

PONTIFICIA UNIVERSIDAD
CATÓLICA DEL PERÚ

FACULTAD DE CIENCIAS SOCIALES



La influencia de los factores financieros en la dinámica de la curva de
rendimiento: Evidencia empírica para Perú 2006 – 2022

Tesis para obtener el título profesional de Licenciado en Finanzas presentado por:

Napa Torres, Luis Daniel

Asesor(es):

Villavicencio Vásquez, Julio Alberto


Lima, 2025

Informe de Similitud

Yo, Villavicencio Vasquez, Julio Alberto, docente de la Facultad de Ciencias Sociales de la Pontificia Universidad Católica del Perú, asesor(a) de la tesis/el trabajo de investigación titulado La influencia de los factores financieros en la dinámica de la curva de rendimiento: Evidencia empírica para Perú 2006 - 2022 del/de la autor (a)/ de los(as) autores(as) Napa Torres, Luis Daniel dejo constancia de lo siguiente:

- El mencionado documento tiene un índice de puntuación de similitud de 23%. Así lo consigna el reporte de similitud emitido por el software *Turnitin* el 29/05/25.
- He revisado con detalle dicho reporte y la Tesis o Trabajo de Suficiencia Profesional, y no se advierte indicios de plagio.
- Las citas a otros autores y sus respectivas referencias cumplen con las pautas académicas.

Lugar y fecha: Lima, 29 de mayo del 2025

Apellidos y nombres del asesor / de la asesora: <u>Villavicencio Vasquez, Julio Alberto</u>	
DNI: 40124748	Firma 
ORCID: 0000-0002-0357-3475	

Resumen:

El presente trabajo analiza cómo los factores financieros internos y externos han influido en la dinámica de la curva de rendimiento en soles en Perú durante el período 2006- 2022. Se parte de la hipótesis de que estos factores tienen un impacto significativo debido a los cambios en la participación de inversionistas extranjeros en el mercado de bonos soberanos peruanos. Para ello, se utiliza el modelo de Diebold-Li, que permite modelar la curva de rendimientos considerando variables macroeconómicas y financieras. Los hallazgos revelan que las condiciones financieras, capturadas a través de un índice financiero, son determinantes en la evolución de la pendiente y curvatura de la curva de rendimiento, siendo estas más sensibles a factores de corto y mediano plazo. Esto tiene implicaciones importantes para la gestión de la deuda pública y la política monetaria en el contexto de mercados financieros emergentes.

Palabras clave: Curva de rendimiento, Bonos soberanos, Factores financieros, Mercados emergentes, Modelo de Diebold-Li, Política monetaria, Índice financiero

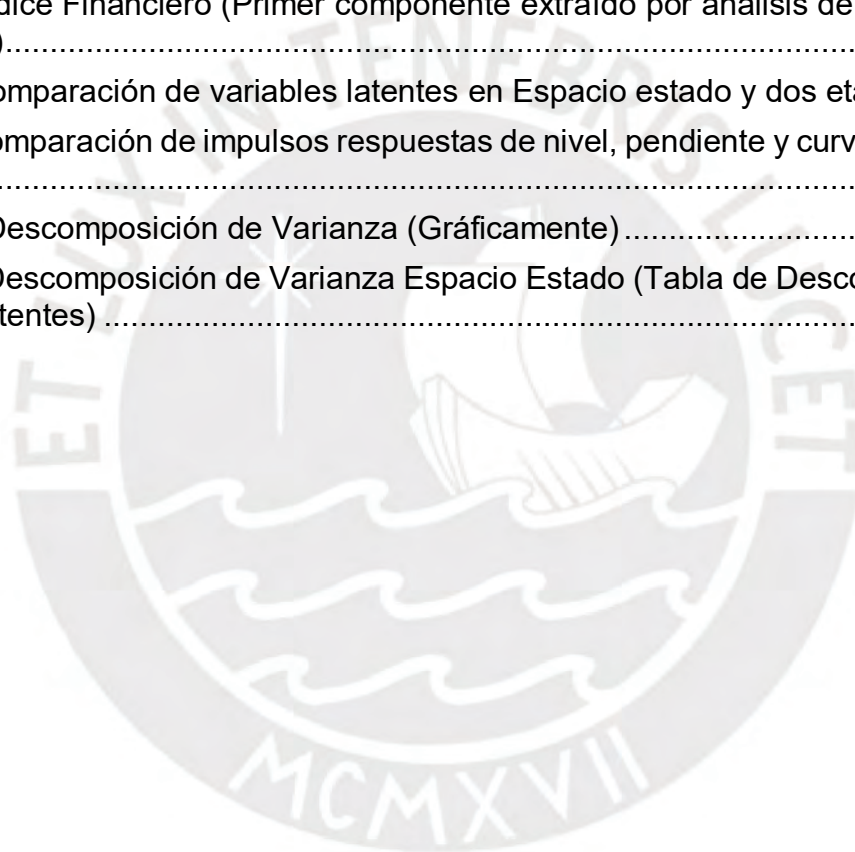


Índice de Contenido

1.	Introducción	1
2.	Pregunta económica e Hipótesis	6
3.	Principales teorías de la curva de rendimientos	8
3.1	Teoría de las Expectativas Puras.....	8
3.2	Teoría de la Preferencia por la Liquidez	8
3.3	Teoría del Segmento de Mercado.....	8
3.4	Teoría del Hábitat Preferido	9
4.	Revisión de la Literatura Metodológica.....	11
5.	Revisión de Literatura Aplicada en Perú	13
6.	Aporte de la Investigación	14
7.	Lineamientos Metodológicos	15
7.1	Modelo de curva de rendimiento de Diebold-Li	15
7.2	Formulación del espacio estado del modelo Diebold-Li (1990).....	16
7.3	Estimación del modelo Diebold-Li (1990) utilizando el método de dos etapas	18
7.4	Estimación de Espacio Estado de Diebold-Li solo para rendimientos.....	19
7.5	Modelo de curva de rendimientos con factores macroeconómicos.....	20
7.6	Modelo de curva de rendimientos incorporando variables financieras.....	22
8.	Datos	23
9.	Estimación del índice financiero	24
10.	Comparando resultados de la estimación	26
10.1	Parámetros	estimados
10.2	Factores inferidos no observables	28
10.3	Resumen de residuos	30
10.4	Análisis de modelo con variables macroeconómicas y variables financieras.....	31
10.5	Análisis de impulso respuesta.....	32
10.6	Descomposición de la varianza del modelo con factores financieros	33
10.7	Análisis de efecto asimétrico.....	35
11.	Resultados.....	38
12.0	Conclusiones	39
13.0	Referencias Bibliográficas	40

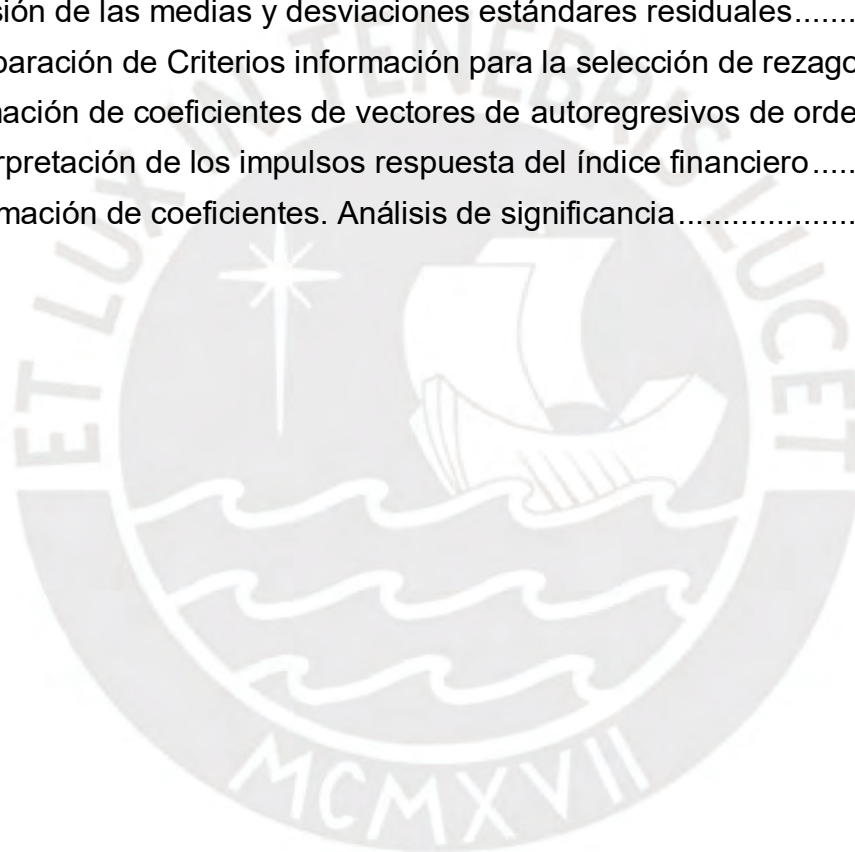
Índice de Figuras

Figura 1 Tenencia de Bonos Soberanos por participantes de mercado en millones de soles.....	2
Figura 2 Participación de Bonos Soberanos en la Deuda Pública	5
Figura 3 Tasas de interés para plazos de 3, 6, 9,12, 15,18, 21, 24,30, 36, 48, 60, 72, 84, 96, 108, 120 meses	23
Figura 4 Variables Macroeconómicas, variación porcentual anualizada	24
Figura 5 Variables Financieras (EMBIG, VIX, BVL, Spread, Cobre).....	25
Figura 6 Variables Financieras Estandarizadas (EMBIG, VIX, BVL, Spread, Cobre)	25
Figura 7 Índice Financiero (Primer componente extraído por análisis de componentes principales).....	26
Figura 8 Comparación de variables latentes en Espacio estado y dos etapas	28
Figura 9 Comparación de impulsos respuestas de nivel, pendiente y curvatura al índice financiero.	32
Figura 10 Descomposición de Varianza (Gráficamente).....	34
Figura 11 Descomposición de Varianza Espacio Estado (Tabla de Descomposición de Factores latentes)	35



Índice de Tablas

Tabla 1 Revisión de literatura metodológica no paramétrica	12
Tabla 2 Revisión de literatura metodológica paramétrica	12
Tabla 3 Revisión de literatura aplicada en Perú	13
Tabla 4 Revisión de Matriz de transición (Espacio estado y Dos etapas)	26
Tabla 5 Revisión de Matriz de perturbaciones (Espacio estado y Dos etapas)	27
Tabla 6 Revisión de medias de nivel, pendiente y curvatura (Espacio estado y Dos etapas).....	27
Tabla 7 Revisión de las medias y desviaciones estándares residuales.....	30
Tabla 8 Comparación de Criterios información para la selección de rezagos	31
Tabla 9 Estimación de coeficientes de vectores de autoregresivos de orden 1	31
Tabla 10 Interpretación de los impulsos respuesta del índice financiero	33
Tabla 11 Estimación de coeficientes. Análisis de significancia.....	36



1. Introducción

Durante los últimos años, hemos presenciado diversas crisis económicas y financieras que han resultado en una desaceleración de la actividad económica a nivel mundial. Como respuesta, los bancos centrales están aplicando una política monetaria expansiva, utilizando como herramienta la tasa de interés de referencia para la política monetaria. Esta medida ha llevado al sector financiero a reducir tanto las tasas activas como pasivas. Esta reducción, a su vez, se refleja en una disminución de las demás tasas de interés nominales, creando así condiciones financieras más flexibles que promueven la inversión (Mishkin, F. S., 2019).

Debido al contexto de tasas bajas a nivel global, se producen considerables flujos de capitales hacia los mercados financieros de países emergentes en busca de mayores retornos. Esto aporta una mayor liquidez al mercado y aumenta la profundidad de los mercados financieros en los países en desarrollo como Chile, México, Brasil y Perú (Eichengreen, B., & Gupta, P., 2016).

Los bonos en moneda doméstica se volvieron una clase de activo más atractivo para inversionistas extranjeros, debido a que el país experimentaba un crecimiento económico sólido, una inflación controlada, una estabilidad política y un clima favorable para la inversión, por ello los inversores extranjeros pueden tener confianza en la economía y buscar oportunidades. Este aumento en la demanda de la moneda local puede llevar a su apreciación, lo que a su vez genera una mayor competencia y demanda en el mercado de bonos soberanos. Estas presiones pueden llevar a una reducción en el costo de financiamiento del Estado cuando emite deuda (Burger, J. D., & Warnock, F. E., 2007).

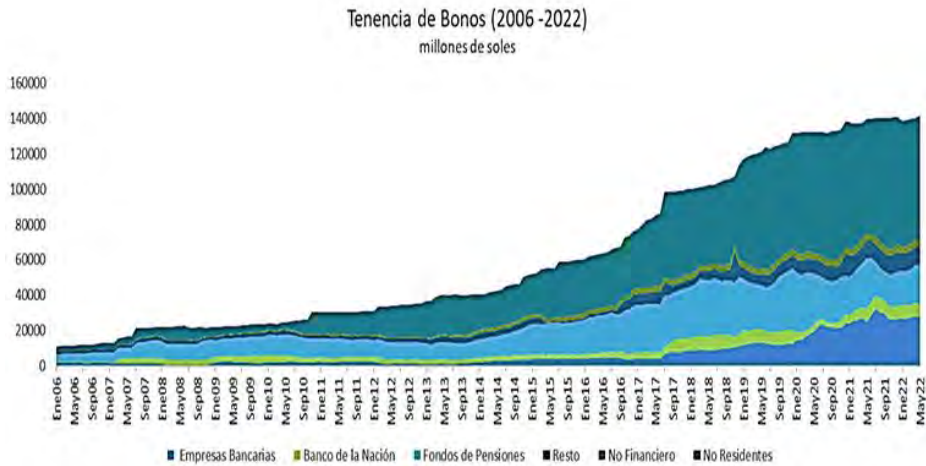
En un contexto a nivel local, la mayor demanda de activos locales generó un cambio en la base de inversionistas. Según la teoría moderna del portafolio, el rendimiento esperado de un activo depende de la tasa libre de riesgo del mercado más una prima asociada al riesgo sistemático del mercado, debido a que el riesgo no sistemático es diversificable, por lo tanto, se puede reducir con un incremento en el número de activos dentro del portafolio. En un mercado perfecto, las expectativas de los diversos agentes deberían estar alineadas con el mercado, es decir, las expectativas deberían ser homogéneas porque habría información completa y perfecta, la cual se debería reflejar en el precio de los activos, por la eficiencia de los mercados, por ende, la variación en la participación de no residentes no debería de

alterar las tasas. Sin embargo, en la presencia de heterogeneidad de expectativas, información asimétrica y de niveles de diversificación que podrían aun asumir riesgo no sistemático, debido a los costos de transacción que conlleva aumentar el número de activos en las carteras de inversión, la valoración del riesgo puede diferir entre agente. Los inversionistas extranjeros y locales reaccionan de manera distinta a diversas noticias y eventos. Esto no solo ocurre por las asimetrías de información, sino también por un nivel de diversificación distinto (Jia, Wang, y Xiong, 2013; Nowak, Andritzky, Jobst, y Tamirisa, 2009).

En un principio, la participación de inversionistas extranjeros podría generar mayor varianza en los retornos de los bonos soberanos peruanos, debido a que, los capitales podrían fugar a economías más estables en periodos de crisis en busca de activos más seguros considerados refugios de capitales, incrementándose la sensibilidad a shock externos y exacerbar riesgos de mercado (Arslanalp y Tsuda, 2012).

Un hecho a tener en cuenta, son los cambios recientes en la composición de la estructura de participación de inversionistas con tenencia de bonos soberanos, dado por los retiros sucesivos de los fondos de pensión, lo cual generó una reducción de la tenencia de bonos soberanos del segundo mayor participante en el mercado, evidenciándose una tendencia creciente en la participación de no residentes por la oferta de bonos que genera los fondos de pensiones.

Figura 1 Tenencia de Bonos Soberanos por participantes de mercado en millones de soles



Fuente: Banco Central de Reserva del Perú. Elaboración Propia

Calvo, Leiderman y Reinhart (1993) argumentan que los factores macroeconómicos y financieros fuera de la región de los países emergentes empujan

a los inversionistas en economías desarrolladas a salir de estas. Entre estos factores, las condiciones mundiales de liquidez (entorno de tasas) y la aversión mundial al riesgo.

Arlslanalp y Tsuda (2013), consideran que las condiciones macroeconómicas internas como mejoras significativas en la gestión de la deuda pública y estabilidad macroeconómica (Pull Factors) permiten a los inversionistas extranjeros agregar flujos de capitales en los mercados emergentes.

Dewachter e Iania (2012) ampliaron posteriormente el modelo macrofinanciero de referencia de Dewachter y Lyrio (2006). Ellos encuentran que los factores de estrés financiero de liquidez (TED) tienen impacto estadístico significativo en la prima de riesgo de bonos americanos.

Fricke y Menkhoff (2015) añaden condiciones financieras como la emisión de papeles financieros, financiamiento neto de operadores primarios, posiciones netas de operadores primarios, índice de estrés financiero de Cleveland (CFSI), índice nacional de condiciones financieras de la Fed de Chicago, flujo de órdenes de contratos futuros de bono estadounidenses a cinco años recientemente emitidos. Los autores dividen el exceso de rendimiento de los bonos en dos componentes, el primer componente es el exceso de retorno esperado y un componente de innovación. Se encuentra que las variables macroeconómicas explican significativamente el primer componente. Sin embargo, el segundo componente es explicado significativamente por los factores financieros.

Por otro lado, Tu y Chen (2017) incluyen el diferencial de la tasa de oferta interbancaria de Londres (LIBOR), el diferencial de las letras del Tesoro, la probabilidad de incumplimiento y el índice de volatilidad (VIX) del Chicago Board Options Exchange (CBOE) para poder generar una mejor predicción del valor en riesgo de portafolios de bonos corporativos de EE. UU.

Finalmente, Cortés y Ramos-Francia (2008) estiman la curva de rendimientos de México en base a una descomposición del error de predicción para encontrar y analizar los componentes principales que expliquen las mayores proporciones de la varianza estimada, llegando a la conclusión de que dos factores no observables son capaces de explicar más del 95 por ciento de los movimientos de la curva de rendimiento. El primer factor captura movimientos en el nivel de la curva de rendimientos, mientras que el segundo captura movimientos en la pendiente. Así mismo, encuentran correlación positiva entre el primer factor y la inflación. Adicionalmente se encuentra una correlación negativa entre el segundo factor y la tasa

de fondeo bancaria.

Esta investigación tiene como objetivo mostrar la importancia de los factores financieros en la dinámica de la curva de rendimiento, considerando su impacto en tres aspectos: inversiones, financiamiento y su potencial implementación para la política monetaria del Banco Central.

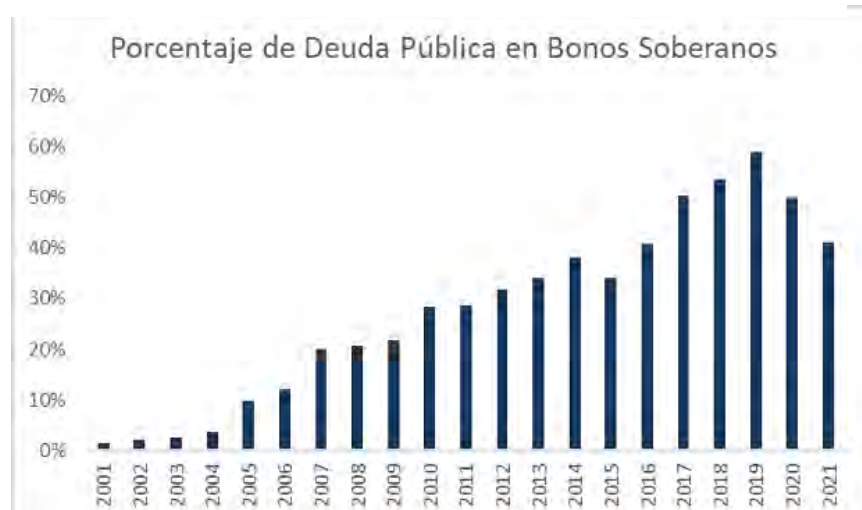
Por el lado de las inversiones, se podría realizar mejores proyecciones de la curva de rendimiento de bonos soberanos con la inclusión de variables financieras que enriquece la capacidad predictiva, ya que reflejan las expectativas de los agentes relevantes para la estimación del valor futuro de sus activos (forward- looking) en el mercado financiero. En contraste, los datos macroeconómicos se centran en eventos pasados. Es decir, se pueden generar un escenario base sin cambios en la curva de rendimiento, y analizar un escenario con choques en la curva de rendimiento, lo cual nos permitirá medir como afectan los choques a la tasa de interés y a su vez como afecta el precio de los activos.

Este tipo de modelo contribuye al análisis de escenarios en el proceso de asignación estratégica de activos, teniendo en cuenta los efectos de la participación de no residentes en el mercado local. Esto es especialmente relevante en la recomposición de portafolios de renta fija con una alta duración, lo que significa que tienen una mayor sensibilidad a los cambios en las tasas de interés.

Por el lado de Financiamiento, mejorar la estimación de costos de financiamiento para Ministerio de Economía y Finanzas y lo que permitirá optimizar la estimación de los recursos del Presupuesto Público. Es decir, se pueden realizar estrategias que reduzcan los costos del servicio de deuda que tiene el Ministerio de Economía y Finanzas, en un contexto donde los bonos soberanos representan el 40% de la Deuda Pública a partir del 2014, centralizarnos en la eficiencia del manejo de la deuda nos ayudara a tener mayores recursos para los sectores que requieran una mayor atención en el país.

Asimismo, optimizar la detección del momento propicio para lanzar nuevos bonos soberanos en el Mercado Financiero. Esto involucra el análisis de la descomposición histórica de cómo los shocks financieros y macroeconómicos previos han impactado en la evolución de la curva de rendimiento, con el fin de evaluar si realmente es el momento adecuado para proceder con la emisión.

Figura 2 Participación de Bonos Soberanos en la Deuda Pública



Fuente: Banco Central de Reserva del Perú. Elaboración Propia

Por parte del Banco Central de Reserva del Perú., las variables financieras pueden afectar las tasas de corto plazo de la curva de rendimiento a través de las expectativas de política monetaria, el riesgo crediticio, la oferta y demanda de bonos, y las políticas y acciones de los bancos centrales. Las variables financieras, como los datos económicos, las condiciones del mercado y los eventos geopolíticos, pueden influir en las expectativas sobre las decisiones futuras de política monetaria, por ejemplo, si los mercados financieros anticipan que los bancos centrales aumentarán las tasas de interés en el futuro debido a un crecimiento económico sólido o presiones inflacionarias, esto puede aumentar las tasas de corto plazo en la curva de rendimiento (Gürkaynak, Sack & Wright, 2007). Por otro lado, las variables financieras también pueden afectar el riesgo crediticio percibido por los inversionistas. por ejemplo, debido a un deterioro de la calidad crediticia de los emisores de deuda o a condiciones económicas desfavorables, los inversionistas pueden exigir tasas de interés más altas para compensar ese mayor riesgo. Esto puede llevar a un aumento en las tasas de corto plazo en la curva de rendimiento. Por otro lado, la oferta y demanda de bonos en el mercado también pueden influir en las tasas de corto plazo. Si hay una mayor demanda de bonos por parte de los inversionistas, esto puede presionar las tasas de corto plazo a la baja, ya que los inversionistas están dispuestos a aceptar tasas de interés más bajas para adquirir bonos (Vayanos, D., & Vila, J.-L., 2009). A partir de ello, se podría realizar un mejor seguimiento de los factores que son relevantes y que puedan impactar en la curva de rendimiento en el tramo de corto plazo.

2. Pregunta económica e Hipótesis

¿Cómo impactan los factores financieros a la dinámica de la curva de rendimiento en soles en Perú entre 2006 – 2022?. La hipótesis es que los factores financieros internos y externos presentan un impacto significativo en la dinámica de la curva de rendimiento, esto debido a los cambios estructurales de la composición de tenencia de bonos, donde los extranjeros pasaron a representar un 0% al 2006 a un 50% al 2022, ampliando los canales de transmisión los impactos de las variables financieras internas y externas en la curva de rendimientos. Esto en medio de un contexto de búsqueda de retornos, debido al entorno mundial de tasas bajas. Partiendo de las definiciones y modelos que se presentaran se desprenden las potenciales hipótesis a evaluar para establecer la relación entre el índice financiero (primer componente principal) y los factores latentes de la curva de rendimiento que se detallan a continuación.

- El nivel de la curva de rendimientos: Se refiere a las tasas de interés en diferentes plazos, por lo cual se relaciona con un factor de largo plazo. Así se espera que las variables macroeconómicas, como las expectativas de crecimiento económico y las condiciones económicas que afectan al PBI que representan variables de largo plazo, que pueden afectar el nivel de las tasas de interés en toda la curva. Del mismo modo, se espera que el índice financiero contribuya en menor medida, ya que representa variables de corto plazo (Campbell, J. Y., & Shiller, R. J., 1991).
- La pendiente de la curva de rendimientos: Se refiere a la diferencia entre las tasas de interés a corto plazo y las tasas de interés a largo plazo. Así se espera que las variables financieras representadas a través del índice financiero puedan mostrar las condiciones de los mercados financieros que representan variables de corto plazo, que influyen en la pendiente de la curva. Así mismo, la existencia de expectativas de una mayor inflación en el futuro, pueden llevar a un aumento en las tasas de interés y, por lo tanto, a un aumento en la pendiente de la curva. Del mismo modo, las decisiones de política monetaria de los bancos centrales, resultan en una diferencia más pronunciada entre las tasas de interés a corto y largo plazo, lo que afectaría la

pendiente de la curva (Estrella, A., & Mishkin, F. S., 1996).

- La curvatura de la curva de rendimientos: Se refiere a la forma en que las tasas de interés varían en el mediano plazo. Así se espera que las variables financieras a través del índice financiero, como las expectativas de una política monetaria restrictiva que afecta el factor de nivel, puedan generar una mayor curvatura de la curva de rendimientos, con tasas de interés a largo plazo más altas que las tasas de interés a corto plazo. Además, si se espera una aceleración de la inflación en el futuro, esto puede resultar en una curva de rendimientos más pronunciada (Svensson, 1994).



3. Principales teorías de la curva de rendimientos

3.1 Teoría de las Expectativas Puras

La Teoría de las Expectativas Puras sugiere que la forma de la curva de rendimientos refleja las expectativas del mercado sobre las tasas de interés futuras. Esta teoría postula que los inversores toman decisiones basadas en sus anticipaciones respecto a la dirección futura de las tasas de interés. Irving Fisher fue uno de los primeros economistas en formular conceptos clave que subyacen a esta teoría en su obra seminal *The Theory of Interest* (1930). Según Fisher, si los inversores esperan que las tasas de interés suban, la curva de rendimientos tenderá a ser ascendente, mientras que si anticipan una baja en las tasas, la curva será descendente. Esta teoría ha sido fundamental en el análisis de la curva de rendimientos y ha sido desarrollada y refinada por economistas como Burton G. Malkiel, quien en su trabajo *Expectations, Bond Prices, and the Term Structure of Interest Rates* (1970) proporcionó una formalización más rigurosa de este concepto.

3.2 Teoría de la Preferencia por la Liquidez

La Teoría de la Preferencia por la Liquidez, introducida por John Maynard Keynes en su obra *The General Theory of Employment, Interest, and Money* (1936), propone que los inversores prefieren activos más líquidos y de corto plazo debido a la menor incertidumbre y riesgo que estos presentan. Según Keynes, esta preferencia por la liquidez implica que, para que los inversores estén dispuestos a mantener bonos a largo plazo, deben ser compensados con una tasa de interés más alta. Esto genera una prima de riesgo que tiende a hacer que la curva de rendimientos sea ascendente, incluso en ausencia de cambios esperados en las tasas de interés a corto plazo. La preferencia por la liquidez es, por lo tanto, un factor clave que explica la inclinación positiva típica de la curva de rendimientos. John R. Hicks amplió esta teoría en su trabajo *Liquidity* (1962), donde profundizó en cómo la preferencia por la liquidez influye en la demanda de dinero y en la estructura temporal de las tasas de interés.

3.3 Teoría del Segmento de Mercado

La Teoría del Segmento de Mercado sostiene que los bonos con diferentes

plazos de vencimiento se consideran segmentos de mercado separados, cada uno con sus propios factores de oferta y demanda. Esta teoría sugiere que los participantes del mercado tienen preferencias específicas por ciertos plazos debido a sus necesidades de inversión y liquidez. Por lo tanto, la forma de la curva de rendimientos se deriva de las condiciones de oferta y demanda en cada segmento del mercado. La teoría fue desarrollada en trabajos como *The Term Structure of Interest Rates* de J. M. Culbertson (1957) y *Innovations in Interest Rate Policy* de Franco Modigliani y Richard Sutch (1966).

3.4 Teoría del Hábitat Preferido

Una extensión de la Teoría del Segmento de Mercado es la Teoría del Hábitat Preferido, propuesta también por Franco Modigliani y Richard Sutch. Según esta teoría, los inversores tienen una preferencia por ciertos plazos específicos, que se consideran su "hábitat preferido". No obstante, los inversores pueden desviarse de estos hábitats si reciben una compensación adecuada en forma de tasas de interés más altas. Este concepto fue detallado en el artículo *Debt Management and the Term Structure of Interest Rates: An Empirical Analysis of Recent Experience* (1966), donde Modigliani y Sutch explican cómo las políticas de gestión de la deuda pública y las decisiones de los inversores afectan la estructura de la curva de rendimientos. La Teoría del Hábitat Preferido combina elementos de la preferencia por la liquidez y la segmentación de mercado, ofreciendo una explicación más flexible de cómo se determina la forma de la curva de rendimientos en respuesta a los cambios en las condiciones del mercado y las expectativas de los inversores.

Después de explorar las diversas teorías que intentan explicar la forma y dinámica de la curva de rendimiento, es fundamental comprender cómo se relacionan las tasas de interés cero cupón y las tasas de interés spot en el mercado financiero.

Dado que, la relación entre las tasas de interés cero cupón y las tasas de interés spot es esencial en el análisis financiero para comprender la estructura temporal de las tasas de interés. Esta relación nos permite determinar las tasas de interés en el mercado para diferentes vencimientos, lo que es crucial para la valuación de bonos y otros instrumentos financieros.

Para derivar la curva spot a partir de las tasas cero cupón, podemos usar la relación entre las tasas cero cupón y las tasas de interés spot mediante el proceso de integración. La tasa cero cupón $r(t)$ para un determinado vencimiento t se puede utilizar

para calcular la tasa de interés spot $s(t)$ para ese mismo vencimiento. La relación entre estas tasas está dada por la siguiente ecuación diferencial:

$$s(t) = -\frac{\partial}{\partial t} \ln(P(t))$$

Donde $P(t)$ es el precio de un bono cero cupón que vence en el tiempo t . Integrando esta ecuación, podemos obtener la relación entre las tasas cero cupón y las tasas de interés spot. Sea $r(t)$ la tasa de interés cero cupones para el período desde t hasta el vencimiento del bono. Entonces, el precio del bono cero cupón es:

$$P(t) = e^{-R(t)t}$$

La tasa de interés spot $s(t)$ se relaciona con $R(t)$ de la siguiente manera:

$$s(t) = -\frac{\partial}{\partial t} \ln(P(t)) = -\frac{\partial}{\partial t} \ln(e^{-R(t)t}) = \frac{\partial}{\partial t} R(t) \cdot t = R(t) + t \cdot \frac{\partial R(t)}{\partial t}$$

Esta ecuación relaciona la tasa de interés spot con la tasa de interés cero cupón $R(t)$ y su derivada parcial $\frac{\partial}{\partial t} R(t)$. Para obtener la relación exacta entre $R(t)$ y $s(t)$, necesitamos conocer la forma específica de $R(t)$ o $s(t)$ que puede variar según la estructura de tasas de interés del mercado.

Una vez que hemos establecido la relación entre las tasas de interés cero cupón y las tasas de interés spot mediante el proceso de integración, podemos extraer algunas conclusiones importantes sobre la estructura temporal de las tasas de interés y su implicación en los mercados financieros.

La relación entre las tasas de interés cero cupón y las tasas de interés spot también nos permite evaluar el riesgo y la rentabilidad de diferentes instrumentos financieros en función de su horizonte temporal. Esto es especialmente importante para los inversores que buscan construir carteras diversificadas y gestionar adecuadamente el riesgo de sus inversiones (Fabozzi, F. J., 2007).

En resumen, la derivación de las tasas de interés spot a partir de las tasas cero cupón mediante una integral ofrece una comprensión más profunda de la dinámica subyacente del mercado financiero y proporciona información valiosa para la toma de decisiones de inversión.

4. Revisión de la Literatura Metodológica

La literatura metodológica se subdivide en modelos paramétricos y no paramétricos para la estimación de la curva de rendimientos. Ambos tienen sus ventajas y desventajas, y la elección entre ellos depende del contexto y los objetivos específicos de la investigación.

Sin embargo, los modelos paramétricos a menudo se consideran más adecuados para explicar la curva de rendimientos debido a ciertas ventajas clave: Los modelos paramétricos asumen una forma funcional específica para la curva de rendimientos, lo que proporciona una estructura más definida. Esto facilita la interpretación de los resultados y permite un análisis más profundo de las relaciones entre las variables. Por otro lado, suelen requerir menos datos y tiempo computacional en comparación con los modelos no paramétricos. Esto los hace más eficientes en términos de recursos computacionales y permite un análisis más rápido y práctico. Además, permite la realización de pruebas estadísticas y la estimación de parámetros, lo que proporciona una base sólida para hacer inferencias y tomar decisiones informadas (Cochrane, J. H., & Piazzesi, M., 2005). No obstante, también presenta desventajas debido a que a menudo imponen restricciones específicas sobre la forma de la curva de rendimiento. Si estas restricciones no se ajustan a la realidad de los datos, el modelo puede ofrecer estimaciones inadecuadas. Así mismo, pueden tener dificultades para capturar patrones complejos y no lineales en los datos, lo que puede limitar su capacidad para adaptarse a situaciones de mercado extremas o inusuales.

Tabla 1 Revisión de literatura metodológica no paramétrica

País	Autor y Año	Principal Aporte
EE. UU	Rudebush y Tao (2003)	Hallan que el factor pendiente de la curva de rendimiento varia a medida que se cambie las tasas de política monetaria implementadas por el Banco central, por lo tanto este factor se relaciona con la inflación y la brecha producto.
EE. UU	Ang y Piazzesi (2003)	Implementan un modelo VAR que incluyen variables macroeconómicas (explican >85% de la variabilidad del tramo corto y mediano plazo) a las tradicionales variables latentes (explican 40%, del tramo de largo plazo), con supuesto de no arbitraje
EE. UU	Kim (2007)	Hallan que la curva de rendimiento contiene información relevante del componente tendencial de inflación y condiciones de no arbitraje, no aseguran el desempeño de la estimación de la curva de rendimiento
EE. UU	Dewachter, Lania y Lirio (2014)	Los autores emplean algoritmo de Metropolis – Hasting, para evitar la sobre parametrización de los modelos VAR. Encuentra que las primas de riesgo explican el 40% de variabilidad de la curva de rendimiento en el corto plazo

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 2 Revisión de literatura metodológica paramétrica

País	Autor y Año	Principal Aporte
EE. UU.	Nelson y Siegel (1987)	Hallazgo de 3 parámetros (nivel, pendiente y curvatura) y una función simple y capaz de ajustarse a las diferentes formas que puede tomar una ETTI.
EE. UU.	Svensson (1994)	Añaden un parámetro adicional al modelo Nelson y Siegel para incorporar adaptabilidad.
EE. UU.	Litterman y Scheninkman (1997)	El modelo resume toda la información de la curva, con la metodología PCA, permitiendo reducir el numero de factores que explican la dinámica de la curva de rendimiento.
EE. UU.	Diebold, Rudebusch y Auroba (2006)	Factores macroeconómicos (actividad real, inflación y tasa de política monetaria) presentan efectos sobre la curva de rendimiento y evidencia débil en el sentido contrario.
EE. UU.	Diebold, Li y Rudebusch (2013)	Proponen dos extensiones del modelo clásico de la curva de rendimiento de Nelson y Siegel. La primera extensión es el modelo dinámico de Nelson-Siegel (DNS), mientras que la segunda toma esta versión dinámica y la hace libre de arbitraje (AFNS). Muestran vínculos entre la curva de rendimiento y los factores macroeconómicos, son teóricamente rigurosas y empíricamente exitosas a largo plazo.

Fuente: Elaboración Propia.

5. Revisión de Literatura Aplicada en Perú

A partir del desarrollo de la literatura en economías desarrolladas y mercados financieros más desarrollados y profundos, se han generado investigaciones en países emergentes con diferentes métodos como Nelson y Siegel (1987) y Nelson, Siegel y Svensson (1994); a partir de eventos locales e internacionales desde el desarrollo del programa de creadores del mercado en el caso peruano. Por otro lado, se han incluido variables macroeconómicas, analizando los errores cuadráticos medios para verificar si las variables contienen información relevante para ayudar a predecir la curva de rendimiento, por ello se debe encontrar una reducción en los errores cuadráticos medios en comparación con el caso el cual no se añaden las variables macroeconómicas, encontrándose que no se genera una diferencia significativa en ambas estimaciones. Adicionalmente, se analizó la sensibilidad de los diferentes tramos de la curva, para distintas variables como las nuevas emisiones y operaciones, y la sensibilidad a eventos internacionales, además del impacto del desarrollo del mercado local de renta fija a mayores plazos al mercado internacional.

Tabla 3 Revisión de literatura aplicada en Perú

Autor y Año	Metodología	Principal Aporte
Rodríguez y Villavicencio (2005)	Nelson & Siegel (1987)	Se estudian los diferentes factores (externos e internos) que afectan la curva de rendimientos en soles en formación
Pereda (2009)	Nelson & Siegel (1987) y Svensson (1994)	Nelson y Siegel (1987) es preferido cuando no se posee suficiente información
Carrillo y Montes (2014)	Diebold, Li y Rudebush (2013)	El uso de variables macroeconómicas no mejora la predicción fuera de la muestra
Olivares Rodríguez y Ataurima (2017)	Ang & Piazzesi (2003)	Factores macroeconómicos presentan mejor ajuste en los tramos de corto y mediano plazo (>50%), mientras que factores latentes en el tramo largo plazo (>80%)

Fuente: Elaboración Propia.

6. Aporte de la Investigación

Incluir variables financieras en la determinación de la dinámica de la curva de rendimiento de bonos soberanos, además de los factores macroeconómicos que nos ayudan a capturar el dinamismo y la interacción de los mercados financieros, lo que puede mejorar el ajuste del modelo a la realidad de la curva de rendimiento. Al incluir variables financieras relevantes, debido a que estos cuentan con información adicional que puede explicar mejor los movimientos y las fluctuaciones observadas en la curva de rendimiento reflejando el riesgo y la incertidumbre presentes en los mercados financieros (Diebold, F. X., Rudebusch, 2006). Al incorporar estas variables en la estimación de los factores latentes, se capturan los efectos de los cambios en las condiciones financieras y el sentimiento del mercado en la forma de la curva de rendimiento. Esto proporciona una visión más completa de los factores que influyen en la curva y ayuda a evaluar el riesgo asociado a las inversiones. Además, de contener información adelantada sobre los movimientos futuros en la curva, lo que permite obtener proyecciones más precisas y confiables de los factores latentes. Analizando las variables financieras se pueden identificar relaciones causales y comprender mejor los mecanismos subyacentes, que nos permita mostrar la relevancia de los choques financieros, a través de su impacto en los factores latentes que determinan los movimientos en la curva de rendimiento. Al tener un conjunto de variables financieras, generar un índice nos ayuda a concentrar el impacto de las variables financieras. Mientras, encuentra sustento en los episodios de condiciones adversas para la economía peruana. Para mejorar la estimación de la curva y los impactos en los mercados de deuda y activos, que influyen en la economía local y para mejorar la toma de decisiones financieras de inversión o financiamiento en los participantes del mercado que toman en cuenta las condiciones financieras, que puedan afectar sus perfiles de riesgo y retorno.

7. Lineamientos Metodológicos

Se empleará un modelo de espacio estado (SSM) y el filtro de Kalman para estimar el modelo Diebold–Li (1990) de solo rendimientos, a partir del cual se integrarán variables macroeconómicas, para finalmente incluir variables financieras. El filtro de Kalman tiene la capacidad modelar parámetros variables en el tiempo e inferir factores no observables, para estimar los parámetros y pronosticar las tasas de la curva de rendimiento. Partiremos de dos métodos alternativos: un modelo de estimación de dos etapas, comparando las estimaciones con un modelo espacio estado (una sola etapa).

7.1 Modelo de curva de rendimiento de Diebold-Li

El modelo de Diebold-Li (1990) es una variante del modelo de Nelson Siegel (1986) introduciendo una versión dinámica del modelo, que permite que los parámetros evolucionen a lo largo del tiempo. Reparametrizado a partir de la formulación original

$$y_t(r) = L_t + S_t \left(\frac{1 - e^{-\lambda r}}{\lambda r} \right) + C_t \left(\frac{1 - e^{-\lambda r}}{\lambda r} - e^{-\lambda r} \right)$$

Donde:

- r es el plazo de madurez para una determinada fecha
- $y_t(r)$ son las tasas de la curva para el periodo t y los distintos plazos r .
- L_t es el factor de largo plazo (nivel)
- S_t es el factor de corto plazo (pendiente)
- C_t es el factor de mediano plazo (curvatura)
- λ determina la madurez que se maximiza la carga sobre la curvatura y gobierna la tasa de caída exponencial del modelo

7.2 Formulación del espacio estado del modelo Diebold-Li (1990)

Planteamos la representación espacio estado (Diebold, Rudebusch y Auroba, 2006), del problema lineal realizando las operaciones: estimación de los parámetros por máxima verosimilitud, pronóstico de parámetros no observados, suavizado mediante la recursividad hacia atrás, simulación de caminos de estados y respuestas para un estudio de simulación de Monte Carlo.

Caracterizamos la dinámica del modelo calculando los impulsos respuestas, descomposición de varianza y análisis de significancia de los parámetros del modelo.

Representación espacio estado lineal, para un vector de estado x_t y un vector de observaciones y_t , la forma de los parámetros del SSM será la siguiente:

$$x_t = A_t x_{t-1} + B_t u_t$$

$$y_t = C_t x_{t-1} + D_t \varepsilon_t$$

Donde los vectores u_t y ε_t son procesos de ruido blanco, de varianza unitaria no correlacionados. En la representación de espacio estado, la primera ecuación es la ecuación de transición y la segunda es la ecuación de medida. Los parámetros A_t , B_t , C_t y D_t son las matrices de coeficientes de transición de estado, carga de perturbaciones de estado, sensibilidad de medición y la matriz de coeficientes de innovaciones de las observaciones, respectivamente.

Los factores de nivel, pendiente y curvatura del modelo Diebold-Li siguen un proceso autorregresivo de primer orden VAR(1), que forma sistema de espacio estado. Diebold y Li (1990) componen el vector de estado con los factores no observables, resultando una ecuación de transición y de medida que gobiernan la dinámica del modelo. Donde, la ecuación de medida sigue la siguiente representación:

$$\begin{pmatrix} L_t - \mu_L \\ S_t - \mu_S \\ C_t - \mu_C \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} a_{11} & a_{12} & a_{13} \\ a_{21} & a_{22} & a_{23} \\ a_{31} & a_{32} & a_{33} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} L_{t-1} - \mu_L \\ S_{t-1} - \mu_S \\ C_{t-1} - \mu_C \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} \eta_t(L) \\ \eta_t(S) \\ \eta_t(C) \end{pmatrix}$$

La ecuación de medida puede ser descrita por la siguiente representación:

$$\begin{pmatrix} y_t(\tau_1) \\ y_t(\tau_2) \\ \vdots \\ y_t(\tau_N) \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 1 & \frac{1-e^{-\lambda\tau_1}}{\lambda\tau_1} & \frac{1-e^{-\lambda\tau_1}}{\lambda\tau_1} & -e^{-\lambda\tau_1} \\ 1 & \frac{1-e^{-\lambda\tau_2}}{\lambda\tau_2} & \frac{1-e^{-\lambda\tau_2}}{\lambda\tau_2} & -e^{-\lambda\tau_2} \\ & & \vdots & \\ 1 & \frac{1-e^{-\lambda\tau_N}}{\lambda\tau_N} & \frac{1-e^{-\lambda\tau_N}}{\lambda\tau_N} & -e^{-\lambda\tau_N} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} L_t \\ S_t \\ C_t \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} e_t(\tau_1) \\ e_t(\tau_2) \\ \vdots \\ e_t(\tau_N) \end{pmatrix}$$

La notación de las matrices, siguiendo el modelo Diebold-Li puede ser reescrita siguiendo un sistema de espacio estado como un vector ajustado de medias $f_t = (L_t, S_t, C_t)$ y las tasas observadas y_t .

$$\begin{aligned} (f_t - \mu) &= A(f_{t-1} - \mu) + \eta_t \\ y_t &= \Lambda f_t + e_t \end{aligned}$$

El modelo de Diebold-Li impone las siguientes suposiciones sobre las perturbaciones de la ecuación de transición y las perturbaciones de la ecuación de medida:

- Donde η_t y e_t son procesos ortogonales gaussianos de ruido blanco, representados a través de la siguiente formulación

$$\begin{pmatrix} \eta_t \\ e_t \end{pmatrix} \sim WN \left(\begin{pmatrix} 0 \\ 0 \end{pmatrix}, \begin{pmatrix} Q & 0 \\ 0 & H \end{pmatrix} \right)$$

- Las perturbaciones η_t están correlacionados contemporáneamente, lo que implica que la matriz de covarianzas Q no es diagonal
- Las perturbaciones e_t no están correlacionados, lo que implica que la matriz H es diagonal.

Definimos los estados latentes como factores ajustados por media

$$x_t = f_t - \mu$$

Y los rendimientos ajustados por intersección (desinflados) como:

$$y'_t = y_t - \Lambda\mu$$

Sustituyendo en las ecuaciones anteriores, el sistema de espacio estado resultante es:

$$x_t = Ax_{t-1} + \eta_t$$
$$y'_t = y_t - \Lambda\mu = \Lambda x_t + e_t$$

$$x_t = Ax_{t-1} + Bu_t$$
$$y_t = Cx_t + De_t$$

Comparando con el sistema de espacio estado de Diebold-Li. La matriz de coeficientes de transición de estado es la misma en ambas formulaciones, y la matriz de Diebold-Li es la misma que la matriz de coeficientes de sensibilidad de medición en la formulación espacio estado.

La relación de los procesos de perturbaciones sigue las ecuaciones:

$$\eta_t = Bu_t$$
$$e_t = De_t$$

Las covarianzas de las variables aleatorias deben ser iguales. Como resultado de la propiedad de transformación lineal de los vectores aleatorios, la relación entre las covarianzas y las perturbaciones es:

$$Q = BB'$$

$$H = DD'$$

7.3 Estimación del modelo Diebold-Li (1990) utilizando el método de dos etapas

Se realizarán los enfoques de dos pasos y espacio estado, para el conjunto de datos. Diebold-Li estiman los parámetros de su modelo empleando una estimación en dos etapas, las cuales consisten en:

- Ajustar λ para los meses de las curvas de rendimiento, estimar los parámetros de nivel, pendiente y curvatura, resultando una serie temporal de tres dimensiones.

- Ajustar los parámetros estimados en el paso previo con modelo autorregresivo de primer orden.
- Al ajustar λ , se puede emplear el valor predeterminado de $\lambda = 0,0609$, para obtener los valores iniciales.

Sin embargo, al hacer el proceso de optimización el punto de valor inicial convergirá al valor óptimo, por lo que para reducir la carga computacional tomaremos un valor de referencia menor, se tomará un valor estimado anteriormente en el estudio Montes y Carrillo ($\lambda = 0,038$), no obstante esto no genera que el valor óptimo cambie solo cambia el valor de punto de partida para la optimización, debido a que la estimación de dos etapas, emplea los valores iniciales que se necesitan en la representación del modelo espacio estado, ello nos permitirá reducir esfuerzo computacional y nos brindará una maximización de la verosimilitud más eficiente.

Debido a que la curva de rendimiento esta parametrizada, esta se puede ver como una función de los factores, por lo tanto, pronosticar la curva es equivalente a pronosticar los factores no observables y luego evaluar en la función del modelo Diebold-Li (1990). Como primer paso se estimará los factores como coeficientes de una regresión obtenidos por mínimos cuadrados ordinarios para cada mes de la serie temporal de tasas de la curva de rendimiento.

$$y_j = L + \frac{1 - e^{-\lambda\tau_j}}{\lambda\tau_j} S + \left(\frac{1 - e^{-\lambda\tau_j}}{\lambda\tau_j} - e^{-\lambda\tau_j} \right) C, j = \{3,6,9, \dots, 120\}$$

Luego se realiza un ajuste con un modelo autorregresivo en cual se puede realizar de dos maneras: Ajuste con un modelo AR(1), para cada factor estimado o ajuste con un modelo VAR(1), para los tres factores simultáneamente.

Para nuestro modelo estimaremos un modelo VAR(1) de los factores no observables. Para mantener la coherencia del modelo espacio estado, que funciona con factores ajustados a la media, se incluirá un factor constante aditivo para dar cuenta de la media de cada factor.

7.4 Estimación de Espacio Estado de Diebold-Li solo para rendimientos

Especificaremos el modelo Diebold-Li empleando un enfoque implícito, creando una función anónima con un argumento de entrada que representa un vector de parámetros iniciales, lo que inicializa el modelo para la estimación. La estimación de máxima verosimilitud de un espacio estado a través de un filtro de Kalman es sensible

a los valores iniciales. Por lo tanto, se utilizará el método de dos etapas para inicializar la estimación. Para construir el vector se seguirán los siguientes pasos:

- La matriz de coeficientes A es estimada a partir del modelo VAR(1).
- Para el valor de la matriz B , la matriz de covarianza de 3 por 3, Q es la matriz de covarianza del modelo VAR(1) que sigue la relación $Q = BB'$. Por lo tanto, la estimación de B es el factor de cholesky inferior de Q . Para asegurar que Q es simétrica, definida positiva y permita covarianzas fuera de la diagonal distintas de ceros. Asignamos los seis elementos asociados con el factor de cholesky inferior de Q .
- Debido a que la matriz de covarianzas H en la formulación de Diebold-Li es diagonal $H = DD'$, la matriz D del espacio estado es diagonal. Especificamos el valor inicial de D como la raíz cuadrada de los elementos diagonales de la matriz de covarianza de la muestra de los residuos del modelo VAR(1), un elemento para cada uno de los 17 vencimientos en los datos de rendimiento
- La matriz C es una función completamente parametrizada que depende de la tasa de decaimiento estimado λ . La función requiere un valor inicial. Establecemos como valor inicial de $\lambda = 0,038$, correspondiente al último elemento del vector columna de parámetros iniciales.
- Para los elementos del vector de parámetros iniciales asociado con las medias de los factores, se establece los promedios de la muestra de los coeficientes de la regresión de mínimos cuadrados ordinarios en el primer paso del enfoque de dos etapas.
- Apilamos todos los valores iniciales en el orden A_0, B_0, C_0, μ_0 y λ_0

7.5 Modelo de curva de rendimientos con factores macroeconómicos

El modelo de solo rendimientos lo ampliamos a un modelo macroeconómico siguiendo a (Diebold, Rudebusch y Auroba, 2006), al incluir factores macroeconómicos.

Un conjunto mínimo de variables que caracterizan las actividades económicas que se incluirán en z_t que son la tasa de interés interbancaria mensual, la inflación anual de precios y producto bruto interno mensual (variación anualizada) respectivamente, que interactúan con los factores de nivel, pendiente y curvatura en una autorregresión vectorial. El modelo espacio estado aumentado es:

$$(f_t - \mu) = A(f_{t-1} - \mu) + \eta_t$$

$$\begin{bmatrix} y_t \\ z_t \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \Lambda & 0 \\ 0 & I \end{bmatrix} f_t + \begin{bmatrix} w_t \\ 0 \end{bmatrix}$$

Donde $f_t = [L_t, S_t, C_t, z_{1,t}, z_{2,t}, z_{3,t}]'$ y $z_t = [z_{1,t}, z_{2,t}, z_{3,t}]'$, las dimensiones de A y μ aumentan a 6 por 6 y 6 por 1, respectivamente.

La ecuación de observación $y_t = [\Lambda \ 0]f_t + w_t$, nos indica que los factores de nivel, pendiente y curvatura tienen la suficiente información para la curva de rendimiento. Además, $z_t = [0 \ I]f_t$ indica que las variables macroeconómicas se observan sin error de medición o es muy pequeño. Los procesos que siguen las perturbaciones son ruidos blancos, que presentan la siguiente distribución:

$$\begin{bmatrix} \eta_t \\ w_t \end{bmatrix} \sim WN\left(\begin{bmatrix} 0 \\ 0 \end{bmatrix}, \begin{bmatrix} Q & 0 \\ 0 & H \end{bmatrix}\right)$$

Donde Q es una matriz definida positiva simétrica de 6 por 6, y H es diagonal. La formulación para el método espacio estado será la siguiente:

$$\begin{aligned} x_t &= A_t x_{t-1} + B_t \mu_t \\ \zeta_t &= C_t x_t + D_t \varepsilon_t \end{aligned}$$

Donde los estados son los factores ajustados a la media, contendrá 81 parámetros desconocidos

$$x_t = f_t - \mu$$

$$\zeta_t = \begin{bmatrix} y_t \\ z_t \end{bmatrix} - \begin{bmatrix} \Lambda & 0 \\ 0 & I \end{bmatrix} \mu.$$

- A contiene 36 parámetros
- Q contiene 21 parámetros
- H contiene 17 parámetros

- μ contiene 6 parámetros
- Λ contiene el escalar λ

La estimación de 81 parámetros por máxima verosimilitud es un desafío computacional, pero es posible con valores iniciales para la optimización numérica. La función de estimación de parámetros desconocidos se optimizará empleando la log-verosimilitud. Esta tarea de optimización compleja puede requerir varias iteraciones y evaluaciones de funciones. Por lo tanto, hemos creado un objeto de opciones de optimización que especifica un máximo de iteraciones y evaluaciones de funciones para la optimización sin restricciones. En cada iteración, se calcula la verosimilitud logarítmica aplicando el filtro de Kalman. Para esto, hemos creado una función anónima que toma como argumento la información de rendimientos y las series macroeconómicas.

7.6 Modelo de curva de rendimientos incorporando variables financieras

Las variables financieras (Andrew Ang, 2003) se añadirán al modelo macroeconómico anteriormente planteado.

$$(f_t - \mu) = A(f_{t-1} - \mu) + \eta_t$$

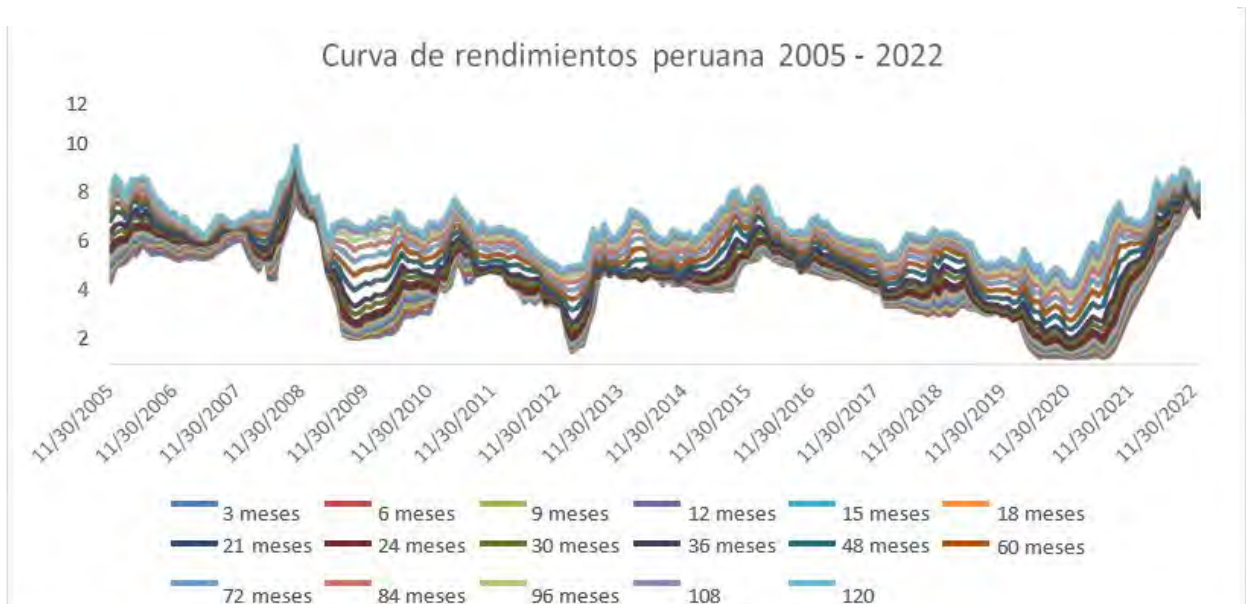
$$\begin{bmatrix} y_t \\ z_t \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \Lambda & 0 \\ 0 & I \end{bmatrix} f_t + \begin{bmatrix} w_t \\ 0 \end{bmatrix},$$

Extendiendo la cantidad de factores $f_t = [Lt, St, Ct, z1,t, z2,t, z3,t, z4,t]$ y $z_t = [z1,t, z2,t, z3,t, z4,t]'$, las dimensiones de A y μ aumentan a 7 por 7 y 7 por 1, respectivamente. El ordenamiento de las variables f_t , siguen el criterio desarrollado por Bernanke et. al (2005), quienes proponen un ordenamiento de las variables dependiendo de su velocidad de respuesta, slow motion (variables que responden lento a los shocks de variables observables) y fast motion (variables que responden inmediatamente a los shocks de variables observables). Siguiendo el criterio anterior, agruparemos las variables de z_t , en variables de la economía local tomando como ordenamiento: tasa interés interbancaria, inflación y producto bruto. Un segundo grupo de variables externas siguiendo el mismo ordenamiento: tipo de cambio e índice financiero el cual será del primer componente principal. Finalmente, realizaremos las estimaciones con intervalo de confianza de 95%.

8. Datos

Los datos de los rendimientos van desde el periodo del noviembre del 2005 a diciembre del 2022, con frecuencia mensual de la Curva cupón cero soberana en soles de la Superintendencia de Banca, Seguros y AFP (SBS). La serie temporal de datos representa vencimientos de 3, 6, 9, 12, 15, 18, 21, 24, 30, 36, 48, 60, 72, 84, 96, 108 y 120 meses. Los rendimientos están en porcentaje, registrándose un total 206 curvas mensuales de 17 vencimientos cada una.

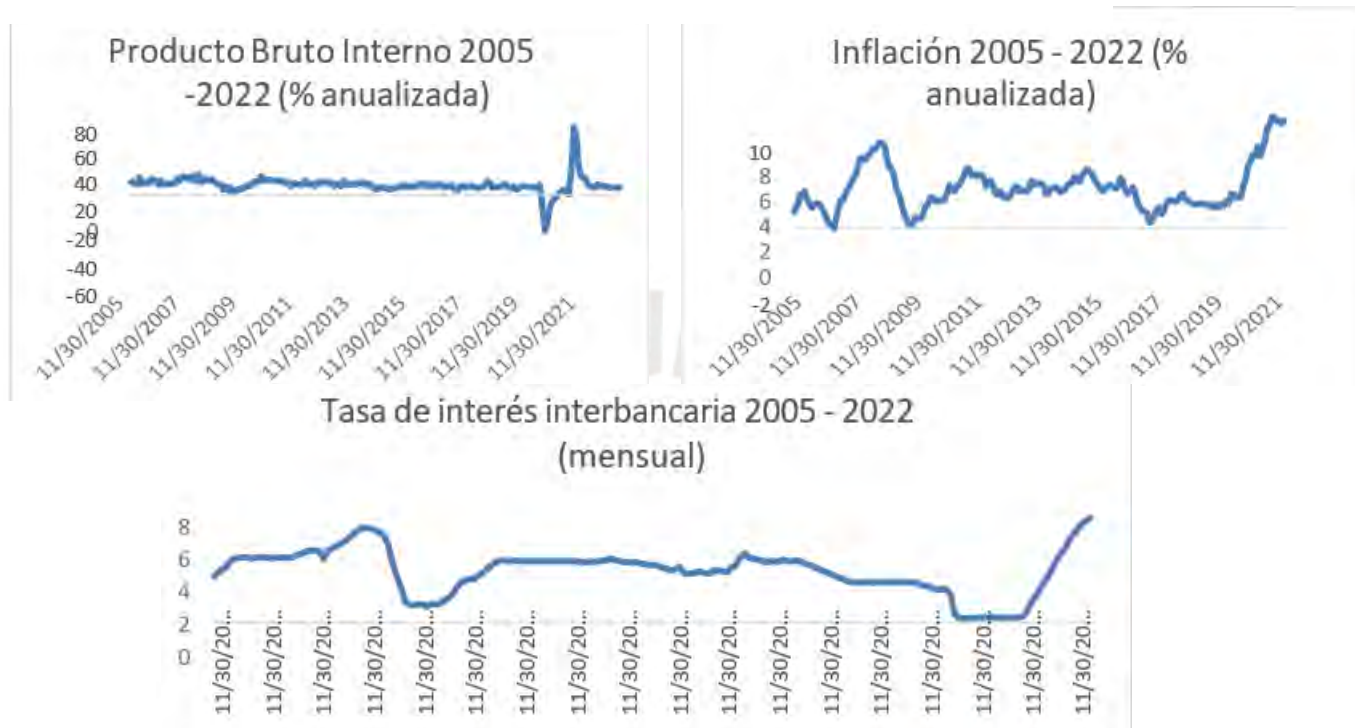
Figura 3 Tasas de interés para plazos de 3, 6, 9, 12, 15, 18, 21, 24, 30, 36, 48, 60, 72, 84, 96, 108, 120 meses



Fuente: BCRP. Elaboración Propia

Los datos de las variables macroeconómicas producto bruto interno e inflación serán tomadas con una frecuencia mensual (variación anualizada), la tasa interbancaria mensual que van desde el periodo del noviembre del 2005 a diciembre del 2022.

Figura 4 Variables Macroeconómicas, variación porcentual anualizada



Fuente: BCRP. Elaboración Propia

9. Estimación del índice financiero

Para comprender las condiciones financieras, se incorporará un índice con el fin de evaluar la evolución y estabilidad de los mercados financieros (Hakkio, C. y Keeton, W. R., 2009). Los variables financieras que serán consideradas serán EMBIG, VIX, rendimiento del índice general de la Bolsa de valores (variación anualizada), spread de las tasas de los bonos de estados unidos de 10 años y 3 meses, precio del cobre mensual (variación anualizada).

Figura 5 Variables Financieras (EMBIG, VIX, BVL, Spread, Cobre)



Fuente: Bloomberg y BCRP. Elaboración Propia.

Luego estandarizamos las variables normalizando, removiendo la media y escalando la varianza a la unidad $z = (x - \mu)/\sigma$, y graficamos las variables financieras.

Figura 6 Variables Financieras Estandarizadas (EMBIG, VIX, BVL, Spread, Cobre)



Fuente: Bloomberg y BCRP. Elaboración Propia.

Luego, extraemos los componentes principales de las series (PC1, PC2, PC3), que mantendrán las características de las variables financieras, tomando como referencia el primer principal componente que explica alrededor del 50% de la varianza total de las variables. Este componente se puede observar como un índice financiero (Figura 7), que adquiere valores positivos (estrechez de índice) cuando se presenta algún choque a las variables financieras, es decir está relacionado con eventos económicos adversos. Por otro lado, el índice financiero tomara valores negativos (holgura de índice) cuando se presente un contexto favorable en la economía local.

Figura 7 Índice Financiero (Primer componente extraído por análisis de componentes principales)



Fuente: BCRP. Elaboración Propia

10. Comparando resultados de la estimación

10.1 Parámetros estimados

La comparación de los parámetros estimados a partir del método de dos etapas y el ajuste del modelo espacio estado, nos ayuda a comprender las siguientes características: En qué medida concuerdan los resultados de los dos enfoques y cuan adecuados son los resultados de la estimación de dos etapas como valores de los parámetros iniciales para la estimación del modelo de espacio estado.

Tabla 4 Revisión de Matriz de transición (Espacio estado y Dos etapas)

SSM State Transition Matrix (A)			
	Nivel _t	Pendiente _t	Curvatura _t
Nivel _{t-1}	0.8361	-0.028	0.0185
Pendiente _{t-1}	0.1683	0.9244	0.0721
Curvatura _{t-1}	0.3722	0.0823	0.7783

Two Step State Transition Matrix (A)			
	Nivel _t	Pendiente _t	Curvatura _t
Nivel _{t-1}	0.8246	-0.0398	0.0276
Pendiente _{t-1}	0.1902	0.9352	0.0627
Curvatura _{t-1}	0.3685	0.1187	0.766

Fuente: Elaboración Propia

Los coeficientes estimados concuerdan estrechamente. Los elementos de la diagonal son casi 1, lo que indica una autodinámica persistente de cada factor. Los elementos fuera de la diagonal son casi 0, lo que indica una dinámica de factor cruzado débil. A continuación, examinamos la matriz de perturbaciones de estado B (Tabla 5). Comparamos visualmente la matriz de covarianzas de innovaciones estimadas con $Q = BB'$ de ambos métodos de estimación.

Tabla 5 Revisión de Matriz de perturbaciones (Espacio estado y Dos etapas)

SSM State Disturbance Loading Matrix (B)			
	Nivel _t	Pendiente _t	Curvatura _t
Nivel _t	0.63	0	0
Pendiente _t	-0.5367	0.4393	0
Curvatura _t	-1.1226	-0.3945	1.2146

SSM State Disturbance Covariance (Q=BB')			
	Nivel _t	Pendiente _t	Curvatura _t
Nivel _t	0.3969	-0.3381	-0.7073
Pendiente _t	-0.3381	0.481	0.4292
Curvatura _t	-0.7073	0.4292	2.8912

Two Step State Disturbance Matrix (Q)			
	Nivel _t	Pendiente _t	Curvatura _t
Nivel _t	0.4053	-0.3582	-0.7056
Pendiente _t	-0.3582	0.4604	0.5305
Curvatura _t	-0.7056	0.5305	2.7247

Fuente: Elaboración Propia

Las matrices de covarianzas de los residuos estimados concuerdan relativamente. Las covarianzas estimadas aumentan a medida que el estado pasa del nivel, a la pendiente y a la curvatura a lo largo de diagonal principal.

Tabla 6 Revisión de medias de nivel, pendiente y curvatura (Espacio estado y Dos etapas)

SSM Factor Means		
Nivel _t	Pendiente _t	Curvatura _t
7.6932	-4.3274	-3.1777

Two Step Factor Means		
Nivel _t	Pendiente _t	Curvatura _t
7.7501	-4.4501	-3.2709

Fuente: Elaboración Propia

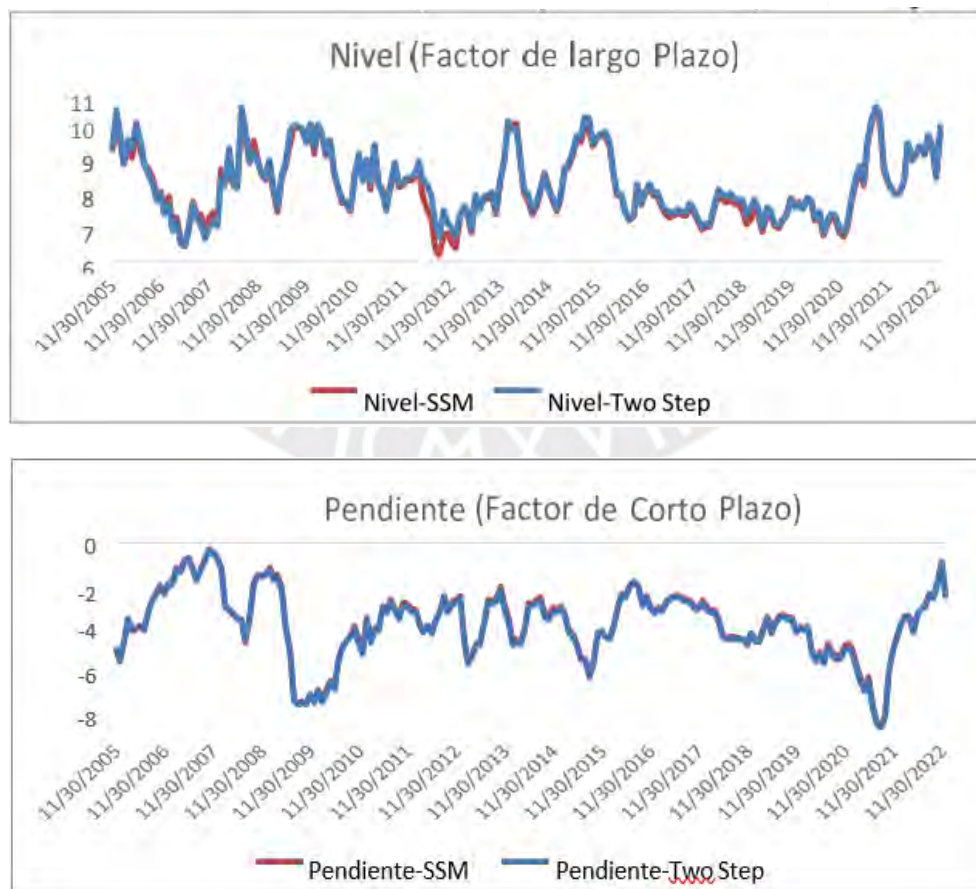
Las medias estimadas de los factores de nivel, pendiente y curvatura concuerdan, en magnitud y signo.

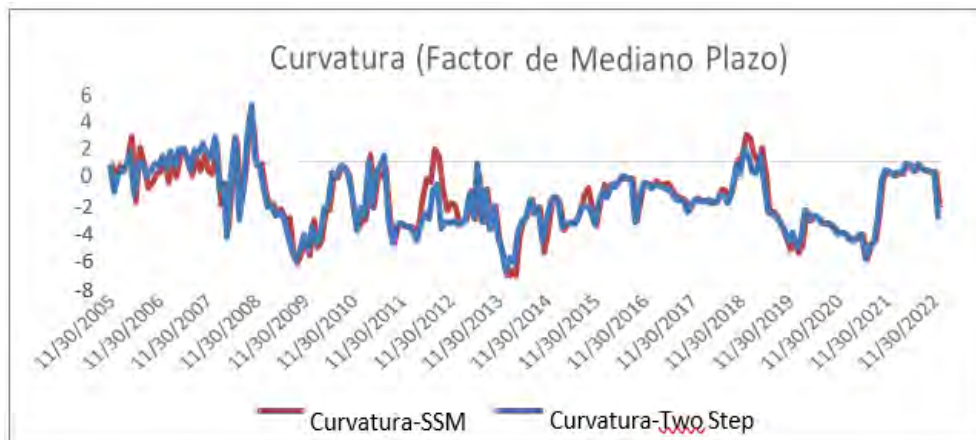
10.2 Factores inferidos no observables

Los factores no observados de nivel, pendiente y curvatura (estados latentes) del modelo Diebold-Li(1990) son esenciales para pronosticar la evolución de la curva de rendimiento futuras. En esta parte, se examinará los estados inferidos de cada método de estimación

En el método de estimación de dos etapas, los estados latentes son los coeficientes de la regresión estimados en el paso OLS. En el método de espacio estado, la función de suavizamiento se implementa con iteraciones hacia atrás del algoritmo de filtro de Kalman para $t = 1, 2, \dots, T$. Mostramos los factores individuales de nivel, pendiente y curvatura derivados de los métodos de estimación de dos etapas y el ajuste SSM para comparar las estimaciones.

Figura 8 Comparación de variables latentes en Espacio estado y dos etapas





Fuente: Elaboración Propia

Se observa que el nivel y la pendiente concuerdan estrechamente. Los patrones que forman las estimaciones de curvatura concuerdan, pero los valores están diferentes ligeramente. A continuación, mostramos el parámetro de tasa de decaimiento estimada $\lambda = 0,0395$.

El parámetro de tasa de decaimiento determina la madurez en la que se maximiza la carga sobre la curvatura. El comportamiento en forma de joroba de la carga de curvatura en función de la madurez revela porque la curvatura se interpreta como un factor a mediano plazo. Aunque existen diferencias entre los dos métodos, los factores derivados de cada enfoque concuerdan razonablemente. Debido a que, el método del filtro de Kalman en espacio estado de un solo paso, permite modelar la dinámica conjunta de las tasas de interés a corto y largo plazo lo que puede mejorar la eficiencia y la precisión de las estimaciones. Captura las relaciones dinámicas entre las variables observadas y las no observadas, lo que puede ser crucial para entender la evolución de la curva de rendimientos a lo largo del tiempo.

10.3 Resumen de residuos

Comparamos las medias y las desviaciones estándar de los residuos de la ecuación de observación entre los dos métodos de estimación.

Tabla 7 Revisión de las medias y desviaciones estándares residuales

Maturity (Months)	State Space Model		Two Step	
	Mean (pbs)	Standard Deviation (pbs)	Mean (pbs)	Standard Deviation (pbs)
3	2.5581	30.4413	1.2945	12.1961
6	1.0251	16.1523	-0.1021	2.8617
9	0.3393	7.6688	-0.6166	4.1785
12	0.0754	2.711	-0.6882	5.8822
15	0.000	0.000	-0.5615	6.1343
18	-0.0014	1.2621	-0.3595	5.5142
21	0.0163	1.5982	-0.1439	4.4598
24	0.0278	1.3567	0.0551	3.3002
30	0.000	0.000	0.3567	2.1576
36	-0.0949	1.7081	0.5175	3.5461
48	-0.3741	4.4483	0.5109	6.2974
60	-0.5923	5.4544	0.277	6.931
72	-0.6195	4.7775	0.0128	5.7793
84	-0.416	2.8203	-0.1695	3.4284
96	0.000	0.000	-0.2269	1.0485
108	0.5806	3.3489	-0.1606	3.7435
120	1.2682	6.9868	0.0043	7.5371

Fuente: Elaboración Propia

Debido a que el SSM produce medias de los residuos y sus desviaciones estándar más bajas para la mayoría de los vencimientos, el SSM proporciona un mejor ajuste que el método de estimación de dos pasos, particularmente para vencimientos de 12 meses en adelante donde se presenta una mayor reducción de la desviación estándar.

10.4 Análisis de modelo con variables macroeconómicas y variables financieras

El criterio de información de Schwarz impone una penalización más fuerte a modelos más complejos en comparación con Akaike, al tomar en cuenta tanto el ajuste del modelo a los datos como el número de parámetros en el modelo. Así, el término de penalización se vuelve más pronunciado. Esto evita que se seleccionen modelos con demasiados rezagos o parámetros que pueden sobreajustarse a los datos.

Tabla 8 Comparación de Criterios información para la selección de rezagos

Lag	LogL	LR	FPE	AIC	SC	HQ
0	-3275.71	NA	35093.52	33.16879	33.30165	33.22256
1	-1725.914	2958.701	0.010655	18.16075	19.35648*	18.64474
2	-1608.519	214.6318	0.006231*	17.62140*	19.88001	18.53561*
3	-1567.507	71.6673	0.007918	17.85361	21.17509	19.19803
4	-1512.669	91.39650*	0.008811	17.94615	22.33051	19.7208
5	-1461.438	81.2458	0.010262	18.07513	23.52236	20.27999
6	-1408.745	79.30584	0.011918	18.18934	24.69944	20.82441
7	-1358.288	71.86262	0.014366	18.32614	25.89912	21.39143
8	-1316.837	55.68656	0.019309	18.55391	27.18976	22.04942

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 9 Estimación de coeficientes de vectores de autoregresivos de orden 1

	NIVEL	PENDIENTE	CURVATURA	TINT	INFLACION	PBI	TC	IND_FIN
NIVEL(-1)	0.74647 0.07284 [10.2465]	0.16568 0.07750 [2.13773]	0.52718 0.18646 [2.82730]	0.06883 0.02335 [2.34805]	0.06038 0.04337 [1.53136]	0.12722 0.55372 [0.22876]	-0.22826 -0.27604 [-0.82633]	-0.04404 0.06320 [-0.63662]
PENDIENTE(-)	-0.07276 0.07043 [-1.03301]	0.86557 0.07494 [11.5497]	-0.18233 0.18030 [1.01157]	0.01583 0.02258 [0.70388]	0.03378 0.04194 [0.94880]	0.04977 0.53543 [0.09234]	-0.04280 0.26692 [-0.16033]	-0.01087 0.06111 [-0.17784]
CURVATURA	0.02420 0.02101 [1.15171]	0.05620 0.02236 [2.51362]	0.73904 0.05373 [13.7385]	0.02954 0.00674 [4.38581]	0.03162 0.01251 [2.52742]	0.03027 0.15973 [0.18950]	-0.06243 0.07363 [-0.78478]	0.00036 0.01823 [0.05290]
TINT(-1)	0.00163 0.07916 [0.02140]	0.10693 0.08425 [1.26317]	-0.02517 0.20270 [-0.12416]	0.91649 0.02538 [36.1075]	-0.11074 0.04715 [-2.34868]	-0.34351 0.60134 [-0.57068]	-0.02032 0.30007 [-0.06370]	0.01267 0.06670 [0.18441]
INFLACION(-1)	0.05468 0.03671 [1.48954]	0.00843 0.03906 [0.21563]	0.02507 0.09397 [0.26678]	0.08824 0.01177 [7.49947]	1.01898 0.02186 [46.6134]	0.25536 0.27907 [0.31503]	0.00534 0.13912 [0.03840]	0.04775 0.03185 [1.43898]
PBI(-1)	0.01020 0.00614 [1.66181]	-0.01125 0.00653 [-1.72218]	-0.01284 0.01571 [-0.81723]	0.00236 0.00137 [1.51571]	0.00901 0.00365 [2.46453]	0.76821 0.04666 [16.4652]	-0.00526 0.02326 [-0.22534]	0.01093 0.00533 [2.05172]
TC(-1)	0.00276 0.00831 [0.33241]	0.00407 0.00864 [0.46000]	-0.01806 0.02127 [-0.84321]	-0.00330 0.00266 [-1.46427]	-0.00155 0.00495 [-0.31357]	-0.04663 0.06316 [-0.73835]	0.91640 0.03149 [23.1053]	-0.00418 0.00721 [-0.57976]
IND_FIN(-1)	0.01964 0.03863 [0.50838]	-0.03887 0.04111 [-2.40516]	-0.26142 0.09890 [-2.64325]	-0.07109 0.01238 [-5.74002]	-0.01539 0.02301 [-0.66885]	-0.47325 0.29370 [-1.61134]	0.11829 0.14641 [0.80783]	0.92861 0.03352 [27.7007]
C	1.43206 0.35879 [4.15853]	-2.04108 0.38177 [-5.34637]	-4.05077 0.31849 [-4.41026]	-0.33574 0.11502 [-2.91311]	0.14052 0.21366 [0.65770]	0.85266 2.72758 [0.31261]	1.50986 1.35374 [1.11040]	0.05887 0.31132 [0.18810]

Fuente: Elaboración Propia

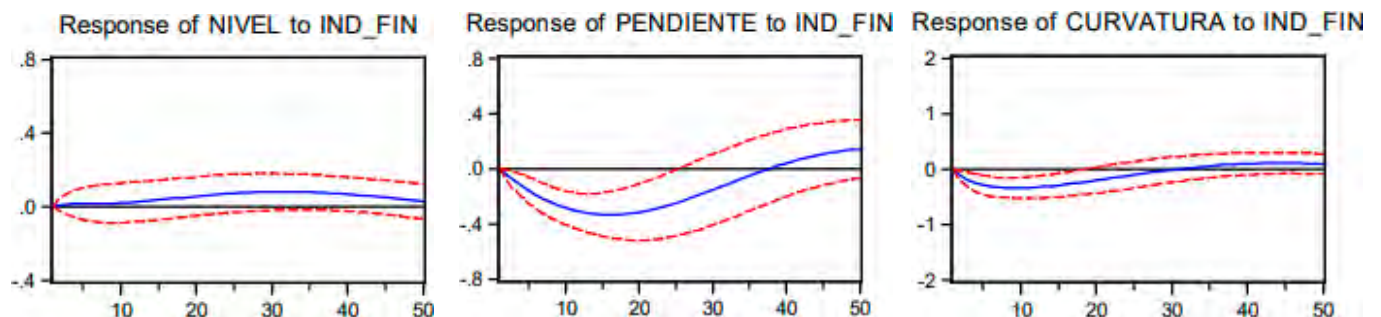
En la última tabla, los resultados muestran con las respuestas del VAR ante choques de factores y variables macroeconómicas y financieras que la inflación pasada se relaciona positivamente con la tasa interbancaria, dado por la política monetaria se encuentra asociada a la regla de Taylor que busca mantener la inflación dentro del rango meta.

Por otro lado, se observa que la tasa de interés pasada disminuye la inflación, debido al alto costo de oportunidad, lo que se traducirá en preferencias por reducir la velocidad de circulación del dinero y destinar parte de los fondos disponibles al ahorro, disminuyendo así el consumo de bienes y servicios. Además, el índice financiero muestra una relación negativa con los factores no observados de pendiente y curvatura. Esto se debe a que un índice financiero nos señala estrés financiero, lo que resultará en una reducción de las tasas de interés como parte de una política expansiva, esta a su vez, reducirá la pendiente (factor de corto plazo) y disminuirá la curvatura (factor de mediano plazo)

10.5 Análisis de impulso respuesta

Para un modelo de espacio estado, las funciones de impulso respuesta (IRF) mide los efectos dinámicos en las ecuaciones de estado y transición, debido a un choque imprevisto en cada perturbación de estado. En la ecuación de transición $x_t = A x_{t-1} + B u_t$ la derivada parcial de x_t con respecto a u_t , $t = 1, 2, \dots$, aplicando un choque de estado durante el periodo 1, normalizando la variación del choque a uno, la matriz de estado B determina cualquier efecto contemporáneo.

Figura 9 Comparación de impulsos respuestas de nivel, pendiente y curvatura al índice financiero.



Fuente: Elaboración Propia

Un shock en el índice financiero genera una caída en dos aspectos clave de la curva de rendimiento: el componente de pendiente, que afecta el corto plazo, y la curvatura, relacionada con el mediano plazo. Este fenómeno refleja la reacción de los mercados ante mayores niveles de incertidumbre y volatilidad.

Dado que los agentes económicos tienden a ser aversos al riesgo en situaciones de estrés financiero, la respuesta esperada es una reducción en las tasas de interés. Esta medida busca estimular la reactivación económica, mitigando los efectos negativos del estrés en los mercados financieros y promoviendo mayor estabilidad.

Tabla 10 Interpretación de los impulsos respuesta del índice financiero

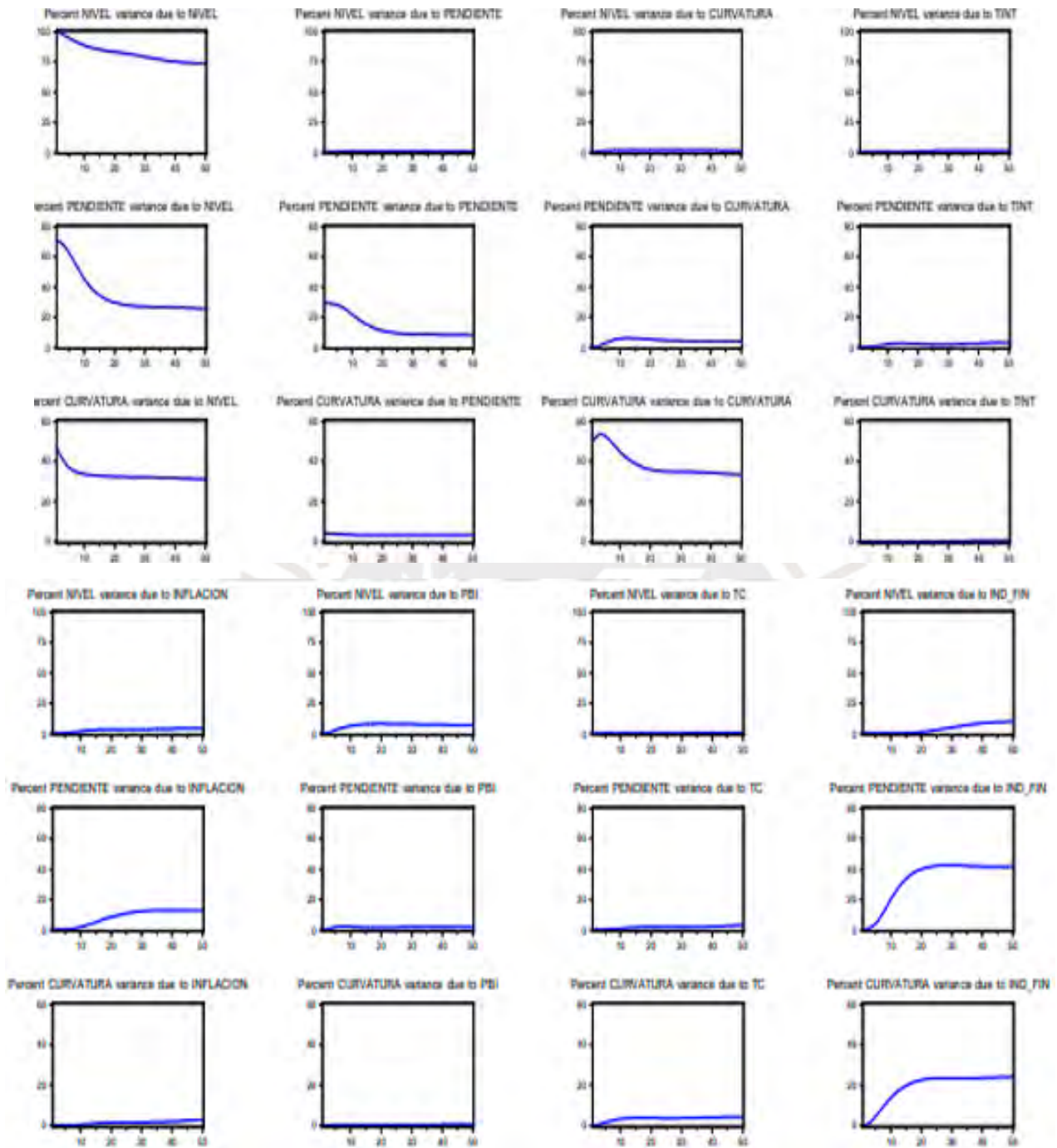
Choque	Variable	Definición	Signo	Explicación
Índice Financiero	Pendiente	Factor de corto plazo	-	Esto eleva el índice financiero generando un ambiente de estrés financiero, lo que tendrá como resultado una caída de la pendiente de la curva de rendimiento, es decir, una reducción de las tasas de interés para contrarrestar las condiciones económicas adversas
	Curvatura	Factor de mediano plazo	-	El factor de mediano plazo (curvatura), presente una respuesta de menor magnitud, dado que el mayor impacto de las condiciones desfavorables impacta en mayor medida a las tasas de corto plazo, es decir, al factor de corto plazo de la curva de rendimiento (pendiente). Luego, se transmite en menor medida a las tasas de mediano plazo, es decir, hacia el factor de mediano plazo (curvatura) de la curva de rendimiento.

Fuente: Elaboración Propia

10.6 Descomposición de la varianza del modelo con factores financieros

Se muestra la descomposición de la varianza del error de pronóstico (FEVD) proporciona información sobre la importancia relativa de cada perturbación que afecta la varianza del error de pronóstico de una variable de respuesta. En cuanto a las interacciones, la FEVD analiza si los factores macroeconómicos son influyentes.

Figura 10 Descomposición de Varianza (Gráficamente)



Fuente: Elaboración Propia

Figura 11 Descomposición de Varianza Espacio Estado (Tabla de Descomposición de Factores latentes)

Variance Decomposition of NIVEL:							
NIVEL	PENDIENTE	CURVATURA	TINT	INFLACIÓN	PBI	TC	IND_FIN
73.85393	0.892471	1.595122	1.5262	4.442761	7.180145	0.643953	9.865422

Variance Decomposition of PENDIENTE:							
NIVEL	PENDIENTE	CURVATURA	TINT	INFLACIÓN	PBI	TC	IND_FIN
25.44112	7.978959	3.976845	3.095306	12.6881	1.735351	3.237335	41.84699

Variance Decomposition of CURVATURA:							
NIVEL	PENDIENTE	CURVATURA	TINT	INFLACIÓN	PBI	TC	IND_FIN
31.08048	3.255708	33.38799	0.517879	2.876284	0.595681	4.208291	24.07769

Fuente: Elaboración Propia

Los resultados del FEVD indican que las menores las variaciones son atribuibles a factores macroeconómicos, por lo que estos no son muy relevantes, debido al rezago que presentan con respecto a las variables financieras. Sin embargo, los factores financieros son más influyentes en horizontes de corto y mediano plazo (Pendiente y Curvatura).

10.7 Análisis de efecto asimétrico

Los recientes estudios muestran la existencia de efectos asimétricos ante distintos eventos. Así, se mostró que encontró que los inversores muestran una mayor aversión al riesgo en periodos de pérdidas, lo que lleva a una respuesta más fuerte a eventos negativos en comparación con eventos positivos. (Hwang, Satchell ,2010). Por otro lado, en los mercados emergentes responden de manera asimétrica a los cambios en la volatilidad. Específicamente, la volatilidad aumenta más en respuesta a eventos negativos que a eventos positivos, lo que sugiere una mayor sensibilidad a las noticias adversas (Bollerslev, Law y Tauchen, 2008).

En el presente trabajo se realiza un modelo con interacción de una variable dummy, para analizar eventos asimétricos de variables financieras cuando se desea examinar el efecto diferencial de un evento o condición en una variable dependiente, dependiendo de la presencia o ausencia de una característica específica representada por una variable dummy.

$$y = \beta_0 + \beta_1 X_1 + \beta_2 X_2 + \beta_3 X_2 * D + \varepsilon$$

Donde:

- y es la variable dependiente
- X es la variable independiente
- D es una variable dummy igual a 1, si el índice financiero es menor a 0, y 0 otro caso
- $\beta_0, \beta_1, \beta_2, \beta_3$ son coeficientes a estimar
- ε es el término de error.

En este modelo, el coeficiente β_3 representa el efecto asimétrico de la interacción entre la variable X y la variable dummy D en la variable dependiente Y . Si β_3 es significativo y diferente de cero, indica que hay una relación asimétrica entre X y Y dependiendo del valor de D .

Tabla 11 Estimación de coeficientes. Análisis de significancia

	NIVEL	PENDIENTE	CURVATUR	TINT	INFLACIÓN	PBI	TC	IND_FIN*DI	IND_FIN
NIVEL(-1)	0.769038 -0.07907 [9.72580]	0.180816 -0.08421 [2.14728]	0.549702 -0.20266 [2.71243]	0.116437 -0.0238 [4.89174]	0.121953 -0.04575 [2.66548]	0.130945 -0.60195 [0.21753]	-0.298398 -0.2998 [-0.99532]	-0.049985 -0.03253 [-1.53648]	-0.015778 -0.06851 [-0.23031]
PENDIENTE(-1)	-0.055118 -0.07445 [-0.74028]	0.3774 -0.07929 [11.0657]	0.199998 -0.19083 [1.04806]	0.053108 -0.02241 [2.36951]	0.087935 -0.04308 [2.04116]	0.052676 -0.56681 [0.09293]	-0.097614 -0.2823 [-0.34579]	-0.008202 -0.03063 [-0.26775]	0.011226 -0.06451 [0.17403]
CURVATURA(-1)	0.028312 -0.02176 [1.30100]	0.058957 -0.02318 [2.54396]	0.743145 -0.05578 [13.3238]	0.038219 -0.00655 [5.83406]	0.042849 -0.01259 [3.40289]	0.030949 -0.16567 [0.18681]	-0.075273 -0.08251 [-0.91229]	-0.014952 -0.00895 [-1.66996]	0.006116 -0.01885 [0.32439]
TINT(-1)	-0.004589 -0.07973 [-0.05755]	0.102715 -0.08491 [1.20976]	-0.031439 -0.20434 [-0.15386]	0.903238 -0.024 [37.6344]	-0.127892 -0.04613 [-2.77228]	-0.344549 -0.60695 [-0.56767]	-0.001389 -0.30229 [-0.00460]	-0.006483 -0.0328 [-0.19765]	0.004799 -0.06908 [0.06948]
INFLACION(-1)	0.041716 -0.04073 [1.02408]	-0.000263 -0.04338 [-0.00605]	0.012129 -0.1044 [0.11617]	0.060888 -0.01226 [4.96547]	0.983599 -0.02357 [41.7309]	0.253217 -0.3101 [0.81656]	0.045632 -0.15445 [0.29545]	0.032057 -0.01676 [1.91283]	0.031508 -0.03529 [0.89277]
PBI(-1)	0.010548 -0.00616 [1.71161]	-0.011012 -0.00656 [-1.67800]	-0.012492 -0.01579 [-0.79092]	0.003718 -0.00186 [2.00434]	0.00996 -0.00357 [2.79308]	0.768267 -0.04691 [16.3760]	-0.00634 -0.02337 [-0.27132]	0.003039 -0.00254 [1.19854]	0.011363 -0.00534 [2.12826]
TC(-1)	0.002833 -0.00832 [0.34055]	0.004114 -0.00886 [0.46443]	-0.01799 -0.02132 [-0.84383]	-0.00375 -0.0025 [-1.49747]	-0.001357 -0.00481 [-0.28199]	-0.046621 -0.06332 [-0.73623]	0.916177 -0.03154 [29.0492]	-0.002109 -0.00342 [-0.61632]	-0.00409 -0.00721 [-0.56757]
IND_FIN(-1)*Dum	0.075817 -0.10274 [0.73797]	0.0509 -0.10941 [0.46478]	0.0757 -0.26331 [0.28743]	0.15996 -0.03093 [5.17223]	0.20692 -0.05945 [3.48081]	0.012511 -0.78211 [0.01600]	-0.23562 -0.38953 [-0.60488]	0.887268 -0.04227 [20.9913]	0.094967 -0.08901 [1.06693]
IND_FIN(-1)	-0.003642 -0.04991 [-0.07296]	-0.1145 -0.05316 [-2.15383]	-0.2847 -0.12793 [-2.22516]	-0.120211 -0.01503 [-8.00041]	-0.07893 -0.02888 [-2.73291]	-0.477097 -0.37998 [-1.25557]	0.190644 -0.18925 [1.00736]	0.021885 -0.02054 [1.06568]	0.899445 -0.04324 [20.7988]
C	1.512256 -0.36025 [4.19781]	-2.02754 -0.38364 [-5.28495]	-4.030616 -0.92331 [-4.36538]	-0.293141 -0.10844 [-2.70313]	0.195634 -0.20845 [0.93853]	0.855996 -2.74248 [0.31212]	1.447102 -1.36589 [1.05946]	0.155076 -0.14821 [1.04630]	0.084165 -0.31211 [0.26966]

Fuente: Elaboración Propia.

Se observa que los coeficientes estimados de efectos asimétricos son distintos de cero. Sin embargo, los efectos positivos no son significativos, estos resultados coinciden en que los inversores y los mercados financieros tienden a mostrar una reacción más fuerte y duradera a los eventos negativos en comparación con los eventos positivos, afectando los componentes de pendiente y curvatura, que representan el corto y mediano plazo respectivamente. Esto puede ser atribuido a factores como la aversión al riesgo, la atención selectiva y el impacto psicológico de las malas noticias.



11. Resultados

Los hallazgos nos muestran que siguiendo con la metodología anteriormente expuesta, los principales resultados están acorde a los lineamientos de la hipótesis planteada. Primero, recordando la descomposición de varianza. Se concluye que, el PBI y el índice financiero son las variables más relevantes para el factor latente de nivel. En particular, para el PBI (7,18% vs. 1,75% pendiente y 0,59% curvatura). En este sentido, las variables de crecimiento económico, como el PBI que son variables de largo plazo relacionado al desarrollo económico, contribuyen a explicar el factor de largo plazo (nivel) de la curva de rendimiento.

Mientras que la tasa de interés y la tasa de inflación son más relevantes para el factor latente de pendiente (3,09% vs. 1,52% nivel y 0,51% curvatura) y (12,68% vs. 4,44% nivel y 2,87% curvatura), respectivamente. En este sentido, las variables que están relacionados con la política monetaria, como inflación y la tasa de interés, que son variables de corto plazo para tomar decisiones financieras de financiamiento e inversión y sustento en las reglas de política monetaria (regla de Taylor), contribuyen a explicar el factor de corto plazo (pendiente),

Por otro lado, el índice financiero es la variable de mayor relevancia para el factor de pendiente (41,84% vs. 9,86% nivel y 24,07% curvatura). En este sentido, las condiciones financieras que impacten en las variables tomadas para la construcción del índice financiero, que son de alta frecuencia y responde rápidamente a las condiciones económicas, serán relevantes para un entorno de estrés financiero o holgura financiera teniendo como mayor impacto al factor latente de corto plazo (pendiente).

12.0 Conclusiones

Encontramos evidencia de que nuestro índice financiero ayuda a mejorar el ajuste del modelo y a explicar una cantidad significativa de variación en los rendimientos de los bonos. Las condiciones financieras adversas disminuyen los factores de pendiente y curvatura para los rendimientos, ya que se espera una respuesta a los shocks en las variables financieras mediante una flexibilización de la política monetaria, que afecte la curva de rendimiento. Las descomposiciones de varianza demuestran que los factores financieros explican principalmente los movimientos en los segmentos corto y medio de la curva de rendimiento (hasta un 41% en la pendiente), mientras que los componentes macroeconómicos son los principales impulsores de la mayoría de los movimientos en la parte larga de la curva de rendimiento. Finalmente, la estimación de variables financieras que impactan en los mercados financieros, brindan información de los movimientos de la curva de rendimientos, a través de su impacto en sus factores latentes que lo determinan. Puede mejorar la elaboración de instrumentos financieros en el mercado de deuda, y mejorar la capacidad de pago del servicio de la deuda emitida en el mercado internacional, mejorando la reputación y confianza de los agentes económicos. Así mismo, los agentes económicos pueden implementar estrategias de inversión, a través de un empinamiento o aplanamiento de la curva de rendimiento, tomando mayor exposición en tramos más sensibles a estos movimientos en la curva de rendimiento. Para cobertura, cambiando la brecha de duración de sus activos y pasivos, reestructurando sus portafolios de inversión, para aprovechar los cambios en las tasas de interés, para ello es importante estimar las consecuencias de las fluctuaciones en variables financieras y macroeconómicas.

13.0 Referencias Bibliográficas

Ang, A. y Piazzesi (2003). A no-arbitrage vector autorregression of term dynamics. *Journal of Monetary Economics*, 754-767.

Ang, A. D. (2007). No arbitrage taylor rules. Working Paper.

Anthony Tu, C. Y.-H. (2018). A factor based approach of bond portfolio value- at-risk: The informational roles of macroeconomic and financial stress factors. *Journal of Empirical Finance*, 243-268.

Bernanke Ben, B. J. (2005). Measuring the Effects of Monetary Policy: A Factor-Augmented Vector Autoregressive (FAVAR) Approach. *Quarterly Journal of Economics*, 387-422.

Bliss, R. (1997). Movements in the term structure of interest rates. *Economic Review. Reserve Bank of Atlanta*, 16-33.

Bollerslev, Law,y Tauchen (2008). Risk, Jump and Diversification. *Journal of Econometrics*, 234-256.

Burger, J. D., & Warnock, F. E. (2007). Foreign Participation in Local Currency Bond Markets. *Review of Financial Economics*, 16(3), 291-304.

Calvo G., L. L. (1993). Capital Inflows and Real Exchange Rate Appreciation in Latin America: The Role of External Factors. MPRA Paper 7125, University Library of Munich, Germany.

Campbell, J. Y., & Shiller, R. J. (1991). Yield Spreads and Interest Rate Movements: A Bird's Eye View. *Review of Economic Studies*, 58(3), 495-514

Carrillo, G. y Montes. (2014). La curva de rendimientos y fluctuaciones macroeconómicas: El caso peruano. Universidad del Pacífico, Paper, Investigación Económica II.

Cochrane, J. H., & Piazzesi, M. (2005). Bond Risk Premia. *American Economic Review*, 95(1), 138-160.

Cortés, J. y.-F. (2008). Un modelo macroeconómico de la estructura. Documento de Investigación N° 2008-10.

Cortés, J. R.-F. (2008). Un análisis empírico de la estructura. Documento de Investigación N° 2008-07.

Cox, J. C. (1985). A theory of the term structure of interest. *Econometrica*, 385-407.

- Culbertson, J. M. (1957). The Term Structure of Interest Rates. *Quarterly Journal of Economics*, 71(4), 485-517.
- Dewatcher, H. y. (2006). Macro factors and the term structure of interest rate. *Journal of Money, Credit and Banking*, vol. 38, 119-140.
- Dewatcher H., L. L. (2014). Information in the yield curve: A macro-finance approach. National Bank of Belgium. Working Paper Research N°64.
- Diebold, F. y. (2002). Forecasting the term structure of government bond yield. *Journal of Econometrics*, 337-364.
- Diebold, M. P. (2005). Modeling bond yields in finance and macroeconomics. National Bureau of Economic Research Working Paper 11089
- Diebold, F. R. (2006). The macroeconomy and the yield: A dynamic latent factor approach. *Journal of Econometrics*, 309-338.
- Don, K. (2007). Challenges in macro-finance modeling . BIS Working Paper N°240.
- Eichengreen, B., & Gupta, P. (2016). Managing Sudden Stops. Policy Research Paper 7639, World Bank
- Estrella, A., & Mishkin, F. S. (1996). The Yield Curve as a Predictor of U.S. Recessions. *Current Issues in Economics and Finance*, 2(7), 1-6.
- Fabozzi, F. J. (2007). *Fixed Income Analysis* (2nd ed.). John Wiley & Sons.
- Fisher, I. (1930) *Theory of Interest, as determined by Impatience to Spend Income and opportunity to Invest it* (New York: Macmillan, 1930)
- Gürkaynak, R. S., Sack, B., & Wright, J. H. (2007). The U.S. Treasury Yield Curve: 1961 to the Present. *Journal of Monetary Economics*, 54(8), 2291-2304.
- Hicks, J. R. (1962). Liquidity. *Econometrica*, 30(1), 110-121.
- Hwang, Steven E. Satchell. (2010). How loss averse are investors in financial markets?. *Journal of Banking & Finance*, 2425-2438
- Iania, H. D. (November, 2009). An Extended Macro-Finance Model with Financial Factors. Working Papers of Department of Economics, Leuven ces09.19, KU Leuven, Faculty of Economics and Business (FEB), Department of Economics, Leuven
- Jia, C., Wang, Y., y Xiong, W. (2013). Social Trust and Differential Reactions of Local and Foreign Investors to Public News. NBER Working Papers 21075

Keynes, J. M. (1936). *The General Theory of Employment, Interest, and Money*. Palgrave Macmillan, 11-190.

Li, F. D. (2006). Forecasting the term structure of government bond yields. *Journal of Econometrics* 130, 337-364.

Malkiel, B. G. (1970). Expectations, bond prices, and the term structure of interest rates. *Quarterly Journal of Economics*, 84(2), 197-218.

MathWorks. *Apply State-Space Methodology to Analyze Diebold-Li Yield Curve Model*

Mishkin, F. S. (2019). *The Economics of Money, Banking, and Financial Markets* (12th ed.). Pearson.

Modigliani, F., & Sutch, R. (1966). Innovations in Interest Rate Policy. *American Economic Review*, 56(1/2), 178-197.

Modigliani, F., & Sutch, R. (1966). Debt management and the term structure of interest rates: An empirical analysis of recent experience. *Journal of Political Economy*, 569-589.

Nelson, C. y. Siegel (1987). Parsimonious modeling of yield curves. *The Journal of Business*. vol. 60, issue 4

Pereda, J. (2009). Estimación de la Curva de Rendimiento Cupón Cero para el Perú. *Revista de Estudios Económicos* N°17.

Piazzesi, A. A. (2003). A no arbitrage vector autoregression of term structure dynamics with macroeconomic and latent variables. *Journal of Monetary Economics* 50, 745-787.

Rodríguez, A. y Villavicencio J.. (2005). La formación de la curva de rendimientos en nuevos soles en Perú. Documento de Trabajo N° 239. Departamento de Economía de la Pontificia Universidad Católica del Perú.

Rudebusch, G. (2010). Macro finance models of interest rates and the economy. No 2010-01, Working Paper Series from Federal Reserve Bank of San Francisco

Svensson, L. E. O. (1994). Estimating and Interpreting Forward Interest Rates: Sweden 1992-1994. NBER Working Paper No. 4871. National Bureau of Economic Research.

Vayanos, D., & Vila, J.-L. (2009). A Preferred-Habitat Model of the Term Structure of Interest Rates. NBER Working Paper No. 15487. National Bureau of Economic Research

Rudebusch, G. y. (2003). A macro finance model of the term structure, monetary policy and the economy. Federal Reserve Bank of San Francisco, Working paper 2003-17.

Rudebusch, G. y. (1998). Policy rules for inflation targeting. National Bureau of Economic Research, Working paper 6512.

Shousha, S. (2007). Macroeconomic dynamics and the term structure of interest rates in emerging markets: The Brazilian case, Contemporary Studies in Economic and Financial Analysis, 547-579.

Svensson, L. (1995). Estimating and interpreting forward interest rates, Sveriges Riksbank Quarterly Review, 13-26

Tsuda, S. A. (2014). Tracking Global Demand for Emerging Market Sovereign Debt. IMF Working Paper No. 2014/039.

