

Curvas de Rendimiento de Bonos Corporativos para Paraguay: Un Marco de Referencia para la Valorización en Mercados Emergentes

Rodrigo Ruiz

*Superintendencia de Valores, Banco Central del Paraguay
Asunción, Paraguay*

Febrero 2026

Resumen

Este estudio presenta una metodología para construir curvas de rendimiento de bonos corporativos en el mercado de renta fija de Paraguay utilizando el modelo Nelson-Siegel-Svensson con restricciones jerárquicas por calificación crediticia. Si bien existen curvas de cupón cero soberanas para instrumentos del Paraguay y la práctica internacional típicamente adiciona diferenciales (spreads) de crédito para la valorización corporativa, la estimación de spreads permanece subjetiva porque los mercados de bonos corporativos carecen de un benchmark riguroso respaldado por una metodología económicamente consistente. Este trabajo combina técnicas establecidas en un marco diseñado para cubrir dicha brecha e integra de manera sistemática: (i) un solucionador de flujos basado en eventos que calcula rendimientos a partir de cronogramas reales de eventos corporativos en lugar de fórmulas aproximadas; (ii) una construcción robusta de anclas mediante medianas ponderadas de rendimientos por volumen y ponderados por madurez a través de tramos de plazo; y (iii) la corrección explícita de distorsiones en datos para asegurar que los bonos de menor calificación coticen consistentemente a mayores rendimientos que los de mayor calificación a lo largo de todos los vencimientos—principio fundamental del mercado de crédito que, en entornos con datos escasos, la estimación sin restricciones suele violar. La estructura de seis parámetros del modelo Nelson-Siegel-Svensson captura dinámicas de nivel, pendiente y curvatura y se adapta a los patrones de estructura temporal observados en mercados emergentes. Las curvas de rendimiento a la par se estiman para cada segmento moneda-calificación utilizando optimización con pérdida de Huber, penalizaciones de monotonicidad y suavizado mediante regresión isotónica. Las curvas resultantes—tanto rendimientos a la par para benchmarking de mercado como rendimientos cupón cero para aplicaciones de descuento—proporcionan referencias económicamente coherentes para la valorización de valores, la evaluación de riesgos y la supervisión regulatoria, y respaldan tanto decisiones de inversión como la formulación de políticas en el mercado de renta fija en evolución de Paraguay.

Palabras clave: Estimación de Curvas de Rendimiento, Modelo Nelson-Siegel-Svensson, Bonos Corporativos, Jerarquía de Calificaciones Crediticias, Curva de Rendimiento a la Par, Mercados Emergentes, Valorización Basada en Eventos, Pérdida de Huber, Optimización, Regresión Isotónica, método de Brent .

Índice

1. Introducción	4
2. Revisión de Literatura	5
3. Descripción de Datos y Análisis de Mercado	5
3.1. Fuentes de Datos	5
3.2. Panorama del Mercado	6
3.3. Características del Mercado	6
3.3.1. Selección y Clasificación de Datos	7
3.3.2. Patrones de Actividad de Negociación	7
3.3.3. Tipos de Instrumentos y Fundamento de Agrupamiento	8
4. Especificación del Modelo	8
4.1. Marco Nelson-Siegel-Svensson	8
4.2. Rendimientos a la Par	9
4.3. Restricciones de Jerarquía Crediticia	10
5. Metodología de Estimación	11
5.1. Cálculo de Rendimiento Basado en Eventos	11
5.1.1. Conceptos de Precio y Flujos	11
5.1.2. Solver de Rendimiento	11
5.2. Construcción de Puntos Ancla	12
5.2.1. Winsorización	12
5.2.2. Esquema de Ponderación	12
5.2.3. Rendimientos Mediana Ponderada	13
5.3. Optimización de Parámetros NSS	13
5.4. Refinamiento Post-Estimación y Construcción de Curvas	14
5.4.1. Rendimientos Cupón Cero: Salida Directa NSS	14
5.4.2. Rendimientos a la Par: Suavizado con Regresión Isotónica	14
5.5. Ajuste Jerárquico de Curvas	14
6. Resultados y Análisis	15
6.1. Curvas de Rendimiento Cupón Cero	15
6.2. Curvas de Rendimiento a la Par	17
6.3. Dinámica Histórica	18
6.3.1. Dinámica de Rendimientos en PYG	18
6.3.2. Dinámica de Rendimientos en USD	19
6.4. Comparación con Datos Brutos de Mercado	19
6.5. Relación entre Rendimientos a la Par y Cupón Cero	22
6.6. Resumen de Hallazgos Clave	23
7. Curvas de Referencia Publicadas y Guías de Uso	23
7.1. Tipos de Curvas y Consistencia	24
7.2. Aplicaciones de Curvas Cupón Cero	24
7.3. Aplicaciones de Curvas a la Par	24
8. Limitaciones y Recomendaciones	25
8.1. Limitaciones	25
8.2. Recomendaciones	26
9. Conclusión	26

A. Apéndice: Especificaciones Técnicas y Datos Suplementarios	29
A.1. Características del Mercado	29
A.1.1. Tratamiento de Instrumentos Cupón Cero	29
A.1.2. Concentración por Emisor	29
A.1.3. Actividad en Mercado Primario vs. Secundario	30
A.1.4. Actividad de Negociación a lo Largo de Vencimientos	31
A.1.5. Densidad de Transacciones por Calificación y Plazo	31
A.1.6. Frecuencia de Pago de Cupones	32
A.1.7. Tipos de Instrumentos por Sector	33
A.2. Notación y Definiciones	34
A.3. Solucionador o Solver de Rendimiento: Especificación Matemática	35
A.3.1. Principal en Circulación	35
A.3.2. Interés Devengado	35
A.3.3. Conversión de Precio	35
A.3.4. Método de Brent	35
A.4. Optimización NSS: Especificaciones Técnicas	35
A.4.1. Función de Pérdida de Huber	36
A.4.2. Penalización de Monotonidad	36
A.4.3. Ancla de Nivel	36
A.4.4. Restricción de Banda	36
A.4.5. Pesos de Penalización	36
A.4.6. Límites de Parámetros	37
A.5. Relación Rendimiento a la Par vs Cupón Cero: Reconciliación de Capitalización	37
A.6. Pruebas de Robustez Metodológica	38
A.6.1. Nelson-Siegel con Lambda Validado por Cross-Validation	38
A.6.2. Valor Fijo de Lambda	38
A.6.3. Agrupación de Grado de Inversión	38
A.6.4. Variaciones de Ventana Histórica	38
A.7. Análisis de Validación Macroeconómica	39

1. Introducción

Las curvas de rendimiento son herramientas fundamentales en el análisis de renta fija, ya que proporcionan una representación gráfica de la relación entre los rendimientos de los bonos y sus vencimientos. Sirven como benchmarks para valorar instrumentos, evaluar riesgo de crédito, gestionar portafolios y formular política monetaria. El Banco Central del Paraguay publica una curva soberana de cupón cero que resulta útil porque la práctica internacional típicamente agrega spreads de crédito para la valorización corporativa. Sin embargo, sin una referencia estandarizada, la estimación de spreads permanece subjetiva y el mercado de bonos corporativos carece de una curva de rendimiento de referencia establecida, respaldada por una metodología que garantice consistencia económica entre categorías de calificación crediticia.

Este estudio desarrolla un marco integral para estimar curvas de rendimiento de bonos corporativos en Paraguay utilizando el modelo Nelson-Siegel-Svensson (NSS). La metodología aborda tres desafíos críticos inherentes a la valorización de bonos en mercados emergentes: (i) el cálculo preciso de rendimientos en estructuras de bonos complejas con flujos irregulares; (ii) el ajuste robusto de curvas en presencia de datos de transacciones escasos y ruidosos; y (iii) la corrección de distorsiones en datos para asegurar que el riesgo de crédito se refleje adecuadamente en los diferenciales de rendimiento entre categorías de calificación.

El modelo NSS extiende el marco original de Nelson-Siegel incorporando un factor adicional de curvatura, lo que brinda mayor flexibilidad para capturar patrones de estructura temporal observados con frecuencia en mercados de bonos corporativos. Esta especificación de seis parámetros mantiene la interpretabilidad del modelo original—con factores que representan nivel, pendiente y curvatura—al tiempo que permite dinámicas más complejas de la estructura de plazos.

Si bien el NSS ofrece flexibilidad matemática para ajustar estructuras temporales complejas, una característica distintiva de la implementación de este estudio es la corrección explícita de distorsiones en datos que, de otro modo, producirían curvas económicamente inconsistentes. En mercados que funcionan adecuadamente, los rendimientos aumentan de forma monótona a medida que se deteriora la calidad crediticia: los bonos con calificación AAA deberían ofrecer rendimientos inferiores a los AA, que a su vez deberían rendir menos que los A, y así sucesivamente. Sin embargo, en mercados con liquidez limitada y negociación fragmentada, la estimación sin restricciones puede producir curvas que violan esta relación fundamental debido a que la escasez de datos, los outliers y transacciones idiosincráticas introducen ruido que distorsiona la estructura temporal estimada. Nuestro enfoque incorpora restricciones de spread mínimo y un ajuste jerárquico de curvas para corregir estas anomalías, asegurando que las curvas resultantes reflejen la realidad económica subyacente de la fijación de precios del riesgo de crédito.

El marco emplea un solucionador o solver de flujos basado en eventos que calcula rendimientos directamente a partir de cronogramas reales de eventos corporativos—incluyendo fechas de pago de cupones, cronogramas de amortización y términos de vencimiento—en lugar de depender de fórmulas aproximadas simplificadas. Este enfoque produce estimaciones de rendimiento más precisas, particularmente para bonos con estructuras de pago no estándar, comunes en el mercado paraguayo.

Este documento se organiza de la siguiente manera: la Sección 2 revisa la literatura relevante sobre modelación de curvas de rendimiento. La Sección 3 describe las fuentes de datos y presenta un análisis integral de las características del mercado. La Sección 4 presenta la especificación del modelo, incluyendo el marco NSS y las restricciones de jerarquía crediticia. La Sección 5 detalla la metodología de estimación. La Sección 6 presenta los resultados de aplicación con análisis en profundidad de las curvas estimadas. La Sección 7 aborda limitaciones y recomendaciones para trabajos futuros. La Sección 8 presenta enfoques alternativos explorados. La Sección 9 concluye.

2. Revisión de Literatura

La estimación de curvas de rendimiento ha sido un tema central en la investigación de renta fija desde el trabajo seminal de [Nelson & Siegel \(1987\)](#), quienes propusieron un modelo parsimonioso de tres factores capaz de capturar el nivel, la pendiente y la curvatura de la estructura temporal mediante funciones base con decaimiento exponencial. Este modelo ganó amplia adopción por su interpretabilidad y su capacidad para reproducir las formas típicas observadas en mercados de deuda pública—curvas con pendiente positiva, pendiente negativa, planas y con joroba.

[Svensson \(1994\)](#) extendió el marco de Nelson-Siegel agregando un segundo término de curvatura con un parámetro de decaimiento independiente, proporcionando flexibilidad adicional para ajustar formas de curva más complejas. El modelo Nelson-Siegel-Svensson (NSS) se ha convertido desde entonces en una herramienta estándar empleada por bancos centrales en todo el mundo, incluyendo el Banco Central Europeo ([Coroneo et al., 2008](#)), el Banco de Pagos Internacionales ([BIS, 2005](#)), y numerosas autoridades de mercados emergentes.

Sin embargo, la aplicación de estos modelos a mercados de bonos corporativos presenta desafíos adicionales que no aparecen en el análisis de deuda soberana. [Elton et al. \(2001\)](#) documentaron que los spreads de rendimiento corporativos reflejan no solo riesgo de default sino también efectos tributarios y primas de liquidez, lo que sugiere que las curvas corporativas exhiben dinámicas fundamentalmente diferentes a sus contrapartes gubernamentales. Su trabajo estableció fundamentos empíricos para relaciones mínimas de spreads de crédito entre categorías de calificación—hallazgos que informan la calibración de restricciones en este estudio.

En mercados emergentes, la estimación de curvas enfrenta dificultades particulares debido a liquidez limitada, datos de transacciones escasos y segmentación de mercado. [Diebold & Li \(2006\)](#) abogaron por técnicas de estimación robustas y procedimientos de validación cruzada para mitigar el sobreajuste en entornos con datos restringidos. Su análisis de vencimientos de mediano plazo, particularmente alrededor del plazo de 5 años, mostró que este segmento captura mejor el factor de “nivel” de la curva—hallazgo que motiva la selección de puntos ancla en nuestra metodología.

[Gürkaynak et al. \(2007\)](#) proporcionaron una guía integral sobre cotas (bounds) de parámetros y procedimientos de estimación para modelos de la clase Nelson-Siegel, estableciendo que valores de coeficientes fuera de ciertos rangos producen formas de curva económicamente implausibles. Sus recomendaciones informan los límites de optimización utilizados en este estudio.

[Gonçalves & Marques \(2016\)](#) aplicaron el marco de Nelson-Siegel al mercado corporativo de Brasil, demostrando su aplicabilidad en contextos latinoamericanos y resaltando la necesidad de una calibración cuidadosa de parámetros. Su trabajo proporcionó un precedente regional para el enfoque metodológico adoptado aquí.

Si bien existen curvas para instrumentos gubernamentales en Paraguay ([BCP, 2025c](#)), no hay trabajos previos que documenten una metodología rigurosa para construir curvas de rendimiento corporativas que aseguren consistencia económica entre categorías de calificación. Este estudio contribuye a la literatura al combinar el marco NSS con restricciones explícitas de jerarquía crediticia, estimación robusta mediante pérdida de Huber y cálculo de rendimientos basado en eventos.

3. Descripción de Datos y Análisis de Mercado

3.1. Fuentes de Datos

El conjunto de datos principal comprende registros a nivel transaccional provenientes de la Bolsa de Valores de Asunción (BVA), la única bolsa de valores de Paraguay. Los registros incluyen información detallada sobre ejecución de operaciones, características de los bonos, precios y riesgo de crédito para todas las transacciones de renta fija. Adicionalmente, los cronogramas de

eventos corporativos—que especifican fechas de pago de cupones, cronogramas de amortización y términos de vencimiento—se obtienen del registro de valores de la bolsa.

El análisis cubre una ventana de 36 meses desde enero de 2023 hasta diciembre de 2025, abarcando un período de relativa estabilidad macroeconómica en Paraguay tras la recuperación pospandemia. Este horizonte temporal proporciona profundidad suficiente para una estimación robusta, manteniendo relevancia respecto de las condiciones actuales del mercado.

3.2. Panorama del Mercado

La Tabla 1 presenta estadísticas resumen del mercado de renta fija de Paraguay durante el período de análisis. El mercado procesó 61.557 transacciones en 36 meses, promediando aproximadamente 1.710 transacciones por mes. El volumen total negociado alcanzó USD 5,54 mil millones, con un promedio mensual de USD 153,9 millones. Estas cifras reflejan un mercado de tamaño y actividad modestos pero suficientes para sustentar la estimación de curvas de rendimiento.

Cuadro 1: Estadísticas Resumen: Mercado de Renta Fija
Ene 2023 – Dic 2025

Estadística	Valor
Período de análisis	36 meses
Número de transacciones	61.557
Prom. de transacciones por mes	1.710
Volumen total negociado (USD)	\$5.540.851.227
Volumen promedio mensual (USD)	\$153.912.534
Número de emisiones de bonos únicas	1.103
Número de emisores	102
Número de monedas	2
Número de categorías de calificación crediticia	7

El mercado presenta 1.103 emisiones de bonos únicas de 102 emisores distintos, lo que indica una diversidad razonable en la base de emisores pese a los patrones de concentración discutidos más adelante. La negociación ocurre en dos monedas—guaraní (PYG) y dólares americanos (USD)—reflejando la naturaleza bimonetaria del sistema financiero paraguayo, donde los instrumentos denominados en dólares desempeñan un rol relevante debido a patrones históricos de dolarización y a preferencias de los inversores por diversificación cambiaria.

3.3. Características del Mercado

El mercado de valores paraguayo está dominado por instrumentos de renta fija, que representan aproximadamente 97 % del volumen total negociado. Las calificaciones crediticias siguen convenciones locales establecidas por la Superintendencia de Valores, con designaciones granulares (p. ej., AAA+, AAA, AAA-) estandarizadas en categorías amplias para fines de modelación: grado de inversión (AAA, AA, A, BBB), grado especulativo (BB, B) y categorías de incumplimiento o estrés financiero (C, D, E). Sin embargo, durante el período de análisis solo siete categorías (AAA hasta C) registraron negociación activa.¹

El mercado exhibe rasgos típicos de economías emergentes: base de emisores concentrada, liquidez limitada en el mercado secundario y actividad de negociación desigual a lo largo de los vencimientos. Estas características motivan las decisiones metodológicas descritas en secciones

¹Crucialmente, aunque estas categorías muestran actividad, no todas poseen liquidez suficiente o una gama de plazos lo bastante diversa como para cumplir criterios estrictos requeridos para la construcción de una curva de rendimiento robusta.

posteriores, particularmente el uso de técnicas de estimación robustas y la imposición explícita de restricciones.

3.3.1. Selección y Clasificación de Datos

Para la construcción de curvas de rendimiento, el conjunto de datos se filtra según los siguientes criterios:

- **Tipos de instrumentos:** bonos corporativos (Bono), bonos financieros (Bono Financiero), bonos subordinados (Bono Subordinado) y bonos cupón cero (Bonos Bursátiles de Corto Plazo o BBCP).²
- **Segmentos de mercado:** transacciones de mercado primario y secundario.³
- **Sectores:** todos los sectores excepto emisores de administración pública.

La madurez residual se clasifica en tramos de plazo discretos a intervalos de medio año desde 0,5 hasta 10 años. Esta segmentación agrega observaciones escasas en estimaciones de rendimiento más robustas y provee una grilla estandarizada para interpolación. La clasificación por plazo sigue:

$$\tau_i = \begin{cases} 0,5 & \text{si } t \leq 0,5 \\ 1,0 & \text{si } 0,5 < t \leq 1,0 \\ \vdots & \\ 10,0 & \text{si } t > 9,5 \end{cases} \quad (1)$$

donde t denota la madurez residual en años y τ_i representa el tramo de plazo asignado.

3.3.2. Patrones de Actividad de Negociación

Varias dimensiones de la actividad del mercado fundamentan la metodología de estimación de este documento:

Concentración por emisor. Los 10 principales emisores concentran 60,4% del volumen total negociado, predominando instituciones financieras. Esta concentración implica que ciertos segmentos calificación-plazo pueden estar influidos por efectos específicos de emisores, y motiva las técnicas robustas empleadas en la Sección 5. Estadísticas detalladas por emisor se presentan en el Apéndice A.1.2.

Estructura de mercado primario vs. secundario. El mercado secundario representa 79,5% de las transacciones pero solo 46,6% del volumen, mientras que el mercado primario captura 53,4% del volumen con apenas 20,5% de las transacciones. Esta asimetría refleja un comportamiento de *buy-and-hold* entre inversores institucionales, con una transacción promedio del mercado primario aproximadamente 3,9 veces mayor que las del mercado secundario. La metodología incorpora este patrón ponderando por volumen, lo que asegura que las transacciones de mayor tamaño tengan influencia apropiada en la construcción de anclas. Un análisis detallado por segmentos se presenta en el Apéndice A.1.3.

Distribución por vencimientos. La actividad se concentra fuertemente en el segmento de 1,5-5 años, con el plazo de 3 años como el de mayor actividad (aprox. 175 transacciones mensuales

²La inclusión de instrumentos cupón cero, pese a su baja participación de mercado (0,6% de las transacciones), se justifica por su contribución a la cobertura del extremo corto, donde los bonos con cupón pueden ser escasos. Véase el Apéndice A.1.1 para la justificación y estadísticas detalladas.

³Se excluyen las operaciones de reporto (repos) dado que representan transacciones de financiamiento con garantía, en lugar de compras al contado de bonos. La formación de precios en repos refleja condiciones del mercado monetario más que riesgo de crédito a plazo.

en PYG, 80 en USD). Los vencimientos más largos exhiben negociación crecientemente escasa: el segmento de 8+ años promedia menos de 25 transacciones mensuales por moneda, lo que implica menos de 6 transacciones por semana repartidas entre múltiples categorías de calificación. Esta escasez justifica el uso de técnicas de estimación robusta, ponderaciones que dan mayor peso a los plazos más largos y la interpolación suave del modelo NSS para cubrir los tramos sin observaciones. Estadísticas completas por vencimiento se presentan en el Apéndice A.1.4.

Cobertura calificación-plazo. Las categorías de grado de inversión muestran cobertura adecuada en la mayoría de tramos, con máxima densidad en el segmento A a 3 años en PYG (101 transacciones mensuales promedio). Las calificaciones especulativas tienen cobertura sustancialmente más escasa, promediando menos de 8 transacciones mensuales en la mayoría de tramos. La calificación C muestra una iliquidez casi total, haciéndola inadecuada para estimación de estructura temporal. Para USD, el segmento AAA tiene cobertura limitada (menos de 15 transacciones mensuales en la mayoría de plazos), lo que explica la disponibilidad intermitente de la curva AAA en USD. Un mapa de calor completo calificación-plazo se presenta en el Apéndice A.1.5.

Frecuencia de pago de cupones. La metodología estima curvas a la par asumiendo pagos trimestrales ($f = 4$). En la práctica de mercado, los cupones trimestrales representan 69,7% de todas las transacciones y 63,6% de las emisiones únicas, constituyendo la convención modal en el mercado corporativo paraguayo. La distribución completa de frecuencias se presenta en el Apéndice A.1.6.

3.3.3. Tipos de Instrumentos y Fundamento de Agrupamiento

El conjunto de datos abarca cuatro tipos de instrumentos: bonos (Bono), bonos financieros (Bono Financiero), bonos subordinados (Bono Subordinado) y bonos cupón cero (BBCP). Aquí, la variación de rendimientos entre sectores dentro de la misma calificación (hasta 450 puntos básicos para bonos BBB) excede sustancialmente las diferencias por tipo de instrumento dentro de sectores (típicamente por debajo de 150 puntos básicos). Esto sugiere que las calificaciones capturan el principal factor de riesgo sistemático, mientras que las distinciones por instrumento reflejan principalmente la composición sectorial de los emisores.

Dadas las restricciones de datos—muchas combinaciones sector-calificación promedian menos de 5 transacciones mensuales—la metodología agrupa todos los instrumentos con cupón, usando las calificaciones como estratificación primaria de riesgo. A medida que el mercado gane profundidad, refinamientos futuros podrían permitir estimaciones diferenciadas por sector. Comparaciones detalladas de rendimientos sector-por-instrumento se presentan en el Apéndice A.1.7.

4. Especificación del Modelo

4.1. Marco Nelson-Siegel-Svensson

El modelo Nelson-Siegel-Svensson (NSS) representa la curva de rendimientos cupón cero como una función del vencimiento mediante seis parámetros. El modelo extiende la especificación original de tres parámetros de Nelson-Siegel agregando un segundo término de curvatura, proporcionando flexibilidad adicional para capturar formas complejas, incluyendo patrones de doble joroba.

El NSS especifica la tasa cupón cero (spot) con capitalización continua al vencimiento τ como:

$$r(\tau; \boldsymbol{\theta}) = \beta_0 + \beta_1 \left(\frac{1 - e^{-\tau/\lambda_1}}{\tau/\lambda_1} \right) + \beta_2 \left(\frac{1 - e^{-\tau/\lambda_1}}{\tau/\lambda_1} - e^{-\tau/\lambda_1} \right) + \beta_3 \left(\frac{1 - e^{-\tau/\lambda_2}}{\tau/\lambda_2} - e^{-\tau/\lambda_2} \right) \quad (2)$$

donde $\boldsymbol{\theta} = (\beta_0, \beta_1, \beta_2, \beta_3, \lambda_1, \lambda_2)^\top$ es el vector de parámetros.

Cada parámetro de $\boldsymbol{\theta}$ tiene una interpretación económica específica que ayuda a comprender el comportamiento de la curva:

- β_0 (**Nivel**): Controla el nivel general de la curva. A medida que el vencimiento tiende a infinito, el rendimiento converge a β_0 . Este parámetro representa la tasa de equilibrio de largo plazo y desplaza la curva completa hacia arriba o abajo. Cuando β_0 aumenta, todos los rendimientos a lo largo del espectro de vencimientos aumentan proporcionalmente.
- β_1 (**Pendiente**): Determina la pendiente de la curva, particularmente en vencimientos cortos. Un β_1 negativo produce una curva con pendiente positiva (normal), mientras que un β_1 positivo produce una curva invertida. La suma $\beta_0 + \beta_1$ equivale a la tasa de interés de muy corto plazo en el límite cuando el vencimiento tiende a cero. Por tanto, β_1 captura el diferencial entre tasas de corto y largo plazo.
- β_2 (**Primera Curvatura**): Genera una joroba o un valle en vencimientos de mediano plazo. La ubicación de esta joroba está gobernada por λ_1 . Un β_2 positivo crea una joroba (los rendimientos suben y luego bajan), mientras que un β_2 negativo crea una *depresión* (los rendimientos disminuyen y luego aumentan). Este término permite capturar patrones característicos del *tramo medio* de la curva, que suelen observarse en curvas corporativas de crédito.
- β_3 (**Segunda Curvatura**): Agrega una segunda joroba o valle a un vencimiento diferente, gobernado por λ_2 . Esta flexibilidad adicional permite ajustar formas más complejas, como patrones de doble joroba que a veces se observan cuando distintos segmentos del mercado presentan dinámicas diferenciadas.
- λ_1, λ_2 (**Parámetros de Decaimiento**): Controlan la velocidad de decaimiento de los términos exponenciales y, por tanto, dónde se maximizan los efectos de curvatura. Valores menores concentran los efectos en vencimientos más cortos; valores mayores los desplazan hacia vencimientos más largos. Estos parámetros “sintonizan” el vencimiento en el que ocurren las jorobas o valles.

4.2. Rendimientos a la Par

Dada la curva cupón cero NSS, la función de descuento es:

$$D(\tau) = \exp(-r(\tau; \boldsymbol{\theta}) \cdot \tau) \quad (3)$$

La función de descuento utilizada aquí representa el valor presente de un pago unitario (p. ej., 1 PYG o 1 USD) a recibirse en el tiempo τ , derivada de la tasa cupón cero anualizada con capitalización continua $r(\tau)$. Esta forma exponencial es la piedra angular de la modelación de estructura temporal, ya que asegura un vínculo consistente y libre de arbitraje entre la curva de rendimientos y el precio de obligaciones (hipotéticamente) libres de riesgo a distintos vencimientos.

El rendimiento a la par $c(\tau)$ es la tasa de cupón a la cual un bono con vencimiento τ y frecuencia de cupones f cotiza a la par:

$$c(\tau) = \frac{1 - D(\tau)}{\sum_{i=1}^n \Delta_i \cdot D(t_i)} \quad (4)$$

donde t_i denota las fechas de pago de cupón, Δ_i es la fracción de año para el período i , y $n = f \cdot \tau$ es el número total de períodos de cupón.

Económicamente, el rendimiento a la par $c(\tau)$ definido en la Ecuación 4 es la tasa interna de retorno que iguala el valor presente de los flujos futuros de un bono—tanto cupones periódicos como el reembolso final de principal—con su valor nominal. En la Ecuación 4, el numerador

$(1-D(\tau))$ captura el valor presente de la “pérdida” o descuento del principal por el valor temporal del dinero. El denominador actúa como un factor de anualidad (o “DV01”), representando la suma de valores presentes de una secuencia de pagos unitarios de cupón durante la vida del bono. Determinar el rendimiento a la par de esta manera equivale a encontrar la tasa de cupón de equilibrio en la que el interés ganado por el inversor compensa exactamente la erosión del valor del principal a lo largo del tiempo. En el contexto paraguayo, este cálculo asume pagos trimestrales ($f = 4$), reflejando los patrones de liquidez y flujos observados en las transacciones del mercado secundario documentadas en la Sección 3.

Es importante notar que el modelo NSS produce fundamentalmente rendimientos cupón cero mediante la Ecuación 2, a partir de los cuales se derivan factores de descuento vía la Ecuación 3. Los rendimientos a la par, como se muestra en la Ecuación 4, se calculan luego como una función de estos factores de descuento. Esta relación secuencial—tasas cero primero, rendimientos a la par después—refleja el fundamento teórico de la modelación de estructura temporal, en la que las tasas spot constituyen la función de descuento *fundamental* a partir de la cual se derivan todas las demás medidas de rendimiento. La metodología de estimación (Sección 5) ajusta los parámetros NSS minimizando las desviaciones entre rendimientos a la par implícitos del modelo y rendimientos observados, pero los parámetros estimados definen simultáneamente tanto la curva cupón cero como la curva a la par. Ambas curvas sirven como tasas de referencia y proveen propósitos distintos pero complementarios en el análisis de renta fija.

4.3. Restricciones de Jerarquía Crediticia

Un principio fundamental de los mercados de crédito es que los bonos de menor calificación deben ofrecer mayores rendimientos para compensar a los inversores por el mayor riesgo de default. Formalmente, para cualquier vencimiento τ los rendimientos y deberían cumplir:

$$\text{Para rendimientos } y \in \{r, c\}: \quad y_{AAA}(\tau) < y_{AA}(\tau) < \dots < y_B(\tau) \quad (5)$$

En mercados con datos escasos, la estimación sin restricciones puede violar esta jerarquía debido a ruido muestral, outliers o transacciones no representativas. La metodología corrige estas distorsiones mediante dos mecanismos:

Restricciones de Spread Mínimo: Cada categoría de calificación debe mantener un spread mínimo por encima de la curva AAA. Estos spreads se calibran con base en evidencia empírica internacional. [Elton et al. \(2001\)](#) documentaron relaciones de spreads corporativos en mercados de EE.UU., mostrando que los spreads aumentan sistemáticamente con peores calificaciones incluso tras controlar por pérdidas esperadas por default. Según [Moody’s \(2024\)](#), las tasas acumuladas de default a cinco años para emisores AAA promedian por debajo de 0,5%, mientras que emisores con calificación B presentan tasas acumuladas que exceden 20% en el mismo horizonte.

Cuadro 2: Restricciones de Spread Mínimo sobre AAA

Calificación	Spread mínimo (pb)
AAA	0 (base)
AA	50
A	100
BBB	150
BB	200
B	250

Aplicación Secuencial de la Jerarquía: Las curvas se ajustan en orden de calidad crediticia (AAA primero, luego AA, etc.), con cada curva restringida a mantener al menos el spread

mínimo sobre AAA en cada punto de plazo.

5. Metodología de Estimación

Esta sección detalla el procedimiento de estimación para construir curvas de rendimiento corporativas. La metodología procede en cuatro etapas: (i) cálculo de rendimientos a nivel transaccional a partir de precios observados, (ii) construcción de puntos ancla robustos en cada plazo, (iii) ajuste del modelo NSS con optimización penalizada y (iv) aplicación de restricciones de jerarquía crediticia entre categorías de calificación. Para facilitar la lectura, un resumen completo de la notación matemática empleada se presenta en el Apéndice A.2.

5.1. Cálculo de Rendimiento Basado en Eventos

Una innovación clave de este trabajo es el cálculo de rendimientos a partir de cronogramas reales de eventos corporativos, en lugar de fórmulas aproximadas simplificadas. El rendimiento al vencimiento (YTM) se calcula para cada transacción a fin de obtener observaciones comparables entre bonos con distintas tasas de cupón, frecuencias de pago y vencimientos, resolviendo la tasa interna de retorno que iguala el precio *dirty* al valor presente de todos los flujos futuros.

5.1.1. Conceptos de Precio y Flujos

En el mercado, los precios de bonos suelen cotizarse como precio *clean* por 100 unidades de principal en circulación. Sin embargo, el cálculo de rendimientos requiere el precio *dirty* (también llamado *invoice price*), que es lo que el comprador efectivamente paga. El precio *dirty* equivale al precio *clean* más el interés devengado—la porción del próximo cupón que se ha acumulado desde la última fecha de pago.

Para bonos amortizables, donde parte del principal ya se ha reembolsado, el principal en circulación en un punto dado es menor que el valor nominal original. La metodología rastrea el principal en circulación a partir del cronograma real de amortización proveniente de eventos corporativos, asegurando un escalamiento de precio preciso.

Los eventos corporativos se extraen del registro de la BVA e incluyen:

- Pagos de intereses (fechas y montos de cupones)
- Pagos de amortización (redenciones de principal)
- Redención al vencimiento

Para cada bono, el cronograma de flujos se construye como:

$$CF_t = I_t + A_t \quad (6)$$

donde CF_t es el flujo total al tiempo t , I_t es el pago de intereses, y A_t es el pago de amortización (incluyendo el reembolso final del principal).

5.1.2. Solver de Rendimiento

Para cada transacción observada, el rendimiento efectivo anual \tilde{y} se obtiene resolviendo la ecuación de precios:

$$P_{dirty} = \sum_{i:t_i > t_s} \frac{CF_{t_i}}{(1 + \tilde{y})^{(t_i - t_s)/365}} \quad (7)$$

donde CF_{t_i} representa el flujo en t_i , t_s es la fecha de liquidación, y P_{dirty} es el precio *dirty* por 100 unidades de valor nominal original. La notación con tilde (\tilde{y}) distingue los rendimientos observados a nivel transaccional de las tasas implícitas de la curva estimada por el modelo.

El rendimiento nominal al vencimiento $y_i^{(f)}$ se deriva luego de \tilde{y} según la frecuencia de cupones f :

$$y_i^{(f)} = f \cdot \left[(1 + \tilde{y})^{1/f} - 1 \right] \quad (8)$$

Para bonos con cupones anuales ($f = 1$), $y_i = \tilde{y}$. El solucionador o solver utiliza búsqueda de raíces vía el método de Brent con cotas que se expanden dinámicamente para asegurar convergencia en una amplia variedad de combinaciones precio-rendimiento.

Los rendimientos a nivel transaccional (y_i) sirven como insumos para la construcción de anclas. La especificación matemática completa se presenta en el Apéndice A.3.

5.2. Construcción de Puntos Ancla

Los valores y_i calculados en la Sección 5.1.2 constituyen los insumos brutos para la estimación de la curva. En lugar de ajustar el NSS directamente a cada rendimiento transaccional, la metodología construye primero puntos ancla robustos en cada tramo de plazo. Este enfoque reduce la influencia de outliers y proporciona objetivos estables para el ajuste.

Los puntos ancla solo se construyen para tramos con al menos dos observaciones. Si bien muchos practicantes usan umbrales mayores (5 o 10 observaciones), este umbral menor es una restricción práctica necesaria en el mercado paraguayo. Como se documenta en la Sección 3 (Figura 8), ciertas combinaciones calificación-plazo-moneda tienen muy pocas observaciones, especialmente para bonos especulativos y vencimientos largos. Un umbral mayor excluiría demasiados tramos, dejando anclas insuficientes para una estimación significativa. Los tramos con datos insuficientes se excluyen del proceso de ajuste, y el modelo NSS interpola rendimientos en esos plazos.

5.2.1. Winsorización

Antes de computar rendimientos ancla, los valores y_i se winsorizan al rango percentil 10–90 dentro de cada tramo de plazo. La winsorización limita la influencia de valores extremos reemplazándolos por valores menos extremos en percentiles predefinidos.

$$y_i^w = \text{máx}(q_{10}, \text{mín}(q_{90}, y_i)) \quad (9)$$

donde y_i^w es el YTM winsorizado, y_i es el YTM original de la transacción i , y q_{10} , q_{90} son los percentiles 10 y 90 del YTM en ese tramo.

A diferencia del *truncamiento* (*trimming*), que elimina outliers, la winsorización los acota—bajando valores extremadamente altos al percentil 90 y subiendo valores extremadamente bajos al percentil 10. Esto preserva el tamaño muestral mientras reduce el impacto de transacciones potencialmente erróneas o no representativas.

5.2.2. Esquema de Ponderación

Para cada combinación de moneda, calificación y tramo de plazo, el rendimiento ancla se computa como una mediana ponderada de las observaciones winsorizadas. Este esquema refleja el principio de que transacciones más grandes y líquidas aportan señales de precio más confiables, mientras que observaciones en plazos largos—usualmente más escasas—reciben ponderación adicional para asegurar representación adecuada a lo largo del espectro de vencimientos.

Los pesos combinan consideraciones de volumen y madurez:

$$w_i = w_i^{vol} \cdot w_i^{mat} \quad (10)$$

El peso por volumen refleja la actividad negociada:

$$w_i^{vol} = \log(1 + V_i) \quad (11)$$

donde V_i es el volumen de la transacción i . El logaritmo cumple un rol importante: evita que unas pocas transacciones extremadamente grandes dominen completamente la estimación, mientras aún otorga peso adicional significativo a operaciones más grandes.⁴

El peso por madurez incrementa la ponderación de observaciones en plazos largos, típicamente más escasas, asegurando representación adecuada en todo el espectro:

$$w_i^{mat} = \min(1, \max(0,5, \tau_i)) \quad (12)$$

donde τ_i es la madurez residual (en años) de la transacción i . Vencimientos inferiores a 0,5 años reciben peso 0,5; vencimientos superiores a 1 año reciben peso 1.

5.2.3. Rendimientos Mediana Ponderada

Para cada combinación de moneda, calificación y tramo de plazo, el rendimiento ancla se computa como una mediana ponderada:

$$\bar{y}_\tau = \text{wmedian}(\{y_i^w\}_{i \in B_\tau}, \{w_i\}_{i \in B_\tau}) \quad (13)$$

donde \bar{y}_τ es el rendimiento ancla en el plazo τ , B_τ es el conjunto de transacciones en el tramo τ , y_i^w es el rendimiento winsorizado de la transacción i , y w_i es el peso asociado.

5.3. Optimización de Parámetros NSS

Los parámetros NSS $\theta = (\beta_0, \beta_1, \beta_2, \beta_3, \lambda_1, \lambda_2)$ se estiman minimizando una función objetivo penalizada que equilibra precisión de ajuste, suavidad de la curva y consistencia económica.

La función objetivo completa combina pérdida de Huber con términos de penalización:

$$\mathcal{L}(\theta) = \sum_{\tau} w_{\tau} \cdot L_H(\bar{y}_{\tau} - \hat{c}(\tau; \theta)) + \alpha_1 P_{mono} + \alpha_2 P_{level} + \alpha_3 P_{band} \quad (14)$$

donde \bar{y}_{τ} es el rendimiento ancla en el plazo τ , $\hat{c}(\tau; \theta)$ es el rendimiento a la par implícito del modelo, $L_H(\cdot)$ es la función de pérdida de Huber (definida abajo), $w_{\tau} = 1 + 2(\tau/\tau_{max})$ da mayor peso a plazos largos con τ_{max} como el plazo máximo de la grilla, y $\alpha_1, \alpha_2, \alpha_3$ son pesos de penalización calibrados para balancear ajuste y regularización. Los términos P_{mono} , P_{level} y P_{band} se definen en las subsecciones siguientes.

Pérdida de Huber. El criterio primario de ajuste utiliza pérdida de Huber (Huber, 1964), que es cuadrática para residuales pequeños y pasa a crecimiento lineal para residuales grandes, limitando la influencia de outliers comunes en datos transaccionales de mercados emergentes. Este enfoque sigue prácticas de bancos centrales, incluyendo el Bank of Canada (Bolder & Gusba, 2002) y el Bank of England (Anderson & Sleath, 2001).

Penalización de Monotonidad (P_{mono}). Un término de penalización desalienta curvas a la par no monótonas, reflejando la racionalidad económica de que los inversores exigen primas por plazo al asumir riesgo de duración en horizontes más largos (Diebold & Li, 2006).

Ancla de Nivel (P_{level}). Siguiendo a Diebold & Li (2006), quienes mostraron que los plazos intermedios capturan mejor el factor “nivel” de la curva, se incluye una penalización que centra la curva cerca del rendimiento observado en el plazo de 5 años.

⁴Sin transformación logarítmica, una transacción 100 veces mayor que el promedio tendría 100 veces más influencia; con logaritmo, su influencia se reduce proporcionalmente.

Restricción de Banda (P_{band}). Una penalización adicional previene que la curva extrapole más allá de rangos observados, mitigando sobreajuste.

Los parámetros se estiman utilizando el algoritmo L-BFGS-B con restricciones tipo caja (Diebold & Li, 2006; Gürkaynak et al., 2007). Las especificaciones matemáticas completas de penalizaciones, pesos calibrados y límites de parámetros se presentan en el Apéndice A.4.

5.4. Refinamiento Post-Estimación y Construcción de Curvas

Los parámetros NSS ajustados $\hat{\theta}$ obtenidos en la optimización de la Sección 5.3 producen rendimientos cupón cero y rendimientos a la par evaluados sobre una grilla estandarizada de 0,5 a 10 años con intervalos trimestrales. Sin embargo, estos dos productos reciben tratamientos de post-procesamiento diferentes para asegurar su usabilidad práctica.

5.4.1. Rendimientos Cupón Cero: Salida Directa NSS

Los rendimientos cupón cero se computan directamente de los parámetros ajustados usando la Ecuación 2. Estos rendimientos preservan la forma funcional exacta del NSS sin suavizado adicional. Este enfoque mantiene consistencia teórica: las tasas cero representan la base de la estructura temporal, y cualquier suavizado adicional distorsionaría la relación internamente consistente entre tasas spot, tasas forward y factores de descuento inherente al NSS. Los factores de descuento derivados de estas tasas satisfacen la condición de no-arbitraje por construcción.

5.4.2. Rendimientos a la Par: Suavizado con Regresión Isotónica

Para asegurar estructuras estrictamente no decrecientes, aplicamos regresión isotónica a los rendimientos a la par ajustados como refinamiento post-optimización. Esta técnica no paramétrica encuentra la secuencia monótona \hat{y}^{iso} que minimiza desviaciones cuadráticas respecto de los rendimientos ajustados:

$$\hat{c}^{iso}(\tau_1) \leq \hat{c}^{iso}(\tau_2) \leq \dots \leq \hat{c}^{iso}(\tau_K) \quad (15)$$

donde $\hat{c}^{iso}(\tau_j)$ denota el rendimiento a la par suavizado isotónicamente en el plazo τ_j , y K es el número de puntos de la grilla.

Siguiendo el marco de Barlow et al. (1972), el algoritmo resuelve violaciones locales de monotonidad—frecuentemente causadas por ruido de optimización o restricciones crediticias estrictas—agrupando puntos adyacentes en sus promedios ponderados. Este procedimiento regulariza la secuencia al resolver violaciones locales de monotonidad (mediante promedios ponderados de bloques adyacentes), preservando el nivel y la forma general de la curva, y asegurando que los rendimientos a la par finales sean débilmente crecientes con el plazo—propiedad necesaria para una valoración estable.

5.5. Ajuste Jerárquico de Curvas

Las curvas se ajustan secuencialmente en orden de calidad crediticia para aplicar la restricción de jerarquía:

Algorithm 1 Ajuste Jerárquico de Curvas de Rendimiento

- 1: **Entrada:** YTM por transacción $\{y_i\}$ por calificación, spreads mínimos $\{s_k\}$
- 2: **Salida:** Curvas de tasas spot $\{\hat{r}_k(\tau)\}$ y curvas de rendimiento a la par $\{\hat{c}_k(\tau)\}$ para cada calificación k
- 3: Construir anclas: $\bar{y}_{AAA}(\tau) \leftarrow \text{WeightedMedian}(\{y_i^w\}_{AAA})$
- 4: Ajustar curva AAA: $\hat{r}_{AAA}(\tau) \leftarrow \text{FitNSS}(\bar{y}_{AAA})$
- 5: $\text{base_curve} \leftarrow \hat{r}_{AAA}$
- 6: $\text{prev_curve} \leftarrow \hat{r}_{AAA}$
- 7:
- 8: **for** $k \in \{AA, A, BBB, BB, B\}$ **do**
- 9: Construir anclas: $\bar{y}_k(\tau) \leftarrow \text{WeightedMedian}(\{y_i^w\}_k)$
- 10: **for** cada ancla $\bar{y}_k(\tau)$ **do**
- 11: $\bar{y}_k(\tau) \leftarrow \text{máx}(\bar{y}_k(\tau), \text{base_curve}(\tau) + s_k)$ ▷ Piso a AAA + spread
- 12: **end for**
- 13: Ajustar curva: $\hat{r}_k(\tau) \leftarrow \text{FitNSS}(\text{anclas ajustadas})$
- 14: Aplicar regresión isotónica
- 15: Aplicar piso: $\hat{r}_k(\tau) \leftarrow \text{máx}(\hat{r}_k(\tau), \text{prev_curve}(\tau))$
- 16: $\text{prev_curve} \leftarrow \hat{r}_k$
- 17: **end for**
- 18:
- 19: **Derivar rendimientos a la par:** $\hat{c}_k(\tau) \leftarrow \text{ComputeParYield}(\hat{r}_k)$ para cada k

El algoritmo aplica dos restricciones complementarias: (i) cada curva debe exceder la curva base AAA por al menos el spread mínimo especificado en la Tabla 2, y (ii) cada curva debe exceder la curva inmediatamente precedente por al menos 50 puntos básicos. La restricción vinculante en cada plazo depende de cómo estén espaciadas las curvas—si los datos de mercado ya producen separación adecuada, las restricciones no se activan; si los puntos producen violaciones de jerarquía, las restricciones las corrigen.

6. Resultados y Análisis

Esta sección presenta las curvas cupón cero y a la par estimadas para el mercado de bonos corporativos paraguayo en diciembre de 2025. El modelo NSS genera tasas cupón cero (spot) como salida primaria (Ecuación 2), a partir de las cuales se derivan rendimientos a la par asumiendo cupones trimestrales (Ecuación 4). Las tasas cero proveen la función de descuento pura para flujos únicos, mientras que los rendimientos a la par ofrecen benchmarks intuitivos para nuevas emisiones con cupón.

6.1. Curvas de Rendimiento Cupón Cero

Los rendimientos cupón cero representan el retorno anualizado sobre bonos cupón cero hipotéticos, sirviendo como tasas de descuento fundamentales para valorización y análisis de riesgo (Hull, 2018; Tuckman & Serrat, 2011). La Figura 1 muestra las curvas estimadas por moneda y calificación.

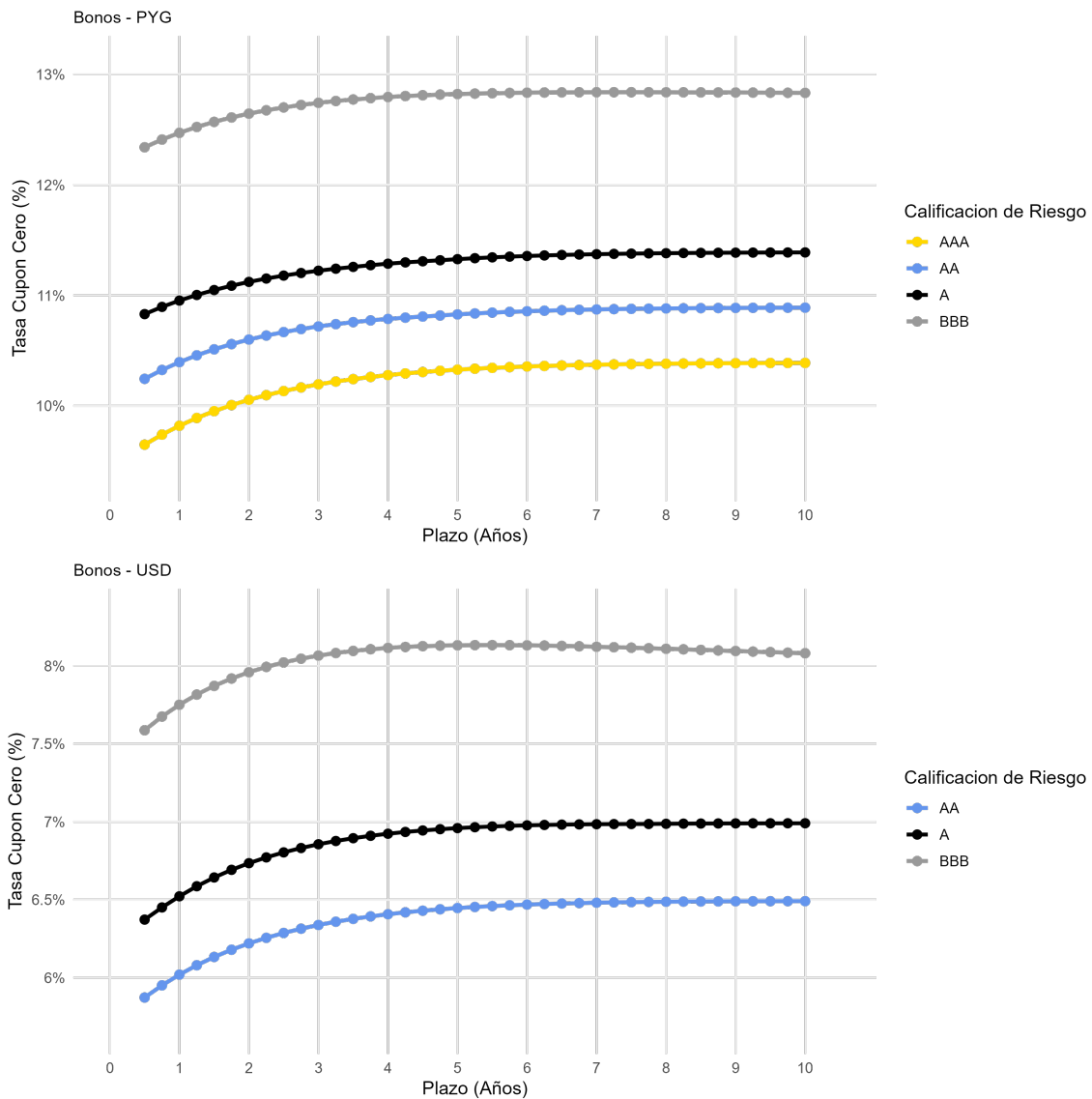


Figura 1: Curvas de Rendimiento Cupón Cero (Diciembre 2025).

Las curvas cupón cero en PYG exhiben un perfil moderadamente creciente, con el segmento AAA subiendo de 9,65 % (6 meses) a 10,39 % (10 años), un aumento de 74 pb. Calificaciones inferiores siguen patrones similares pero a niveles más altos: AA (10,24 %–10,86 %) y A (10,83 %–11,37 %) y BBB (12,34 %–12,83 %). Los spreads de crédito sobre AAA son más amplios en plazos cortos (p. ej., 265 pb para BBB a 1 año) y se comprimen levemente en el extremo largo (244 pb a 10 años), sugiriendo primas de crédito más cargadas al corto plazo. Todas las curvas en PYG se empujan con fuerza en el segmento 0,5–2 años y luego se aplanan sustancialmente más allá de 3 años, consistente con expectativas de inflación y condiciones de crédito estables a largo plazo.

Las curvas cupón cero en USD se ubican 430–470 pb por debajo de sus contrapartes en PYG en plazos medios a largos (p. ej., AA a 5 años: 6,45 % USD vs. 10,82 % PYG), reflejando primas por riesgo cambiario y depreciación esperada. Los spreads de crédito son materialmente más estrechos en USD (p. ej., BBB–AA \approx 168 pb a 5 años vs. 200 pb en PYG), atribuible a un pool de emisores USD más homogéneo y de mayor calidad (principalmente financieros y exportadores). Las curvas en USD también son más planas, con incrementos totales de solo 49–62 pb hasta 10 años, lo que puede reflejar una combinación de factores incluyendo concentración de emisores, limitada emisión USD de largo plazo y posible correlación con la estructura temporal

de los Treasuries de EE.UU.

6.2. Curvas de Rendimiento a la Par

Los rendimientos a la par indican la tasa de cupón a la cual un bono nuevo con cupones trimestrales cotizaría a la par, proporcionando una referencia práctica para emisores e inversores (Figura 2).

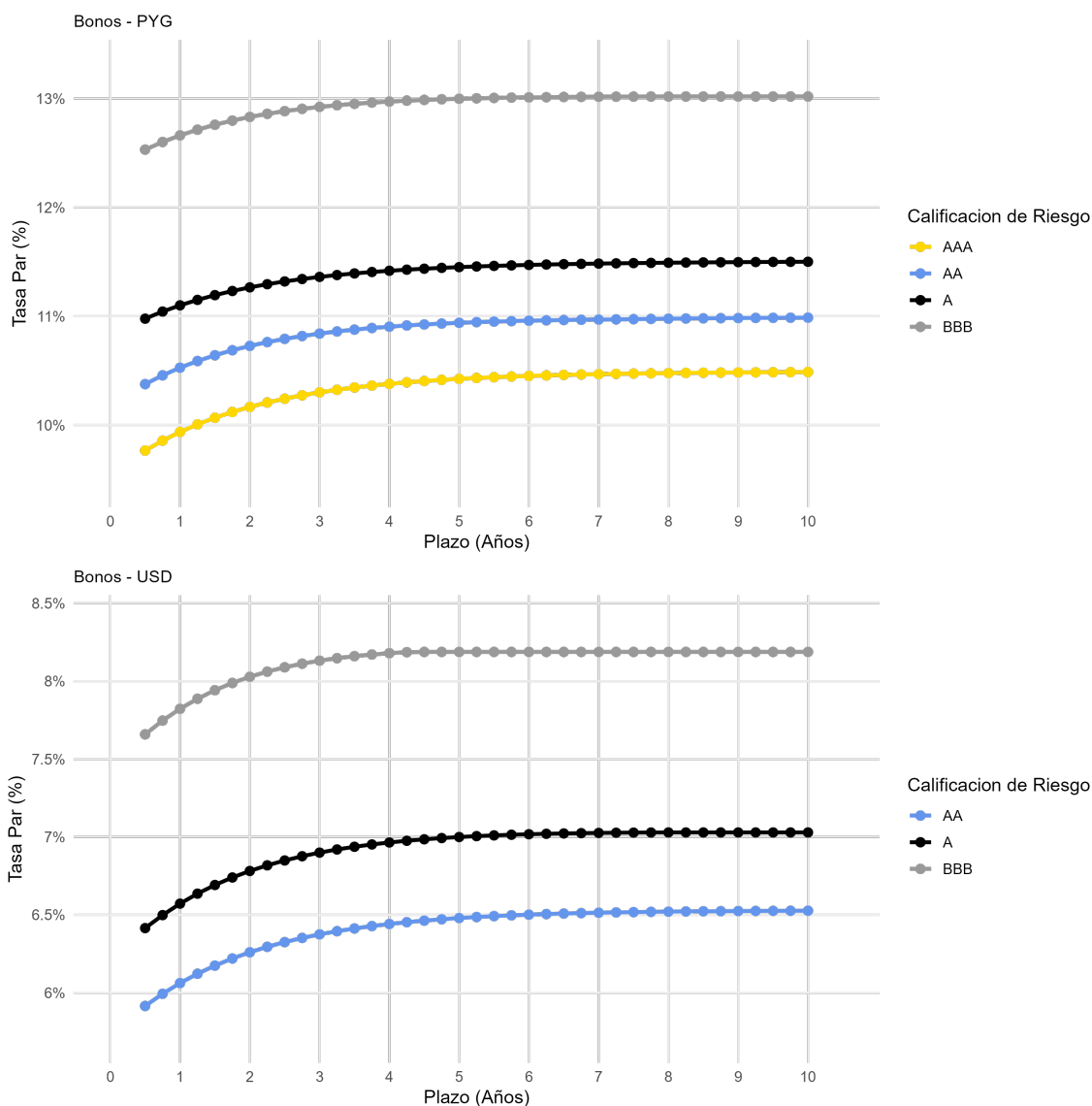


Figura 2: Curvas de Rendimiento a la Par por Calificación Crediticia (Diciembre 2025).

Para bonos en PYG, las curvas a la par siguen de cerca a sus contrapartes cupón cero, con AAA entre 9,76 % (6 meses) y 10,49 % (10 años) y pendientes similares para calificaciones inferiores. Los spreads a la par son marginalmente más amplios que los spreads cupón cero (típicamente 1–9 pb), un efecto pequeño pero sistemático derivado de reinversión trimestral de cupones en un entorno de curva creciente. El patrón de empinamiento al corto plazo permanece prominente, reflejando las curvas cupón cero.

Los rendimientos a la par en USD replican los niveles absolutos más bajos y la estructura crediticia más estrecha de las tasas cero en USD (p. ej., diferenciales a 5 años de 445–481 pb vs. PYG), con pendientes por plazo que difieren en menos de 5 pb respecto de las curvas cupón

cero. La casi equivalencia de relaciones par-cero entre monedas confirma que las primas por tipo de cambio y riesgo afectan consistentemente ambas representaciones.

6.3. Dinámica Histórica

La Figura 3 traza la evolución de rendimientos a 5 años por calificación desde enero de 2023 hasta diciembre de 2025, brindando evidencia sobre estabilidad y sensibilidad a condiciones de mercado.

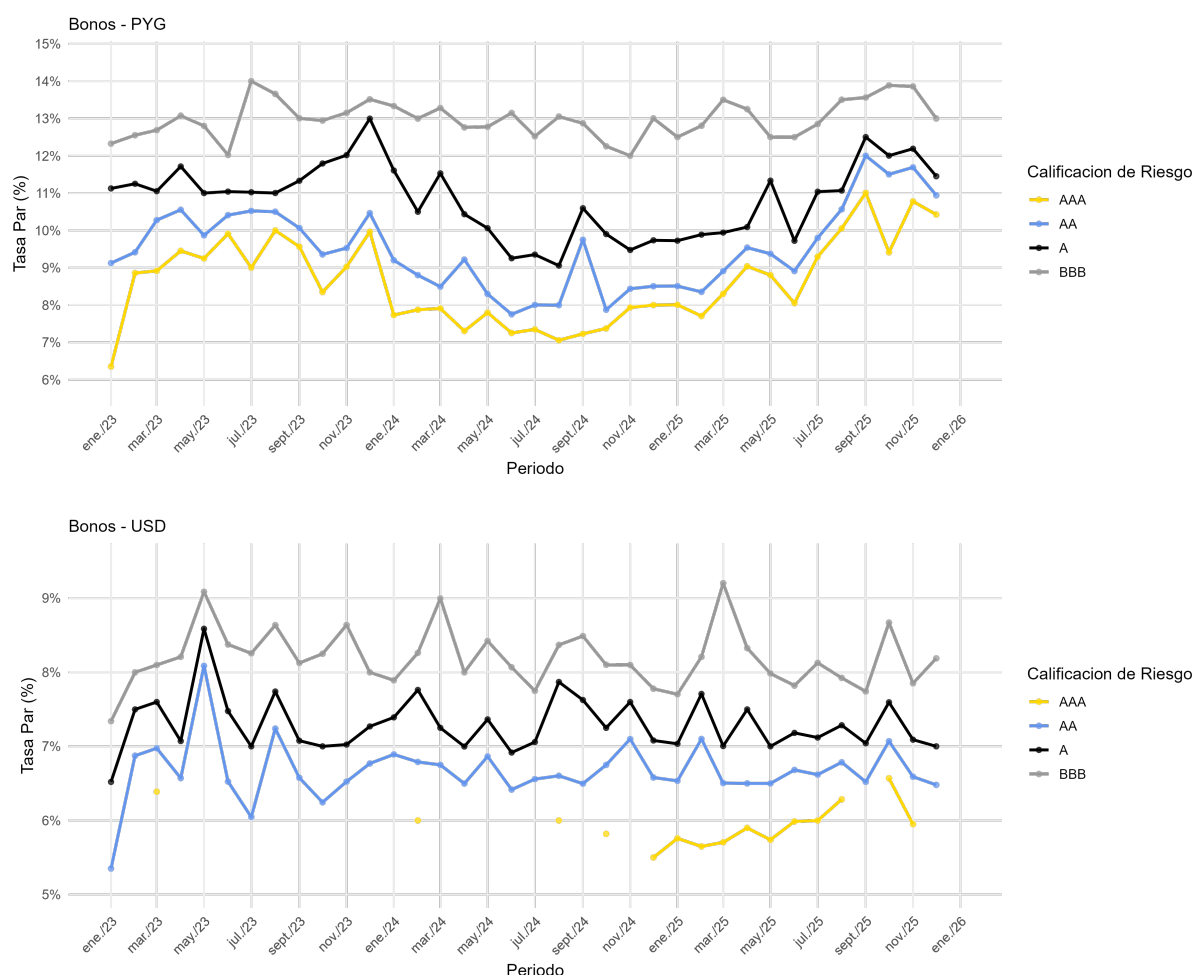


Figura 3: Evolución Histórica de Rendimientos a la Par a 5 Años (Ene 2023 – Dic 2025)

6.3.1. Dinámica de Rendimientos en PYG

El panel PYG (Figura 3) revela una respuesta clara a política monetaria y condiciones de crédito a lo largo de la muestra de 36 meses.

El rendimiento a la par AAA a 5 años demuestra una alineación dinámica robusta con el entorno de tasas financieras del mercado paraguayo, como se ilustra en la Figura 10 (ver Apéndice A.7). La serie inició en 6,35 % en enero de 2023, alcanzó un piso cíclico de 7,06 % en agosto de 2024, y llegó a un máximo de 11,01 % en septiembre de 2025 (BCP, 2025a). Esta trayectoria exhibe una correlación en dos fases: primero, acompañó el ciclo de relajación del BCP desde 8,50 % a 6,00 % hasta mediados de 2024 (BCP, 2025a); posteriormente, reflejó el endurecimiento de la liquidez del sistema bancario, donde las tasas activas subieron de 12,2 % en agosto de 2024 a más de 16 % a fines de 2025 (BCP, 2025b). Esta sincronización entre benchmarks confirma que las curvas estimadas reflejan verdaderos motores macroeconómicos y no artefactos

de ajuste, con una variación total de 466 pb que evidencia alta sensibilidad a ciclos crediticios más amplios.

El orden crediticio se mantiene estrictamente en todo el período: $BBB > A > AA > AAA$, sin cruces—una validación de las restricciones de jerarquía. Los spreads exhiben dos fases: un outlier temprano (597 pb BBB – AAA en enero de 2023) se comprimió rápidamente a 369 pb, seguido por negociación volátil (mediana 436 pb, desvío estándar 101 pb) hasta mediados de 2024. Desde agosto de 2024, los spreads se estrecharon de manera marcada, estabilizándose en una mediana de 283 pb hacia fines de 2025 (153 pb menos que la fase previa), lo que sugiere mejora en fundamentos BBB o maduración del mercado.

Todas las curvas co-varían en respuesta a factores comunes (correlación 0,462 entre rendimientos AAA y BBB), mientras que factores específicos de crédito generan dispersión significativa—consistente con alternancia de fases de *flight-to-quality* (vuelo hacia activos de mayor calidad y seguridad) y *risk-on* (apetito por riesgo) en el mercado corporativo paraguayo.

6.3.2. Dinámica de Rendimientos en USD

El panel USD muestra menor volatilidad que PYG, con rangos más estrechos y spreads comprimidos, reflejando características distintivas de la emisión en dólares en Paraguay.

La cobertura AAA en USD es intermitente a lo largo de la muestra, con solo 15 de 36 meses con datos suficientes para estimación. Cuando está disponible, el rendimiento a la par AAA a 5 años oscila estrechamente entre 5,50 % y 6,57 % (variación de 107 pb). Las restantes calificaciones de grado de inversión muestran cobertura continua: AA entre 5,35 % y 8,09 % (274 pb), A entre 6,52 % y 8,59 % (207 pb) y BBB entre 7,34 % y 9,20 % (186 pb). Estos rangos son sustancialmente menores que la variación AAA en PYG (466 pb), sugiriendo que rendimientos USD están parcialmente aislados de ciclos de política monetaria local y más anclados a condiciones globales de crédito en dólares.

La dispersión crediticia es marcadamente menor en USD que en PYG. El spread mediano BBB – AA de 149 pb contrasta con el BBB – AAA en PYG de 446 pb—una diferencia cercana a 300 puntos básicos. Esta compresión refleja el pool USD más homogéneo y de mayor calidad, compuesto principalmente por instituciones financieras y exportadores con ingresos naturales en dólares.

El orden crediticio se preserva estrictamente en todos los períodos con datos disponibles, sin cruces—validando las restricciones de jerarquía en el segmento USD también.

6.4. Comparación con Datos Brutos de Mercado

La Figura 4 superpone las curvas a la par ajustadas con los puntos ancla brutos (medianas ponderadas de rendimientos por volumen) en cada tramo de plazo. El tamaño de los puntos indica el número de observaciones en escala logarítmica, necesaria para visualizar la amplia variación de densidad (de 2 a 276 transacciones por tramo) sin ocultar puntos pequeños.

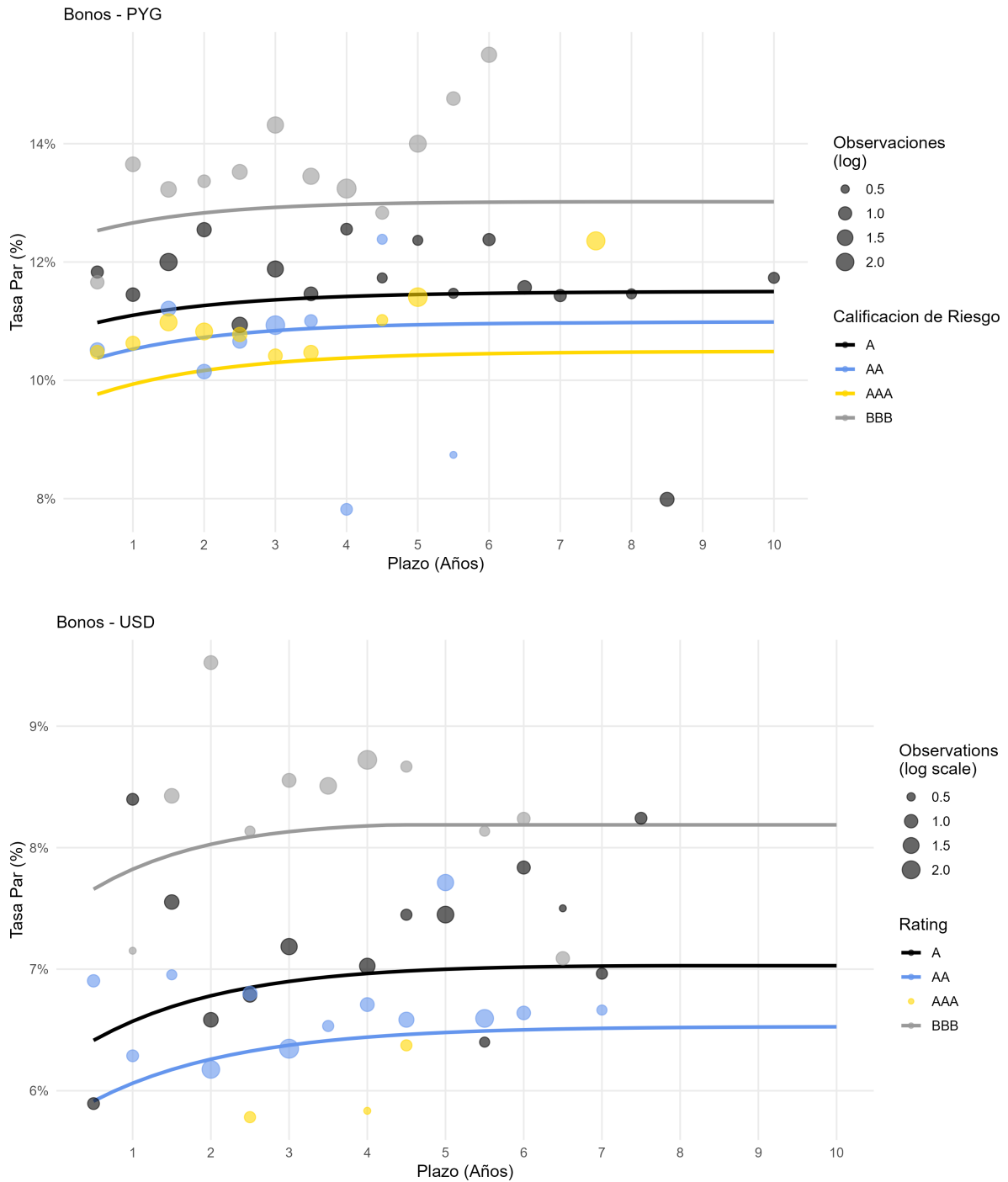


Figura 4: Curvas de Rendimiento Ajustadas vs. Puntos Ancla Brutos (Diciembre 2025)

La comparación revela varias características importantes del desempeño metodológico:

Ajuste cercano en segmentos con alta densidad. En el rango 0,5–5 años, donde los puntos ancla son más abundantes, las curvas ajustadas siguen de cerca los rendimientos empíricos. Para bonos en PYG, las curvas BBB y A pasan por o cerca de sus puntos ancla a lo largo de 0,5–6 años, con desviaciones típicas de 10–30 pb. Los puntos ancla más grandes en PYG aparecen para BBB a 4 años (276 observaciones), AA a 3 años (214) y AAA a 5 años (214), confirmando que la actividad se concentra en estos segmentos.

Suavizado de datos escasos. En el panel PYG, los anclajes AAA aparecen en 10 plazos distintos de 0,5 a 7,5 años, con recuentos por plazo entre 4 y 214 (mediana: 16). La calificación A

exhibe la cobertura de plazos más amplia con anclas en 17 vencimientos distintos hasta 10 años, aunque la densidad cae fuertemente más allá de 5 años (mediana: 6 observaciones por plazo). Las curvas ajustadas interpolan suavemente a través de huecos y proporcionan estimaciones estables incluso en vencimientos con datos limitados.

Características del mercado USD. El panel USD muestra cobertura AAA mucho más escasa, con anclas en solo 3 plazos (2,5, 4 y 4,5 años) y apenas 10 observaciones AAA en todo diciembre de 2025, mes en el que se observan dos violaciones de jerarquía en anclas A a 0,5 y 5,5 años. Esto refleja la alta concentración de emisión AAA en USD. Las curvas AA y A muestran mayor densidad (13–14 plazos cada una), con recuentos entre 2 y 204 por plazo. BBB agrupa anclas en 11 plazos con mediana de 9 observaciones, manteniendo cobertura razonable en 1–8 años.

Variación en densidad de datos. El tamaño de puntos revela gran variación de recuentos entre combinaciones calificación-plazo. Las observaciones totales en PYG por calificación son: AAA (571), BBB (565), AA (296) y A (250). Para USD: AA (494), BBB (283), A (187) y AAA (10). La diferencia dramática en AAA entre monedas—571 en PYG frente a 10 en USD—confirma que los emisores de máxima calificación prefieren denominación en moneda local, mientras que la emisión en dólares se concentra en créditos levemente inferiores pero con mayor inserción internacional.

Corrección de jerarquía. Los puntos ancla brutos muestran por qué es necesaria la imposición de restricciones. En diciembre de 2025 (PYG), ocurren varias violaciones de jerarquía en los anclajes brutos. La más notable: el ancla AA a 4 años cae a 7,82%—aproximadamente 260 pb por debajo de AAA en ese vencimiento. De forma similar, el ancla AA a 5,5 años (8,74%) y el ancla A a 8,5 años (7,99%) se ubican muy por debajo de niveles AAA. En el extremo corto, el ancla BBB a 0,5 años (11,66%) queda 17 pb por debajo del ancla A (11,83%). Estas anomalías probablemente reflejan negociación escasa en celdas específicas más que precios representativos. Las restricciones de jerarquía corrigen estas distorsiones, manteniendo el orden crediticio ($AAA < AA < A < BBB$) en todos los plazos.

La Tabla 3 cuantifica la frecuencia y magnitud de correcciones de jerarquía en ambas monedas. Para PYG, donde AAA es la base, 78% de las anclas AA y 59% de las anclas A requirieron ajuste al alza, con correcciones medianas de 88 y 45 pb, respectivamente. Notablemente, ninguna de las 12 anclas BBB requirió corrección—los precios en este segmento líquido respetan naturalmente la jerarquía.

Para USD, la ausencia de suficientes observaciones AAA requiere usar AA como base. Las correcciones son menos frecuentes: 50% de las anclas A requirieron ajuste (mediana 26 pb) y solo 18% de las anclas BBB (mediana 53 pb). Este patrón refleja un universo de emisores en USD más homogéneo y de mayor calidad, donde la formación de precios genera menos violaciones.

La asimetría entre monedas y calificaciones confirma que las restricciones atienden selectivamente distorsiones derivadas de la escasez de datos—concentrados en categorías altas en PYG con pocos emisores y colocaciones primarias dominadas por inversores institucionales—mientras preservan señales de mercado donde la liquidez es suficiente.

Cuadro 3: Activación de Restricciones de Jerarquía (Diciembre 2025)

Moneda	Base	Calif.	Spread mín.	Anclas	Corregidas	%	Mediana (pb)
PYG	AAA	AA	+50 pb	9	7	77,8	88
PYG	AAA	A	+100 pb	17	10	58,8	45
PYG	AAA	BBB	+150 pb	12	0	0,0	–
USD	AA	A	+50 pb	14	7	50,0	26
USD	AA	BBB	+100 pb	11	2	18,2	53

Nota: La calificación base es la curva de mayor calidad disponible para cada moneda. *Spread mín.* indica el spread mínimo requerido sobre la curva base. La corrección de la mediana se muestra solo para calificaciones con al menos una violación.

6.5. Relación entre Rendimientos a la Par y Cupón Cero

La Figura 5 presenta rendimientos a la par y cupón cero para diciembre de 2025, ilustrando su relación sistemática a lo largo de vencimientos y calificaciones.

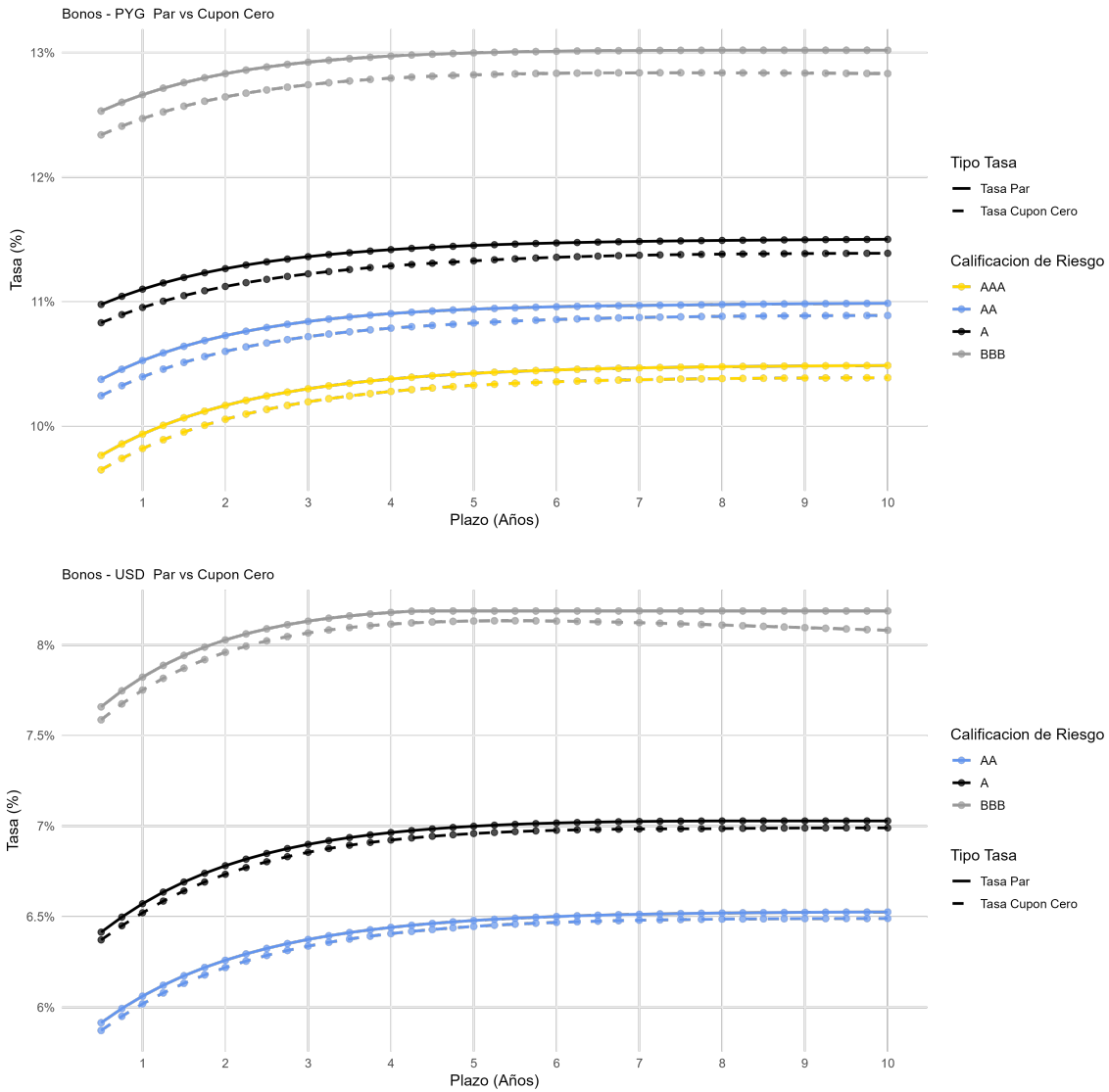


Figura 5: Comparación Rendimiento a la Par vs Cupón Cero (Diciembre 2025).

Los rendimientos a la par exceden sistemáticamente los rendimientos cupón cero en aproximadamente 10–19 pb para PYG y 3–11 pb para USD. Este diferencial no es una anomalía económica, sino que refleja convenciones de capitalización distintas: los rendimientos cupón cero están expresados con capitalización continua (estándar en modelos NSS y valorización de derivados), mientras que los rendimientos a la par representan tasas de cupón con capitalización trimestral consistentes con la convención local.

Cuando los rendimientos cupón cero se convierten a una base trimestral equivalente mediante $r_q = 4(e^{r_{cc}/4} - 1)^5$, se restablece la relación esperada para curvas crecientes—donde los rendimientos a la par quedan *por debajo* de las tasas cero por efectos de promediación de cupones. El diferencial aumenta con el riesgo de crédito (diferenciales BBB mayores que AAA) porque niveles de rendimiento más altos amplifican el efecto de conversión de capitalización. Este patrón confirma la consistencia interna del modelo. Un ejemplo numérico detallado se presenta en el Apéndice A.5.

6.6. Resumen de Hallazgos Clave

La estimación de curvas produce resultados económicamente coherentes a lo largo de monedas, calificaciones y períodos:

- **Efectos de moneda:** Los rendimientos en PYG exceden a los rendimientos en USD en 430–480 pb para calificaciones y plazos comparables, reflejando depreciación esperada, diferenciales de inflación y primas por riesgo cambiario incorporadas en bonos en moneda local.
- **Formas de estructura temporal:** Predominan curvas con pendiente positiva y empinamiento cargado al corto plazo (0,5–2 años), seguido por aplanamiento pronunciado más allá de 3 años. Este patrón es consistente en todas las calificaciones y refleja expectativas de estabilidad de largo plazo.
- **Relación par–cero:** Los rendimientos a la par exceden sistemáticamente a los cupón cero en 4–19 pb (PYG) y 3–11 pb (USD) debido a convenciones de cotización (trimestral vs continua). El diferencial aumenta con el riesgo de crédito por mayores niveles absolutos.
- **Validación metodológica:** La comparación con puntos ancla confirma que las curvas ajustadas siguen de cerca los rendimientos de mercado en segmentos líquidos (desviaciones típicas 10–30 pb), mientras corrigen violaciones de jerarquía observadas en datos brutos de diciembre de 2025 y suavizan ruido en plazos escasos.
- **Estabilidad temporal:** El orden crediticio se mantiene en la muestra de 36 meses (ene 2023–dic 2025), sin cruces. Los spreads muestran fases: outlier excepcional de enero de 2023 (597 pb), volatilidad sostenida hasta julio de 2024 (mediana 436 pb) y compresión hacia fines de 2025 (mediana 283 pb). Las curvas responden apropiadamente a desarrollos macroeconómicos, exhibiendo 466 pb de variación (AAA a 5 años) alineados al ciclo de política monetaria.

7. Curvas de Referencia Publicadas y Guías de Uso

La Superintendencia de Valores publica mensualmente curvas de referencia derivadas de esta metodología a través del sitio institucional del Banco Central del Paraguay. Se proveen tanto curvas cupón cero como curvas a la par para atender necesidades diferenciadas de participantes de mercado, entidades supervisadas y formuladores de política.

⁵donde r_{cc} denota la tasa cupón cero con capitalización continua y $r_{quarterly}$ su equivalente con capitalización trimestral

7.1. Tipos de Curvas y Consistencia

Se publican dos tipos de curvas para cada combinación calificación-moneda:

- **Rendimientos cupón cero:** Tasas spot con capitalización continua derivadas directamente de los parámetros NSS ajustados, preservando la forma funcional exacta del modelo. Factores de descuento, tasas forward y magnitudes derivadas mantienen consistencia teórica con los parámetros ajustados.
- **Rendimientos a la par:** Tasas de cupón con capitalización trimestral sujetas a suavizado isotónico, garantizando monotonidad a lo largo de plazos.

Ambos tipos no son *exactamente* consistentes: derivar rendimientos a la par desde los factores de descuento cupón cero publicados produce valores levemente distintos a los rendimientos a la par publicados. Estas diferencias son insignificantes—típicamente por debajo de 5 pb—y surgen únicamente del suavizado isotónico aplicado a rendimientos a la par (ver Apéndice A.5.)

7.2. Aplicaciones de Curvas Cupón Cero

Los rendimientos cupón cero se publican para cada categoría de calificación en PYG y USD, abarcando vencimientos de 6 meses a 10 años con intervalos trimestrales. Estas curvas sirven como tasas de referencia para:

- **Contabilidad de valor razonable (NIIF 9, NIC 39):** Instituciones financieras usan factores de descuento cupón cero para calcular valores presentes de flujos contractuales para mediciones de valor razonable. NIIF 9 requiere tasas de descuento observables de mercado; las curvas publicadas proporcionan referencias defendibles y auditables para este propósito (IASB, 2014).
- **Valorización y cobertura con derivados:** Swaps de tasas, *forward rate agreements* (acuerdos a plazo sobre tasas de interés, FRA) y opciones sobre bonos requieren curvas de descuento cupón cero para una valorización precisa. Participantes pueden utilizar las curvas publicadas como insumo de modelos, asegurando consistencia con precios observados de bonos corporativos.
- **Análisis de duración y convexidad:** Gestores de riesgo calculan duración modificada, duración de Macaulay y convexidad usando tasas cupón cero para medir sensibilidad a tasas. Estas métricas son esenciales para estrategias de inmunización y cálculos de VaR *Value at Risk*.
- **Valorización de pasivos de pensiones:** Aseguradoras y fondos de pensiones descuentan obligaciones futuras usando tasas basadas en mercado. Las curvas cupón cero publicadas proveen tasas apropiadas para medición de pasivos bajo NIIF 17 y marcos regulatorios locales.
- **Análisis de spreads de crédito:** Analistas descomponen rendimientos corporativos en tasas base soberanas más spreads comparando curvas corporativas cupón cero con curvas gubernamentales, facilitando evaluación de riesgo y análisis de valor relativo.

7.3. Aplicaciones de Curvas a la Par

Los rendimientos a la par se publican para las mismas combinaciones calificación-moneda-vencimiento y sirven funciones analíticas y de valorización especializadas:

- **Precio en mercado primario:** Emisores y colocadores usan curvas a la par para determinar tasas de cupón apropiadas en nuevas ofertas. Las curvas proporcionan rendimientos de consenso que guían discusiones de precio y aseguran competitividad relativa frente a valores en circulación.
- **Transparencia del mercado secundario:** Inversores y mesas de negociación referencian curvas a la par para evaluar si los precios transaccionales reflejan valor razonable. Desvíos materiales pueden indicar factores específicos del emisor, primas de liquidez o potencial desalineación.
- **Benchmarking de portafolios:** Administradores comparan rendimientos de portafolios contra benchmarks a la par para evaluar desempeño relativo e identificar oportunidades de mejora de rendimiento o reducción de riesgo.
- **Reportes regulatorios:** Entidades supervisadas citan rendimientos a la par al documentar metodologías de precio para presentaciones regulatorias, mejorando consistencia y comparabilidad entre instituciones.

Al proveer ambas curvas con metodología transparente, la Superintendencia busca mejorar la transparencia de mercado, apoyar prácticas sólidas de valorización y facilitar decisiones informadas en el mercado corporativo de Paraguay.

8. Limitaciones y Recomendaciones

El marco actual se desarrolló tras evaluar varios enfoques alternativos, incluyendo especificaciones Nelson-Siegel no extendidas con parámetros de decaimiento validados por cross-validation, valores fijos de lambda, estrategias de agregación de grado de inversión y distintas configuraciones de ventanas históricas. Cada alternativa mostró limitaciones—principalmente inestabilidad con datos escasos o incapacidad de mantener jerarquía crediticia—que motivaron el enfoque NSS adoptado con restricciones explícitas. Los detalles de estas alternativas y sus limitaciones se documentan en el Apéndice A.6.

8.1. Limitaciones

La metodología está sujeta a limitaciones inherentes al mercado emergente de bonos en Paraguay:

- **Negociación escasa:** Ciertas combinaciones calificación-moneda-plazo poseen pocas observaciones, particularmente para bonos especulativos (BB, B) y vencimientos largos (7+ años). Esto puede generar puntos ancla inestables o exigir mayor dependencia del modelo paramétrico para interpolación. Las curvas BB y B, aunque estimadas, deben interpretarse con especial cautela por limitaciones de datos.
- **Base de emisores concentrada:** Como se documenta en la Sección 3, pocos emisores grandes dominan la negociación en ciertos segmentos. Esta concentración implica que eventos específicos de emisores (cambios de calificación, refinanciaciones, noticias idiosincráticas) pueden afectar materialmente rendimientos estimados en segmentos impactados.
- **Segmentación de mercado:** El mercado paraguayo presenta segmentación por tipo de inversor y canal de distribución, lo que puede afectar la *formación de precios* y la comparabilidad de rendimientos entre transacciones. Los rendimientos del mercado primario pueden diferir sistemáticamente de los del secundario por primas de colocación o efectos de liquidez.

- **Escasez de observaciones:** Como se documenta en la Sección 3, ciertas combinaciones calificación-plazo-moneda tienen pocas transacciones. La metodología interpola rendimientos en esos plazos usando formas funcionales NSS, que pueden no reflejar perfectamente dinámicas idiosincráticas de oferta-demanda en vencimientos específicos.
- **Rezagos en calificaciones:** Las curvas publicadas dependen de calificaciones asignadas por agencias autorizadas. Los cambios de calificación pueden rezagarse respecto de desarrollos en la calidad crediticia, especialmente en deterioros rápidos. Los usuarios deben monitorear anuncios y ajustar valorizaciones en consecuencia.
- **Períodos de estrés:** La metodología asume un entorno “normal” de estructura temporal mediante imposición de monotonicidad, lo que garantiza pendiente positiva. Sin embargo, durante episodios de *restricción monetaria* pronunciada (ajuste contractivo) o de turbulencia de mercado, la curva puede invertirse naturalmente ($y_{\text{corto}} > y_{\text{largo}}$). Los usuarios deben interpretar resultados con cautela en periodos de estrés, pues el modelo podría requerir una relajación temporal de la restricción de monotonicidad para reflejar inversiones genuinas. Crucialmente, debe distinguirse entre la estructura temporal empírica y la jerarquía crediticia estructural. Mientras la pendiente puede variar con el ciclo, la restricción de jerarquía ($\hat{y}_{AAA} < \hat{y}_{AA} < \dots < \hat{y}_B$) debe permanecer innegociable en todos los plazos. Esto asegura que incluso durante shocks de liquidez o eventos de *flight-to-quality*, el modelo preserve el principio fundamental de que la deuda de menor calificación debe incorporar una prima de riesgo sobre la de mayor calificación a igual vencimiento.

8.2. Recomendaciones

Para mejorar la metodología y sus aplicaciones:

- **Granularidad sectorial:** Desarrollar curvas por industria (p. ej., agroganadería, manufactura y servicios, etc.) una vez que aumente la liquidez y emisión sectorial. Si bien la escasez actual exige un enfoque agregado para estabilidad, refinamientos futuros deberían aislar primas sectoriales hoy absorbidas en la curva corporativa general.
- **Modelación dinámica de spreads:** Implementar restricciones de spreads mínimos que varíen en el tiempo y respondan a condiciones de mercado y factores macro. Spreads fijos pueden ser demasiado restrictivos en estrés o demasiado laxos en condiciones benignas.
- **Marco de validación:** Establecer pruebas sistemáticas fuera de muestra usando transacciones retenidas para evaluar precisión de precios. Backtesting regular contra precios realizados cuantificaría el desempeño metodológico.

9. Conclusión

Este estudio presenta una metodología integral para estimar curvas de rendimiento de bonos corporativos en Paraguay utilizando el modelo Nelson-Siegel-Svensson con restricciones jerárquicas de crédito. El enfoque aborda desafíos clave de valorización en mercados emergentes mediante tres innovaciones: cálculo de rendimientos basado en eventos con cronogramas reales de flujos, construcción robusta de anclas mediante medianas ponderadas por volumen y corrección explícita de anomalías para garantizar el orden monótono por calidad crediticia en toda la estructura de plazos.

La metodología produce tanto rendimientos cupón cero (capitalización continua, salida directa NSS) como rendimientos a la par (capitalización trimestral, derivados de factores de descuento). Ambas representaciones, expresadas en la misma base de capitalización, producen la

relación teórica esperada en curvas crecientes donde el rendimiento a la par queda por debajo del rendimiento cupón cero, confirmando consistencia interna.

Las curvas estimadas para diciembre de 2025 revelan una estructura crediticia bien ordenada. Las curvas en PYG van desde 9,76 % (AAA a 6 meses) hasta 13,02 % (BBB a 10 años), con spreads que se amplían sistemáticamente a medida que las calificaciones empeoran. Las curvas en USD muestran rendimientos absolutos más bajos (5,87–8,19 % para AA a BBB) y spreads comprimidos (BBB-AA: 171 pb vs. PYG BBB-AAA: 253 pb), reflejando un perfil crediticio USD más fuerte y homogéneo—predominantemente instituciones financieras y exportadores con ingresos en dólares. Las curvas cupón cero exhiben patrones casi idénticos a niveles 4–19 pb por debajo de sus contrapartes a la par.

Las curvas presentan propiedades económicamente plausibles validadas por múltiples enfoques. Primero, tanto curvas a la par como cupón cero son crecientes con empinamiento al corto plazo (los rendimientos a la par suben 126 pb de 6 meses a 2 años para AAA y luego se aplanan a 44 pb de 2 a 10 años; las tasas cero muestran 135 pb y 38 pb, respectivamente). Segundo, el orden crediticio monótono se preserva en todos los vencimientos a lo largo de los 36 meses, sin cruces. Tercero, las curvas ajustadas siguen de cerca los datos en segmentos líquidos (desvíos 10–30 pb) mientras corrigen violaciones de jerarquía en segmentos escasos. Cuarto, la dinámica temporal se alinea a fundamentos macro: la variación de 466 pb en AAA a 5 años acompaña el ciclo de política y tasas bancarias.

Estas propiedades no están garantizadas por datos brutos. En diciembre de 2025 aparecen cuatro violaciones de jerarquía en anclajes brutos—incluyendo un ancla AA a 4 años de 7,8 %, muy por debajo de AAA. Las restricciones jerárquicas corrigen estas anomalías preservando ajuste empírico, produciendo curvas que satisfacen principios fundamentales aun con datos escasos.

Las curvas resultantes—tanto a la par como cupón cero—proporcionan benchmarks coherentes para valorización, gestión de portafolios y supervisión regulatoria. El marco se implementa en un pipeline mensual totalmente automatizado que procesa datos de transacciones, calcula rendimientos basados en eventos, construye anclas ponderadas, estima parámetros NSS con restricciones y produce estructuras completas para ambas representaciones en todas las combinaciones calificación-moneda.

Aunque la metodología está adaptada a características del mercado paraguayo—observaciones largas escasas, concentración de emisores y distorsiones ocasionales que requieren corrección—los principios subyacentes de estimación robusta, imposición de restricciones y valorización basada en eventos son aplicables a otros mercados emergentes con desafíos similares. Extensiones futuras pueden incorporar dinámicas de transición crediticia, modelos de pronóstico de spreads y marcos formales de validación usando muestras retenidas o errores de valorización transversal.

Referencias

- Anderson, N., & Sleath, J. (1996). A simple yield-curve model. *Bank of England Working Paper No. 48*. London, UK.
- Anderson, N., & Sleath, J. (2001). New estimates of the UK real and nominal yield curves. *Bank of England Working Paper*.
- Banco Central del Paraguay. (2025). Tasa de Política Monetaria. Recuperado de <https://www.bcp.gov.py/tasa-de-politica-monetaria>
- Banco Central del Paraguay. (2025). Anexo Estadístico del Informe Económico, Cuadro 31: Tasas efectivas de interés. Recuperado de <https://www.bcp.gov.py/web/institucional/anexo-estadistico>

- Banco Central del Paraguay. (2025). Curvas de Mercado. Recuperado de <https://www.bcp.gov.py/web/institucional/curvas-de-mercado>
- Barlow, R. E., Bartholomew, D. J., Bremner, J. M., & Brunk, H. D. (1972). *Statistical Inference Under Order Restrictions*. Wiley.
- Bank for International Settlements. (2005). Zero-coupon yield curves: Technical documentation. *BIS Papers No. 25*.
- Bolder, D. J., & Gusba, S. (2002). Exponentials, polynomials, and Fourier series: More yield curve modelling at the Bank of Canada. *Bank of Canada Working Paper 2002-29*.
- Coroneo, L., Nyholm, K., & Vidova-Koleva, R. (2008). How arbitrage-free is the Nelson-Siegel model? *ECB Working Paper Series No. 874*.
- De Pooter, M. (2007). Examining the Nelson-Siegel class of term structure models. *Tinbergen Institute Discussion Paper 2007-043/4*.
- Diebold, F. X., & Li, C. (2006). Forecasting the term structure of government bond yields. *Journal of Econometrics*, 130(2), 337–364.
- European Central Bank. (2008). A guide to Eurosystem staff macroeconomic projection exercises. ECB, Frankfurt, Germany.
- Elton, E. J., Gruber, M. J., Agrawal, D., & Mann, C. (2001). Explaining the rate spread on corporate bonds. *The Journal of Finance*, 56(1), 247–277.
- Gonçalves, A. B., & Marques, F. T. (2016). Brazilian term structure of interest rate modeling: A Nelson-Siegel approach. *Corporate Ownership & Control*, 14(1), 414–423.
- 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.
- Hagan, P. S., & West, G. (2006). Interpolation methods for curve construction. *Applied Mathematical Finance*, 13(2), 89–129.
- Huber, P. J. (1964). Robust estimation of a location parameter. *Annals of Mathematical Statistics*, 35(1), 73–101.
- Hull, J. C. (2018). *Options, Futures, and Other Derivatives* (10th ed.). Pearson, New York, NY.
- International Accounting Standards Board. (2014). *IFRS 9 Financial Instruments*. IFRS Foundation, London, UK.
- Moody's Investors Service (2024). *Annual Default Study: Corporate Default and Recovery Rates, 1920–2023*. [Press Release]. Disponible en: <https://www.moodys.com> (Accedido: 10 de enero de 2026).
- Nelson, C. R., & Siegel, A. F. (1987). Parsimonious modeling of yield curves. *The Journal of Business*, 60(4), 473–489.
- Rousseeuw, P. J., & Leroy, A. M. (1987). *Robust Regression and Outlier Detection*. Wiley.
- Svensson, L. E. (1994). Estimating and interpreting forward interest rates: Sweden 1992–1994. *NBER Working Paper No. 4871*.
- Tuckman, B., & Serrat, A. (2011). *Fixed Income Securities: Tools for Today's Markets* (3rd ed.). John Wiley & Sons, Hoboken, NJ.

A. Apéndice: Especificaciones Técnicas y Datos Suplementarios

A.1. Características del Mercado

A.1.1. Tratamiento de Instrumentos Cupón Cero

Los instrumentos cupón cero, incluyendo Bonos Bursátiles de Corto Plazo (BBCP), se incluyen en la estimación pese a su baja participación. Como se describe en la Tabla A-1, representan 0,67% de transacciones (414 observaciones) y 0,77% del volumen negociado en el período, con madurez promedio de 0,45 años. Su inclusión se motiva por dos consideraciones:

Primero, aportan observaciones valiosas de rendimientos en el extremo corto del espectro de vencimientos, donde los bonos con cupón pueden ser escasos. La madurez promedio de 0,45 años los ubica precisamente en el segmento sub-1-año, frecuentemente subrepresentado.

Segundo, la metodología basada en eventos maneja bonos cupón cero de forma natural. Un bono cupón cero es un caso especial donde el único flujo es el reembolso de principal al vencimiento. El solucionador o solver calcula correctamente la tasa de descuento que iguala el precio de compra con el valor presente de ese pago. La tasa de éxito del 100% en el cálculo de rendimientos para estas 414 transacciones confirma su compatibilidad.

Los rendimientos cupón cero se incorporan en la construcción de anclas en igualdad de condiciones con bonos con cupón, sujetos a los mismos procedimientos de winsorización y ponderación. Sus vencimientos cortos implican que influyen principalmente en la porción izquierda de las curvas.

Cuadro A-1: Estadísticas de Instrumentos Cupón Cero
Ene 2023 – Dic 2025

Estadística	Valor
Número de transacciones	414
Participación sobre transacciones totales	0,67%
Volumen negociado (Gs)	318 mil millones
Participación sobre volumen total	0,77%
Madurez promedio (años)	0,45
Tasa de éxito en cálculo de rendimientos	100%

A.1.2. Concentración por Emisor

La Figura 6 ilustra la concentración del volumen negociado entre emisores en el mercado corporativo.

Los principales emisores consisten principalmente en instituciones financieras (Sudameris Bank, Banco Itaú Paraguay, Banco GNB Paraguay, Banco Familiar, Banco Continental, Zeta Banco, Ueno Bank) y algunas corporaciones de telecomunicaciones (Telecel SAE) y agroindustria (Frigorífico Concepción, Grupo Vazquez).

Esta composición revela dos patrones. Primero, predominan emisores del sector financiero, consistente con necesidades recurrentes de fondeo y su rol como participantes frecuentes. Segundo, la base corporativa no financiera, aunque presente, sigue siendo relativamente delgada, con pocos nombres alcanzando volúmenes significativos. Los 92 emisores restantes comparten 39,6% del volumen, implicando una participación promedio de apenas 0,4%—reflejando una distribución altamente concentrada y una amplia dispersión de emisores con participación marginal y de menor liquidez.

Para la estimación de curvas, este patrón implica que ciertos segmentos calificación-plazo pueden estar dominados por pocos emisores, introduciendo potenciales efectos idiosincráticos. Las técnicas robustas de la Sección 5 buscan mitigar dichas influencias.

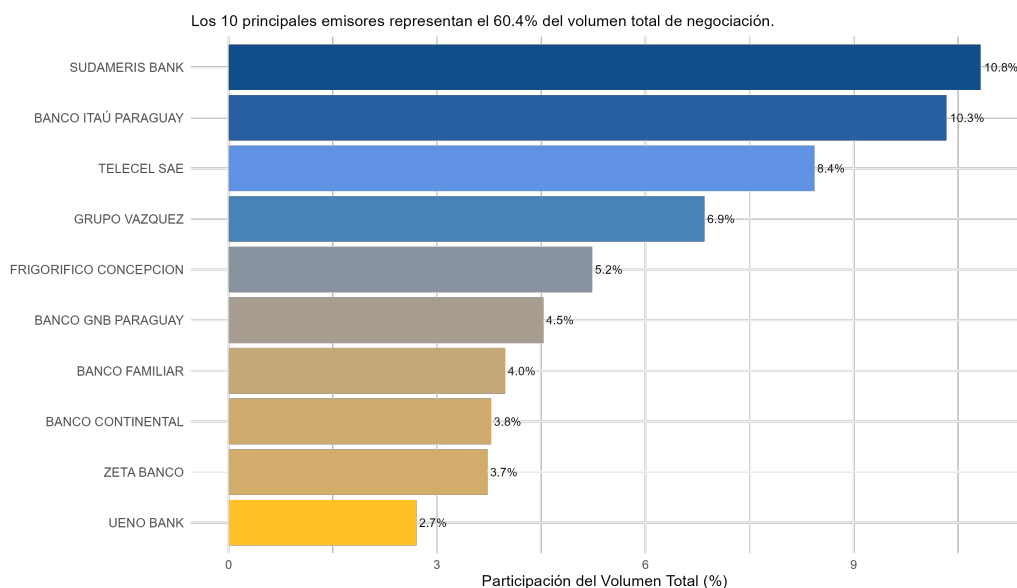


Figura 6: Concentración por Emisor: Top 10 Emisores por Volumen (Ene 2023–Dic 2025)

A.1.3. Actividad en Mercado Primario vs. Secundario

La Figura 7 presenta la distribución de actividad entre mercados primario y secundario.

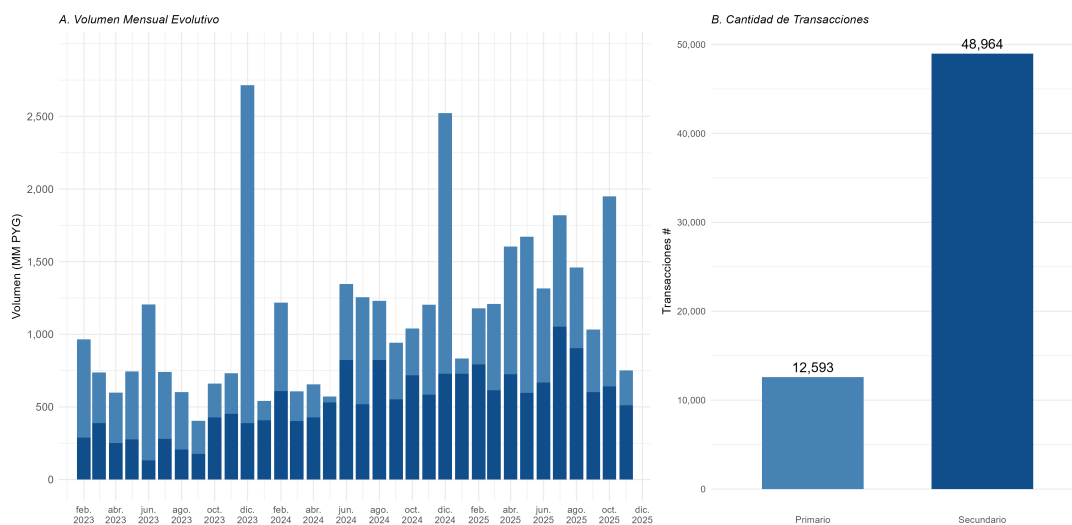


Figura 7: Actividad en Mercado Primario vs Secundario (Ene 2023 – Dic 2025)

El mercado secundario representa 79,5 % de las transacciones pero solo 46,6 % del volumen. En contraste, el mercado primario representa 20,5 % de transacciones y captura 53,4 % del volumen. Esta asimetría refleja diferencias fundamentales.

Las transacciones del mercado primario—nueva emisión—tienden a ser colocaciones institucionales grandes. Mientras el secundario es más activo en frecuencia (3,9 veces más transacciones), el primario se caracteriza por tamaños significativamente mayores. En promedio, una transacción primaria mueve aproximadamente 4 veces más capital que una secundaria, reflejando que inversores institucionales suelen mantener posiciones hasta vencimiento.

La actividad secundaria, en cambio, consiste en transacciones más numerosas pero pequeñas, asociadas a rebalances, necesidades de liquidez o posicionamiento táctico.

Este comportamiento tiene implicancias para estimación. Precios secundarios, aunque más frecuentes, pueden reflejar consideraciones de liquidez. La metodología pondera por volumen para asegurar que transacciones grandes—presuntamente más informativas—tengan influencia adecuada en anclas.

A.1.4. Actividad de Negociación a lo Largo de Vencimientos

La Figura 8 documenta la distribución de actividad a lo largo del espectro—tal vez la característica más relevante para la estimación.

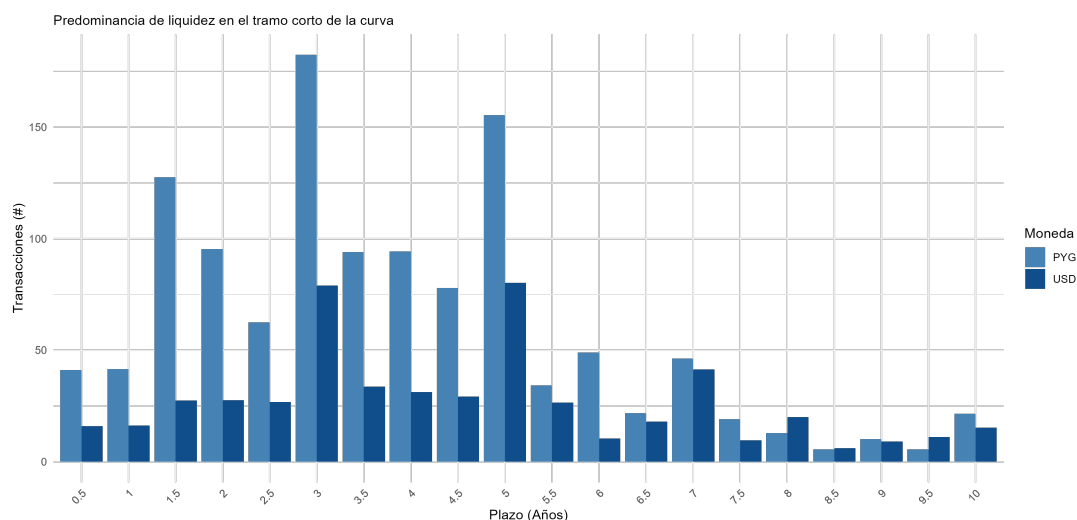


Figura 8: Promedio Mensual de Transacciones por Grupo de plazo (Ene 2023 – Dic 2025)

La actividad se concentra en 1,5–5 años. El plazo de 3 años es el más activo en PYG (aprox. 175 transacciones mensuales), seguido por 5 años (aprox. 155) y 1,5 años (aprox. 125). En USD, el pico se observa en 3 y 5 años con aprox. 80 transacciones mensuales cada uno. El extremo corto (0,5–1 año) tiene actividad moderada: 40–45 transacciones mensuales en PYG y 15–20 en USD.

Los vencimientos largos son crecientemente escasos. El segmento 6–7 años promedia 35–50 transacciones mensuales en PYG y 20–40 en USD, mientras que 8+ años cae a aprox. 5–25. En el extremo largo, promedios por debajo de 25 por moneda implican menos de 6 transacciones por semana repartidas entre calificaciones—un nivel de escasez que desafía enfoques convencionales.

Este patrón motiva: técnicas robustas, ponderación adicional a plazos largos y umbrales mínimos de observación que equilibran confiabilidad y disponibilidad.

A.1.5. Densidad de Transacciones por Calificación y Plazo

La Figura 9 presenta un mapa de calor de transacciones promedio mensuales en la grilla calificación-plazo.

Las mayores densidades ocurren en la categoría A a plazos medios, con A a 3 años en PYG alcanzando aprox. 101 transacciones mensuales—la mayor densidad de toda la grilla. BBB también muestra fuerte actividad, especialmente a 5 años (59) y 4 años (50). En general, el grado de inversión (AAA, AA, A, BBB) presenta cobertura adecuada, con variación.

En PYG, AAA muestra actividad concentrada en plazos específicos: 1,5 años promedia 72 transacciones mensuales y 5 años promedia 49, pero plazos intermedios son mucho más bajos (9–21). AA muestra actividad moderada con picos en 2 años (30) y 3 años (50).



Figura 9: Promedio Mensual de Transacciones por Calificación y plazo (Ene 2023 – Dic 2025)

Las calificaciones especulativas (BB, B) son más escasas. BB promedia menos de 8 transacciones mensuales en la mayoría de tramos, con pico a 5 años (7). B es aún menor (1–5) y varios tramos sin actividad.

En USD, el patrón difiere: A a 3 años es el más activo (41), seguido por AA a 5 años (33) y BBB a 5 años (23). AAA en USD tiene cobertura limitada, con la mayoría de plazos por debajo de 15 transacciones, explicando su disponibilidad intermitente.

La calificación C muestra iliquidez casi total en ambas monedas, con pocas transacciones aisladas, haciéndola inadecuada para estimación. En conjunto, el mapa destaca huecos en la grilla, subrayando la importancia de interpolación suave del NSS.

A.1.6. Frecuencia de Pago de Cupones

La Tabla A-2 documenta la distribución completa de frecuencias de pago.

Cuadro A-2: Distribución de Frecuencias de Pago de Cupones
Ene 2023 – Dic 2025

Frecuencia de Pago	% Transacciones	% Bonos	% Volumen
Trimestral (Quarterly)	69,7	63,6	46,7
Mensual (Monthly)	19,1	13,9	15,2
Semestral (Semi-annual)	8,0	13,0	32,5
Variable	1,3	5,2	0,5
Cupón Cero (Zero Coupon)	0,7	1,5	0,8
Bimestral (Bi-monthly)	0,6	0,5	0,2
Anual (Annual)	0,5	1,5	3,9
Bianual (Bi-annual)	0,2	0,7	0,1
Al Vencimiento (At Maturity)	0,0	0,3	0,2
Total	100,0	100,0	100,0

Los pagos trimestrales dominan: 69,7% de transacciones, 63,6% de bonos únicos y 46,7%

del volumen. La siguiente frecuencia más común es mensual (19,1%), seguida por semestral (8,0%). Por tanto, aunque mensual y semestral aportan actividad relevante, lo trimestral es la convención modal. Las curvas a la par son benchmarks; valorizaciones individuales pueden ajustarse a otras frecuencias.

A.1.7. Tipos de Instrumentos por Sector

La Tabla A-3 presenta rendimientos medianos para el segmento 2–5 años por calificación, sector y tipo de instrumento para bonos en PYG.

Cuadro A-3: Rendimientos Medianos por Sector y Tipo de Instrumento: PYG, Plazo Medio (2–5A)

Ene 2023 – Dic 2025

Calif.	Sector	Bono	Bono Fin.	Bono Sub.	Prom. Tr. Mes
AAA	Sector Financiero	6,40 %	7,71 %	8,16 %	14,0
	Servicios	10,56 %	—	—	59,8
AA	Agricultura	9,24 %	—	—	2,6
	Comercio al por Mayor	10,76 %	—	—	3,6
	Sector Financiero	—	9,11 %	8,52 %	49,2
	Servicios	8,32 %	—	—	1,5
A	Actividades Inmobiliarias	12,00 %	—	—	3,3
	Agricultura	11,59 %	—	—	41,4
	Comercio al por Mayor	10,97 %	—	—	53,9
	Ganadería	12,43 %	—	—	104,0
	Industria	9,87 %	—	—	18,7
	Sector Financiero	10,54 %	10,21 %	8,67 %	71,2
	Servicios	12,02 %	—	—	17,4
BBB	Actividades Inmobiliarias	14,20 %	—	—	5,9
	Agricultura	13,66 %	—	—	105,0
	Comercio al por Mayor	13,37 %	—	—	74,3
	Construcción	13,23 %	—	—	8,1
	Ganadería	14,22 %	—	—	6,3
	Sector Financiero	—	—	9,72 %	1,2
	Servicios	13,65 %	—	—	12,1

Nota: La columna “Prom. Tr. Mes” representa el promedio de transacciones mensuales en la muestra de 36 meses. En el sector financiero coexisten varios tipos de instrumentos con diferencias moderadas, mientras que la variación intersectorial dentro de la misma calificación es el principal determinante de spreads. Todos los rendimientos se expresan como Rendimientos Efectivos Anuales (EAY).

Dentro del sector financiero—el único donde coexisten varios tipos—las diferencias medianas van de 20 a 180 pb según calificación y plazo, con la mayoría por debajo de 150 pb. El rendimiento levemente mayor de Bono Subordinado frente a Bono Financiero en algunos casos (p. ej., 146 pb en AAA) es consistente con subordinación en liquidación.

En contraste, la variación intersectorial dentro de la misma calificación es mayor. Para bonos A en PYG, los rendimientos medianos van de 9,87 % (Industria) a 12,43 % (Ganadería)—256 pb. Para BBB, el rango intersectorial alcanza 450 pb. La dominancia de sectores primarios se refleja en recuentos, donde Ganadería y Agricultura tienen mayor densidad (104,0 y 105,0 transacciones mensuales promedio para A y BBB).

A.2. Notación y Definiciones

Esta sección establece la notación matemática. Distinguiamos cuidadosamente entre rendimientos observados por transacción, tasas spot implícitas del modelo y rendimientos a la par derivados.

Cuadro A-4: Resumen de Notación Matemática

Símbolo	Definición
<i>Salidas del Modelo</i>	
$r(\tau; \boldsymbol{\theta})$	Tasa spot (cupón cero) con capitalización continua al vencimiento τ
$D(\tau)$	Factor de descuento: $D(\tau) = \exp(-r(\tau; \boldsymbol{\theta}) \cdot \tau)$
$c(\tau)$	Rendimiento a la par al vencimiento τ (capitalización trimestral)
$\hat{r}_k(\tau)$	Curva spot ajustada para la categoría k
$\hat{c}_k(\tau)$	Curva a la par ajustada para la categoría k
<i>Rendimientos a nivel transaccional</i>	
\tilde{y}	Rendimiento efectivo anual (EAY) resuelto desde el precio de transacción
$y_i^{(f)}$	Rendimiento al vencimiento para transacción i con frecuencia f
y_i	YTM por transacción (abreviatura de $y_i^{(f)}$)
y_i^w	YTM winsorizado para transacción i
<i>Puntos Ancla</i>	
\bar{y}_τ	Punto ancla: mediana ponderada por volumen de $\{y_i^w\}$ en τ
B_τ	Conjunto de transacciones en el tramo de plazo τ
<i>Parámetros del Modelo</i>	
$\boldsymbol{\theta}$	Vector NSS $(\beta_0, \beta_1, \beta_2, \beta_3, \lambda_1, \lambda_2)^\top$
$\hat{\boldsymbol{\theta}}$	Vector de parámetros estimados
β_0	Parámetro de nivel (rendimiento de largo plazo)
β_1	Parámetro de pendiente (spread de corto plazo)
β_2, β_3	Parámetros de curvatura
λ_1, λ_2	Parámetros de decaimiento
s_k	Spread mínimo para calificación k sobre AAA
<i>Optimización</i>	
$\mathcal{L}(\boldsymbol{\theta})$	Función objetivo
$L_H(\cdot)$	Función de pérdida de Huber
e	Residual: $e = \bar{y}_\tau - \hat{c}(\tau)$
w_i	Peso de transacción: $w_i = w_i^{vol} \cdot w_i^{mat}$
$\hat{c}^{iso}(\tau)$	Rendimiento a la par suavizado isotónicamente
<i>Tiempo y Estructura</i>	
τ	Tiempo al vencimiento (años)
t_s	Fecha de liquidación
t_i	Fecha de pago del flujo i
f	Frecuencia de cupones (pagos por año)
Δ_i	Fracción de año del período i
CF_t	Flujo de caja al tiempo t
P_{dirty}	Precio <i>dirty</i> por 100 unidades de valor nominal

La notación sigue convenciones estándar: r denota tasas spot (Diebold & Li, 2006), c denota rendimientos a la par y letras griegas denotan parámetros estimados. Sombreros ($\hat{\cdot}$) indican valores ajustados, barras ($\bar{\cdot}$) indican medidas de tendencia central, y tildes indican estimaciones

a nivel transaccional.

A.3. Solucionador o Solver de Rendimiento: Especificación Matemática

Este apéndice provee el marco matemático completo para el cálculo de rendimientos basado en eventos.

A.3.1. Principal en Circulación

Para bonos amortizables, el principal en circulación a la fecha de liquidación t_s es menor que el nominal original por amortizaciones previas. Sea $\{A_t\}$ la secuencia de pagos de amortización registrada en el cronograma de eventos, expresada como porcentajes del nominal original. El principal en circulación por 100 unidades de nominal original es:

$$P_{out}(t_s) = 100 - \sum_{t \leq t_s} A_t \quad (16)$$

donde la suma incluye todos los pagos de amortización realizados en o antes de t_s . Para bonos bullet (sin amortización intermedia), $P_{out}(t_s) = 100$ durante toda la vida.

A.3.2. Interés Devengado

El interés devengado representa la porción devengada del próximo cupón desde la última fecha de pago hasta la liquidación. Sea t_{prev} la fecha de pago más reciente en o antes de t_s , y t_{next} la próxima fecha programada. Si I_{next} es el monto del cupón en t_{next} (por 100 unidades de nominal original), el interés devengado se calcula con interpolación lineal:

$$AI(t_s) = I_{next} \cdot \frac{t_s - t_{prev}}{t_{next} - t_{prev}} \quad (17)$$

Esta convención lineal es consistente con la base Actual/365 utilizada en el mercado paraguayo.

A.3.3. Conversión de Precio

Los precios se cotizan como precios *cleans* por 100 unidades de principal *en circulación*. Para calcular rendimientos, requerimos el precio *dirty* por 100 unidades de valor nominal *original*:

$$P_{dirty} = P_{clean} \cdot \frac{P_{out}(t_s)}{100} + AI(t_s) \quad (18)$$

donde P_{clean} es el precio *clean* por 100 en circulación.

A.3.4. Método de Brent

Se resuelve y usando el método de Brent, un algoritmo robusto que combina bisección, secante e interpolación cuadrática inversa. Para asegurar convergencia bajo condiciones amplias (incluyendo deuda en deterioro o de alto rendimiento), el solucionador o solver emplea cotas dinámicas: inicializa un intervalo $[l, u]$. Si $f(l)$ y $f(u)$ tienen el mismo signo (no se encierra raíz), expande iterativamente ($l = l - 0,5$, $u = u + 0,5$) hasta detectar cambio de signo o alcanzar límite. Una vez encerrada la raíz, converge con tolerancia de 1×10^{-5} .

A.4. Optimización NSS: Especificaciones Técnicas

Este apéndice provee especificaciones matemáticas completas para la optimización NSS descrita en la Sección 5.3.

A.4.1. Función de Pérdida de Huber

La pérdida de Huber se define como:

$$L_H(e) = \begin{cases} \frac{1}{2}e^2 & \text{si } |e| \leq k \\ k \cdot (|e| - \frac{1}{2}k) & \text{si } |e| > k \end{cases} \quad (19)$$

donde $e = \bar{y}_\tau - \hat{c}(\tau; \boldsymbol{\theta})$ es el residual entre el ancla y el rendimiento a la par implícito. El punto de transición k se fija en 1,345 veces la desviación absoluta mediana de los anclajes, un umbral estándar robusto que logra 95% de eficiencia relativa a OLS bajo normalidad, con mayor protección ante outliers.

A.4.2. Penalización de Monotonidad

La penalización de monotonidad se define como:

$$P_{mono}(\boldsymbol{\theta}) = \sum_{j=1}^{M-1} [\text{máx}(0, -\Delta\hat{c}_j)]^2 \quad (20)$$

donde $\Delta\hat{c}_j = \hat{c}(\tau_{j+1}) - \hat{c}(\tau_j)$ es el cambio entre puntos adyacentes, M es el número de puntos de la grilla, y $j \in \{1, \dots, M-1\}$. Se evalúa en una grilla densa y penaliza cualquier descenso del rendimiento al aumentar el vencimiento.

Este enfoque se apoya en literatura de ajuste con restricciones de forma. [Hagan & West \(2006\)](#) discuten monotonidad como propiedad deseable en interpolación, señalando que curvas no monótonas pueden producir tasas forward implausibles. [De Pooter \(2007\)](#) examina regularización en modelos de la clase Nelson-Siegel.

A.4.3. Ancla de Nivel

La penalización de ancla de nivel centra la curva cerca de rendimientos observados en 5 años:

$$P_{level}(\boldsymbol{\theta}) = (\hat{c}(5; \boldsymbol{\theta}) - \bar{y}_{5Y})^2 \quad (21)$$

donde \bar{y}_{5Y} es la mediana del ancla observada cerca de 5 años. Se elige 5 años según [Diebold & Li \(2006\)](#), quienes mostraron que plazos medios capturan mejor el factor “nivel”.

A.4.4. Restricción de Banda

La restricción de banda previene extrapolación fuera de rendimientos observados:

$$P_{band}(\boldsymbol{\theta}) = \sum_{\tau} [\text{máx}(0, \hat{c}(\tau) - q_{90} - 0,01)^2 + \text{máx}(0, q_{10} - 0,01 - \hat{c}(\tau))^2] \quad (22)$$

donde q_{10} y q_{90} son percentiles 10 y 90 de anclajes observados. El buffer de 1% permite extrapolación moderada evitando formas extremas.

A.4.5. Pesos de Penalización

Los pesos en la función objetivo (Ecuación 14) se calibran como:

Cuadro A-5: Calibración de Pesos de Penalización

Símbolo	Término	Peso
α_1	Monotonicidad (P_{mono})	1.000
α_2	Ancla de nivel (P_{level})	5.000
α_3	Restricción de banda (P_{band})	1.000

Los pesos se seleccionaron vía análisis de sensibilidad para balancear precisión y cumplimiento de restricciones. Los resultados son robustos a variaciones dentro de un orden de magnitud—multiplicar o dividir cualquier peso por hasta 10 produce resultados cualitativamente similares.

A.4.6. Límites de Parámetros

Los parámetros se estiman usando L-BFGS-B con restricciones tipo caja:

Cuadro A-6: Límites de Parámetros para Optimización NSS

Parámetro	Límite inferior	Límite superior
β_0	$0,9 \cdot y_{min}$	$1,1 \cdot y_{max}$
β_1	-0,10	0,10
β_2	-0,10	0,10
β_3	-0,05	0,05
λ_1	0,5	8,0
λ_2	1,0	15,0

Los límites de β_0 son dependientes de datos, fijados en 0,9–1,1 del rango observado. Los límites de β_1 , β_2 y β_3 excluyen valores que producirían formas extremas raramente observadas. Los límites de λ aseguran dinámicas plausibles, con curvaturas concentradas en vencimientos razonables.

A.5. Relación Rendimiento a la Par vs Cupón Cero: Reconciliación de Capitalización

Los rendimientos a la par exceden a los cupón cero en 3–18 pb (Tabla A-7). Esta aparente anomalía refleja convenciones distintas de capitalización, no inconsistencia económica.

Las tasas cupón cero están con capitalización continua ($D(t) = e^{-r_{cc} \cdot t}$), mientras que los rendimientos a la par son tasas trimestrales. Para compararlas, convierta la tasa continua a su equivalente trimestral:

$$r_{quarterly} = 4 \times \left(e^{r_{cc}/4} - 1 \right) \quad (23)$$

Por ejemplo, la tasa cero AAA a 5 años en PYG de 10,33% (continua) se convierte a 10,46% (trimestral)—13 pb más. Como el rendimiento a la par (10,42%) se ubica entre ambos, la anomalía se explica: en la misma base, $y_{par} < y_{zero}$ como predice la teoría.

Cuadro A-7: Rendimiento a la Par vs Cupón Cero: Reconciliación de Capitalización (Plazo 5 Años, Diciembre 2025)

Ccy	Rating	Zero (cc)	Zero (q)	Par	Par – Zero(cc)	Par – Zero(q)
PYG	AAA	10,33 %	10,46 %	10,42 %	+9,7	-3,8
PYG	AA	10,82 %	10,97 %	10,94 %	+11,2	-3,6
PYG	A	11,32 %	11,48 %	11,45 %	+12,4	-3,8
PYG	BBB	12,77 %	12,98 %	12,95 %	+17,7	-3,1
USD	AA	6,45 %	6,50 %	6,48 %	+3,3	-1,9
USD	A	6,96 %	7,02 %	7,00 %	+4,0	-2,1
USD	BBB	8,13 %	8,22 %	8,19 %	+5,5	-2,8

Nota: Todos los valores en la última columna son negativos, confirmando $y_{par} < y_{zero}$ cuando ambos usan capitalización trimestral. Niveles de rendimiento más altos producen mayores efectos de conversión, explicando diferenciales mayores en PYG y en calificaciones más bajas.

A.6. Pruebas de Robustez Metodológica

A.6.1. Nelson-Siegel con Lambda Validado por Cross-Validation

Un enfoque inicial empleó el modelo Nelson-Siegel más simple (tres parámetros) con el parámetro de decaimiento λ seleccionado mediante búsqueda en grilla y k -fold cross-validation. Para cada λ candidato (0,05 a 0,5), el modelo se ajustó con regresión lineal robusta (RLM) y se computó RMSE fuera de muestra. Aunque produjo ajustes razonables en ciertos segmentos, exhibió inestabilidad con datasets escasos—produciendo a veces formas extremas o implausibles. Además, la especificación de tres parámetros no capturó adecuadamente patrones de doble joroba.

A.6.2. Valor Fijo de Lambda

Un segundo enfoque probó un λ fijo calibrado internamente. Si bien aumentó estabilidad, introdujo subjetividad y no pudo reflejar diferencias dinámicas entre grupos de moneda y calificación.

A.6.3. Agrupación de Grado de Inversión

Para abordar escasez, se agrupó grado de inversión (AAA, AA, A, BBB) en una sola curva. Sin embargo, produjo distorsiones con curvas invertidas en ciertos vencimientos debido a heterogeneidad subyacente, que la estimación de una sola curva no pudo resolver.

A.6.4. Variaciones de Ventana Histórica

Se probaron distintas ventanas. Usar 12 meses completos con promedios ponderados por tiempo (en lugar de regresión por promedios ponderados por período) aún produjo tendencias de curva invertida en vencimientos largos. Restringir a 3 meses recientes para mayor actualidad tampoco resolvió problemas de convergencia en el largo plazo.

Estas experiencias confirmaron la necesidad del enfoque actual: optimización conjunta NSS con restricciones explícitas de jerarquía, pérdidas robustas y múltiples penalizaciones. El marco adoptado aborda directamente limitaciones identificadas, manteniéndose anclado en práctica econométrica establecida.

A.7. Análisis de Validación Macroeconómica

Esta sección provee una validación visual y técnica detallada de rendimientos corporativos estimados contra benchmarks oficiales de política monetaria.

La Figura 10 presenta la comparación longitudinal entre tasas de política, tasas bancarias y el rendimiento a la par AAA a 5 años estimado.

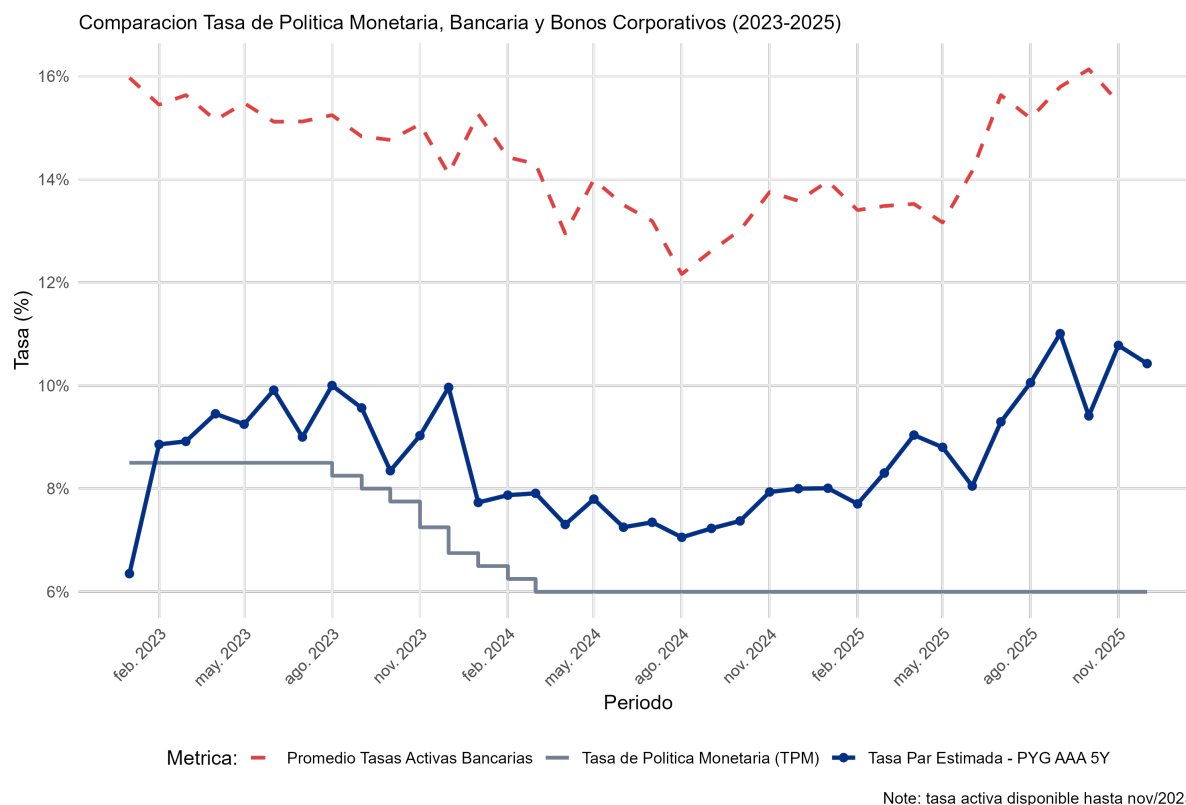


Figura 10: Transmisión Financiera de Tasas: TPM, Tasas Activas Bancarias y Rendimiento a la Par AAA 5A Estimado (2023–2025).

Análisis extendido de dinámica de tasas: El conjunto enriquecido revela un mecanismo de transmisión complejo en 36 meses:

- **El piso de política (2023–2024):** Durante el ciclo de relajación, rendimientos corporativos siguieron la TPM a la baja. En agosto de 2024, cuando la TPM alcanzó 6,00 % y las tasas activas tocaron 12,2 %, el rendimiento AAA alcanzó su mínimo de 7,06 %, manteniendo un spread consistente sobre un proxy de tasa libre de riesgo (BCP, 2025a,b).
- **Desacople comercial (2025):** Mientras la TPM se mantuvo anclada en 6,00 %, tasas activas y rendimientos corporativos subieron. El aumento de AAA a 11,01 % en septiembre de 2025 refleja el salto de tasas activas a 16,1 % en octubre de 2025 (BCP, 2025b).
- **Sensibilidad de mercado:** Esta triangulación valida que el NSS captura cambios sistémicos en costos de crédito. La curva corporativa funciona como una tasa “intermedia”, sensible tanto a señales de política como a presiones de liquidez bancaria.

La preservación de la jerarquía crediticia durante estos movimientos asegura que el modelo permanezca como benchmark confiable para valorización, incluso cuando tasas de mercado se desacoplan del objetivo de política.