mario Giarda, Ignacio Rojas, Sergio Salgado

DTBC – 1062

Natural Disasters and Slow Recoveries: New Evidence from Chile

Lissette Briones, Matías Solorza

DTBC – 1061

Strategic or Scarred? Disparities in College Enrollment and Dropout Response to Macroeconomic Conditions

Nadim Elayan-Balagué

DTBC – 1060

Quantifying Aggregate Impacts in the Presence of Spillovers

Dave Donaldson, Federico Huneus, Vincent Rollet

DTBC – 1059

Nowcasting Economic Activity with Microdata

Diego Vivanco Vargas, Camilo Levenier Barria, Lissette Briones Molina

DTBC – 1058

Artificial Intelligence Models for Nowcasting Economic Activity

Jennifer Peña, Katherine Jara, Fernando Sierra

DTBC – 1057

Clasificación de Riesgo de Crédito Bancario, Ventas y Estados Financieros en Base a Información Tributaria de Firmas en Chile

Ivette Fernández D., Jorge Fernández B., Francisco Vásquez L.

DTBC – 1056

Exogenous Influences on Long-term Inflation Expectation Deviations: Evidence from Chile

Carlos A. Medel

DTBC – 907*

Earnings Inequality in Production Networks

Federico Huneus, Kory Kroft, Kevin Lim

DTBC – 1055

Markup Distribution and Aggregate Dynamics

Mario Giarda, Will Jianyu Lu, Antonio Martner

DTBC – 1054

Decoding Central Banks' Practices: A Closer Look at Inflation Expectations Surveys

Valentina Cortés Ayala, Karlla Muñoz Cáceres, Daniel Pérez Klein

DTBC – 1053

An Assessment of the Effects of Monetary Policy Communication in Chile

Mario González-Frugone, Ignacio Rojas

DTBC – 1052

This Time is Global: Synchronisation in Economic Policy Uncertainty Indices

Carlos Medel

