MÁSTER EN INGENIERÍA EN TECNOLOGÍAS INDUSTRIALES

TRABAJO FIN DE MÁSTER

OPTIMIZACIÓN DE LA TIR EN CARTERAS DE INVERSIÓN MEDIANTE EL USO DE DERIVADOS: UN ENFOQUE CUANTITATIVO

Autor: Jaime Martínez de Luco Ybarra

Director: Miren Tellería Ajuriaguerra

Madrid | Diciembre 2024

Declaro, bajo mi responsabilidad, que el Proyecto presentado con el título

Optimización de la tir en carteras de inversión mediante el uso de derivados: un enfoque cuantitativo

en la ETS de Ingeniería - ICAI de la Universidad Pontificia Comillas en el

curso académico 2024/25 es de mi autoría, original e inédito y

no ha sido presentado con anterioridad a otros efectos.

El Proyecto no es plagio de otro, ni total ni parcialmente y la información que ha sido

tomada de otros documentos está debidamente referenciada.

Fdo.: Jaime Martínez de Luco Ybarra   Fecha: 19/ 12/ 2024

Autorizada la entrega del proyecto

EL DIRECTOR DEL PROYECTO

Fdo.: Miren Tellería Ajuriaguerra   Fecha: 19/ 12/ 2024

MÁSTER EN INGENIERÍA EN TECNOLOGÍAS INDUSTRIALES

TRABAJO FIN DE MÁSTER

OPTIMIZACIÓN DE LA TIR EN CARTERAS DE RENTA FIJA MEDIANTE EL USO DE DERIVADOS: UN ENFOQUE CUANTITATIVO

Autor: Jaime Martínez de Luco Ybarra

Director: Miren Tellería Ajuriaguerra

Madrid | Diciembre 2024

OPTIMIZACIÓN DE LA TIR EN CARTERAS DE INVERSIÓN MEDIANTE EL USO DE DERIVADOS: UN ENFOQUE CUANTITATIVO

Autor: Martínez de Luco Ybarra, Jaime.
Director: Tellería Ajuariaguerra, Miren.
Entidad Colaboradora: ICAI – Universidad Pontificia de Comillas.

RESUMEN DEL PROYECTO

El presente proyecto aborda la optimización de la Tasa Interna de Retorno (TIR) ajustada por riesgo en carteras de inversión de renta fija mediante el uso de derivados financieros. Este proyecto combina fundamentos de ingeniería financiera y herramientas avanzadas de gestión de carteras para demostrar cómo derivados financieros como los futuros y las opciones pueden mejorar significativamente el perfil de rentabilidad y riesgo de una cartera tradicional de bonos.

Palabras clave: TIR, riesgo, convexidad, rentabilidad, retorno, derivados, duración, delta, cobertura, optimización.

Introducción

En el contexto actual de tipos de interés altos y creciente incertidumbre económica, la gestión activa de carteras de renta fija se ha vuelto imprescindible para proteger el valor del capital y maximizar los retornos. Los derivados financieros, como los futuros sobre bonos y las opciones, ofrecen a los gestores herramientas para cubrir riesgos y especular en función de las expectativas del mercado.

El objetivo principal de este TFM es evaluar el impacto del uso de derivados financieros en carteras de renta fija, analizando métricas clave como:

- Ratio Riesgo/Retorno.
- Volatilidad de la cartera.
- Máxima pérdida.
- Convexidad y sensibilidad de la cartera.

Además, este trabajo incluye simulaciones de distintos escenarios de tipos de interés para comparar carteras con y sin derivados, así como optimizaciones de los pesos en la cartera mediante técnicas matemáticas implementadas en Microsoft Excel.

El TFM surge de la necesidad de integrar los conocimientos técnicos de ingeniería, como cálculo, álgebra y modelado matemático, con aplicaciones prácticas en los mercados financieros. En particular:

- Renta Fija: La elección del mercado de bonos refleja la estabilidad y complejidad de este activo, clave para el desarrollo profesional en banca de inversión, así como el hecho de que estoy dando mis primeros pasos profesionales en este mundo.
- Derivados: Estas herramientas permiten gestionar el riesgo de manera dinámica y capturar oportunidades especulativas en un entorno de mercado cambiante.
- Microsoft Excel y Herramientas Cuantitativas: Este trabajo también destaca la importancia de herramientas accesibles como Excel para implementar simulaciones y optimizar carteras.

Metodología

Para abordar el objetivo de este trabajo, se ha seguido una metodología estructurada en varias fases, combinando herramientas matemáticas, simulaciones cuantitativas y optimización de carteras. A continuación, se detalla el enfoque adoptado en cada etapa.

1. <u>Marco Teórico y Modelos Matemáticos</u>

Primero se empieza con un estudio de los derivados financieros aplicables a carteras de renta fija, con un énfasis particular en:

- Futuros sobre bonos soberanos europeos (Bund):
    - Se utilizó la fórmula de valoración de futuros de Hull, considerando factores como el tipo repo (libre de riesgo a corto plazo) y el precio del cheapest to deliver (CTD).
- Opciones sobre bonos:
    - Se empleó la fórmula de Black para valorar opciones call sobre bonos soberanos españoles, ajustando variables como la volatilidad implícita y el precio forward del bono subyacente.
    - Las demostraciones matemáticas iniciales validaron la transición de fórmulas complejas a versiones simplificadas.

Excel fue la plataforma principal para implementar las fórmulas y verificar su precisión en comparación con valores reales de Bloomberg.

2. Construcción de la cartera base

Se construyó una cartera de bonos soberanos y corporativos, siguiendo los siguientes criterios:

a) Diversificación: Se seleccionaron bonos de distintos vencimientos y emisores (soberanos y corporativos), con un mix entre grado de inversión (IG) y grado especulativo (HY) y de diferentes regiones (aunque todos europeos).
b) Pesos Iniciales: Cada bono comenzó con un peso igual en la cartera (en términos nominales, no reales).
c) Duración Modificada y PV01: Se calcularon métricas de riesgo como la duración modificada y PV01 para medir la sensibilidad de los bonos a los movimientos en los tipos.

3. Incorporación de derivados financieros

La cartera inicial se complementó con futuros y opciones:

- Cobertura con Futuros: Se utilizó el futuro del Bund (RX) para cubrir el 50% de la delta de la cartera.
- Opciones con Fines Especulativos: Se incluyeron calls sobre los bonos soberanos SPGB 2037 y SPGB 2044, con vencimientos a 1 año y strikes 20bps fuera del dinero (OTM).

4. Simulaciones de escenarios

Se realizaron simulaciones para analizar el comportamiento de la cartera en distintos escenarios de tipos de interés.

Se utilizó como referencia para los movimientos en los tipos, movimientos en la curva swap o libre de riesgo, bajo 3 hipótesis particulares:

1. Visión de tipos a la baja
2. Buen performance del crédito
3. Curva de tipos plana debido a la incertidumbre global

Se realizaron 9 escenarios de tipos de interés, desde -200bps hasta +200bps, con saltos de 50bps, realizando los siguientes cálculos:

- Cambios en el valor de los bonos considerando duración modificada y convexidad.

- Impacto en el precio de futuros y opciones utilizando las fórmulas de valoración correspondientes.
- Métricas calculadas para la cartera con y sin derivados:
    - Rentabilidad esperada.
    - Volatilidad total.
    - Máxima pérdida.

Excel fue la herramienta escogida para implementar las simulaciones, utilizando fórmulas de sensibilidad y volatilidad, mientras que los datos iniciales de mercado se obtuvieron de Bloomberg.

5. Optimización de la cartera

Utilizando la herramienta Solver de Excel, que es una herramienta diseñada para la resolución de problemas de optimización, se ajustaron los pesos de los activos para maximizar el ratio riesgo/retorno bajo distintas restricciones.

6. Validación y Análisis

Finalmente, se validaron los resultados comparando las carteras tradicionales y con derivados en todas las métricas clave

Resultados

Los resultados obtenidos tras las simulaciones y optimizaciones realizadas permiten demostrar la superioridad de la cartera con derivados frente a la cartera tradicional en términos de rentabilidad ajustada por riesgo y flexibilidad estratégica. A continuación, se detallan los hallazgos clave:

En primer lugar, se analizaron los resultados de las carteras en escenarios simulados con movimientos en los tipos de interés.

	Escenario de tipos de interés								
	-200bps	-150bps	-100bps	-50bps	0bps	+50bps	+100bps	+150bps	+200bps
Rentabilidad de la cartera con derivados	13.26%	10.12%	7.37%	5.11%	3.03%	1.66%	0.54%	-0.33%	-0.96%
Rentabilidad de la cartera de bonos	17.42%	13.52%	9.86%	6.46%	3.31%	0.40%	-2.26%	-4.67%	-6.84%

Source: Microsoft Excel. Elaboración propia.

Los resultados fueron claros: mientras la cartera con derivados redujo la máxima pérdida al -0.96%, reduciendo la volatilidad y riesgo de la cartera considerablemente frente a la tradicional, el potencial al alza seguía siendo bastante significativo en ambas carteras.

Posteriormente, se analizaron las métricas clave del proyecto: retorno esperado, rentabilidad ajustada por riesgo, volatilidad y máxima pérdida:

	Retorno Esperado	Volatilidad	Ratio Riesgo/Retorno	Máxima pérdida	
Cartera con derivados	4.42%	4.67%	0.95	-€ 189,846.54	-0.96%
Cartera de bonos	4.13%	7.86%	0.53	-€ 1,336,888.15	-6.84%

Source: Microsoft Excel. Elaboración propia.

Como se puede observar, la cartera con derivados superó a la tradicional en todas las métricas.

Como resumen, el uso de los derivados transformó el perfil riesgo/retorno de la cartera de las siguientes formas:

- La cobertura con futuros redujo la sensibilidad de la cartera a subidas de tipos, amortiguando el impacto negativo.
- Las opciones call sobre SPGB 2037 y 2044 generaron retornos exponenciales en escenarios de bajadas de tipos.

Por último, la optimización de los pesos de la cartera mediante el uso del Solver produjo dos soluciones principales:

➢ **Solución Conservadora:** cartera que surge como resultado de maximizar la función TIR/volatilidad, llevando el riesgo prácticamente a 0.

➢ **Solución Agresiva:** cartera que surge como resultado de maximizar la función TIR – λ * volatilidad.

	Retorno Esperado	Volatilidad	Ratio Riesgo/Retorno
Solución Conservadora	3.42%	0.08%	42.75
Solución Agresiva	25.82%	44.76%	0.58

Source: Microsoft Excel. Elaboración propia.

Ambas soluciones son una muestra más de la flexibilidad que ofrece el uso de derivados en función del perfil del inversor, permitiendo ofrecer un retorno por encima de la curva libre de riesgo, con un riesgo mínimo o por el contrario, ofreciendo la posibilidad de obtener retornos en renta fija incluso superiores a los de la renta variable tradicional, a cambio de un mayor riesgo asumido.

Conclusiones

Las conclusiones obtenidas a lo largo de este trabajo reflejan cómo el uso de derivados financieros puede transformar la gestión de carteras de renta fija, mejorando tanto el perfil de rentabilidad como el de riesgo. En primer lugar, la incorporación de futuros sobre bonos a modo de hedge ha demostrado ser una herramienta eficaz para mitigar el riesgo asociado a subidas en los tipos de interés. En este trabajo, la cobertura parcial del 50% de la delta mediante futuros sobre el Bund permitió reducir significativamente la volatilidad sin comprometer en exceso la rentabilidad esperada.

Por otro lado, las opciones call sobre bonos soberanos españoles destacaron por su potencial especulativo, permitiendo captar retornos exponenciales en escenarios bullish, con el riesgo limitado únicamente al coste de la prima (por definición). Estas características las convierten en instrumentos ideales para complementar estrategias conservadoras, ya que sigues amortiguando el riesgo a la baja, sin tener que renunciar del mismo modo al potencial al alza.

La cartera optimizada con derivados superó de manera consistente a la cartera base en todas las métricas clave, incluida la rentabilidad ajustada por riesgo. El ratio riesgo/retorno de la cartera con derivados fue notablemente superior, incluso sin optimizar, evidenciando la eficacia de estos instrumentos en la gestión de carteras de renta fija. Además, el análisis de la máxima pérdida mostró que los derivados no solo mejoran el rendimiento/rentabilidad del protfolio, sino que también aportan mayor estabilidad al reducir las pérdidas máximas en escenarios adversos.

El uso de Solver permitió ajustar los pesos de los activos para explorar distintas configuraciones según el perfil de riesgo del inversor. Así, se identificaron soluciones que van desde carteras conservadoras, con volatilidad casi nula y retornos moderados, hasta carteras más agresivas con mayor exposición al riesgo y altos niveles de rentabilidad esperada.

Las herramientas matemáticas jugaron un papel fundamental en este análisis. Modelos como la fórmula de Black para opciones o la valoración de futuros de Hull permitieron estimar precios y evaluar el impacto de los derivados en la cartera. Las simulaciones, teniendo en cuenta la duración modificada y convexidad, resaltaron cómo los movimientos no lineales en los tipos de interés afectan de forma diferente a cada componente de la cartera. Estos resultados demuestran que los derivados también pueden ser usados como herramientas estratégicas para ajustar las carteras en función del perfil del inversor, desde los más conservadores hasta los más tolerantes al riesgo.

Sin embargo, lógicamente el trabajo no está exento de limitaciones. Las hipótesis simplificadas, como asumir el conocimiento del CTD, la estabilidad del crédito o una curva de tipos de interés aproximadamente plana, podrían no capturar completamente la dinámica de los mercados reales. A pesar de estas limitaciones, el TFM abre nuevas oportunidades para investigaciones futuras, como la inclusión de derivados exóticos, coberturas dinámicas o el análisis de estrategias más complejas en carteras mixtas de renta fija y renta variable.

YIELD OPTIMIZATION IN A FIXED INCOME PORTFOLIO THROUGH THE USE OF FINANCIAL DERIVATIVES: A QUANTITATIVE APPROACH

Author: Martínez de Luco Ybarra, Jaime.
Supervisor: Tellería Ajuariaguerra, Miren.
Collaborating Entity: ICAI – Universidad Pontificia de Comillas.

ABSTRACT

This project addresses the optimization of risk-adjusted Internal Rate of Return (IRR) in fixed income investment portfolios through the use of financial derivatives. This project combines financial engineering fundamentals and advanced portfolio management tools to demonstrate how financial derivatives such as futures and options can significantly improve the return and risk profile of a traditional bond portfolio.

Keywords: IRR, yield, risk, convexity, return, derivatives, duration, delta, hedge, optimization

Introduction

In the current context of high interest rates and growing economic uncertainty, active management of fixed income portfolios has become essential to protect the value of capital and maximize returns. Financial derivatives, such as bond futures and options, provide managers with tools to hedge risks and speculate on market expectations.

The main objective of this thesis is to evaluate the impact of the use of financial derivatives in fixed income portfolios, analyzing key metrics such as:

- Risk/Return Ratio.
- Portfolio volatility.
- Maximum loss.
- Portfolio convexity and sensitivity.

In addition, this project includes simulations of different interest rate scenarios to compare portfolios with and without derivatives, as well as optimizations of different combinations of bond weights using mathematical techniques implemented in Microsoft Excel.

The thesis arises from the need to integrate engineering know-how, such as calculus, algebra and mathematical modeling, with practical applications in financial markets. In particular:

- Fixed Income: The choice of the bond market reflects the stability and complexity of this asset, key to professional development in investment banking, as well as the fact that I am taking my first professional steps in this world.
- Derivatives: These tools allow portfolio managers and traders to manage risk dynamically and capture speculative opportunities in a changing market environment.
- Microsoft Excel and Quantitative Tools: This thesis also highlights the importance of accessible tools such as Excel to implement simulations and optimize portfolios.

Methodology

To address the objective of this project, a structured methodology has been followed in several stages, combining mathematical tools, quantitative simulations and portfolio optimization. The approach adopted at each stage is detailed below.

1. <u>Theoretical Framework and Mathematical Models</u>

   First we start with a study of financial derivatives applicable to fixed income portfolios, with a particular emphasis on:

   - Futures on European sovereign bonds (Bund): The Hull futures valuation formula was used, considering factors such as the repo rate (considered short-term risk-free rate) and the price of the bond cheapest to deliver (CTD).
   - Bond options:
     - Black's formula was used to value call options on Spanish sovereign bonds, adjusting for variables such as implied volatility and the forward price of the underlying bond.
     - Initial mathematical demonstrations validated the transition from complex formulas to simplified versions.

   Excel was the main platform for implementing the formulas and verifying their accuracy against real Bloomberg values.

2. <u>Development of the bond portfolio</u>
   A portfolio of sovereign and corporate bonds was constructed, following the following criteria:

a) Diversification: bonds of different maturities and issuers (sovereign and corporate) were selected, with a mix between investment grade (IG) and high yield (HY) while also adding bonds from different regions (although all European).

b) Initial Weights: Each bond started with an equal weight in the portfolio (in nominal terms, not real terms).

c) Modified Duration and PV01: Risk metrics such as modified duration and PV01 were calculated to measure the sensitivity of the bonds to rate movements.

3. Incorporating financial derivatives

The initial portfolio was supplemented with futures and options:

- Delta hedging with futures: Bund futures (RX) were used to hedge 50% of the portfolio delta.
- Options for Speculative Purposes: Calls on SPGB 2037 and SPGB 2044 sovereign bonds were included, with 1-year maturities and strikes 20bps out-of-the-money (OTM).

4. Scenario Simulations

Simulations were carried out to analyze the behavior of the portfolio under different interest rate scenarios.

Movements in the swap or risk-free curve were used as a reference for rate movements, under 3 particular hypotheses:

I. Downward rate outlook
II. Stable credit performance
III. Flat rates curve due to global uncertainty.

We performed 9 interest rate scenarios, from -200bps to +200bps, with 50bps jumps, making the following calculations:

- Changes in bond value considering modified duration and convexity.
- Impact on the price of futures and options using the corresponding valuation formulas.
- Calculated metrics for the portfolio with and without derivatives:
  - Expected return.
  - Total volatility.
  - Maximum loss.

Excel was the tool chosen to implement these simulations, using sensitivity and volatility formulas, while the initial market data was obtained from Bloomberg.

5. Portfolio Optimisation

   Using the Excel Solver tool, which is a tool designed for solving optimization problems, the asset weights were adjusted to maximize the risk/return ratio under different constraints.

6. Validation and Analysis

   Finally, the results were validated by comparing the traditional and derivative portfolios on all key metrics

Results

The results obtained from the simulations and optimizations performed demonstrate the superiority of the derivative portfolio over the traditional portfolio in terms of risk-adjusted return and strategic flexibility. The key findings are detailed below:

First, the performance of the portfolios in simulated scenarios with interest rate movements was analyzed.

	Interest Rate Scenario								
	-200bps	-150bps	-100bps	-50bps	0bps	+50bps	+100bps	+150bps	+200bps
Yield of the bond portfolio with derivatives	13,26%	10,12%	7,37%	5,11%	3,03%	1,66%	0,54%	-0,33%	-0,96%
Yield of the traditional bond portfolio	17,42%	13,52%	9,86%	6,46%	3,31%	0,40%	-2,26%	-4,67%	-6,84%

Source: Microsoft Excel. Self-made.

The results were quite clear: while the derivative portfolio reduced the maximum loss to -0.96%, reducing the volatility and risk of the portfolio considerably versus the traditional portfolio, the upside potential was still quite significant in both portfolios.

Subsequently, the key metrics of the project were analyzed: expected return, risk-adjusted return, volatility and maximum loss:

	Expected Return	Volatility	Yield/Return Ratio	Maximum Loss	
Yield of the bond portfolio with derivatives	4,42%	4,67%	0,95	- 189.846,54 €	-0,96%
Yield of the traditional bond portfolio	4,13%	7,86%	0,53	- 1.336.888,15 €	-6,84%

Source: Microsoft Excel. Self-made.

As can be seen, the derivatives portfolio outperformed the traditional portfolio in all metrics. In summary, the use of derivatives transformed the risk/return profile of the portfolio in the following ways:

- Hedging with futures reduced the portfolio's sensitivity to rate hikes, dampening the negative impact.
- Call options on SPGB 2037 and 2044 generated exponential returns in downward rate scenarios.

Finally, the optimization of the portfolio weights using Solver produced two main solutions:

- **Conservative Solution:** portfolio arising as a result of maximizing the yield/volatility function, bringing the risk almost to 0.
- **Risky Solution:** portfolio that arises as a result of maximizing the yield - λ * volatility function.

	Expected Return	Volatility	Yield/Return Ratio
Conservative Solution	3,42%	0,08%	42,75
Risky Solution	25,82%	44,76%	0,58

Source: Microsoft Excel. Self-made

Both solutions are a good example of the flexibility offered by the use of derivatives depending on the investor's profile, making it possible to offer a return above the risk-free curve, with minimal risk, or on the contrary, offering the possibility of obtaining fixed-income returns even higher than those of traditional equities, in exchange for a higher risk assumed.

Conclusions

The conclusions drawn from this project demonstrate how the use of financial derivatives can transform fixed income portfolio management by enhancing both the return and risk profiles. First, the incorporation of bond futures has proven to be an effective tool for mitigating the risk associated with rising interest rates. In this study, partially hedging 50% of the portfolio's delta with Bund futures significantly reduced volatility without excessively compromising expected returns. On the other hand, call options on Spanish sovereign bonds stood out for their speculative potential, enabling exponential returns in bullish price scenarios while limiting risk to the cost of the premium. These characteristics make them ideal instruments for complementing conservative strategies with higher-yield opportunities.

The optimized portfolio with derivatives consistently outperformed the baseline portfolio across all key metrics, including risk-adjusted return. The risk/return ratio of the derivative-enhanced portfolio was notably superior, underscoring the effectiveness of these instruments in active portfolio management. Additionally, the drawdown analysis showed that derivatives not only improve performance but also provide greater stability by reducing maximum losses in adverse scenarios. Solver was used to adjust asset weights and explore different configurations based on investor risk profiles. This approach identified solutions ranging from conservative portfolios, with near-zero volatility and moderate returns, to aggressive portfolios with higher risk exposure and elevated expected returns.

Mathematical tools played a pivotal role in this analysis. Models such as the Black formula for options and Hull's valuation for futures facilitated price estimation and the evaluation of derivatives' impact on the portfolio. Simulations based on modified duration and convexity highlighted how nonlinear movements in interest rates differentially affect each portfolio component. These findings demonstrate that derivatives are not only instruments for hedging or speculation but also strategic tools for tailoring portfolios to specific investor profiles, from the most conservative to the most risk-tolerant.

However, the study is not without limitations. Simplified assumptions, such as assuming we know the CTD, assuming credit stability or a flat interest rate curve, may not fully capture the dynamics of real markets. Despite these limitations, this thesis opens new avenues for future research, including the inclusion of exotic derivatives, dynamic hedging strategies, or the analysis of more complex strategies in mixed fixed income and equity portfolios.

Índice de la memoria

Índice de Tablas

Índice de Ilustraciones

Índice de Gráficas

Capítulo 1. Introducción

En un entorno financiero caracterizado por la volatilidad en los tipos de interés y la necesidad de optimización de rendimientos ajustados por riesgo, la gestión de carteras de renta fija se ha vuelto cada vez más compleja. Los derivados financieros, como los swaps de tipos de interés, futuros y opciones sobre bonos ofrecen herramientas útiles para ajustar el perfil de riesgo-beneficio de estas carteras. Este Trabajo de Fin de Máster (TFM) se enfoca en el análisis cuantitativo de la optimización de la TIR en carteras de renta fija mediante el uso de derivados, explorando cómo estos instrumentos pueden mejorar los resultados financieros en diferentes escenarios de mercado.

Objetivo Principal

Desarrollar un modelo cuantitativo para optimizar la TIR de una cartera de renta fija utilizando derivados financieros, como swaps, futuros y opciones, considerando diferentes escenarios de mercado y restricciones de riesgo.

Objetivos Específicos

1. Seleccionar y valorar una cartera de bonos, incluyendo instrumentos soberanos y corporativos, utilizando métodos de descuento de flujos de caja.
2. Identificar y valorar derivados de renta fija (swaps/IRS, futuros y opciones sobre bonos) utilizando modelos financieros adecuados.
3. Desarrollar simulaciones Monte Carlo para modelar el comportamiento de la cartera de renta fija bajo diferentes escenarios de tipos de interés.
4. Optimizar la composición de la cartera utilizando técnicas de optimización en Excel, con el objetivo de maximizar la TIR ajustada por riesgo.
5. Comparar los resultados obtenidos en carteras con y sin derivados para evaluar el impacto de estos instrumentos en la rentabilidad y riesgo de la cartera.
6. Elaborar recomendaciones para la gestión de carteras de renta fija basadas en los hallazgos del análisis cuantitativo.

Alcance

El alcance de este estudio se limita al análisis de carteras de renta fija que constan de dos tipos de bonos: bonos soberanos y corporativos, con diferentes vencimientos y cupón que puede ser fijo o flotante. Se implementarán derivados financieros tales como IRS, futuros y opciones sobre bonos para optimizar la TIR de la cartera. Los resultados del análisis se llevarán a cabo con datos históricos y escenarios simulados. El análisis cuantitativo se llevará a cabo en Microsoft Excel utilizando modelos de valoración y simulación. No se considerarán activos y derivados que no tengan relación con el mercado de renta fija, ya que, de lo contrario, a través de la relación de arbitraje, pueden correlacionar las carteras y anular varios efectos observados anteriormente. Además, el estudio se limitará al entorno del mercado en el que se implemente y proyecte a partir de datos actuales alrededor del período estudiado.

Justificación e importancia del tema

La elección del tema de este Trabajo de Fin de Máster (TFM) se basa en una conjunción de factores personales y profesionales que destacan la relevancia y la oportunidad de abordar la optimización de la TIR en carteras de renta fija mediante el uso de derivados. Este trabajo representa una síntesis ideal entre la ingeniería y las finanzas, disciplinas que siempre me han apasionado y en las que he buscado desarrollarme.

En primer lugar, desde una perspectiva académica, la ingeniería proporciona una sólida formación en asignaturas como cálculo, álgebra y estadística, que son fundamentales para la elaboración de modelos cuantitativos. Estos conocimientos técnicos no solo son aplicables, sino que son esenciales para la valoración de derivados financieros, donde la precisión matemática y la capacidad de modelado son muy importantes. La capacidad de resolver problemas complejos, aplicar modelos estocásticos y optimizar soluciones son habilidades que me ha proporcionado mi formación en ingeniería, y que ahora busco aplicar al mundo de las finanzas.

En el ámbito profesional, mi carrera se orienta hacia los mercados financieros y, en particular, en el área de renta fija, un área donde ya estoy desarrollándome como analista en Morgan Stanley en el departamento de Sales & Trading. Por tanto, este TFM no solo es un ejercicio académico, sino que está directamente alineado con mi futuro profesional. La intersección entre ingeniería y finanzas es un campo en el que las capacidades técnicas adquiridas durante mis estudios me permitirán abordar problemas financieros complejos con un enfoque cuantitativo y sistemático.

Por otro lado, la elección de este tema también responde a una motivación personal: desde siempre he aspirado a estudiar ingeniería precisamente porque me brindaría las habilidades técnicas y cuantitativas necesarias para desenvolverme con soltura en los aspectos más sofisticados de las finanzas. Considero que, en un mundo donde las decisiones financieras requieren cada vez más un soporte cuantitativo sólido, el dominio de herramientas matemáticas y de simulación es esencial para lograr una ventaja competitiva en la industria, especialmente con todas las herramientas de IA que amenazan con acabar con este tipo de puestos de trabajo.

Además, he decidido centrarme en la realización de simulaciones en Excel, una herramienta fundamental en el entorno profesional financiero y profesional, en general. Excel no solo es la plataforma más utilizada en la industria para realizar análisis cuantitativos y simulaciones financieras, sino que también es una herramienta que ofrece la flexibilidad necesaria para implementar modelos de optimización y simulaciones complejas de manera eficiente.

Por tanto, se podría decir que este trabajo representa la culminación de mi formación académica en ingeniería aplicada al campo de las finanzas, específicamente en el análisis cuantitativo de carteras de renta fija. La combinación de estos dos mundos me permitirá aportar soluciones innovadoras y rigurosas a los desafíos financieros que enfrentaré en mi carrera profesional, y es esta convergencia entre ingeniería y finanzas la que justifica y resalta la importancia de este TFM.

Capítulo 2. Investigación preliminar y marco teórico

Estudio de derivados de renta fija

En los mercados financieros, los derivados de renta fija son instrumentos cuyo valor se deriva de los movimientos en el precio de un activo subyacente, en este caso instrumentos de deuda, como bonos o tipos de interés.

Dada su naturaleza, los derivados de renta fija son esenciales como instrumentos financieros en la gestión activa de carteras de renta fija, ya que les permiten a los inversores ajustar su exposición a las fluctuaciones de los tipos de interés, cubrir riesgos, o incluso mejorar la rentabilidad ajustada por riesgo. Algunos de los derivados más comunes son los swaps de tipos de interés, los futuros y las opciones. A continuación, se desglosan estas tres categorías de los derivados de renta fija, explicando sus aplicaciones y valoración, y se examina cómo pueden utilizarse estos instrumentos para optimizar la TIR de una cartera de bonos.

No obstante, cabe resaltar que, en este trabajo, se presumirá que hay cierto conocimiento previo de mercados financieros, ya que el objetivo no es realizar un estudio y explicación detallado del mercado de renta fija y de cómo funcionan los instrumentos que cotizan en él, sino realizar un análisis cuantitativo de cómo afectan las estrategias con derivados a las carteras de renta fija. Dicho esto, a continuación, se realizará una breve explicación teórica de los tres tipos de derivados que se utilizarán durante el proyecto y su funcionamiento.

Swaps de tipos de interés

Un swap de tipos de interés es un contrato derivado en el cual dos partes acuerdan intercambiar flujos de caja futuros basados en diferentes tipos de interés. Este tipo de derivado se utiliza habitualmente para gestionar el riesgo de tipo de interés y ajustar la exposición de una cartera a las fluctuaciones del mercado.

En un swap "típico", una parte pagará un tipo de interés fijo y recibirá un tipo variable, mientras que la otra contrapartida recibirá el tipo fijo y pagará el variable. De esta forma, ambas partes obtienen el perfil de pago que mejor se ajuste a sus necesidades financieras. Los tipos variables suelen estar vinculados a índices de referencia, como el EURIBOR, que es el más común en swaps denominados en euros.

Cabe destacar que, originalmente, los swaps de tipos de interés eran contratos negociados de manera extrabursátil, es decir, de manera bilateral u "over the counter" (OTC), lo que significa que las condiciones del contrato eran personalizadas entre las partes sin pasar por un mercado centralizado. Sin embargo, en la actualidad, un porcentaje significativo de estos swaps es liquidado a través de cámaras de compensación centralizadas como Eurex o LCH. Estas instituciones actúan como intermediarias, garantizando las transacciones y mitigando el riesgo de contrapartida. Los principales beneficios de la existencia de este tipo de cámaras de compensación son los siguientes:

- Reducción del riesgo de contrapartida: La cámara de compensación se interpone entre las dos partes del swap, asumiendo el riesgo en caso de incumplimiento.
- Mayor transparencia: La centralización permite una monitorización más eficiente de las posiciones de mercado y del riesgo sistémico.
- Estandarización de contratos: Aunque los swaps aún pueden ser personalizados, las cámaras de compensación tienden a promover contratos más estandarizados para facilitar la compensación.

Hoy en día, una gran parte de los swaps en euros se compensa a través de LCH, que es una de las cámaras de compensación líderes en el mundo y, en su defecto, por Eurex. Sin embargo, el mercado OTC sigue siendo relevante para contratos muy específicos o personalizados que no se adaptan fácilmente a los estándares de las cámaras de compensación.

Por último, los swaps son herramientas muy útiles en la gestión de carteras de renta fija, que es lo que vamos a ver en este proyecto, ya que permiten a los gestores modificar la estructura temporal de los tipos de interés de los bonos en sus carteras, equilibrando la exposición entre tipos fijos y variables según las expectativas del mercado y los objetivos de riesgo.

Además, como hemos comentado al principio, estos swaps también son fundamentales para mantener la duración deseada de la cartera, especialmente en escenarios donde se anticipan cambios significativos en las políticas monetarias. Se podrían resumir los diversos usos de los swaps en 3 principales estrategias:

1. Hedge o cobertura de riesgo: Los inversores pueden utilizar swaps para protegerse frente a la volatilidad de los tipos de interés. Por ejemplo, una empresa que tiene un préstamo a tipo variable puede utilizar un swap para convertirlo a tipo fijo, estabilizando así sus pagos de intereses. De esta forma, a veces para una empresa es

más importante la certeza de saber cuánto va a tener que pagar para poder planificar con mayor precisión, que la posibilidad de que los tipos caigan y tenga que pagar menos.

2. Especulación: Algunos inversores utilizan swaps para tomar posiciones sobre la dirección que creen que van a tomar los tipos de interés. En este sentido, si creen que los tipos subirán, pueden preferir recibir un tipo variable para beneficiarse del aumento.
3. Arbitraje: En ciertos casos, los swaps se utilizan para aprovechar las discrepancias entre los tipos de interés de mercado y los tipos implícitos en otros instrumentos financieros. Esta última estrategia es muy habitual en xccy swaps, que son swaps que intercambian flujos en diferentes divisas, y aunque el mercado en principio se autorregula para evitar los arbitrajes, a menudo es posible encontrar estas oportunidades. Un ejemplo de cómo funcionaría este tipo de estrategia sería pedir un préstamo en euros, invertirlo en el Treasury americano en dólares y entrar en un xccy swap EUR/USD, ganando un pequeño margen en el camino, esto sería lo que se conoce como carry trade, que es una estrategia de arbitraje de divisas.

Durante el trascurso del estudio, emplearemos principalmente los swaps como estrategia de cobertura.

Futuros

Los futuros sobre bonos son contratos derivados que permiten a los inversores comprar o vender un bono a un precio predeterminado en una fecha futura específica. Estos contratos son utilizados principalmente para gestionar el riesgo asociado a los movimientos en los tipos de interés, permitiendo tanto a los inversores como a los especuladores beneficiarse de las fluctuaciones en los precios de los bonos.

Un contrato de futuros, tal y como hemos comentado, establece un acuerdo para la compra o venta de un bono determinado en una fecha futura a un precio fijado en el momento en que se celebra el contrato. El valor de este contrato se mueve igual que el de un bono, es decir, de manera inversamente a los tipos de interés: cuando los tipos de interés suben, los precios de los bonos bajan y, en consecuencia, el valor de un contrato de futuros también disminuye. Por el contrario, si los tipos de interés bajan, el valor de los futuros sube.

Estos futuros cotizan en mercados organizados, como Eurex o el Chicago Mercantile Exchange (CME). Los contratos están estandarizados en términos de tamaño, vencimiento, y tipo de bono subyacente, facilitando la liquidez y transparencia en las operaciones.

En términos de usos o estrategias, que es el foco de este proyecto, los futuros son herramientas clave para la gestión de riesgos en carteras de renta fija. Pueden ser utilizados para cubrir una cartera contra movimientos adversos en los tipos de interés o para especular sobre la dirección futura de los tipos. Por ejemplo, un gestor de cartera que posea una gran cantidad de bonos a largo plazo y anticipe un aumento de los tipos de interés, podría vender futuros sobre bonos para protegerse contra la disminución esperada en el valor de su cartera, esto sería una forma clásica de cobertura de riesgos o hedge.

Por otro lado, un especulador que espere una caída en los tipos de interés puede comprar futuros sobre bonos. Si los tipos de interés bajan, el precio del bono subyacente subirá, y el especulador obtendrá un beneficio al vender los futuros a un precio más alto.

Los principales componentes de un contrato de futuros y que es clave entender con claridad son los siguientes:

1. Activo subyacente o underlying: Como en todos los productos derivados, el precio de un futuro está basado en los cambios en otro activo. En este caso, de bonos del gobierno.
2. Fecha de vencimiento: La fecha en la cual el contrato debe ser liquidado.
3. Tamaño del contrato: El valor nominal del bono subyacente.
4. Margen requerido: La cantidad de capital que ambas partes deben depositar como garantía de la operación. Esto es importante, ya que cuando se operan contratos de futuros no es necesario pagar el valor completo del contrato en el momento de la operación. En lugar de eso, se trabaja con un sistema de márgenes, que es un aspecto fundamental para entender cómo funcionan estos instrumentos financieros, por lo que le dedicaremos un pequeño subapartado antes de pasar a la introducción de las opciones.

En Europa, los futuros sobre bonos tienen códigos específicos que se utilizan para identificarlos en los mercados, y son bastante conocidos entre los profesionales financieros. No obstante, el código conocido como Exchange Symbol, con el que cotiza en el mercado, no es el mismo que el ticker de Bloomberg, por lo que, a modo de aprendizaje, se mostrarán los dos, ya que habitualmente los traders pueden utilizar uno u otro indistintamente. Los más habituales son:

- Futuro sobre el Bono Alemán a 10 años (también llamado Bund)
  - Código: FGBL en Eurex. Este es el contrato de futuros más líquido y utilizado en Europa.
  - Ticker de Bloomberg: RX.

Ilustración 1. Descripción de Bloomberg del futuro sobre el bund (RX). Source: Bloomberg

- Futuro sobre el Bono Alemán a 5 años (también llamado Bobl):
  - Código: FGBM en Eurex.
  - Ticker de Bloomberg: OE

Ilustración 2. Descripción de Bloomberg del futuro sobre el Bobl (OE). Source: Bloomberg

- Futuro sobre el Bono Alemán a 2 años (también llamado Schatz):
    - Código: FGBS en Eurex.
    - Ticker de Bloomberg: DU

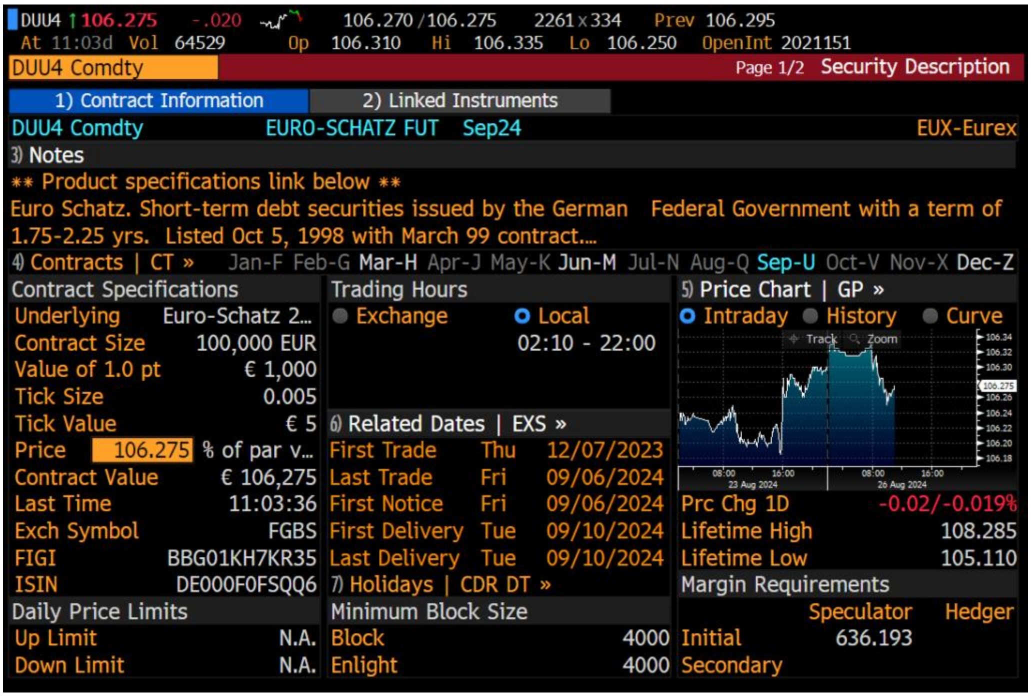


Ilustración 3. Descripción de Bloomberg del futuro sobre el Schatz (DU). Source: Bloomberg

- Futuro sobre el Bono Italiano a 10 años (BTP):
    - Código: FBTP en Eurex.
    - Ticker de Bloomberg: IK

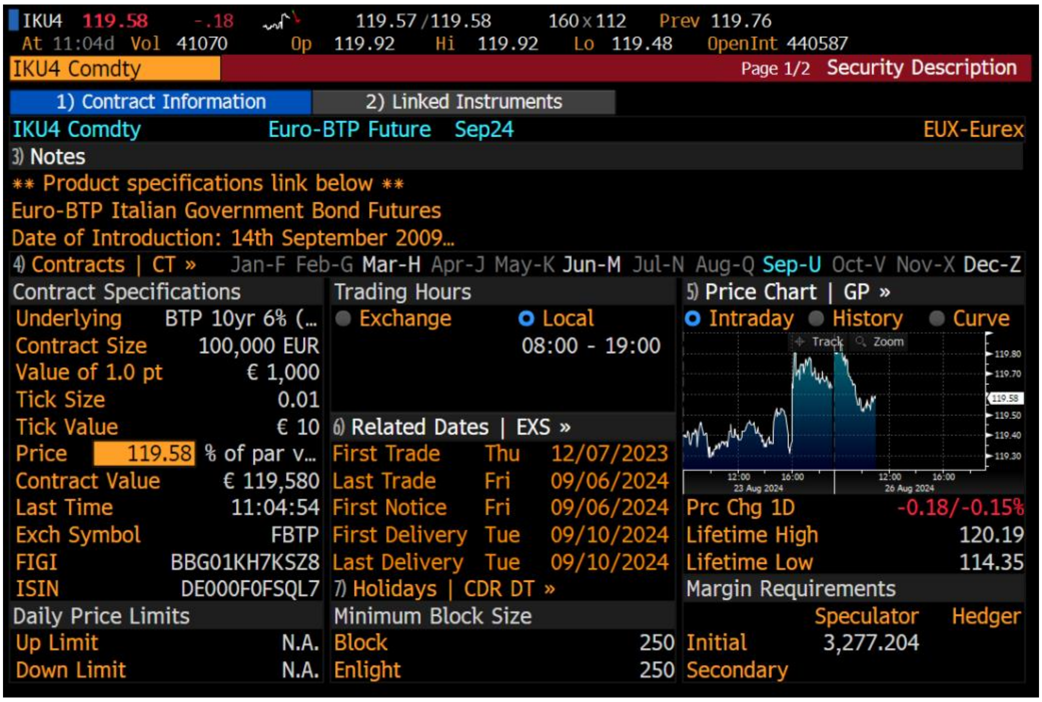


Ilustración 4. Descripción de Bloomberg del futuro sobre el BTP (IK). Source: Bloomberg

- Futuro sobre el Bono Francés (OAT):
  - Código: FOAT en Eurex.
  - Ticker de Bloomberg: OATA

Ilustración 5. Descripción de Bloomberg del futuro sobre el OAT. Source: Bloomberg

- Futuro sobre el Bono Español (Bono o SPGB):
  - Código: FBON en Eurex.
  - Ticker de Bloomberg: KOAU

Ilustración 6. Descripción de Bloomberg del futuro sobre el SPGB. Source: Bloomberg

<u>Sistema de márgenes y margen requerido en un contrato de futuros</u>

Una vez introducidos los futuros, qué son, cómo funcionan y para qué se utilizan, veamos más en detalle cómo funciona el margen, ya que es un concepto en el que no se suele entrar demasiado y es importante comprender.

Primero de todo, ¿qué es el margen? El margen es una cantidad de dinero que el trader debe depositar como garantía para abrir y mantener una posición en un contrato de futuros. De manera que este depósito asegura que el trader tiene fondos suficientes para cubrir las posibles pérdidas que puedan ocurrir debido a los movimientos adversos en los precios del activo subyacente, en este caso de los bonos. Para ello, al comprar un contrato de futuros al trader le piden que postee colateral en una cuenta de margen. Es importante entender que el margen no es un pago por el contrato, sino una garantía que se mantiene mientras la posición esté abierta. Hay 2 tipos de margen en las operaciones de derivados:

- Initial Margin (IM): Es la cantidad de dinero que se requiere depositar al abrir una nueva posición en un contrato de futuros. Este margen inicial es un pequeño porcentaje del valor nominal del contrato. Por ejemplo, si se opera un futuro sobre el Bund con un valor nominal de 100.000 euros, el margen inicial podría ser solo una fracción de esa cantidad, como de 3.000 a 5.000 euros.
- Mainteinance Margin (MM): Una vez que la posición está abierta, se requiere mantener un cierto nivel de margen para asegurar que la cuenta pueda soportar las fluctuaciones del mercado. Si el valor de la cuenta cae por debajo de este nivel debido a movimientos adversos en los precios, se emitirá una "llamada de margen" (margin call), donde el trader deberá depositar fondos adicionales para llevar el margen de vuelta al nivel requerido.

Por otro lado, luego está el mark-to-market de una operación de derivados. Y como no podía ser de otro modo, los contratos de futuros están sujetos también a este proceso de liquidación diaria, lo que significa que al final de cada sesión, las pérdidas y ganancias no realizadas en la posición se calculan y se ajustan en la cuenta de margen del trader. De esta forma, si el mercado se mueve a favor del trader, las ganancias se acreditan a la cuenta, incrementando el valor disponible por encima del margen inicial. Por el contrario, si el mercado se mueve en su contra las pérdidas se deducen de la cuenta, pudiendo provocar un margin call si los fondos caen por debajo del margen de mantenimiento (MM).

Veamos el ejemplo del libro *Options, Futures, and Other Derivatives* de Hull, que es un libro extremadamente famoso en el campo de los derivados e ilustra el funcionamiento del margen en un contrato de futuros de una manera muy sencilla de entender. El ejemplo consiste en un inversor que contacta a su bróker el jueves 5 de junio para comprar dos contratos de futuros sobre el oro con vencimiento en diciembre en la Bolsa de Materias Primas de Nueva York (COMEX). El precio en ese momento del futuro es de $400 por onza. Dado que el tamaño del contrato es de 100 onzas, el inversor ha contratado la compra de un total de 200 onzas a este precio, es decir, $80.000.

No obstante, el inversor no tiene que pagar esa cantidad, sino que el bróker le pedirá que deposite fondos en una cuenta de margen. La cantidad que debe depositarse en el momento en que se ingresa en el contrato es lo que se conoce como el margen inicial (IM). Para este ejemplo, dicho margen es de $2,000 por contrato, es decir, $4,000 en total. Al final de cada sesión, la cuenta de margen se ajusta para reflejar la ganancia o pérdida del inversor como hemos comentado, que es lo que se conoce como el mark-to-market.

Si al final del 5 de junio el precio del futuro ha caído de $400 a $397, el inversor tiene una pérdida de $600 (200 x $3), porque las 200 onzas de oro con vencimiento en diciembre, que el inversor contrató comprar a $400, ahora solo pueden venderse por $397. Por lo tanto, el saldo en la cuenta de margen se reduciría en $600, quedando en $3,400. Del mismo modo, si el precio del oro con vencimiento en diciembre subiera a $403 al final del primer día, el saldo en la cuenta de margen se incrementaría en $600, alcanzando los $4,600.

Cabe destacar que el Mark-To-Market no es solo un acuerdo entre el bróker y el cliente. Cuando hay una disminución en el precio del futuro y la cuenta de margen de un inversor con una posición larga se reduce en $600, el bróker del inversor debe pagar $600 a la bolsa, y la bolsa transfiere el dinero al bróker de un inversor con una posición corta. De manera similar, cuando hay un aumento en el precio del futuro, los brókers de las partes con posiciones cortas postean colateral ("pagan") a la bolsa, y los brókers de las partes con posiciones largas reciben dinero de la bolsa.

El inversor tiene derecho a retirar cualquier saldo en la cuenta de margen que exceda el margen inicial. Para garantizar que el saldo en la cuenta de margen nunca sea negativo, se establece un margen de mantenimiento (MM), que es siempre algo inferior al margen inicial. Si el saldo en la cuenta de margen cae en algún momento por debajo del margen de mantenimiento, el inversor recibe una margin call y se espera que reponga la cuenta de margen hasta el nivel del IM al día siguiente de dicha llamada. Los fondos adicionales depositados se conocen como margen de variación (VM de sus siglas en inglés). Si el inversor no proporciona el margen de variación, el bróker cierra la posición vendiendo el contrato (a este proceso se le conoce como liquidación). En el caso del inversor mencionado anteriormente, cerrar la posición implicaría neutralizar el contrato existente vendiendo 200 onzas de oro para entrega en diciembre. Veamos el ejemplo a más largo plazo en la imagen del libro:

Day	*Futures price ($)*	*Daily gain (loss) ($)*	*Cumulative gain (loss) ($)*	*Margin account balance ($)*	*Margin call ($)*
	400.00			4,000	
June 5	397.00	(600)	(600)	3,400	
June 6	396.10	(180)	(780)	3,220	
June 9	398.20	420	(360)	3,640	
June 10	397.10	(220)	(580)	3,420	
June 11	396.70	(80)	(660)	3,340	
June 12	395.40	(260)	(920)	3,080	
June 13	393.30	(420)	(1,340)	2,660	1,340
June 16	393.60	60	(1,280)	4,060	
June 17	391.80	(360)	(1,640)	3,700	
June 18	392.70	180	(1,460)	3,880	
June 19	387.00	(1,140)	(2,600)	2,740	1,260
June 20	387.00	0	(2,600)	4,000	
June 23	388.10	220	(2,380)	4,220	
June 24	388.70	120	(2,260)	4,340	
June 25	391.00	460	(1,800)	4,800	
June 26	392.30	260	(1,540)	5,060	

Ilustración 7. Tabla 2.1 de la 5ª Edición del libro Options, Futures, and Other Derivatives de Hull. Ilustración del funcionamiento de los márgenes

En esta tabla se ve muy claro cómo va variando el balance de la cuenta de margen del inversor en base a los movimientos del subyacente y cómo se le exige postear más margen al inversor siempre que dicho saldo cae por debajo de los $3000, lo cual es muy representativo de cómo funcionan las margin call y el variation margin.

En definitiva, el uso del margen permite a los inversores operar con un apalancamiento significativo, es decir, controlar una gran cantidad de activos con un capital relativamente pequeño, lo que da mucho más atractivo a operar en futuros y en derivados en general. Si volvemos a los ejemplos de Bloomberg de los futuros anteriores, vemos que hay una sección llamada “Margin requirements”, en la que se establece el IM del inversor que decida entrar en cada contrato de futuros.

Opciones sobre bonos

Las opciones son instrumentos derivados que otorgan al titular el derecho, pero no la obligación, de comprar o vender un bono a un precio específico en una fecha determinada. Estos derivados son herramientas fundamentales en la gestión del riesgo de tipo de interés y en la especulación sobre los movimientos futuros de los tipos de interés. Las opciones sobre bonos se dividen en dos tipos principales:

A) Call (Opción de Compra): Otorga al comprador el derecho a comprar un bono a un precio fijo (strike) en la fecha de vencimiento de la opción. Los inversores suelen comprar calls cuando anticipan una caída en los tipos de interés, lo que aumentaría el precio de los bonos subyacentes, permitiéndoles comprar el bono a un precio inferior al de mercado.
B) Put (Opción de Venta): Otorga al comprador el derecho a vender un bono a un predeterminado o strike en la fecha de vencimiento de la opción. Este tipo de opción es útil cuando se anticipa un aumento en los tipos de interés, que generalmente conduce a una disminución en el precio de los bonos. Así, el inversor puede vender el bono a un precio más alto del que estaría disponible en el mercado.

Cabe mencionar, que las opciones europeas solo pueden ser ejecutadas en la fecha de vencimiento, tal y como hemos descrito. Sin embargo, las americanas permiten ser ejercidas en cualquier momento antes de dicha fecha.

Por otro lado, otro tipo de opción de renta fija pero que no usaremos en este análisis son las swaptions, que otorgan el derecho al comprador a entrar en un swap de tipos de interés pagando o recibiendo un tipo fijo determinado. De este modo, si los tipos caen y el swaption es un receiver, el comprador ejercerá la opción y entrará en un swap por encima de los niveles de mercado.

De cualquier forma, las opciones se utilizan principalmente con 2 estrategias en mente:

1. Como estrategia de cobertura o hedge: Los gestores pueden decidir comprar o vender opciones sobre los bonos que tienen en cartera para protegerse frente a posibles movimientos adversos en los tipos de interés. Por ejemplo, un PM (Portfolio Manager) que posee una gran cantidad de bonos y teme una subida de tipos puede comprar puts para mitigar las posibles pérdidas en caso de que finalmente suban los tipos y no ejercerlas si al final los tipos no suben, perdiendo únicamente la prima.
2. Con fines especulativos: Al igual que todos los otros productos derivados que hemos comentado, las opciones también pueden usarse con fines especulativos. De hecho, es el uso que ya se ha explicado en la definición. Si un inversor cree que los tipos van a caer, puede comprar calls sobre un bono y beneficiarse de comprarlo más barato en un futuro si al final los tipos acaban subiendo, y al revés con las puts.

Por último, un aspecto a resaltar es que las opciones en renta fija generalmente liquidan en cash/PV, que significa que no hay una entrega física del bono subyacente, sino que la diferencia entre el precio de ejercicio y el precio de mercado del bono en la fecha de ejercicio se paga en efectivo al titular de la opción. No obstante, también se puede hacer con physical settlement, eso queda ya a elección del inversor.

Credit Default Swaps (CDS)

Por último, vamos a tratar los CDS, que son contratos financieros que actúan como una forma de seguro entre dos partes. En este contrato, el comprador de protección (comprador del CDS) paga una prima al vendedor de protección (vendedor del CDS) a cambio de la garantía de recibir un pago en caso de un evento de crédito, como un incumplimiento, quiebra o restructuración del deudor subyacente. De esta forma, este tipo de derivado financiero sirve para cubrir el riesgo de crédito de una contrapartida, quedando únicamente expuesto al riesgo de tipos de interés.

Pongamos un ejemplo, si yo adquiero unos bonos del Banco Santander SA, pero considero que tienen unos ratios de capital, solvencia y liquidez en el límite de lo que se podría considerar una compañía en distress y me preocupa que pueda ocurrir algún tipo de evento de crédito que haga que Banco Santander incumpla con sus obligaciones de pago y me abone mis cupones y/o la devolución del principal, podría cubrirme mediante la compra del CDS de Banco Santander SA con vencimiento similar al bono que haya adquirido, de forma que voy pagando una prima anual a la contrapartida que me vende la protección, a cambio de estar cubierto ante la posibilidad de que el Banco Santander no haga frente a sus obligaciones de deuda.

Los CDS tienen 4 elementos principales:

- Nombre de referencia: Es el emisor de la deuda subyacente, cuyo riesgo de incumplimiento se está cubriendo.
- Nominal: Valor nominal de la deuda protegida.
- CDS spread: Es la prima que paga el comprador de protección al vendedor de forma periódica. Este spread refleja el nivel de riesgo de crédito percibido del subyacente, cuanto más alto sea el spread, mayor es el riesgo percibido y, por tanto, mayor prima tendrá que pagar el comprador por la protección.
- Vencimiento: La duración del CDS, que puede ir de periodos cortos (1 año) hasta periodos más largos (10 años), si bien los CDS a partir del 5 años no suelen ser demasiado líquidos. En cuanto a las fechas de vencimiento, hay 4 roll dates o fechas estándar cada año y la mayoría de los CDS se ajustan a estos vencimientos para facilitar la liquidez del mercado. Estas fechas son:
    - 20 de marzo
    - 20 de junio
    - 20 de septiembre
    - 20 de diciembre

Además, la estandarización de los CDS de esta forma facilita la construcción de una curva de CDS para cada emisor, como las curvas de tipos de interés, donde una curva más inclinada refleja un mayor riesgo de crédito a largo plazo, por la incertidumbre que pueda generar la compañía, mientras que una curva invertida reflejaría una empresa fiable (government-owned por ejemplo) pero que atraviesa momentos de dificultad económica.

Por otro lado, esta estandarización permite la composición de índices de CDS, que se utilizan a menudo como los estándares del mercado de crédito, ya que cuando estrechan los CDS (menor riesgo percibido), estrecha el crédito y viceversa, aunque en ocasiones se puede observar una base negativa entre el crédito y el CDS que podría dar lugar a situaciones de arbitraje (comprar el bono y el CDS simultáneamente y obtener un pequeño beneficio libre de riesgo). Los dos principales índices de CDS en Europa son el Itraxx Europe Main, que lo componen 125 compañías Investment Grade y el Itraxx Europe Xover, que lo componen 75 compañías High Yield. La composición de estos índices se hace en función de la liuquidez de los CDS en el mercado, para que puedan servir de referencia del comportamiento del mercado de crédito. A continuación, se observará el comportamiento de ambos índices en el terminal de Bloomberg y se llevará a cabo un pequeño análisis de este comportamiento en base a los fundamentales de las compañías y el entorno macroeconómico global.

En primer lugar, veamos el comportamiento del Main:

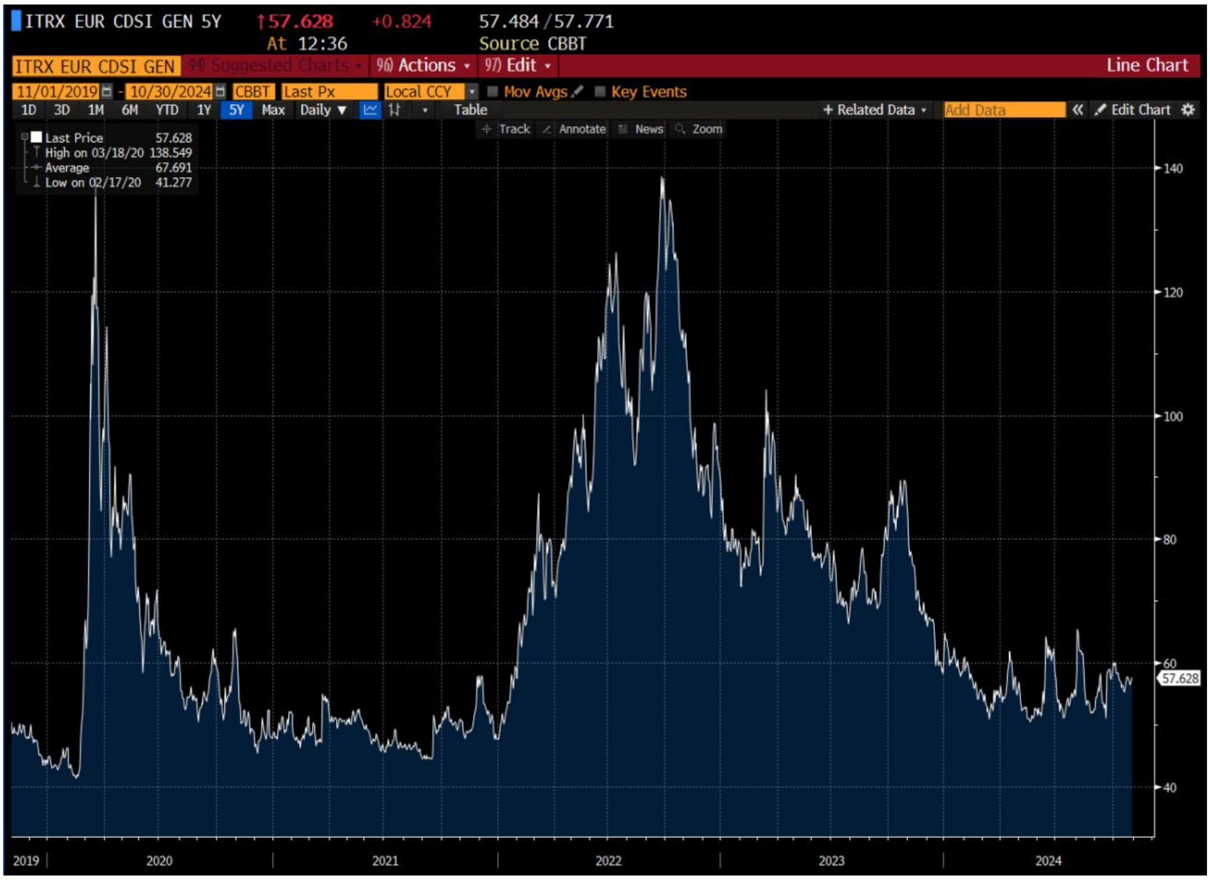


Ilustración 8. Evoulción del Itraxx Europe Main desde 2019 hasta hoy. Source: Bloomberg

Source: Bloomberg

Tal y como se puede ver en la gráfica, el índice se mantenía estable en torno a los 50bps de spread a finales de 2019, reflejando una percepción de riesgo de crédito relativamente baja en Europa antes de la pandemia. Es decir, el mercado veía pocas probabilidades de que las empresas IG (de mayor calidad crediticia) afrontaran dificultades de pago.

Sin embargo, en marzo de 2020, con el estallido del Covid-19, el índice se dispara. La incertidumbre y los confinamientos llevaron a un aumento de los spreads de crédito, por una mayor percepción de riesgo de impago. No obstante, la respuesta por parte de los gobiernos europeos y bancos centrales mediante políticas monetarias y fiscales hiperexpansivas para intentar dar estímulo a la economía postpandemia, hicieron que el índice estrechara de nuevo.

Hasta que en 2022, los elevados niveles de inflación llevaron al endurecimiento de las políticas monetarias, lo cual unido al estallido de la guerra de Ucrania dispararon de nuevo los riesgos globales y la situación económica de las compañías, ya que el ciclo de subidas de tipos por parte de los bancos centrales provocó un aumento drástico en los costes de financiación de las empresas, provocando muchas más situaciones de distress en el mercado de crédito, aunque eso se escapa del scope de este proyecto.

Finalmente, desde finales de 2022 y hasta hoy, el índice ha mostrado una tendencia de moderación, aunque sigue en niveles más altos que antes de la pandemia. Esta estabilización refleja por un lado, una menor preocupación a los altos tipos de interés, pero por otro lado, el hecho de que la inflación se está moderando, mientras el crecimiento del PIB en Europa se mantiene fuera de riesgo de recesión, lo cual es una situación favorable para el crédito.

En segundo lugar, veamos qué ha hecho el crédito de mayor riesgo (HY) en este mismo lapso de tiempo:

Ilustración 9. Evoulción del Itraxx Europe Xover desde 2022 hasta hoy. Source: Bloomberg

Tal y como se puede apreciar, el comportamiento del crédito HY fue prácticamente idéntico en relativo, es decir, en la forma de la curva, lo cual tiene sentido, ya que los principales drivers de que ambos índices se dispararan fueron una pandemia, una guerra con implicaciones a nivel mundial y un ciclo de subidas de tipos no visto desde hacía años, por lo que es de esperar un movimiento de risk off generalizado en los mercados, en los que los inversores venden el crédito y reinvierten su dinero en activos considerados "libres de riesgo" como los bunds o los US Treasuries.

No obstante, cabe destacar la elevada diferencia que hay en términos absolutos, mientras actualmente el índice Main cotiza a niveles de 57bps de spread, el índice Xover lo hace a niveles de 309bps de spread, reflejando el elevado riesgo crediticio de las compañías HY.

Una vez explicados los derivados financieros que tienen más utilidad a al hora de construir una cartera de renta fija, pasemos a ver los diferentes modelos de valoración de este tipo de productos.

Modelos de valoración

En esta sección, abordaremos los modelos matemáticos utilizados para valorar los principales derivados comentados en la sección anterior: swaps, futuros sobre bonos y opciones. Estos modelos son fundamentales para entender el precio de estos instrumentos, evaluar su riesgo y decidir cuándo es conveniente utilizarlos en la gestión de carteras.

Modelo de valoración de swaps

El modelo de valoración de swaps es probablemente el más simple de los 3, consiste en un descuento de flujos de caja, a un tipo determinado que habitualmente es EURIBOR, tanto de los flujos de la pata fija, como de los flujos de la pata variable.

Para los flujos de la pata fija no hay demasiado misterio, ya que se sabe con certeza el valor de cada flujo, calculado como el tipo fijo porcentual del nominal del swap. Sin embargo, los flujos de la pata variable no son conocidos, por lo que este cálculo conlleva más complejidad. Lo que se hace es que se aproximan dichos flujos con la curvas forward de mercado. Estas curvas representan los tipos de interés futuros implícitos que se pueden derivar de la curva de tipos de interés actual (curva spot) e indican, por tanto, las expectativas del mercado sobre los tipos de interés en diferentes momentos en el futuro. Se calculan a partir de la curva spot utilizando la relación entre los tipos de interés de diferentes vencimientos. Por ejemplo, el tipo forward a un año dentro de dos años se puede calcular a partir de la relación entre los tipos spot a dos y tres años. La nomenclatura sería ($f_{2,1}$) y la fómula quedaría de la siguiente forma:

$$(1 + s_3)^3 = (1 + s_2)^2\ x\ (1 + \ f_{2,1})$$

Donde:

- S_2 es el tipo spot a 2 años
- S_3 es el tipo spot a 3 años
- $f_{2,1}$ es el tipo forward a 1 año dentro de 2 años

Con esto, ya sí se pueden estimar los tipos a futuro de un índice variable como el EURIBOR, por lo que se hace una estimación de los flujos con las curvas forward a mercado y se descuentan dichos flujos de caja a valor presente de igual forma que se hizo con los de la pata fija.

El resultado final o NPV es la diferencia neta entre el valor presente de los flujos de ambas patas, que corresponde a la prima que deberá pagar la parte cuyos flujos correspondientes a pagar sean menores. Es decir, este NPV es el precio final del swap.

Como es lógico, como en cualquier otra ecuación de una sola incógnita, los swaps se pueden cotizar también para que el NPV sea 0, cotizando en dicho caso sobre el tipo fijo a pagar o el spread sobre el tipo variable, es decir, cuantos puntos básicos debe pagar la contrapartida sobre EURIBOR para que un swap a un plazo determinado, con una frecuencia de pagos determinado y un tipo fijo a recibir determinado dé como resultado NPV = 0. Veamos un ejemplo:

Modelo de valoración de futuros

Fórmula exponencial de John Hull

El libro de Opciones, Futuros y Derivados de John Hull, mencionado anteriormente, es una de las guías más completas sobre derivados y gestión de riesgos que existen en la actualidad. En este libro, Hull nos propone la siguiente fórmula para calcular el precio de un futuro, que es evidente que dependerá del precio del bono subyacente:

$$F_0 = \ (S_0 - I)e^{rT}$$

Donde:

- F_0 es el precio del futuro
- S_0 es el precio actúa del bono subyacente
- I son los cupones que pagará dicho bono durante la duración del contrato de futuros descontados a valor presente.
- r es el tipo de interés libre de riesgo
- T es el tiempo hasta vencimiento del bono subyacente en años

Esta fórmula solo funciona bajo ciertas suposiciones:

1. Se asume que el inversor conoce el Cheapest-to-deliver (CTD), ya que los contratos de futuros habitualmente liquidan con esta fórmula, que se basa en que un contrato de futuros tiene una serie de bonos elegibles como subyacentes, y el vendedor del contrato de futuros venderá aquel que sea el más barato en la fecha de vencimiento del futuro. Por ejemplo, para un contrato de futuros sobre el Bund, los bonos elegibles para la entrega podrían incluir aquellos con vencimientos entre 8,5 y 10,5 años desde la fecha de vencimiento del contrato de futuros. En esta fórmula, Hull asume que el inversor conoce el bono que será entregado.
2. Se asume que los mercados son eficientes, es decir, que toda la información relevante está ya reflejada en los precios actuales de los bonos y de los futuros.
3. Se asume que el tipo de interés libre de riesgo es constante, algo poco realista, pero muy utilizado en fórmulas teóricas.

Fórmula simplificada

No obstante, es muy habitual, en la práctica, y en muchos libros de texto, encontrar una fórmula mucho más simplificada, que sería la siguiente:

$$F_0 = S_0 \; x \; (1 + r \; x \; T)$$

Donde las incógnitas son las mismas, es decir:

- F_0 es el precio del futuro
- S_0 es el precio actúa del bono subyacente
- r es el tipo de interés libre de riesgo
- T es el tiempo hasta vencimiento del bono subyacente en años

Esta fórmula no es más que una simplificación de la anterior en la que se realizan aún más suposiciones. Veamos cómo se llega a esta fórmula partiendo de la anterior.

Si asumimos que no hay pagos de cupones durante la vida del contrato (lo que es razonable si el bono no paga cupones o si estos son tan pequeños que se pueden considerar insignificantes), entonces I = 0, y la fórmula de Hull se simplifica a:

$$F_0 = S_0 e^{rT}$$

Como ya sabemos, de asignaturas como Cálculo, para valores pequeños de rT, e^{rT} puede simplificarse mediante la expansión en serie de Taylor a:

$$e^{rT} \approx 1 + rT$$

Por lo que la fórmula de Hull quedaría simplificada a

$$F_0 = S_0 \, x \, (1 + r \, x \, T)$$

Veamos ahora un ejemplo práctico de como de precisa es la simplificación con respecto a la fórmula de Hull y la propia fórmula de Hull con respecto a los valores de Bloomberg.

Ejemplo práctico de valoración de futuros

Para llevar a cabo este ejemplo, utilizaremos el benchmark a 10 años del gobierno alemán, es decir, el bund, que en este caso es el DBR 2.6 08/15/34, cuyo precio actual está en 103.29.

Posteriormente, identificaremos el futuro asociado a dicho bono, que como ya hemos comentado para el bund es el RX, cuyo precio de cotización de mercado es de 134.43. Esa será nuestra referencia.

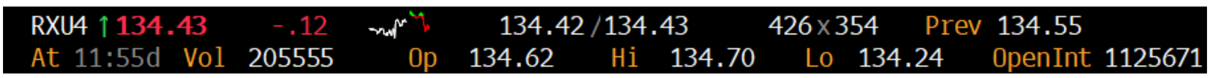


Ilustración 10. Precio actual del futuro sobre el Bund (RX). Source: Bloomberg

A continuación, aplicaremos primero la fórmula completa de Hull:

$$F_0 = (S_0 - I)e^{rT}$$

$$F_0 = (103.29 - I)e^{rT}$$

Dado que el próximo cupón del bono será el 15 de agosto y el contrato de futuros expira el 6 de septiembre (Last Trade Date), tal y como vemos en la siguiente imagen, I = 0, en este caso.

Ilustración 11. Fechas relevantes en un contrato de futuros. Source: Bloomberg

En cuanto al tipo de interés libre de riesgo, lo más apropiado es utilizar es sacarlo de la curva swap vs E6M, ya que representa el coste del dinero y las expectativas del mercado a futuro. Por tanto, sacaremos de Bloomberg el tipo swap a 10 años vs EURIBOR 6M, empleando el comando <EUSA10>:

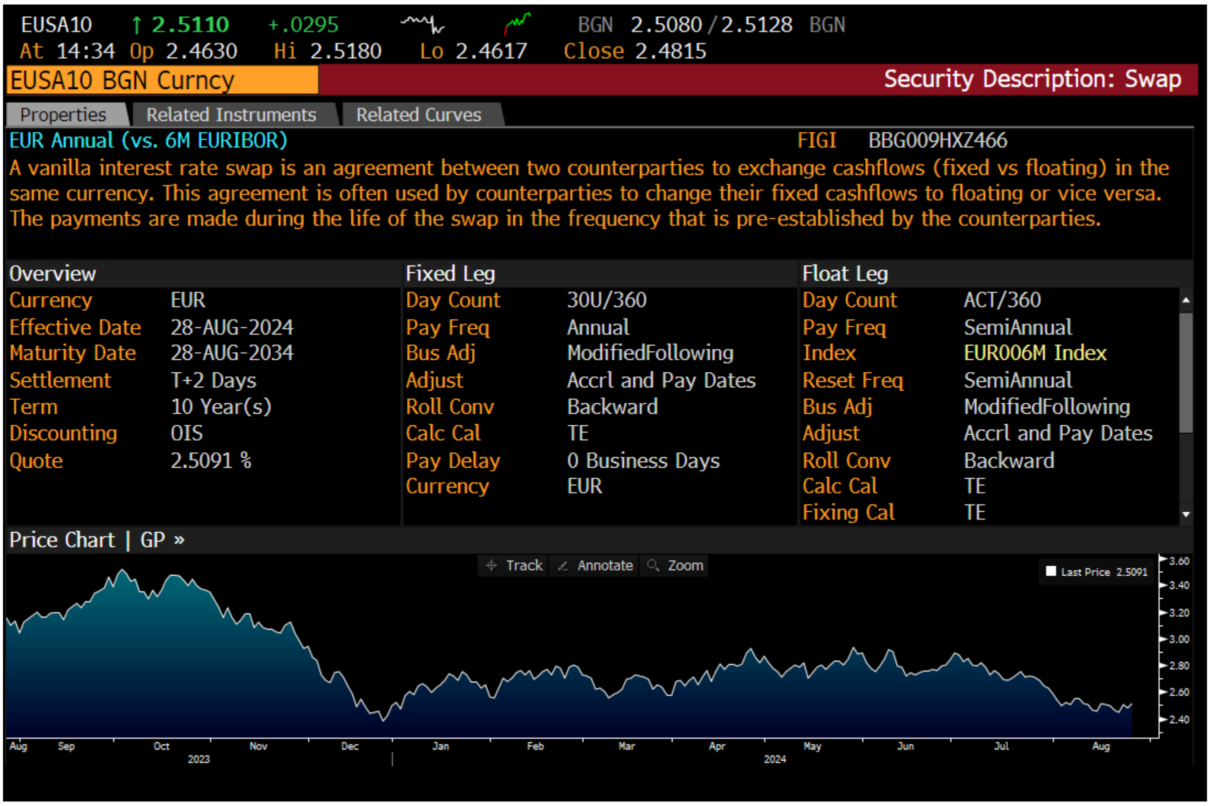


Ilustración 12. Tipo de interés libre de riesgo de la curva swap. Source: Bloomberg

Tal y como vemos en la imagen, en el momento de elaboración de este TFM e tipo de interés libre de riesgo para el ejemplo propuesto se encuentra en 2.511%. Por tanto, sustituyendo en la ecuación:

$$F_0 = (103.29)e^{0.02511\ x\ 10} = 132.77$$

Obtenemos como resultado 132.77, que no es una mala aproximación del valor real, 134.07. Veamos ahora el resultado que habríamos obtenido con la fórmula simplificada:

$$F_0 = \ 103.29\ x\ (1 + 0.02511\ x\ 10) = 129.22$$

Con esta simplificación de la fórmula vemos que el resultado es ligeramente peor. En la siguiente tabla, se evalúa la precisión de ambas metodologías:

Sistema	Resultado	Valor Real	Variabilidad
Hull	132.77	134.07	-0.97%
Simplificación	129.22	134.07	-3.62%

Tabla 1. Comparativa de resultados entre diferentes metodologías de valoración de futuros. Source; Microsoft Excel. Elaboración propia.

Por tanto, tal y como observamos en la tabla, la fórmula de Hull es mucho más precisa a la hora de pricear futuros sobre bonos, por lo que es la que emplearemos de ahora en adelante.

Además, cabe destacar que una de las hipótesis de la fórmula simplificada es que no hay pago de cupones entre la fecha de compra del contrato de futuros y el bono subyacente, algo que se cumple en esta ocasión, por lo que con un futuro en el que este no fuera el caso, la fórmula simplificada nos habría dado un precio aún más alejado del valor real.

Modelo de valoración de opciones

En tercer lugar, para llevar a cabo la valoración de opciones, tenemos 2 alternativas: adaptar la fórmula de Black-Scholes, que hemos visto en clase, a la naturaleza específica de los bonos como activos subyacentes, o emplear la fórmula de Black. En este apartado explicaremos ambos modelos de valoración y posteriormente los compararemos y veremos cual es más preciso frente al pricer de Bloomberg.

Modelo adaptado de la fórmula de Black-Scholes

En primer lugar, veremos la adaptación de la fórmula de Black-Scholes, que asume que el precio del underlying, en este caso el bono en cuestión sigue una distribución lognormal (vista en asignaturas como Estadística, Análisis de Datos o Modelos Cuantitativos). Por tanto, la fórmula adaptada para una call quedaría de la siguiente forma:

$$C = B_0\ x\ N(d_1) - PV(K) x\ N(d_2)$$

Donde

- B_0 → Precio del bono subyacente
- K → Strike
- PV(K) → Valor presente del precio de ejercicio, descontado al tipo de interés libre de riesgo

Y $N(d_1)$ y $N(d_2)$ son las funciones de la distribución normal, cuyas variables (d_1 y d_2) serían las siguientes:

$$d_1 = \frac{\ln\left(\frac{B_0}{K}\right) + \left(r + \frac{\sigma^2}{2}\right)T}{\sigma\sqrt{T}}$$

$$d_2 = d_1 - \sigma\sqrt{T}$$

Donde:

- T → Tiempo hasta vencimiento de la opción en años
- σ → Volatilidad implícita
- r → Tipo de interés libre de riesgo

De forma similar a la fórmula de Hull vista en la valoración de futuros, esta adaptación del modelo de Black-Scholes asume un tipo de interés libre de riesgo constante y no tiene en cuenta el pago de cupones, por lo que es importante que, al utilizar la fórmula, se introduzca el precio excupón del bono.

Si bien solo hemos presentado la fórmula para pricear una opción de compra (call), el precio de una put vendría determinado por la misma fórmula, solo que, con 2 adaptaciones, quedando la fórmula así:

$$P = PV(K)x\ N(-d_2) - B_0\ x\ N(-d_1)$$

Para entender estas diferencias es preciso ahondar en el significado de los dos términos que componen la ecuación para poder así entender por qué se calcula así el precio de las opciones. Empecemos primero por la fórmula de la call:

- El término $B_0\ x\ N(d_1)$ representa el valor esperado del bono ajustado por riesgo a vencimiento.
- Mientras que el término $PV(K)x\ N(d_2)$ representa el valor presente de ejercicio ajustado por riesgo.

Por lo tanto, dado que en una call el titular se beneficia si el precio del subyacente es mayor que el strike, la resta de estos dos términos, no es más que el beneficio esperado o probability-weighted de poseer esta opción, dando lugar a la prima que hay que pagar para comprarla.

Por otro lado, en las puts, el caso es similar, utilizando $-d_1$ y $-d_2$ en las probabilidades dado que una put tiene un perfil de riesgo opuesto al de una call. Por tanto:

- El término $B_0\ x\ N(-d_1)$ representa el valor esperado del bono ajustado por riesgo a vencimiento.

- Mientras que el término $PV(K)x\ N(-d_2)$ representa el valor presente de ejercicio ajustado por riesgo.

Sin embargo, como en una put el titular se beneficia cuando el precio del subyacente cae por debajo del strike, también se invierte la resta de estos términos, quedando el beneficio esperado por poseer la opción y, por tanto, el precio de la opción como:

$$P = PV(K)x\ N(-d_2) - \ B_0\ x\ N(-d_1)$$

Fórmula de Black

En segundo lugar existe otra alternativa para calcular el precio de las opciones, que es la fórmula de Black, la cual debería adaptarse mejor a subyacentes con tipos de interés estocásticos, es decir, que varían con el tiempo en función de los distintos factores económicos y financieros. Por tanto, a priori, debería ser más precisa a la hora de calcular el precio de opciones sobre bonos, pero eso ya lo veremos en la comprobación matemática más adelante. La fórmula sería la siguiente:

$$C = P(0,T)\ x\ (F\ x\ N(d_1) - K\ x\ N(d_2))$$

Donde:

- F es el precio forward del bono
- K es el strike
- P(0, T) es el precio de un bono cero cupón (ZC) con vencimiento T

Y $N(d_1)$ y $N(d_2)$ son las funciones de la distribución normal, cuyas variables (d_1 y d_2) serían las siguientes:

$$d_1 = \frac{\ln\left(\frac{F}{K}\right) + \left(\frac{\sigma^2 T}{2}\right)}{\sigma\sqrt{T}}$$

$$d_2 = \ d_1 - \sigma\sqrt{T}$$

Tal y como se puede ver a primera vista, una de las principales particularidades de este modelo es que emplea el precio forward del bono en lugar del spot. Tal y como se puede ver en la ecuación, el racional es muy similar al modelo de Black-Scholes, es decir, el precio de la opción no es más que el beneficio esperado por poseer dicha opción, calculado como el valor esperado del bono a vencimiento menos el valor presente del strike ajustado por riesgo, con la diferencia de que se emplea el precio forward del bono en lugar de spot como hemos comentado. Por tanto, una vez hemos comprendido que el precio del bono no es más que la resta del precio del bono y el strike multiplicado por la probabilidad de que la opción expire dentro del dinero o "in the money", es bastante intuitivo que la fórmula para calcular el precio de una put según el modelo de Black será:

$$P = P(0,T)\ x\ (K\ x\ N(-d_2) -\ F\ x\ N(-d_1))$$

Invirtiendo por tanto los términos de la resta por el perfil de pago de la put y de las probabilidades por el perfil de riesgo.

Formula de Black vs Black-Scholes adaptado. ¿Cuál es mejor?

Una vez vistos ambos modelos, veamos si efectivamente la fórmula de Black es más precisa para calcular el precio de los derivados de tipos de interés o si, por el contrario, el modelo de Black-Scholes se adapta mejor a este tipo de productos.

Cálculo a través del Pricer de Bloomberg

Para ello, cogeremos primero el bono español a 10 años, SPGB 3.45 10/31/34, calcularemos con el pricer de Bloomberg (que se encuentra utilizando el comando <OVME>) el precio de una call ATM (at the money), es decir, con strike el precio actual, con vencimiento dentro de 3 meses y, posteriormente, calcularemos el precio de esa misma opción a mano con los modelos de Black-Scholes y Black respectivamente, para observar cual de los dos es más preciso. Estos son los resultados obtenidos por Bloomberg:

Ilustración 13. Valoración de una Call sobre SPGB 2034 a través del pricer de Bloomberg. Source: Bloomberg

Tal y como se puede observar, el precio de una call ATM con vencimiento dentro de 3 meses es de 1.2568, con los siguientes datos:

- Precio Actual del subyacente: 103.133
- Volatilidad implícita: 6.048%
- Fecha de vencimiento de la opción: 11/25/2024
- Repo rate (r): 3.525%
- Precio forward del bono: 103.1936
- Precio de ejercicio (Strike): 103.133 (ATM)

Cálculo a través del modelo de Black-Scholes

Calculamos primero los valores de d1 y d2:

$$d_1 = \frac{\ln\left(\frac{103.133}{103.133}\right) + \left(0.03525 + \frac{0.06048^2}{2}\right)0.24932}{0.06048\sqrt{0.24932}} = 0.306$$

$$d_2 = 0.306 - 0.06048\sqrt{0.24932} = 0.276$$

Una vez calculados estos valores, podemos ayudarnos de Microsoft Excel para calcular la probabilidad acumulada de que la opción esté in the money según una distribución normal. Para ello, utilizamos la fórmula “NORM.S.DIST”, seleccionando como primer término de la función d1 y d2 respectivamente y como segundo término habría que seleccionar TRUE, ya que queremos la probabilidad acumulada (CDF) y no la densidad (PDF). Haciendo estos cálculos en Excel obtenemos:

$$N(d_1) = 0.62$$

$$N(d_2) = 0.608$$

Por tanto, solo quedaría descontar a valor presente el strike al tipo de interés considera como libre de riesgo. Cabe destacar que, si bien normalmente consideramos el tipo swap como tasa libre de riesgo, para plazos muy cortos es más común utilizar el tipo de interés repo, ya que representa el coste de financiación real a corto plazo en el mercado de bonos. Es decir, si una contraprtida tiene el bono español puede entrar en un repo a 3 meses financiándose “sin riesgo” al 3.525%, utilizando el bono como colateral.

Dicho esto, empleando el tipo repo como tipo de interés libre de riesgo, calculamos el valor presente del strike como:

$$PV(K) = \frac{K}{(1+r)^T}$$

$$PV(K) = \frac{103.133}{(1+0.03525)^{0.24932}} = 102.246$$

Finalmente, una vez calculados todos los términos, sustituimos en la ecuación para llegar al precio de la call según el modelo de Black-Scholes:

$$C = 103.133\ x\ 0.62 - 102.246\ x\ 0.608 = 1.73$$

El valor final que nos da el modelo de Black-Scholes es de 1.73, un 37% por encima del pricer de Bloomberg, que podríamos considerar como el precio real de la opción.

Cálculo a través del modelo de Black

Una vez calculado el precio de la opción a través del modelo de Black-Scholes, veamos si utilizar el precio forward del bono nos da un valor más preciso. Igual que antes, comenzamos por calcular d1 y d2:

$$d_1 = \frac{\ln\left(\frac{103.1936}{103.133}\right) + \left(\frac{0.06048^2 0.24932}{2}\right)}{0.06048\sqrt{0.24932}} = 0.03455$$

$$d_2 = 0.03455 - 0.06048\sqrt{0.24932} = 0.00435$$

Una vez calculados estos dos términos, calculamos la función de probabilidad con Excel del mismo modo que antes:

$$N(d_1) = 0.5138$$

$$N(d_2) = 0.5017$$

Por otro lado, el modelo de Black utiliza una variable adicional que es P(0, T), que no es más que el valor que tendría un bono cero cupón con el mismo vencimiento que la opción. Para calcular este término, descontamos un precio de 100% (ya que el bono no tiene cupón) a valor presente al tipo repo, obteniendo la siguiente expresión:

$$P(0,T) = \frac{1}{(1 + 0.03525)^{0.24932}} = 0.9914$$

Por tanto, una vez sabemos que un bono cero cupón con este vencimiento tendría un precio de 99.14, podemos calcular el precio de la opción mediante el modelo de Black:

$$C = 0.9914\ x\ (103.1936\ x\ 0.5138\ x\ 103.133\ x\ 0.5017) = 1.26$$

Comparación de resultados

Finalmente, obtenemos un precio de la opción de 1.26, muy cercano al 1.2568 del pricer de Bloomberg. Veamos una pequeña comparación en la siguiente tabla:

Modelo	Precio de la call	Precio de Bloomberg	Desviación
Black-Scholes	1.73	1.2568	+37%
Black	1.26	1.2568	+0.25%

Tabla 2. Comparación de resultados del modelo de Black-Scholes vs Black para la valoración de opciones. Source: Microsft Excel. Elaboración propia

Los resultados son más que evidentes, tal y como preveíamos en la introducción, el modelo de Black es mucho más preciso que el de Black-Scholes a la hora de calcular el precio de opciones sobre bonos, ya que tiene en cuenta el componente estocástico de los tipos de interés. De hecho, mientras el modelo de Black-Scholes estima un precio de la call un +37% superior, el modelo de Black tiene una precisión cercana al 100%, con una variabilidad de tan solo un 0.25%.

Modelo de valoración de CDS

El modelo de valoración de CDS es similar al de un swap de tipos de interés. En este caso también hay un intercambio de dos tipos de cashflows. Por un lado, una serie de pagos que hace el comprador del CDS (vendedor del riesgo) al vendedor del CDS (comprador del riesgo) a cambio de un potencial pago por parte del vendedor del CDS en caso de que ocurra un evento de crédito sobre el subyacente.

Por tanto, para valorar el CDS se resuelve la prima que debe pagar el comprador de dicha protección para igualar el valor presente de ambos flujos de caja, teniendo en cuenta varios factores:

- Probabilidad de incumplimiento
- Rating de la compañía
- Probabilidad de bajada/subida de rating
- % de recovery estimado

Teoría de optimización de carteras en renta fija

Duración y Convexidad

La duración y la convexidad son dos factores clave en la gestión de carteras de renta fija. Estos factores sirven para medir la sensibilidad del precio de un bono a movimientos en los tipos de interés. Veamos en qué consiste cada uno y cuáles son sus principales diferencias.

Duración

La duración es una medida de riesgo, mide la sensibilidad del precio de un bono a los tipos de interés. Hay varios tipos de duración, pero las más usadas son la Duración de Macaulay y la Duración Modificada, que son de hecho las dos que muestra Bloomberg en el análisis de un bono (comando <YAS>).

En primer lugar, la duración de Macaulay se calcula como media ponderada de los vencimientos de los flujos de pago (cupones y principal), expresada en años[1]. Por tanto, es evidente que un bono cero cupón, tendrá una duración equivalente a su vencimiento. En términos más simples, la duración de Macaulay mide el tiempo medio que hace falta para recuperar el precio pagado por un bono a través de los flujos de caja recibidos por el mismo, que son los cupones y el principal. La fórmula es la siguiente:

$$D_M = \frac{\sum_{i=1}^{n} PV_i \ x \ t_i}{B_0}$$

Donde:

- PV_i es el valor presente del flujo de caja del bono en el periodo i.
- t_i es el tiempo en años hasta el pago de dicho flujo de caja
- B_0 es el precio actual del bono

Por otro lado, la duración modificada ilustra el mismo concepto, la sensibilidad del precio de un bono a cambios en los tipos de interés, pero de una forma más directa, ya que refleja el cambio en el precio de un bono ante un movimiento de un 1% en los tipos de interés. La fórmula es la siguiente:

$$D_{mod} = \frac{D_M}{1 + \frac{y}{m}}$$

Donde:

- D_M es la duración de Macaulay
- y es la yield del bono
- m es el numero de pagos de cupón al año (por ejemplo, 2 si el bono paga un cupón semestralmente)

[1] https://www.fundacionmapfre.org/publicaciones/diccionario-mapfre-seguros/duracion-de-macaulay/#:~:text=duraci%C3%B3n%20de%20Macaulay%20(Macaulay%20duration)&text=Consiste%20en%20la%20media%20ponderada,cero%C2%BB%20coincide%20con%20su%20vencimiento.

Convexidad

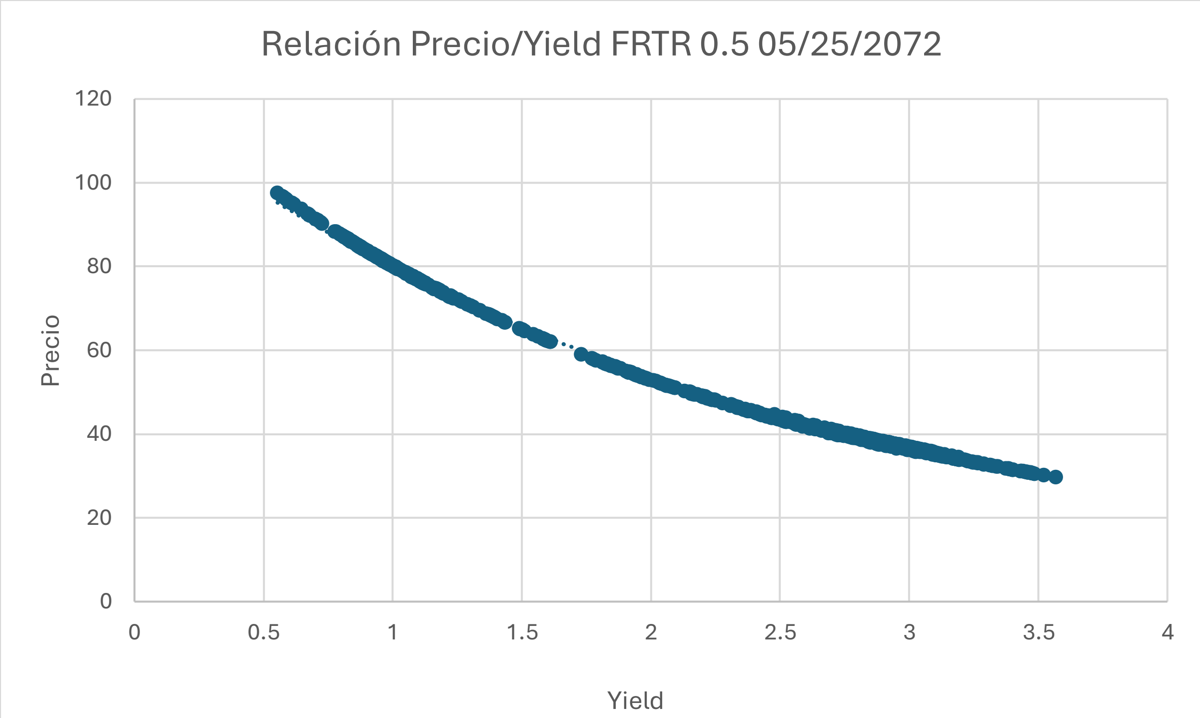
Por otro lado, la convexidad es la segunda derivada de la duración, analiza como de lineal es dicha sensibilidad del precio del bono a los tipos de interés. Cuanta más convexidad (positiva) tenga un bono, mayor será su sensibilidad a bajadas de tipos de interés (aumentando el precio del bono), que a subidas de tipos de interés. Dicho esto, la fórmula de la convexidad es:

$$Convexidad = \frac{1}{B_0}\sum_{i=1}^{n}(\frac{CF_i\ x\ t_i\ x\ (t_i+1)}{(1+y)^{t_i+2}}$$

Donde:

- CF_i es el flujo de caja del bono en el periodo i.
- t_i es el tiempo en años hasta el pago de dicho flujo de caja
- y es la yield del bono
- B_0 es el precio actual del bono

En mi trabajo de fin de grado de Administración y Dirección de Empresas, en el que elaboré un estudio del mercado de renta fija a nivel global y de España en particular, hice un análisis detallado de la convexidad en el bono FRTR 0.5 05/25/2072, el cual cuenta con una convexidad muy elevada y es un ejemplo perfecto para comprender este concepto. A continuación, se muestra la gráfica Precio/Yield de este bono desde su emisión, extraída de dicho TFG, del cual soy el autor:



Gráfica 1. Relación Precio/Yield bono FRTR 2072. Source: Microsoft Excel. Elaboración propia.

Tal y como se puede ver en la imagen, la sensibilidad del precio del bono a los tipos de interés se aproxima por una línea de tendencia exponencial, en lugar, de por una línea recta, lo que refleja que la relación entre el precio y la yield no es una relación lineal y que cuanto más altos son los tipos, menos sensible es este bono a subidas adicionales de tipos y más sensible es a potenciales recortes, lo que lo convierte en una buena inversión en entornos de tipos altos con un ciclo de bajadas de tipos a la vista, como el actual.

Optimización de carteras de renta fija

A la hora de optimizar una cartera de inversión en renta fija, hay 3 principales riesgos que debemos tener en cuenta. En primer lugar, el riesgo de tipos de interés o riesgo de duración, el cual es el relacionado con potenciales subidas de tipos en la economía. En segundo lugar, en bonos corporativos, la capacidad de la compañía en cuestión de hacer frente a sus obligaciones de pago es conocido como riesgo de crédito y, en tercer lugar, el propio funcionamiento del mercado también juega un papel importante, ya que la facilidad para vender en secundario los bonos que forman nuestra cartera, es decir, su liquidez, afectan al riesgo de inversión. Este último es conocido como riesgo de liquidez.

Para cubrir un portfolio de inversión de estos riesgos existen varias estrategias:

1. Minimizar la duración: Seleccionar bonos de tal manera que la duración modificada de la cartera sea lo más baja posible. Esto se hace ponderando cada bono por su precio de mercado y ajustando las ponderaciones para obtener una duración objetivo. De esta forma, estaríamos minimizando el riesgo de tipos de interés, una estrategia muy útil en entornos de tipos volátiles o con potenciales subidas de tipos a la vista.
2. Maximizar el rendimiento ajustado al riesgo: Construir una cartera que maximice el rendimiento total por cada unidad de duración modificada. Esto implica seleccionar bonos con una yield elevada para su duración y ajustar las ponderaciones de manera óptima, como ya veremos más adelante.
3. Duration o Cashflow Matching: Calcular la duración de los pasivos que tengamos y construir una cartera de activos que iguale esta duración, protegiendo así al inversor contra cambios adversos en los tipos de interés. Esta estrategia es muy utilizada sobre todo por aseguradoras y fondos de pensiones, los cuales tienen unos pasivos futuros conocidos, y crean una cartera de inversión de renta fija que matchee en riesgo dichos pasivos, de forma que su riesgo queda cubierto y sus comisiones son ganancias libres de riesgo.
4. Optimización teniendo en cuenta la convexidad: Esta no es una estrategia como tal, sino la posibilidad de incluir una minimización de la convexidad en las dos primeras estrategias. Es decir, o bien minimizar duración y convexidad o bien maximizar los ratios yield:duración y yield:convexidad.

En el próximo capítulo, veremos cómo implementar estas técnicas en Excel, utilizando herramientas como Solver para optimizar la cartera de manera práctica.

Las griegas en derivados de renta fija

Introducción y relación con la serie de Taylor

Los derivados son productos financieros que conllevan una serie de riesgos. Por tanto, cuando un trader cotiza este tipo de activos, tiene que cubrir el riesgo de su libro. Para ello, necesita conocer las distintas sensibilidades que tiene dicho libro a los diferentes parámetros del mercado, estas sensibilidades se conocen como griegas.

Tal y como vimos en su día en la asignatura de Cálculo, toda función puede aproximarse a través de una función polinómica, conocida como serie de Taylor, cuyas sensibilidades no son más que las derivadas en diferentes puntos de la curva. En este sentido, una aproximación a través de la serie de Taylor de orden 1 sería una línea recta, la de segundo orden sería una parábola y, así sucesivamente, siendo la aproximación cada vez más parecida a la función real. Por tanto, las griegas no son más que las derivadas del precio de la opción en función a diferentes parámetros.

Definición, significado y explicación matemática de las griegas

Delta (Δ)

La delta es una medida de la variación en el precio de la opción ante cambios en el precio del activo subyacente. Es decir, es la derivada del precio de la opción en función del precio del underlying. En el caso de una opción sobre un bono, por ejemplo, es cuánto varía el precio de la opción cuando sube o baja el precio del bono subyacente y se representa como Δ.

Por tanto, la fórmula de Δ será la siguiente:

$$\Delta = \frac{dP}{dB}$$

Donde:

- P es el precio de la opción
- B es el precio del bono subyacente

Habitualmente la delta se expresa como un número entre -1 y +1, con las calls teniendo delta positiva, ya que la opción se aprecia cuando sube el precio del bono y las puts teniendo delta negativa, ya que la opción se aprecia cuando cae el precio del bono. No obstante, en otras ocasiones también se puede encontrar el valor de delta expresado en términos de los tipos de interés, es decir, cuanto se aprecia la opción ante un movimiento de 1bp en los tipos de interés, con lo cual en este caso la fórmula sería ligeramente diferente y los signos a la inversa, por el mismo racional.

Gamma (Γ)

La gamma es una medida de la variación de delta ante cambios en el precio del activo subyacente. Es decir, es la segunda derivada. Si el precio de un bono cambia en 1$, la delta de dicho bono cambia en Γ unidades. Por tanto, la fórmula es bastante intuitiva:

$$\Gamma = \frac{d^2P}{d^2B}$$

Donde P y B siguen siendo el precio de la opción y del bono respectivamente.

Vega (ν)

La vega es una medida de la variación del precio de una opción ante cambios en la volatilidad implícita de dicha opción. Como hemos visto en la evaluación de los modelos de valoración, existen dos tipos de volatilidad: volatilidad implícita y volatilidad realizada. La primera es la volatilidad que estima el mercado a futuro, por tanto, es la que da lugar a especulación y la que se utiliza a la hora de evaluar el precio de una opción, como ya hemos visto. La segunda no es más que la volatilidad pasada que ya ha tenido lugar y, aunque a priori ambas deberían ir bastante de la mano, en ocasiones hay divergencias que dan lugar a oportunidades en el mercado de derivados.

Por tanto, si vega es la derivada del precio de la opción en función de la volatilidad implícita del activo subyacente, la fórmula será la siguiente:

$$\nu = \frac{dP}{d\sigma}$$

Donde:

- P es el precio de la opción
- σ es la volatilidad implícita del activo subyacente, en este caso, el bono

Generalmente, la vega suele ser positiva tanto para las puts como para las call, ya que un aumento en la vol suele traducirse en un incremento en el precio de las opciones.

Teta (θ)

La teta es una medida de la sensibilidad del precio de la opción (derivada) en base al tiempo hasta vencimiento. Una posición larga en opciones, ya sea put o call, tiene teta negativa, es decir, el tiempo corre en contra del inversor, cuanto más cercano a vencimiento se encuentra la opción, menos variará el precio de esta. De hecho, a vencimiento, como es lógico una opción valdrá 0 si está out of the money, o la diferencia entre el precio del subyacente y el strike si está in the money. Como es lógico, la fórmula de teta será la siguiente:

$$\theta = \frac{dP}{dt}$$

Donde t es el tiempo hasta vencimiento de una opción.

Existen más letras griegas, como por ejemplo Rho, que mide la sensibilidad del precio de la opción ante cambios en los tipos de interés. No obstante, dado que el precio de un bono está intrínsecamente ligado a los movimientos en los tipos (mediante una relación inversa), en el mercado de renta fija a menudo es suficiente con el análisis de la delta, la cual incluso a veces se expresa como el cambio en el precio de una opción ante un movimiento de 1bps en los tipos de interés. Por este motivo, en este trabajo, no se entrará a analizar la Rho.

Aproximación definitiva de la serie de Taylor

Por tanto, una vez explicadas las griegas más relevantes para el estudio de una cartera de renta fija, la aproximación de la variación del valor de una opción sobre un bono a través de la serie de Taylor, quedaría de la siguiente forma:

$$\Delta P = \frac{dP}{dB} * \Delta B + \frac{dP}{d\sigma} * \Delta\sigma + \frac{dP}{dt} * \Delta t + \frac{1}{2}\frac{d^2P}{d^2B} * (\Delta B)^2 + Otros$$

Que, sustituyendo por cada una de las griegas:

$$\Delta P = \Delta * \Delta B + \nu * \Delta\sigma + \theta * \Delta t + \frac{1}{2}\Gamma * (\Delta B)^2 + Otros$$

Estrategias de cobertura con griegas

Una vez visto qué son las griegas en los derivados financieros y su significado matemático, pasemos a analizar cómo pueden ayudar a un gestor a reducir el riesgo en su cartera. Hay 2 tipos principales de cobertura mediante el uso de las griegas: estrategias de cobertura de delta y estrategias de cobertura de gamma.

Delta Hedging

La estrategia de cobertura de delta, como su propio nombre indica consiste en neutralizar la delta de nuestro porfolio de derivados ya sea a través de la compra del propio activo subyacente, del futuro sobre dicho activo, o de un activo relacionado.

Cobertura delta mediante el uso de futuros

Tal y como vimos en el apartado de valoración de futuros, el precio del futuro sobre un bono es:

$$F_0 = (S_0 - I)e^{rT}$$

Donde:

- F_0 es el precio del futuro
- S_0 es el precio actúal del bono subyacente
- I son los cupones que pagará dicho bono durante la duración del contrato de futuros descontados a valor presente.
- r es el tipo de interés libre de riesgo
- T es el tiempo hasta vencimiento del bono subyacente en años

Por tanto, si asumimos que no hay pagos de cupones entre la fecha de compra de la opción y el vencimiento del futuro, queda $F_0 = S_0 e^{rT}$, de forma que la delta del contrato de futuros viene dada por e^{rT}. Por tanto, para una delta dada, Δ, de una posición en una opción sobre el bono, para cubrir dicha delta, habrá que tomar una posición (en sentido contrario) de $\Delta * e^{rT}$, quedando así cubierto el riesgo.

Cobertura mediante el uso del propio subyacente

Este es el caso más sencillo, en este caso para cubrir la posición en la opción, un inversor tendría que tomar una posición contraria de Δ unidades en el activo subyacente. Es decir, si un inversor está largo de una call sobre el SPGB 2034, que tiene una delta Δ, para cubrir el riesgo tendría que ponerse corto del bono en Δ unidades.

Cobertura mediante el uso de un activo relacionado

Este es el caso menos común y no lo utilizaremos en el desarrollo del portfolio, pero cabe destacar que también es posible cubrir el riesgo de una posición abriendo una posición en un activo cuyo riesgo esté directamente relacionado. Un ejemplo podría ser cubrir una posición en bonos del Santander, mediante un posición contraria en bonos del BBVA, ya que se puede presuponer que en caso de estrés financiero en España, ambos bonos se comportarán de maneras similares. La cantidad del activo correlacionado a comprar/vender vendrá determinada por la regla de la cadena:

$$\Delta = \frac{dP}{dB_1} = \frac{dP}{dB_2} * \frac{dB_2}{dB_1} = \Delta_2 * \frac{dB_2}{dB_1} = \Delta_2 * \rho_{1,2} * \frac{\sigma_2 B_2}{\sigma_1 B_1}$$

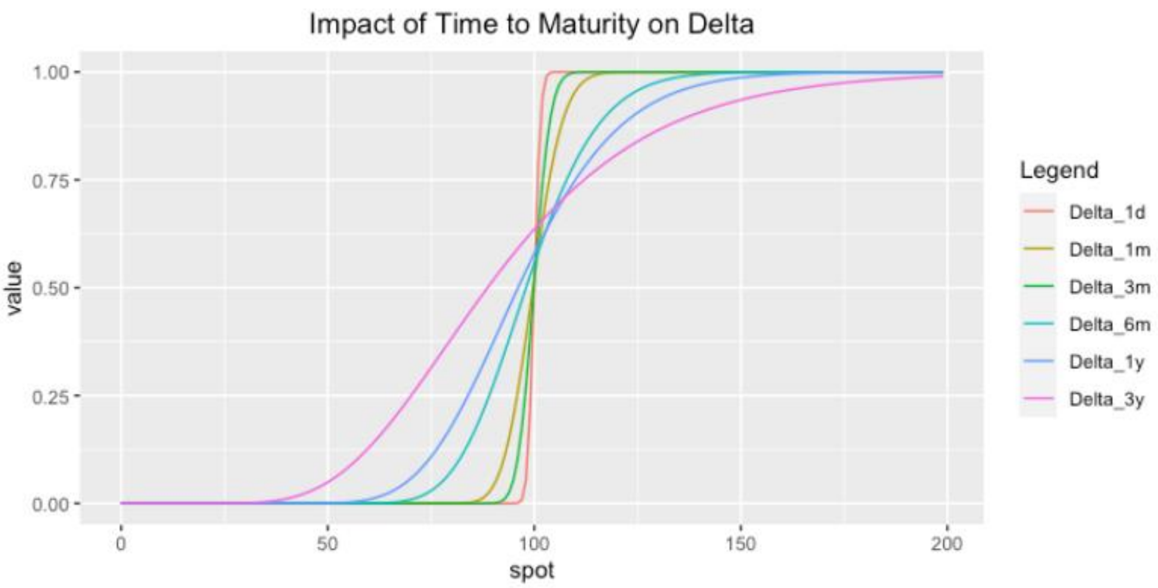
Sensibilidades

Este tipo de coberturas se caracterizan por ser dinámicas, es decir, en función de cómo se van moviendo los mercados, hay que ir actualizando los hedges. La principal razón es que hay diferentes factores que afectan a la delta, lo que hacen que esta varíe, lo cual ya sabemos, porque sino gamma sería equivalente a 0 siempre, y ese no es el caso.

Impacto del tiempo sobre la delta

En primer lugar, el tiempo a vencimiento afecta a la delta. Esto es bastante sencillo de entender, el precio de una opción no va a variar de la misma forma ante cambios en el subyacente a falta de 1 día para que venza la opción que a falta de 3 meses. Por ejemplo, una call con strike en 100, cuyo bono subyacente pasa de valer 99 a valer 101 1 día antes de que venza la opción, sufre un cambio mucho más brusco al alza que la misma call a 3 meses de vencimiento, ya que la primera es mucho más probable que venza in the money.

En este sentido, la delta de una opción a vencimiento tiene una forma binaria (0,1) en caso de las calls o (0,-1) en caso de las puts y según nos alejamos del vencimiento, la delta va siendo menos pronunciada. Veamos esto en un gráfico que compara la delta de una misma opción con diferentes plazos a vencimiento: 1 día, 1 mes, 3 meses, 6 meses, 1 año y 3 años.

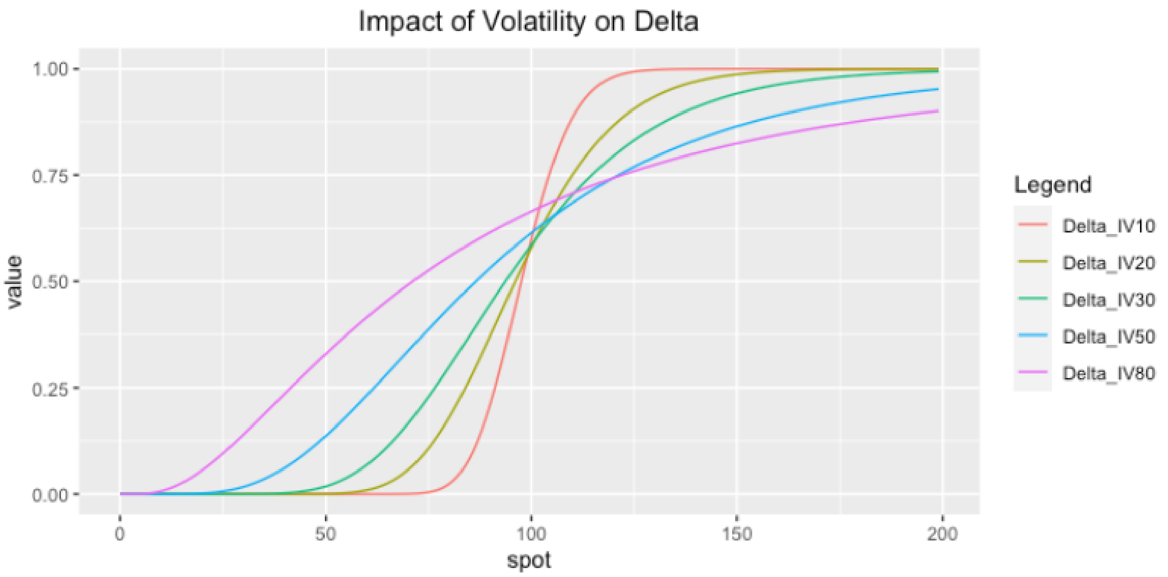


Gráfica 2. Impacto del tiempo a vencimiento sobre la delta de una opción. Source: Derivatives Academy

En la gráfica se observa de forma muy clara el fenómeno que veníamos comentando. A 1 día del vencimiento de la opción, la delta pasa de 0 a 1 casi de manera vertical, mientras que a falta de 3 años los cambios son muchos menos agresivos.

Impacto de la volatilidad sobre la delta

Del mismo modo, la volatilidad implícita del activo subyacente afecta a la delta de la opción. Para opciones OTM (out of the money), una mayor volatilidad aumenta la delta, por tanto, de algún modo, cuanto mayor sea la vol, menos "OTM" está una opción OTM, ya que el mercado presupone que es más probable que llegue a estar ITM, que una opción sobre un bono menos volátil. Y viceversa, para opciones ITM, una mayor vol también aumenta la delta, haciendo que el mercado asuma que es más probable que llegue a estar OTM y esté dispuesto a pagar menos por ella. El siguiente gráfico ilustra esta idea muy bien, cuanto más volátil es el subyacente, menos pronunciada es la delta.



Gráfica 3. Impacto de la volatilidad sobre la delta de una opción. Source: Derivatives Academy

Además del tiempo hasta vencimiento y la vol, hay otros factores como la liquidez, los tipos de interés o los pagos de cupones que pueden tener un efecto sobre la delta, pero estos son menos significativos y en algunos casos despreciables a la hora de ajustar las estrategias de cobertura.

Gamma Hedging

En el anterior subapartado hemos visto cómo cubrir la delta, a través de la compra o venta de bonos o, en su defecto, futuros sobre el bono subyacente. Sin embargo, tal y como hemos visto en las descripción de las griegas, el precio de una opción no varía de forma lineal, sino que lo hace de forma exponencial, a medida que va estando dentro del dinero (ITM), y eso es lo que las hace especialmente atractivas.

No obstante, esta variación de la delta hace que el trader/gestor tenga que estar reajustando el hedge constantemente, incurriendo en costes que pueden ser elevados cuando hay cambios bruscos en el activo subyacente.

Tal y como hemos visto, la gamma es la griega encargada de capturar dicha sensibilidad de segundo orden, cuanto mayor sea la gamma, más convexo es el perfil de pago de la opción. Por tanto, realizar una estrategia de cobertura que también busque neutralizar la gamma de nuestra cartera minimiza la necesidad de estar ajustando constantemente la cobertura de delta. Veamos un ejemplo:

Supongamos que tenemos 100 opciones call sobre el bono SPGB 3.45 10/31/2034 que hemos priceado en el apartado de *Métodos de Valoración* en nuestra cartera. Los datos eran los siguientes:

- **Precio del bono subyacente:** 103.133
- **Strike:** 103.133
- **Delta de la opción:** 0.47
- **Gamma de la opción:** 0.01
- **Precio actual de la call:** 1.2568
- **Volatilidad implícita:** 6.048%
- **Tipo de interés libre de riesgo:** 3.525%

El primer paso para cubrir el riesgo sería llevar a cabo un delta hedge, como la delta es 0.47:

$$0.47\ x\ 100 = 47\ bonos$$

Tendríamos que ponernos cortos de 47 bonos, haciendo que ante movimientos pequeños nuestra posición esté cubierta, ya que lo que gana la opción lo pierde el hedge y viceversa. No obstante, supongamos que el precio del bono subiera 1 punto, de 103.133 a 104.133, consecuentemente la delta también variaría:

$$\Delta_{nueva} = (\Delta_{inicial} + \Gamma\ x\ \Delta_{precio\ del\ bono})\ x\ nº\ de\ opciones$$

$$\Delta_{nueva} = (0.47 + 0.01\ x\ 1) x\ 100 = 48\ bonos$$

Y ahora necesitaríamos vender un bono adicional para estar cubiertos, ya que al haberse movido la opción a nuestro favor, tendríamos una posición larga en delta.

Para no tener que estar haciendo estos ajustes constantemente, se puede llevar a cabo un gamma hedge y, dado que tenemos 100 opciones, la gamma de nuestra cartera sería:

$$\Gamma_{total} = \Gamma_{opción}\ x\ nº\ de\ opciones$$

$$\Gamma_{total} = 0.01\ x\ 100 = 1$$

Por tanto, nuestro portfolio tendría una gama total de 1, por lo que, para llevar a cabo un gamma hedge, tendríamos que vender opciones con una gamma total de -1, para así lograr una cartera neutral en gamma y no tener que estar ajustando el delta hedge.

Capítulo 3. Desarrollo del modelo cuantitativo

Una vez explicados todos los conceptos teóricos que vamos a emplear durante el desarrollo del análisis y evaluado matemáticamente los diferentes métodos de valoración de derivados, procederemos a construir una cartera de renta fija diversificada en términos de vencimientos (corto, medio, largo), tipos de cupón (fijo o flotante), emisores y riesgo, sobre la cual intentaremos maximizar el rendimiento ajustado por riesgo, mediante el uso de derivados.

Construcción de la cartera base

El objetivo principal del estudio será maximizar el rendimiento/tir de la cartera ajustado por riesgo. Esto implica seleccionar bonos que ofrezcan el mayor rendimiento posible para un nivel dado de riesgo (medido en términos de duración y convexidad).

La cartera estará compuesta principalmente por bonos de empresas españolas, lo cual es coherente con el enfoque de una cartera de renta fija nacional. No obstante, también se incluirán bonos de gobiernos europeos, para diversificar el riesgo geográfico.

Para construir esta cartera, seleccionaremos bonos que cumplan con los criterios mencionados:

- **Calidad Crediticia**: Bonos que vayan desde AAA hasta BB. En definitiva, principalmente Investment Grade, salvo algunas excepciones de compañías conocidas BB, para añadir algo de pick-up.
- **Emisor**: Principalmente empresas españolas, pero también se incluirán emisores europeos de alta calidad para diversificar.
- **Vencimiento**: Una gama de vencimientos para reducir el riesgo de reinversión.
- **Tipo de Cupón**: Incluyendo tanto cupones fijos como flotantes.
- **Divisa**: EUR

Para obtener los bonos utilizaremos el comando <SRCH> de Bloomberg, filtrando por los criterios anteriores y exportaremos los datos a una hoja de Excel. Posteriormente, seleccionaré 20 bonos que aporten diversidad a nuestro porfolio. El resultado es el siguiente:

Emisor	Fitch Rating	Cupón	Vencimiento	Tipo de vencimiento	Divisa	Rango	Duración Modificada (años)	Convexidad	Yield	Precio	ISIN
Adif Alta Velocidad	A-	1.25	04/05/2026	BULLET	EUR	Sr Unsecured	1.40	0.03	2.65	98.02	ES0200002030
Autonomous Community of Madrid Spain	A-	0.419	30/04/2030	BULLET	EUR	Sr Unsecured	5.22	0.33	2.88	87.77	ES0000101933
Banco Bilbao Vizcaya Argentaria SA	BBB-	4.375	29/08/2036	CALLABLE	EUR	Subordinated	5.53	0.38	4.17	101.15	XS2889406497
Banco de Credito Social Cooperativo SA	BBB-	4.125	03/09/2030	CALLABLE	EUR	Sr Preferred	4.25	0.23	3.63	102.11	XS2893180039
Banco de Credito Social Cooperativo SA	BB	5.25	27/11/2031	CALLABLE	EUR	Subordinated	1.79	0.05	4.74	100.96	XS2332590632
Banco Santander SA	A-	3.875	22/04/2029	BULLET	EUR	Sr Non Preferred	3.94	0.20	3.25	102.53	XS2806471368
Bundesrepublik Deutschland Bundesanleihe	AAAu	2.6	15/08/2034	BULLET	EUR	Sr Unsecured	8.46	0.85	2.35	102.13	DE000BU2Z031
CaixaBank SA	BBB-	4.375	08/08/2036	CALLABLE	EUR	Subordinated	5.67	0.40	4.06	101.79	XS2875107307
European Union	AAA	3	04/12/2034	BULLET	EUR	Sr Unsecured	8.39	0.86	2.90	100.88	EU000A3K4ES4
French Republic Government Bond OAT	AA-u	0.5	25/05/2072	BULLET	EUR	Unsecured	36.35	15.93	3.05	36.52	FR0014001NN8
Iberdrola Finanzas SA	A-	3.125	22/11/2028	CALLABLE	EUR	Sr Unsecured	3.39	0.15	2.78	101.20	XS2558916693
Instituto de Credito Oficial	A-	3.05	31/10/2027	BULLET	EUR	Sr Unsecured	2.78	0.11	2.54	101.42	XS2586947082
Italy Buoni Poliennali Del Tesoro	BBBu	2.8	01/03/2067	BULLET	EUR	Sr Unsecured	21.46	6.95	3.97	76.84	IT0005217390
Spain Government Bond	A-	2.15	31/10/2025	BULLET	EUR	Sr Unsecured	0.92	0.02	2.44	99.73	ES00000127G9
Spain Government Bond	A-	4.2	31/01/2037	BULLET	EUR	Sr Unsecured	9.33	1.11	3.20	109.95	ES0000012932
Spain Government Bond	A-	5.15	31/10/2044	BULLET	EUR	Sr Unsecured	13.18	2.30	3.50	123.43	ES00000124H4
Spain Government Bond	A-	5.9	30/07/2026	AT MATURITY	EUR	Sr Unsecured	1.60	0.04	2.36	105.77	ES00000123C7
Spain Government Bond	A-	3.5	31/05/2029	AT MATURITY	EUR	Sr Unsecured	4.10	0.22	2.59	103.81	ES0000012M51
Telefonica Emisiones SA	BBB	1.495	11/09/2025	CALLABLE	EUR	Sr Unsecured	0.79	0.01	2.84	98.94	XS1877846110
Unicaja Banco SA	BBB-	3.5	12/09/2029	CALLABLE	EUR	Sr Preferred	3.49	0.16	3.35	100.52	ES0380907081

Tabla 3. Composición de la cartera base. Source: Microsoft Excel. Elaboración propia.

Modelado de derivados

En este subapartado, vamos a desarrollar estrategias para cubrir los riesgos de la cartera utilizando derivados financieros, específicamente opciones, swaps y futuros sobre bonos. El objetivo es utilizar estos derivados para optimizar la cartera y gestionar el riesgo de manera más efectiva.

Dado que la cartera tiene una combinación de bonos soberanos y corporativos, con duraciones que varían desde valores muy cortos (0.14 años) hasta bonos con una gran sensibilidad a los movimientos en los tipos (21.39 años), el riesgo principal que cubriremos será el riesgo de tipos de interés, pero también consideraremos coberturas con opciones para protegernos de movimientos extremos en los tipos. Por otor lado, se examinará también la posibilidad de utilizar las opciones con fines meramente especulativos.

No obstante, cabe destacar que es importante no cubrir al 100% la delta del porfolio, porque de ser así, eliminaríamos por completo la exposición a movimientos en los tipos, dejando únicamente la cartera expuesta al riesgo de crédito, que como ya hemos explicado es el riesgo idiosincrático de cada emisor. Esto no parece tener demasiado sentido a la hora de invertir en una cartera de renta fija en un entorno de bajadas de tipos como el actual y se verá más claramente cuando analicemos los diferentes escenarios, pero el objetivo debe ser minimizar el riesgo a la baja, manteniendo unos retornos atractivos.

Por el contrario, cubrir la delta (ver apartado de *Delta Hedging*) al completo podría ser una buena idea para un inversor de renta fija con una visión hawkish del mercado de tipos, es decir, una visión de que los tipos de interés van a subir en el corto/medio plazo, con el objetivo de combatir la inflación o enfriar la economía. Por tanto, un inversor que quiere llevarse el carry, entendido como el rendimiento o coste generado por mantener una inversión (típicamente calculado como la diferencia entre el rendimiento anual del activo y los costes de financiamiento o cualquier otro coste asociado a mantener esa posición), que en el caso de una cartera de renta fija viene dado por los cupones principalmente, pero no quiere tener exposición a los movimientos en los tipos para que no se deprecie el valor de la cartera en caso de subidas de tipos, podría cubrir el 100% de la exposición a delta mediante la compra/venta de futuros o utilizando swaps/opciones.

Una pequeña reflexión de la importancia que tiene la ingeniería en este aspecto de las finanzas. Esto que estamos evaluando en este trabajo de fin de máster es el trabajo diario de un trader profesional en instituciones financieras y grandes bancos de inversión, profesiones en las que se buscan perfiles extremadamente técnicos: ingenieros, matemáticos, físicos, ya que este campo de las finanzas engloba toda la resolución de problemas que he aprendido durante estos últimos 6 años y medio: optimización, maximización de variables, aproximación por series de Taylor, álgebra lineal, que aplicado al campo de las finanzas pueden darte una ventaja competitiva y una forma diferencial de entender el racional de los movimientos del mercado.

Hipótesis

Antes de empezar con el modelado de derivados, tendremos que aclarar las hipótesis de mercado bajo las cuales construimos la cartera, ya que si bien en las simulaciones valoraremos tanto escenarios alcistas como bajistas, tener una visión de mercado es lo que justifica en última instancia qué opciones se utilizan con fines especulativos, qué porcentaje de la delta de la cartera cubrimos mediante futuros y si swapeamos o no a tipo flotante aquellos bonos que paguen cupón fijo (ya que en un escenario de tipos al alza, realizar asset swaps para cada uno de los bonos, convirtiendo el cupón fijo en flotante supondría un beneficio para el inversor, pero en un escenario de tipos a la baja, provocaría que el inversor acabe recibiendo un cupón más bajo del que le hubiera correspondido).

Hipótesis 1: Escenario de tipos a la baja

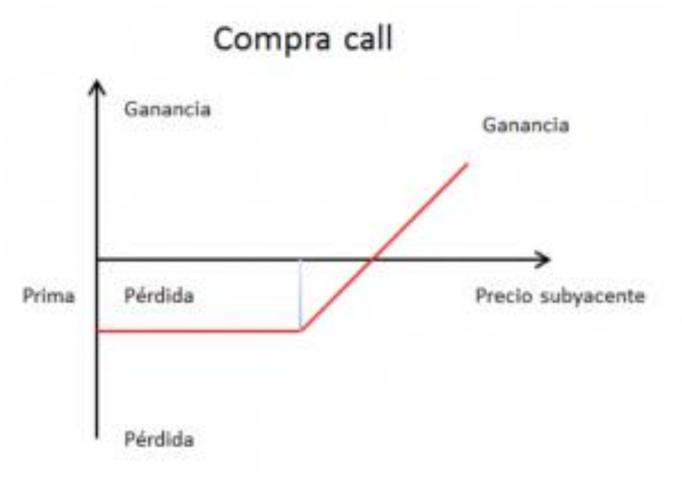
A fecha 28 de octubre, el Banco Central Europeo ha realizado ya 2 bajadas de 25bps y aunque mantienen en todos sus discursos que sus movimientos dependen única y exclusivamente de los datos que vayan saliendo (inflación, datos de empleo, PMIs…), no cabe duda que el ciclo de bajadas de tipos ha comenzado. Todo ello sumado al hecho de que el crecimiento del PIB en Europa apunta a niveles cercanos al 1%, que los PMIs tanto manufactureros como de servicios se encuentran en niveles de contracción y que la inflación progresa adecuadamente hacia el objetivo del 2% apuntan a que efectivamente el BCE seguirá bajando los tipos a lo largo de 2025.

Por otro lado, la Reserva Federal de Estados Unidos (la Fed) realizó el mes pasado su primer recorte de tipos de 50bps, algo conocido en el mundo financiero como el jumbo cut, al ser una bajada doble, lo cual también demuestra el comienzo del ciclo de flexibilización de política monetaria no ya solo a nivel europeo, sino a nivel global, lo cual es especialmente importante por la elevada correlación que existe entre ambas economías (el BCE no puede divergir demasiado de la Fed, ya que provocaría una depreciación significativa del Euro frente al Dólar, haciendo que materias primas como el petróleo, que se comercializan en dólares, sean más caras para los países europeos, provocando por tanto un feedback negativo sobre la inflación).

Dicho esto, en un escenario de tipos a la baja, al inversor le interesa mantener cierta exposición a la duración, para beneficiarse de la apreciación de la cartera como resultado de estas bajadas de tipos. Por tanto, como ya hemos comentado, en lugar de cubrir al 100% la delta de la cartera, se cubrirá únicamente el 50% de la delta y lo realizaremos mediante la venta de futuros sobre el bund, al ser el activo considerado como libre de riesgo en Europa.

Por otro lado, la segunda implicación de esta hipótesis es el tipo de opciones que utilizaremos con fines especulativos. Si la visión de mercado es que los tipos van a bajar, nos interesará o bien comprar calls o vender puts sobre aquellos bonos que creamos que se pueden apreciar como resultado de estas bajadas de tipos. No obstante, debido al perfil de pago de una opción, la compra de una call tiene una pérdida limitada (el pago de la prima) y una ganancia exponencial, mientras que el perfil de pago de la venta de una put es inverso, es decir, la ganancia es únicamente la prima, mientras que la pérdida es exponencial si finalmente la opción vence dentro del dinero (ITM). Veamos esto en un gráfico:

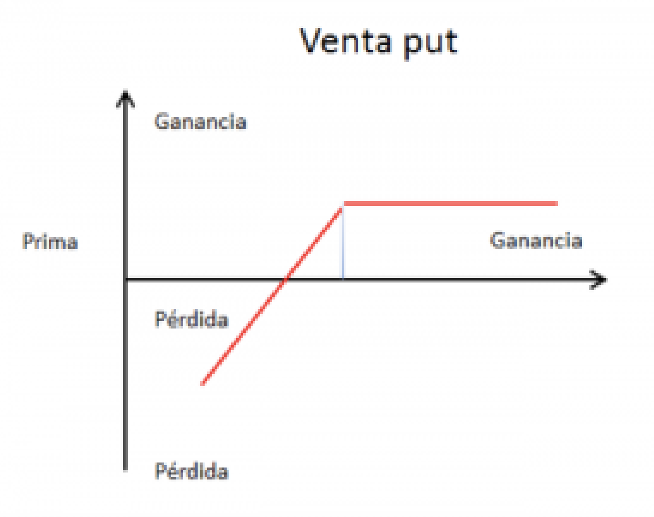
Por un lado, el perfil de pago de la compra de una call es el siguiente:



Gráfica 4. Perfil de pago de la compra de una call

Source: https://libreinversion.com/operar-con-opciones/como-operar-con-opciones/

Tal y como se puede apreciar, la pérdida está contenida en la prima de la opción, ya que en caso de que la call venza fuera del dinero (OTM), el inversor simplemente no ejerce su derecho a comprar el bono y tan solo pierde la prima que pagó por comprar la opción. Sin embargo, el perfil de pago de la venta de una put es el opuesto:



Gráfica 5. Perfil de pago de la venta de una put

Source: https://libreinversion.com/operar-con-opciones/como-operar-con-opciones/

Tal y como se puede apreciar, en este caso, es la ganancia la que está limitada a la prima que pagan al inversor por vender la put, mientras que la pérdida puede llegar a ser muy significativa. Por tanto, el ratio riesgo/beneficio de vender opciones put no compensa en mi opinión, por lo que se utilizará únicamente la compra de calls con fines especulativos sobre la cartera.

Hipótesis 2: Contracción de los spreads de crédito

En un entorno de soft landing como el que hemos comentado, con la inflación acercándose hacia el objetivo, sin entrar en recesión y con un crecimiento del PIB estable en el 1-3%, es probable que el crédito siga haciéndolo bien, es decir, que los spreads de crédito sigan estrechando frente al bund. Por tanto, una de las hipótesis de este proyecto es que el crédito lo va a hacer bien en los próximos 12 meses o que por lo menos no va a ampliar, y por lo tanto, no se cubrirá el riesgo de crédito de los nombres de la cartera mediante el uso de CDS (Credit Default Swaps) y en los escenarios solo se valorarán los movimientos referidos a los tipos de interés.

Hipótesis 3: Se mantiene una curva de tipos de interés plana

La última hipótesis antes de comenzar con el estudio es probablemente la más controvertida, ya que va ligeramente en contra de lo que es una curva de tipos de interés normal (con pendiente positiva y ofreciendo una prima de riesgo para los tramos más largos). Sin embargo, en este proyecto, se ha decidido realizar escenarios de tipos de interés uniformes, asumiendo que la curva de tipos baja o sube de forma constante, sin movimientos de steepening o flattening que, por un lado, complicarían la realización de las simulaciones y que, por otro, no son tan previsibles en escenarios de incertidumbre económica y política como el actual.

Por tanto, ante la más que probable victoria de Trump como presidente de Estados Unidos, que generará un aumento de los aranceles a nivel mundial y mayor nivel de proteccionismo en general, sumado a la situación de incertidumbre política en países clave de la Unión Europea como Francia, considero que es poco probable que la forma de la curva cambie considerablemente en el scope temporal del proyecto (1 año).

A continuación se muestran la curva swap y la curva soberana alemana, consideradas habitualmente como las curvas libres de riesgo en Europa:

Gráfica 6. Curva Swap Europea Actual. Source: Bloomberg

Gráfica 7. Curva de tipos de interés alemana. Source: Bloomberg

Tal y como se puede apreciar, ambas curvas están ligeramente invertidas, pero muy planas en general, reflejando la incertidumbre a largo plazo, que hace que no se premie al inversor con una prima a plazo. La situación actual invita a pensar que esto se puede mantener en los próximos 12 meses.

Construcción de la cartera con derivados

Asignación de pesos a los bonos

De momento, vamos a crear una cartera equiponderada, es decir, vamos a asignar pesos iguales a cada uno de los bonos de la cartera, lo que facilitará la comparación y la optimización de la cartera en capítulos posteriores del trabajo. Para ello, vamos a establecer un valor nominal de 1 millón de euros para cada bono, independientemente de su valor de mercado, ya que es muy común en los mercados de renta fija que los activos tengan un denominación mínima y que solo se puedan invertir múltiplos enteros del valor nominal. Por tanto, una división a la inversa, estableciendo un presupuesto y dividendo equiponderadamente dicho presupuesto entre los 20 bonos podría dar lugar a algún problema de ese tipo.

Emisor	Fitch Rating	Cupón	Vencimiento	Tipo de vencimiento	Divisa	Rango	Duración Modificada (años)	Convexidad	Yield	Precio	ISIN	Valor nominal en cartera	Valor de mercado
Adif Alta Velocidad	A-	1.25	04/05/2026	BULLET	EUR	Sr Unsecured	1.40	0.03	2.65	98.02	ES0200002030	1,000,000.00	980,245.00
Autonomous Community of Madrid Spain	A-	0.419	30/04/2030	BULLET	EUR	Sr Unsecured	5.22	0.33	2.88	87.77	ES0000101933	1,000,000.00	877,705.00
Banco Bilbao Vizcaya Argentaria SA	BBB-	4.375	29/08/2036	CALLABLE	EUR	Subordinated	5.53	0.38	4.17	101.15	XS2889406497	1,000,000.00	1,011,470.00
Banco de Credito Social Cooperativo SA	BBB-	4.125	03/09/2030	CALLABLE	EUR	Sr Preferred	4.25	0.23	3.63	102.11	XS2893180039	1,000,000.00	1,021,075.00
Banco de Credito Social Cooperativo SA	BB	5.25	27/11/2031	CALLABLE	EUR	Subordinated	1.79	0.05	4.74	100.96	XS2332590632	1,000,000.00	1,009,630.00
Banco Santander SA	A-	3.875	22/04/2029	BULLET	EUR	Sr Non Preferred	3.94	0.20	3.25	102.53	XS2806471368	1,000,000.00	1,025,290.00
Bundesrepublik Deutschland Bundesanleihe	AAAu	2.6	15/08/2034	BULLET	EUR	Sr Unsecured	8.46	0.85	2.35	102.13	DE000BU2Z031	1,000,000.00	1,021,315.00
CaixaBank SA	BBB-	4.375	08/08/2036	CALLABLE	EUR	Subordinated	5.67	0.40	4.06	101.79	XS2875107307	1,000,000.00	1,017,855.00
European Union	AAA	3	04/12/2034	BULLET	EUR	Sr Unsecured	8.39	0.86	2.90	100.88	EU000A3K4ES4	1,000,000.00	1,008,750.00
French Republic Government Bond OAT	AA-u	0.5	25/05/2072	BULLET	EUR	Unsecured	36.35	15.93	3.05	36.52	FR0014001NN8	1,000,000.00	365,185.00
Iberdrola Finanzas SA	A-	3.125	22/11/2028	CALLABLE	EUR	Sr Unsecured	3.39	0.15	2.78	101.20	XS2558916693	1,000,000.00	1,012,035.00
Instituto de Credito Oficial	A-	3.05	31/10/2027	BULLET	EUR	Sr Unsecured	2.78	0.11	2.54	101.42	XS2586947082	1,000,000.00	1,014,160.00
Italy Buoni Poliennali Del Tesoro	BBBu	2.8	01/03/2067	BULLET	EUR	Sr Unsecured	21.46	6.95	3.97	76.84	IT0005217390	1,000,000.00	768,355.00
Spain Government Bond	A-	2.15	31/10/2025	BULLET	EUR	Sr Unsecured	0.92	0.02	2.44	99.73	ES00000127G9	1,000,000.00	997,340.00
Spain Government Bond	A-	4.2	31/01/2037	BULLET	EUR	Sr Unsecured	9.33	1.11	3.20	109.95	ES0000012932	1,000,000.00	1,099,450.00
Spain Government Bond	A-	5.15	31/10/2044	BULLET	EUR	Sr Unsecured	13.18	2.30	3.50	123.43	ES00000124H4	1,000,000.00	1,234,300.00
Spain Government Bond	A-	5.9	30/07/2026	AT MATURITY	EUR	Sr Unsecured	1.60	0.04	2.36	105.77	ES00000123C7	1,000,000.00	1,057,705.00
Spain Government Bond	A-	3.5	31/05/2029	AT MATURITY	EUR	Sr Unsecured	4.10	0.22	2.59	103.81	ES0000012M51	1,000,000.00	1,038,130.00
Telefonica Emisiones SA	BBB	1.495	11/09/2025	CALLABLE	EUR	Sr Unsecured	0.79	0.01	2.84	98.94	XS1877846110	1,000,000.00	989,435.00
Unicaja Banco SA	BBB-	3.5	12/09/2029	CALLABLE	EUR	Sr Preferred	3.49	0.16	3.35	100.52	ES0380907081	1,000,000.00	1,005,185.00

Tabla 4. Cartera inicial con pesos asignados. Source: Microsoft Excel. Elaboración propia.

Una cartera como la anterior da lugar a un capital invertido de 19,554,615.00 euros.

Cobertura del 50% de la delta con futuros

Tal y como hemos comentado anteriormente, dado que construimos esta cartera en un entorno de tipos a la baja, no parece interesante cubrir por completo la duración de la cartera. No obstante, por si estuviéramos equivocados, y con fines didácticos también, para observar la gestión de riesgos en trabajos de trading o portfolio management, utilizaremos la compra/venta de futuros sobre el Bund para cubrir el 50% del riesgo de tipos de interés.

Para ello, como hemos explicado en el apartado de *Delta Hedging*, habrá que seguir la siguiente ecuación para saber el número de contratos de futuros (RX) que comprar:

$$0.5 \; x \; \Delta_{cartera} = \; N \; x \; \Delta_{futuro}$$

$$N = \frac{0.5 \; x \; \Delta_{cartera}}{\Delta_{futuro}}$$

Donde:

- N es el número de contratos de futuros necesarios para cubrir el 50% de la duración de la cartera.
- $\Delta_{cartera}$ es la delta de la cartera
- Δ_{futuro} es la delta del contrato de futuros.

Por tanto, el primer paso sería calcular la delta de la cartera. Para ello, empezaremos por calcular la duración modificada de la cartera, como la media ponderada de las duraciones modificadas de cada bono, mostradas en la Tabla 4. Calculamos, en primer lugar, el peso de cada bono en la cartera a valor de mercado, dividiendo el valor de mercado de cada bono entre el capital invertido calculado en el apartado anterior.

Una vez calculado ese número, calculamos la duración de la cartera como:

$$D_{cartera} = \sum_{i=1}^{20} Peso_i \; x \; D_i$$

Donde:

- $Peso_i$ es el peso de cada bono en la cartera
- D_i es la duración modificada de cada bono

Ambos números pueden ser extraídos de la tabla 4, con lo que resolviendo la ecuación:

$$D_{cartera} = \sum_{i=1}^{20} Peso_i \ x \ D_i = 6.05 \ años$$

Una vez calculada la duración modificada de la cartera, procedemos a calcular la duración del contrato de futuros, ya que el valor de mercado de la cartera sabemos que es 19.5M€ y el valor nominal de un contrato de futuros es de 100,000 euros, tal y como se puede apreciar en la descripción de Bloomberg:

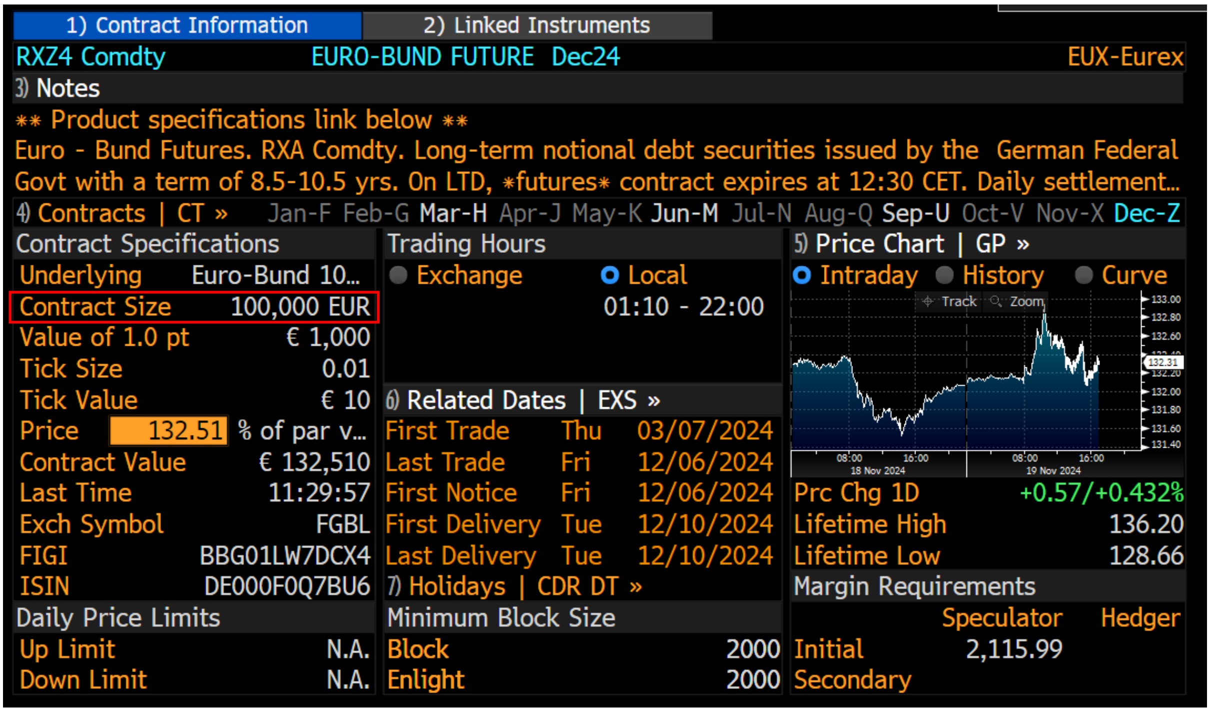


Ilustración 14. Valor nominal de un contrato de futuros sobre el Bund. Source: Bloomberg

Por tanto, para conocer el bono CTD (Cheapest to Deliver), habrá que analizar cada uno de los bonos elegibles con Bloomberg, para ver cual sería el más barato de entregar a día de hoy. Una vez realizado este análisis, se observa que el bono CTD actualmente es el DBR 2.600 08/15/2033, cuya duración modifica se aprecia en la siguiente imagen:

Ilustración 15. Duración modificada del Bund. Source: Bloomberg

Finalmente, con estos datos ya se puede calcular el PV01 (proxy de la delta en euros) tanto de la cartera, como del contrato de futuros. Cabe resaltar que para el desarrollo de este TFM tuve el placer de hablar con la trader profesional de SPGBs de Morgan Stanley y me explicó que ella utilizaba este mismo cálculo para cubrir la duración de su libro.

Uno de los aspectos que hay que tener en cuenta es que el cambio del CTD, cambia el PV01 del futuro y por tanto, cambia la duración de la cartera, pero a lo largo de este trabajo vamos a suponer que el CTD se mantiene constante.

Por un lado, se procede a calcular el PV01 de la cartera de bonos, utilizando la siguiente expresión para cada bono y posteriormente sumando el PV01 de cada bono para obtener el PV01 total de la cartera:

$$\mathrm{PV01}_{bono} = -D \; x \; \mathrm{PV}_{bono} x \; 0.0001$$

Donde:

- $\mathrm{PV01}_{bono}$ es la delta en euros de cada bono
- D es la duración modificada, extraída de Bloomberg
- PV_{bono} es el valor de mercado actual del bono
- 0.0001 corresponde al movimiento de la yield (1 punto básico)

Realizando este cálculo:

ISIN	SECURITY_DES	PV01
ES0200002030	ADIFAL 1 1/4 05/04/26	€ 135.91
ES0000101933	MADRID 0.419 04/30/30	€ 457.05
XS2889406497	BBVASM 4 3/8 08/29/36	€ 557.84
XS2893180039	CAJAMA 4 1/8 09/03/30	€ 432.83
XS2332590632	CAJAMA 5 1/4 11/27/31	€ 179.06
XS2806471368	SANTAN 3 7/8 04/22/29	€ 402.05
DE000BU2Z031	DBR 2.6 08/15/34	€ 862.63
XS2875107307	CABKSM 4 3/8 08/08/36	€ 575.51
EU000A3K4ES4	EU 3 12/04/34	€ 844.56
FR0014001NN8	FRTR 0 1/2 05/25/2072	€ 1,322.71
XS2558916693	IBESM 3 1/8 11/22/28	€ 352.71
XS2586947082	ICO 3.05 10/31/27	€ 281.08
IT0005217390	BTPS 2.8 03/01/67	€ 1,645.74
ES00000127G9	SPGB 2.15 10/31/25	€ 90.43
ES0000012932	SPGB 4.2 01/31/37	€ 1,024.40
ES00000124H4	SPGB 5.15 10/31/44	€ 1,624.97
ES00000123C7	SPGB 5.9 07/30/26	€ 167.43
ES0000012M51	SPGB 3 1/2 05/31/29	€ 424.06
XS1877846110	TELEFO 1.495 09/11/25	€ 76.63
ES0380907081	UCAJLN 3 1/2 09/12/29	€ 349.81
TOTAL		**€ 11,807.43**

Tabla 5. PV01 de la cartera de bonos base. Source: Microsoft Excel. Elaboración propia.

Como se puede ver en la Tabla 5, la cartera de bonos base cuenta con una delta/PV01 de 11,807.43 euros, por lo que esté será el riesgo a cubrir.

Por otro lado, habrá que calcular el PV01 del futuro, para ello se calcula el PV01 del bono cheapest to deliver (CTD) y posteriormente se divide por un factor de conversión, que se suele establecer a través de los dealers.

En este caso, como ya hemos visto, el bono CTD actualmente es el DBR 2.600 08/15/2033 y el factor de conversión se sitúa en 0.763. Con estos datos, analizando los futuros alemanes, llegamos a la siguiente tabla:

Futuros	Precio	Δ Px	YY ASW	Δ ASW	YYOIS	Δ YYOIS	Base	Δ Base	PV01	CTD
RX	132.875	39	-5.51	-1.29	9.06	-1.04	-3.2	-0.27	106.82	DBR 2.600 08/15/2033

Tabla 6. Análisis del futuro sobre el bund. Source: Microsoft Excel. Elaboración propia.

En la Tabla 6 se puede apreciar el precio actual del futuro sobre el bund, su variación en el día de hoy, su spread vs curva swap, PV01 y el bono CTD actual. Por tanto, el PV01 actual es de 1068.15 euros. Por tanto, con estos datos ya se puede aplicar la fórmula inicial para hallar el número de contratos de futuros que deberíamos vender para cubrir el 50% del riesgo de tipo de interés de nuestra cartera:

$$N = \frac{0.5 \ x \ 11{,}807.43 \ euros}{106.82 \ euros} = 55.27 \ \approx 56 \ contratos$$

Por tanto, habrá que añadir a la cartera una posición corta sobre 56 contratos de futuros.

Incorporación de opciones de compra (calls) con fines especulativos

Dada la elevada liquidez de los bonos de gobierno españoles y la preferencia de los intermediarios del mercado financiero por tradear este tipo de productos sobre bonos como los SPGBs, añadiremos calls con vencimientos a 3-4 meses sobre el SPGB 2037 y el SPGB 2044 que tenemos en cartera.

Una vez decidido esto, tendremos que decidir también el strike y la fecha de vencimiento de la opción, ya que como ya vimos en la sección de *Valoración de opciones*, estas dos características van a afectar al coste de la prima, junto con otras variables como la volatilidad, que se escapan de nuestro control. Dicho esto, y dado que en este proyecto estamos construyendo una cartera a 1 año vista, parece adecuado seleccionar un expiry de 1 año, es decir, fecha de vencimiento 20 de noviembre de 2025. Cabe destacar que las posiciones largas sobre opciones call tienen tetha negativa, es decir, el precio de la opción disminuye con el paso del tiempo. Por tanto, es bastante intuitivo que cuanto más larga la opción, mayor será la prima que tengamos que pagar, ya que hay más tiempo para que haya movimientos en el mercado que consigan que la opción venza dentro del dinero.

Por otro lado, habrá que seleccionar el strike, o precio de ejercicio, de nuestras opciones. En este caso, como también se explicó anteriormente, cuanto más fuera del dinero (OTM) esté este nivel, menor será el precio de la prima que habrá que pagar. Otra forma más intuitiva de verlo es la siguiente: cuanto más alejado esté el precio de ejercicio, más difícil es que el precio del bono supere dicho nivel y sea rentable ejercer la opción, por lo tanto, más barata será esa opción. Por lo tanto, dado que hemos seleccionado un strike relativamente largo, lo cual encarecerá la prima de las opciones, parece sensato escoger un strike 20bps OTM para ambas opciones, en línea con la hipótesis de expectativa de bajadas de tipos.

Una vez seleccionadas ambas variables, podemos emplear Bloomberg para hallar el precio de ambas opciones (para ver la demostración matemática de este cálculo, se puede consultar el apartado de *Modelos de Valoración*, en el que efectivamente demostramos que el modelo de Black es el más eficaz a la hora de pricear este tipo de opciones).

Utilizando el comando <OVME>, para la call sobre SPGB 2037, obtenemos el siguiente resultado:

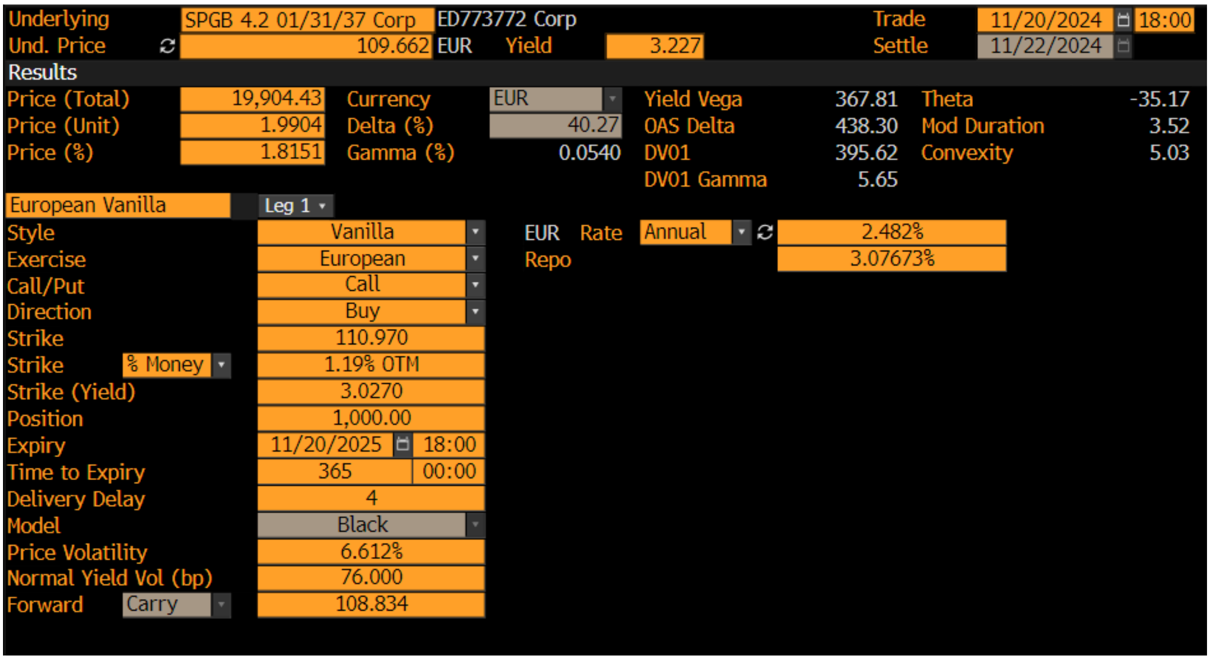


Ilustración 16. Precio de la call 1y 3% sobre SPGB 2037. Source: Bloomberg

Como vemos, esta call cuesta una prima del 1.8151%, que en caso de querer adquirir 1M€ como en el resto de activos, se corresponde con 1000 bonos del subyacente, lo que resulta en una prima de 19,904.43 euros up-front.

Por otro lado, repetimos el proceso para la call sobre SPGB 2044:

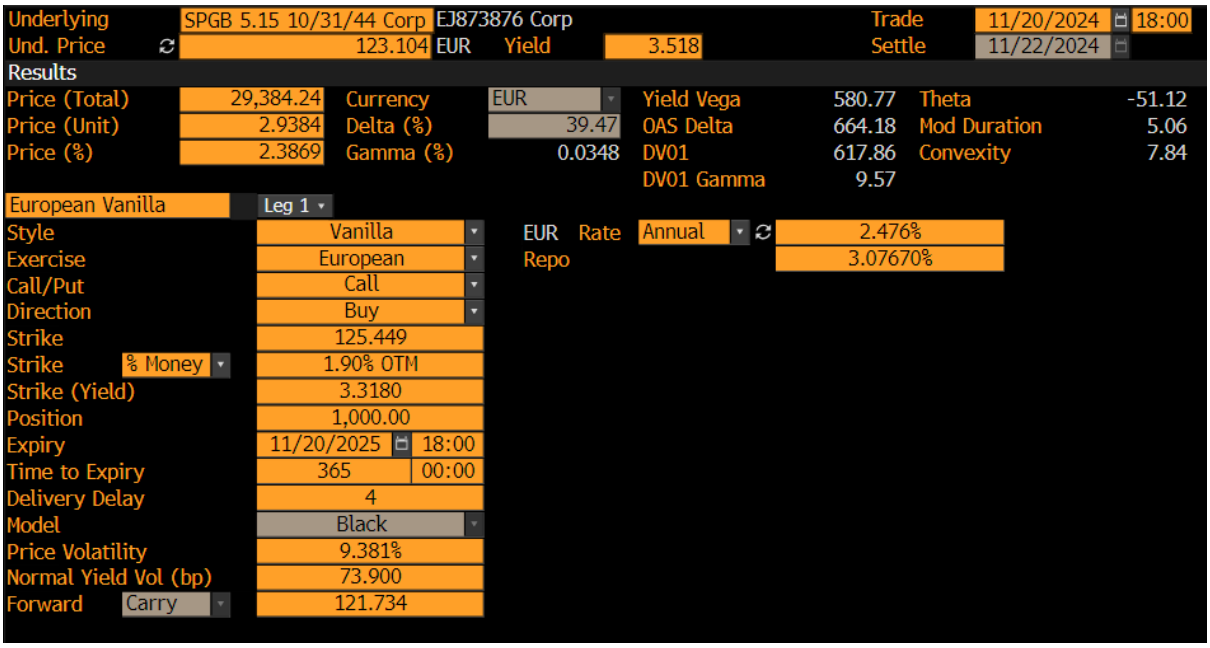


Ilustración 17. Precio de la call 1y 3.318% sobre SPGB 2044. Source:Bloomberg

Por tanto, esta otra call tendría una prima del 2.3869%, que implica que para 1M€ de nominal tendríamos que desembolsar un capital adicional de 29,384.24 euros.

Cabe volver a resaltar que en caso de que ambas opciones vencieran fuera del dinero, esto solo supondría una pérdida de las primas, es decir, 49,288.67 euros.

Composición final de la cartera con derivados

Dado que no tenemos ningún bono que pague cupón flotante en la cartera (en cuyo caso habría sido recomendable llevar a cabo un IRS para asegurar un cupón fijo en un entorno de bajadas de tipos), con la cobertura parcial del riesgo de tipos de interés y la incorporación de las calls especulativas, habríamos terminado con la construcción de la cartera.

Estructura de la cartera final

Por tanto, finalmente la cartera estará compuesta por:

1. **Bonos Base:** Los 20 bonos originales de la cartera, con pesos iguales y sus respectivas duraciones.
2. **Futuros sobre el bund:** 70 contratos vendidos (cobertura del 50% de la delta de la cartera)
3. **Calls sobre SPGB 2037 y SPGB 2044:** Calls con vencimiento a 1 año y strikes 20bps fuera del dinero.

Ajuste de la delta de la cartera

La exposición final de la cartera de inversión a los movimientos en los tipos de interés tendrá que incluir el impacto de los 3 componentes anteriores. Por tanto:

En primer lugar, tenemos los bonos base, con una duración modificada de 6.05 años y un PV01 de 11,807.43 euros.

En segundo lugar, habrá que añadir la delta (en sentido contrario) de los 56 contratos de futuros:

$$\mathrm{PV01}_{futuros} = 56\ contratos * 106.82 \frac{euros}{contrato} = 5{,}981.92\ euros$$

Lo que reduce la exposición de la cartera a tipos de interés a 5,825.51 euros (la resta de ambas). Se puede apreciar que es aproximadamente el 50% del riesgo inicial.

Por último, habrá que añadir el riesgo de las calls especulativas de la cartera, las cuales se pueden extraer de las ilustraciones 17 y 18 respectivamente:

- PV01 de la call sobre SPGB 2037: 395.62 euros
- PV01 de la call sobre SPGB 2044: 617.86 euros

Por tanto, sumando las tres componentes, queda un PV01 final de 6,838.99 euros, frente a los 11,807.43 euros iniciales.

Ajuste del capital invertido y peso relativo de los derivados en la cartera

Por un lado, tal y como hemos visto, en el caso de las calls, solo habría que hacer un desembolso inicial de las primas, que equivale a 49,288.67 euros.

Por otro lado, en el caso de los futuros, si bien todavía no habría que hacer ningún desembolso, tal y como se explicó en el apartado de Sistema de márgenes del Capítulo 2, habría que tener suficientes fondos en la cuenta para postear el Initial Margin, que en caso de los futuros sobre el bund:

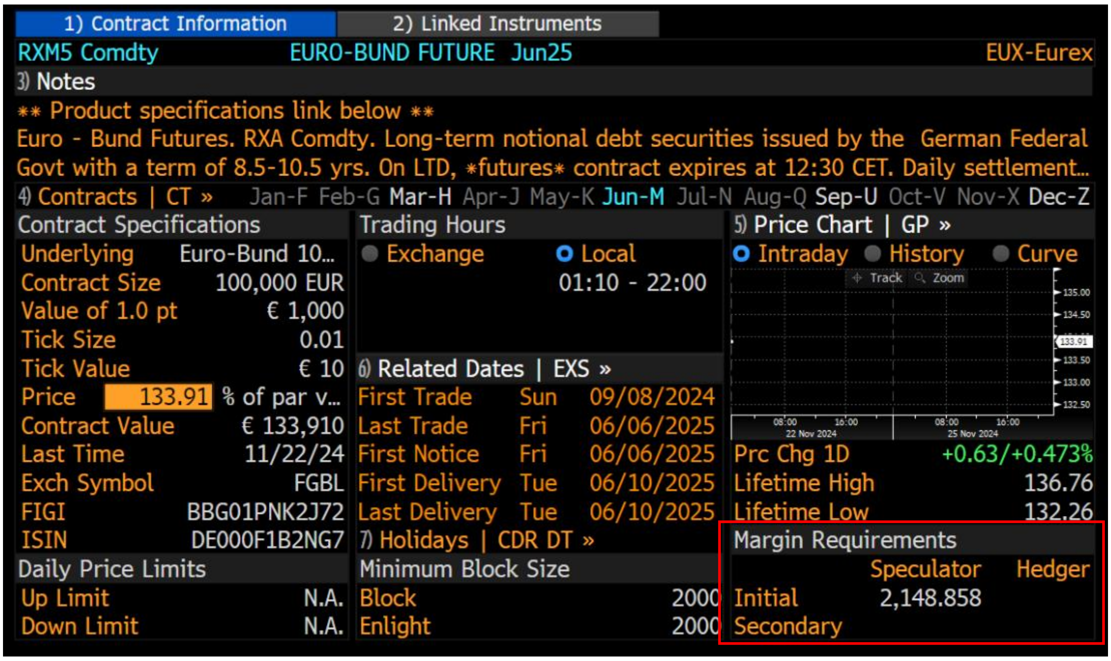


Ilustración 18. Requerimientos de margen inicial para la compraventa de futuros. Source: Bloomberg

Si bien solo se muestra el requerimiento de margen inicial para una posición especulativa en la descripción de Bloomberg, asumiremos que se mantiene constante independientemente de cual sea el objetivo que haya detrás de la inversión. Por tanto, para una posición de 56 contratos, tan solo necesitaríamos disponer de un capital adicional de:

$$IM = 2{,}148.858€ * 56 \; contratos = \; 120{,}336.05€$$

Cabe destacar que en algunos casos incluso se permite postear deuda soberana como colateral, pero en este estudio, se asumirá que el margen inicial debe estar compuesto exclusivamente por dinero en efectivo, para que el resultado sea lo más conservador posible.

Por tanto, la posición corta en los 56 contratos tan solo supondrá postear un margen inicial adicional de 120,336.05€ (e ir haciendo aportaciones en caso de que el valor de estos caiga por debajo del margen de mantenimiento). Para entender bien este concepto cabe resumir en qué consiste el hedge de una cartera de bonos a través de futuros: Una vez se ha calculado el número de contratos de futuros que hay que comprar o vender para igualar la delta que se quiera cubrir, se abre una posición en el sentido contrario a la posición que se tenga en duración en la cartera, en este caso, estamos largos de duración en la cartera, por lo que para cubrir el 50% del riesgo, se abre un corto en futuros.

Posteriormente, como los contratos de futuros tienen vencimientos trimestrales, la posición se va rolando (cerrar la posición en el contrato que está por vencer y abrir esa misma posición en el mismo contrato pero con vencimiento posterior) hasta que se quiera deshacer la cartera, que es entonces cuando se cierra definitivamente la posición en futuros para deshacer la cobertura, habiendo generado unos flujos de caja opuestos a la parte de la cartera cuya delta se haya cubierto.

Por lo tanto, de esta forma se cubre el riesgo sin tener que desembolsar el capital que correspondería en caso de ejecutar el contrato de futuros (unos 7.48 millones de euros).

Dicho esto, el capital final invertido para la cartera sería:

$$Capital = 19{,}554{,}615.00€ + 49{,}288.67€ + 120{,}336.05€ = 19{,}724{,}239.72€$$

Tan solo ligeramente superior al capital invertido inicialmente en una cartera tradicional sin derivados. En porcentaje:

$$\left(\frac{19{,}724239.72€}{19{,}554{,}615.00€} - 1\right) * 100 = 0.86\%$$

Capítulo 4. Simulaciones de Monte Carlo

Configuración de la simulación

Una vez modelada la cartera con y sin derivados, procederemos a configurar la simulación en Microsoft Excel.

En primer lugar, agrupamos los datos más relevantes, que en este caso son: el instrumento, el precio de compra, su valor inicial en cartera, su PV01 o exposición al riesgo de tipos de interés (con signo positivo en caso de tener una posición larga en duración y negativo en caso contrario) y su convexidad o gamma en el caso de las opciones, ya que el uso del PV01 por sí solo supondría asumir una relación lineal entre el precio del instrumento y los cambios en los tipos de interés, lo cual ignora el efecto de la convexidad, explicado en el apartado de Duración y Convexidad del Capítulo 3, o en el apartado de las griegas para el caso de los derivados.

Dado que este cálculo puede variar ligeramente en función del instrumento (bonos, opciones o futuros), realizaremos la simulación paso a paso, de manera que la simulación para la cartera de bonos base será el punto de partida y lo que usaremos luego para comparar y analizar el efecto que tiene añadir los instrumentos complejos a una cartera tradicional.

Cartera Tradicional

Primero, veamos como queda la tabla de bonos con los datos que utilizaremos para los cálculos:

Instrumento	Precio de compra	Valor inicial	Duración Modificada	Convexidad
ADIFAL 1 1/4 05/04/26	98.02	€ 980,245.00	1.38	0.03
MADRID 0.419 04/30/30	87.77	€ 877,705.00	5.21	0.32
BBVASM 4 3/8 08/29/36	101.15	€ 1,011,470.00	5.52	0.38
CAJAMA 4 1/8 09/03/30	102.11	€ 1,021,075.00	4.24	0.23
CAJAMA 5 1/4 11/27/31	100.96	€ 1,009,630.00	1.86	0.05
SANTAN 3 7/8 04/22/29	102.53	€ 1,025,290.00	3.92	0.20
DBR 2.6 08/15/34	102.13	€ 1,021,315.00	8.46	0.85
CABKSM 4 3/8 08/08/36	101.79	€ 1,017,855.00	5.66	0.40
EU 3 12/04/34	100.88	€ 1,008,750.00	8.39	0.86
FRTR 0 1/2 05/25/2072	36.52	€ 365,185.00	36.41	15.96
IBESM 3 1/8 11/22/28	101.20	€ 1,012,035.00	3.48	0.16
ICO 3.05 10/31/27	101.42	€ 1,014,160.00	2.77	0.10
BTPS 2.8 03/01/67	76.84	€ 768,355.00	21.67	7.06
SPGB 2.15 10/31/25	99.73	€ 997,340.00	0.90	0.02
SPGB 4.2 01/31/37	109.95	€ 1,099,450.00	9.35	1.11
SPGB 5.15 10/31/44	123.43	€ 1,234,300.00	13.25	2.32
SPGB 5.9 07/30/26	105.77	€ 1,057,705.00	1.58	0.04
SPGB 3 1/2 05/31/29	103.81	€ 1,038,130.00	4.08	0.21
TELEFO 1.495 09/11/25	98.94	€ 989,435.00	0.77	0.01
UCAJLN 3 1/2 09/12/29	100.52	€ 1,005,185.00	3.48	0.16

Tabla 7. Resumen cartera de bonos para la simulación. Source: Microsoft Excel. Elaboración propia.

Con estos datos y teniendo en cuenta la fórmula que describe el comportamiento de un bono en función de los movimientos en los tipos de interés, se pueden ya calcular los movimientos en el precio de los bonos en diferentes escenarios. La fórmula viene dada por la siguiente expresión:

$$\Delta P = -D * \Delta r * P + \frac{1}{2} * 100 * C * (\Delta r)^2 * P$$

Donde:

- ΔP es la variación en el precio del bono.
- D es la duración modificada del bono.
- Δr es la variación en los tipos de interés (esta será la variable independiente en la simulación, es decir, la que variaremos en función de los distintos escenarios).
- P es el precio de compra del bono.
- C es la convexidad del bono.

Dicho esto, se establecerán 9 escenarios distintos, con saltos de 50 puntos básicos entre escenarios; desde un escenario extremadamente alcista, en el cual el Banco Central Europeo realiza bajadas de tipos de interés que llevan la curva libre de riesgo 200bps más baja, hasta un escenario especialmente bajista, en el cual las tensiones geopolíticas, la elección de Trump como presidente de los Estados Unidos y la subida del precio del petróleo reavivan de nuevo las presiones inflacionarias, obligando al Banco Central Europeo a mantener una política monetaria restrictiva que lleve la curva de tipos de interés 200bps más alta.

Realizando estos cálculos en Microsft Excel, obtenemos los siguientes resultados:

Instrumento	-200bps	-150bps	-100bps	-50bps	0bps	+50bps	+100bps	+150bps	+200bps
ADIFAL 1 1/4 05/04/26	€ 2.77	€ 2.07	€ 1.37	€ 0.68	€ -	€ -0.67	€ -1.34	€ -1.99	€ -2.64
MADRID 0.419 04/30/30	€ 9.71	€ 7.18	€ 4.71	€ 2.32	€ -	€ -2.25	€ -4.43	€ -6.54	€ -8.57
BBVASM 4 3/8 08/29/36	€ 11.94	€ 8.81	€ 5.77	€ 2.84	€ -	€ -2.74	€ -5.39	€ -7.94	€ -10.39
CAJAMA 4 1/8 09/03/30	€ 9.13	€ 6.76	€ 4.45	€ 2.19	€ -	€ -2.13	€ -4.21	€ -6.23	€ -8.19
CAJAMA 5 1/4 11/27/31	€ 3.86	€ 2.87	€ 1.90	€ 0.94	€ -	€ -0.93	€ -1.85	€ -2.75	€ -3.65
SANTAN 3 7/8 04/22/29	€ 8.45	€ 6.26	€ 4.12	€ 2.04	€ -	€ -1.98	€ -3.92	€ -5.80	€ -7.63
DBR 2.6 08/15/34	€ 19.03	€ 13.95	€ 9.08	€ 4.43	€ -	€ -4.21	€ -8.21	€ -11.98	€ -15.54
CABKSM 4 3/8 08/08/36	€ 12.34	€ 9.10	€ 5.96	€ 2.93	€ -	€ -2.83	€ -5.55	€ -8.18	€ -10.70
EU 3 12/04/34	€ 18.67	€ 13.68	€ 8.90	€ 4.34	€ -	€ -4.12	€ -8.03	€ -11.72	€ -15.20
FRTR 0 1/2 05/25/2072	€ 38.25	€ 26.50	€ 16.21	€ 7.38	€ -	€ -5.92	€ -10.38	€ -13.39	€ -14.93
IBESM 3 1/8 11/22/28	€ 7.37	€ 5.47	€ 3.60	€ 1.78	€ -	€ -1.74	€ -3.44	€ -5.11	€ -6.73
ICO 3.05 10/31/27	€ 5.83	€ 4.33	€ 2.86	€ 1.42	€ -	€ -1.39	€ -2.75	€ -4.09	€ -5.40
BTPS 2.8 03/01/67	€ 44.15	€ 31.08	€ 19.36	€ 9.00	€ -	€ -7.65	€ -13.94	€ -18.88	€ -22.46
SPGB 2.15 10/31/25	€ 1.83	€ 1.36	€ 0.91	€ 0.45	€ -	€ -0.45	€ -0.89	€ -1.33	€ -1.76
SPGB 4.2 01/31/37	€ 22.99	€ 16.79	€ 10.89	€ 5.29	€ -	€ -4.99	€ -9.67	€ -14.04	€ -18.11
SPGB 5.15 10/31/44	€ 38.42	€ 27.74	€ 17.78	€ 8.53	€ -	€ -7.82	€ -14.92	€ -21.31	€ -26.98
SPGB 5.9 07/30/26	€ 3.42	€ 2.55	€ 1.69	€ 0.84	€ -	€ -0.83	€ -1.65	€ -2.45	€ -3.25
SPGB 3 1/2 05/31/29	€ 8.93	€ 6.61	€ 4.35	€ 2.15	€ -	€ -2.09	€ -4.13	€ -6.11	€ -8.03
TELEFO 1.495 09/11/25	€ 1.54	€ 1.15	€ 0.76	€ 0.38	€ -	€ -0.38	€ -0.75	€ -1.12	€ -1.49
UCAJLN 3 1/2 09/12/29	€ 7.31	€ 5.42	€ 3.57	€ 1.77	€ -	€ -1.73	€ -3.41	€ -5.06	€ -6.67

Tabla 8. Resultados de la Simulación en 9 escenarios de tipos de interés para la cartera de bonos base. Source: Microsoft Excel. Elaboración propia.

Opciones

Para las simulaciones de las opciones, tal y como vimos en el apartado de *Modelo de Valoración de Opciones*, se empleará la fórmula de Black, al haber demostrado que es mucho más precisa a la hora de calcular el precio de este tipo de instrumentos.

Se evaluará la variación en el precio de las opciones para los mismo 9 escenarios anteriores, aplicando la fórmula de Black vista en el Capítulo 2:

$$C = P(0,T)\ x\ (F\ x\ N(d_1) - K\ x\ N(d_2))$$

Donde:

- F es el precio forward del bono
- K es el strike

- P(0, T) es el precio de un bono cero cupón (ZC) con vencimiento T. Es decir, para las dos opciones que hemos incluido en la cartera:

$$P(0,T) = \frac{100}{(1+0.030767)^1} = 97.01$$

Donde 3.07673% es el tipo repo actual, tal y como se puede observar en las ilustraciones 16 y 17.

Y $N(d_1)$ y $N(d_2)$ son las funciones de la distribución normal, cuyas variables (d_1 y d_2) serían las siguientes:

- $d_1 = \frac{\ln\left(\frac{F}{K}\right)+\left(\frac{\sigma^2 T}{2}\right)}{\sigma\sqrt{T}}$
- $d_2 = d_1 - \sigma\sqrt{T}$

Donde:

- T → Tiempo hasta vencimiento de la opción en años
- σ → Volatilidad implícita
- r → Tipo repo actual

Todos estos datos están en las ilustraciones 16 y 17, con el cálculo inicial del precio de las opciones. No obstante, a continuación, se muestra una tabla a modo resumen:

Instrumento	Precio Cero cupón	Precio actual del bono subyacente	Precio Forward del bono	Strike	Vencimiento (en años)	Tipo repo	Volatilidad implícita	Precio actual de la opción
Call 1Y 3.02% sobre SPGB 2037	97.01	109.662	108.834	110.97	1	3.0767%	6.612%	1.9904
Call 1Y 3.31% sobre SPGB 2044	97.01	123.104	121.734	125.449	1	3.0767%	9.381%	2.9384

Tabla 9. Tabla resumen de las principales características de las opciones de la cartera. Source: Microsoft Excel. Elaboración propia.

Sin embargo, esta simulación es mucho más compleja que la anterior ya que, al ser un derivado, según varíe el tipo de interés, van variando también las variables de la fórmula de Black, como el precio forward del bono o el precio spot de los bonos subyacentes.

Por un lado, el precio de los bonos subyacentes en los diferentes escenarios de tipos lo podemos extraer de la simulación anterior, ya que los bonos SPGB 2037 y SPGB 2044 están en la cartera base.

Por otro lado, el precio forward de los bonos para cada escenario se calculará a partir del resultado anterior, aplicando la siguiente expresión matemática:

$$F = P * e^{(r-c)T}$$

Donde:

- P es el precio del bono
- R es el tipo repo (libre de riesgo)
- C es el cupón porcentual que paga el bono
- T es el tiempo a vencimiento del forward, que en caso de este estudio será 1 año (el vencimiento de las opciones)

Por tanto, echando mano de los resultados de la simulación anterior, el precio spot de los bonos subyacentes en los diferentes escenarios propuestos serían los siguientes:

Precio spot	-200bps	-150bps	-100bps	-50bps	0bps	+50bps	+100bps	+150bps	+200bps
SPGB 4.2 01/31/37	€ 132.94	€ 126.73	€ 120.83	€ 115.24	€ 109.95	€ 104.96	€ 100.28	€ 95.90	€ 91.83
SPGB 5.15 10/31/44	€ 148.36	€ 137.68	€ 127.72	€ 118.48	€ 109.95	€ 102.13	€ 95.03	€ 88.64	€ 82.96

Tabla 10. Precio de los bonos subyacentes de las opciones call en los diferentes 9 escenarios de tipos de interés. Source: Microsoft Excel. Elaboración propia.

Una vez tenemos estos resultados, se puede calcular el precio forward de ambos bonos para cada uno de estos escenarios, aplicando la expresión presentada anteriormente:

Precio Forward	-200bps	-150bps	-100bps	-50bps	0bps	+50bps	+100bps	+150bps	+200bps
SPGB 4.2 01/31/37	€ 133.91	€ 127.71	€ 121.81	€ 116.22	€ 110.93	€ 105.95	€ 101.28	€ 96.91	€ 92.84
SPGB 5.15 10/31/44	€ 149.32	€ 138.65	€ 128.69	€ 119.45	€ 110.92	€ 103.11	€ 96.01	€ 89.63	€ 83.96

Tabla 11. Precio Forward de los bonos subyacentes de las opciones call en los diferentes 9 escenarios de tipos de interés. Source: Microsoft Excel. Elaboración propia.

Una consideración importante es que en este estudio se considerará que la volatilidad implícita se mantiene constante por razones de simplicidad y por el hecho de mantener una única variable independiente en el análisis (los tipos de interés). No obstante, los movimientos en la volatilidad del mercado afectarían al valor de las opciones como ya vimos en el marco teórico de este proyecto, aumentando de valor en entornos de volatilidad elevada y depreciándose en entornos de volatilidad baja.

Por tanto, aclarada esta cuestión, ya se dispondría de todas las variables necesarias para poder realizar la simulación. Para que quede más comprehensible, a continuación se muestra el resultado obtenido para las variables d1 y d2 de la distribución normal:

Instrumento	Variables de la distribución normal	-200bps	-150bps	-100bps	-50bps	0bps	+50bps	+100bps	+150bps	+200bps
Call 1Y 3.02% sobre SPGB 2037	d1	2.87	2.16	1.44	0.73	0.03	-0.67	-1.35	-2.02	-2.66
	d2	2.81	2.09	1.38	0.67	-0.04	-0.73	-1.42	-2.08	-2.73
Call 1Y 3.31% sobre SPGB 2044	d1	1.90	1.11	0.32	-0.48	-1.26	-2.04	-2.80	-3.54	-4.23
	d2	1.81	1.02	0.23	-0.57	-1.36	-2.14	-2.90	-3.63	-4.33

Tabla 12. Resultados de las variables de la distribución normal para la simulación de las opciones. Source: Microsoft Excel. Elaboración propia.

Finalmente, una vez agrupados todos los datos necesarios para la simulación, se muestra a continuación el resultados para los diferentes escenarios:

rumento	Precio actual de la opción	-200bps	-150bps	-100bps	-50bps	0bps	+50bps	+100bps	+150bps	+200bps
Call 1Y 3.02% sobre SPGB 2037	1.9904	€ 22.26	€ 16.28	€ 10.78	€ 6.13	€ -	€ -	€ -	€ -	€ -
Call 1Y 3.31% sobre SPGB 2044	2.9384	€ 23.31	€ 13.68	€ 6.35	€ 2.13	€ -	€ -	€ -	€ -	€ -

Tabla 13. Resultados de la simulación del precio de las calls especulativas ante diferentes escenarios de tipos de interés. Source: Microsoft Excel. Elaboración propia.

Como se puede ver en la tabla, si la opción vence fuera del dinero, vale 0, se perderóa por completo la prima invertida, pero si cayeran los tipos 200bps, se observa cómo el orden de magnitud de la rentabilidad es de en torno a 10x.

Futuros

Para los futuros, lo más sencillo será utilizar su PV01, que se puede encontrar en la Tabla 6 (106.82), asumiendo que el CTD se mantiene constante, como ya hemos explicado. Siendo el PV01 la variación en euros de un movimiento de 1 punto básico en los tipos de interés, se puede calcular el precio de los futuros para los diferentes escenarios de tipos de interés aplicando la siguiente expresión:

$$\Delta V_{futuros} = PV01 \ del \ contrato \ de \ futuros \ x \ \Delta bps \ x \ N_f$$

Donde:

- $\Delta V_{futuros}$ es la variación en el valor de mercado de los contratos de futuros de la cartera, en positivo ya que al ser una posición corta, una bajada de tipos supone una depreciación del contrato.
- N_f es el número de contratos de futuros.

Aplicando dicha expresión, llegamos a los siguientes resultados para los diferentes escenarios:

Instrumento	Precio actual del contrato	Número de contratos	Valor de mercado inicial	-200bps	-150bps	-100bps	-50bps	0bps	+50bps	+100bps	+150bps	+200bps
RX	132.875	56	7,441,000.00 €	6,244,669.72 €	6,543,752.29 €	6,842,834.86 €	7,141,917.43 €	7,441,000.00 €	7,740,082.57 €	8,039,165.14 €	8,338,247.71 €	8,637,330.28 €

Tabla 14. Resultados de la simulación del precio de los contratos de futuros ante diferentes escenarios de tipos de interés. Source: Microsoft Excel. Elaboración propia.

Análisis de resultados

Una vez realizadas las simulaciones y presentados los resultados en las tablas 8, 13 y 14, se realizará un análisis de los resultados, observando la rentabilidad obtenida para la cartera en los distintos escenarios de tipos de interés, comprándola con la de la cartera sin derivados y analizando el impacto que tiene cada uno de los instrumentos complejos de manera individual.

Rentabilidad de la cartera tradicional en los diferentes escenarios

En primer lugar, pasando las variaciones de precio unitarias de cada bono de la tabla 8 a términos absolutos para hallar las ganancias o pérdidas de capital logradas en cada bono en cada uno de los escenarios obtendríamos la siguiente tabla:

Instrumento	Ganancias/Pérdidas de capital								
	-200bps	-150bps	-100bps	-50bps	0bps	+50bps	+100bps	+150bps	+200bps
ADIFAL 1 1/4 05/04/26	€ 27,693.43	€ 20,650.16	€ 13,686.84	€ 6,803.45	€ -	€ -6,723.51	€ -13,367.09	€ -19,930.73	€ -26,414.44
MADRID 0.419 04/30/30	€ 97,104.95	€ 71,761.60	€ 47,129.65	€ 23,209.12	€ -	€ -22,497.71	€ -44,284.00	€ -65,358.88	€ -85,722.35
BBVASM 4 3/8 08/29/36	€ 119,354.71	€ 88,067.88	€ 57,746.49	€ 28,390.53	€ -	€ -27,425.10	€ -53,884.76	€ -79,378.99	€ -103,907.79
CAJAMA 4 1/8 09/03/30	€ 91,258.50	€ 67,563.45	€ 44,455.35	€ 21,934.20	€ -	€ -21,347.25	€ -42,107.55	€ -62,280.90	€ -81,867.30
CAJAMA 5 1/4 11/27/31	€ 38,581.00	€ 28,736.23	€ 19,024.47	€ 9,445.73	€ -	€ -9,312.71	€ -18,492.40	€ -27,539.08	€ -36,452.74
SANTAN 3 7/8 04/22/29	€ 84,493.51	€ 62,599.06	€ 41,218.66	€ 20,352.30	€ -	€ -19,838.26	€ -39,162.46	€ -57,972.62	€ -76,268.73
DBR 2.6 08/15/34	€ 190,337.65	€ 139,480.34	€ 90,804.96	€ 44,311.52	€ -	€ -42,129.58	€ -82,077.24	€ -119,842.96	€ -155,426.75
CABKSM 4 3/8 08/08/36	€ 123,353.66	€ 90,982.44	€ 59,633.10	€ 29,305.62	€ -	€ -28,283.75	€ -55,545.64	€ -81,785.66	€ -107,003.81
EU 3 12/04/34	€ 186,685.40	€ 136,759.51	€ 89,003.32	€ 43,416.82	€ -	€ -41,247.13	€ -80,324.57	€ -117,232.32	€ -151,970.38
FRTR 0 1/2 05/25/2072	€ 382,535.00	€ 265,038.97	€ 162,117.79	€ 73,771.47	€ -	€ -59,196.61	€ -103,818.36	€ -133,865.26	€ -149,337.30
IBESM 3 1/8 11/22/28	€ 73,685.14	€ 54,663.82	€ 36,042.52	€ 17,821.25	€ -	€ -17,421.23	€ -34,442.43	€ -51,063.62	€ -67,284.78
ICO 3.05 10/31/27	€ 58,259.30	€ 43,295.43	€ 28,597.59	€ 14,165.78	€ -	€ -13,899.75	€ -27,533.47	€ -40,901.16	€ -54,002.82
BTPS 2.8 03/01/67	€ 441,473.29	€ 310,775.70	€ 193,630.96	€ 90,039.06	€ -	€ -76,486.22	€ -139,419.60	€ -188,800.14	€ -224,627.84
SPGB 2.15 10/31/25	€ 18,275.59	€ 13,643.58	€ 9,053.65	€ 4,505.79	€ -	€ -4,463.71	€ -8,885.35	€ -13,264.92	€ -17,602.41
SPGB 4.2 01/31/37	€ 229,914.52	€ 167,862.60	€ 108,859.53	€ 52,905.34	€ -	€ -49,856.47	€ -96,664.08	€ -140,422.83	€ -181,132.71
SPGB 5.15 10/31/44	€ 384,150.27	€ 277,392.72	€ 177,781.82	€ 85,317.58	€ -	€ -78,170.92	€ -149,195.18	€ -213,072.78	€ -269,803.72
SPGB 5.9 07/30/26	€ 34,213.17	€ 25,498.19	€ 16,891.00	€ 8,391.61	€ -	€ -8,283.82	€ -16,459.84	€ -24,528.08	€ -32,488.53
SPGB 3 1/2 05/31/29	€ 89,257.87	€ 66,106.92	€ 43,513.63	€ 21,477.99	€ -	€ -20,920.34	€ -41,283.02	€ -61,088.05	€ -80,335.43
TELEFO 1.495 09/11/25	€ 15,404.75	€ 11,509.94	€ 7,644.21	€ 3,807.57	€ -	€ -3,778.48	€ -7,527.89	€ -11,248.21	€ -14,939.45
UCAJLN 3 1/2 09/12/29	€ 73,059.80	€ 54,197.58	€ 35,733.54	€ 17,667.68	€ -	€ -17,269.49	€ -34,140.81	€ -50,613.94	€ -66,688.88

Tabla 15. Ganancias/Pérdidas de Capital logradas en cada bono como resultado de los movimientos en los tipos. Source: Microsoft Excel. Elaboración propia.

Y pasando estas variaciones a términos porcentuales, se llega a la siguiente tabla:

Instrumento	Rentabilidad								
	-200bps	-150bps	-100bps	-50bps	0bps	+50bps	+100bps	+150bps	+200bps
ADIFAL 1 1/4 05/04/26	2.83%	2.11%	1.40%	0.69%	0.00%	-0.69%	-1.36%	-2.03%	-2.69%
MADRID 0.419 04/30/30	11.06%	8.18%	5.37%	2.64%	0.00%	-2.56%	-5.05%	-7.45%	-9.77%
BBVASM 4 3/8 08/29/36	11.80%	8.71%	5.71%	2.81%	0.00%	-2.71%	-5.33%	-7.85%	-10.27%
CAJAMA 4 1/8 09/03/30	8.94%	6.62%	4.35%	2.15%	0.00%	-2.09%	-4.12%	-6.10%	-8.02%
CAJAMA 5 1/4 11/27/31	3.82%	2.85%	1.88%	0.94%	0.00%	-0.92%	-1.83%	-2.73%	-3.61%
SANTAN 3 7/8 04/22/29	8.24%	6.11%	4.02%	1.99%	0.00%	-1.93%	-3.82%	-5.65%	-7.44%
DBR 2.6 08/15/34	18.64%	13.66%	8.89%	4.34%	0.00%	-4.13%	-8.04%	-11.73%	-15.22%
CABKSM 4 3/8 08/08/36	12.12%	8.94%	5.86%	2.88%	0.00%	-2.78%	-5.46%	-8.04%	-10.51%
EU 3 12/04/34	18.51%	13.56%	8.82%	4.30%	0.00%	-4.09%	-7.96%	-11.62%	-15.07%
FRTR 0 1/2 05/25/2072	104.75%	72.58%	44.39%	20.20%	0.00%	-16.21%	-28.43%	-36.66%	-40.89%
IBESM 3 1/8 11/22/28	7.28%	5.40%	3.56%	1.76%	0.00%	-1.72%	-3.40%	-5.05%	-6.65%
ICO 3.05 10/31/27	5.74%	4.27%	2.82%	1.40%	0.00%	-1.37%	-2.71%	-4.03%	-5.32%
BTPS 2.8 03/01/67	57.46%	40.45%	25.20%	11.72%	0.00%	-9.95%	-18.15%	-24.57%	-29.23%
SPGB 2.15 10/31/25	1.83%	1.37%	0.91%	0.45%	0.00%	-0.45%	-0.89%	-1.33%	-1.76%
SPGB 4.2 01/31/37	20.91%	15.27%	9.90%	4.81%	0.00%	-4.53%	-8.79%	-12.77%	-16.47%
SPGB 5.15 10/31/44	31.12%	22.47%	14.40%	6.91%	0.00%	-6.33%	-12.09%	-17.26%	-21.86%
SPGB 5.9 07/30/26	3.23%	2.41%	1.60%	0.79%	0.00%	-0.78%	-1.56%	-2.32%	-3.07%
SPGB 3 1/2 05/31/29	8.60%	6.37%	4.19%	2.07%	0.00%	-2.02%	-3.98%	-5.88%	-7.74%
TELEFO 1.495 09/11/25	1.56%	1.16%	0.77%	0.38%	0.00%	-0.38%	-0.76%	-1.14%	-1.51%
UCAJLN 3 1/2 09/12/29	7.27%	5.39%	3.55%	1.76%	0.00%	-1.72%	-3.40%	-5.04%	-6.63%

Tabla 16. Rentabilidad lograda en cada bono por movimientos en los tipos de interés. Source: Microsoft Excel. Elaboración propia.

Sin embargo, esta tabla no tiene en cuenta el carry del bono, ya que estos bonos pagarán un cupón anual siempre y cuando el emisor no haga default, por lo que habría que sumar los cupones que pague cada bono a los resultados de la tabla 15:

Instrumento	Cupones
ADIFAL 1 1/4 05/04/26	€ 12,500.00
MADRID 0.419 04/30/30	€ 4,190.00
BBVASM 4 3/8 08/29/36	€ 43,750.00
CAJAMA 4 1/8 09/03/30	€ 41,250.00
CAJAMA 5 1/4 11/27/31	€ 52,500.00
SANTAN 3 7/8 04/22/29	€ 38,750.00
DBR 2.6 08/15/34	€ 26,000.00
CABKSM 4 3/8 08/08/36	€ 43,750.00
EU 3 12/04/34	€ 30,000.00
FRTR 0 1/2 05/25/2072	€ 5,000.00
IBESM 3 1/8 11/22/28	€ 31,250.00
ICO 3.05 10/31/27	€ 30,500.00
BTPS 2.8 03/01/67	€ 28,000.00
SPGB 2.15 10/31/25	€ 21,500.00
SPGB 4.2 01/31/37	€ 42,000.00
SPGB 5.15 10/31/44	€ 51,500.00
SPGB 5.9 07/30/26	€ 59,000.00
SPGB 3 1/2 05/31/29	€ 35,000.00
TELEFO 1.495 09/11/25	€ 14,950.00
UCAJLN 3 1/2 09/12/29	€ 35,000.00

Tabla 17. Cupones pagados por cada bono para 1MM de nominal. Source: Microsoft Excel. Elaboración propia.

Por lo que sumando estas cifras a los resultados anteriores obtenemos los siguientes resultados en términos absolutos:

Instrumento	Ganancias/Pérdidas de capital								
	-200bps	-150bps	-100bps	-50bps	0bps	+50bps	+100bps	+150bps	+200bps
ADIFAL 1 1/4 05/04/26	€ 40,193.43	€ 33,150.16	€ 26,186.84	€ 19,303.45	€ 12,500.00	€ 5,776.49	€ -867.09	€ -7,430.73	€ -13,914.44
MADRID 0.419 04/30/30	€ 101,294.95	€ 75,951.60	€ 51,319.65	€ 27,399.12	€ 4,190.00	€ -18,307.71	€ -40,094.00	€ -61,168.88	€ -81,532.35
BBVASM 4 3/8 08/29/36	€ 163,104.71	€ 131,817.88	€ 101,496.49	€ 72,140.53	€ 43,750.00	€ 16,324.90	€ -10,134.76	€ -35,628.99	€ -60,157.79
CAJAMA 4 1/8 09/03/30	€ 132,508.50	€ 108,813.45	€ 85,705.35	€ 63,184.20	€ 41,250.00	€ 19,902.75	€ -857.55	€ -21,030.90	€ -40,617.30
CAJAMA 5 1/4 11/27/31	€ 91,081.00	€ 81,236.23	€ 71,524.47	€ 61,945.73	€ 52,500.00	€ 43,187.29	€ 34,007.60	€ 24,960.92	€ 16,047.26
SANTAN 3 7/8 04/22/29	€ 123,243.51	€ 101,349.06	€ 79,968.66	€ 59,102.30	€ 38,750.00	€ 18,911.74	€ -412.46	€ -19,222.62	€ -37,518.73
DBR 2.6 08/15/34	€ 216,337.65	€ 165,480.34	€ 116,804.96	€ 70,311.52	€ 26,000.00	€ -16,129.58	€ -56,077.24	€ -93,842.96	€ -129,426.75
CABKSM 4 3/8 08/08/36	€ 167,103.66	€ 134,732.44	€ 103,383.10	€ 73,055.62	€ 43,750.00	€ 15,466.25	€ -11,795.64	€ -38,035.66	€ -63,253.81
EU 3 12/04/34	€ 216,685.40	€ 166,759.51	€ 119,003.32	€ 73,416.82	€ 30,000.00	€ -11,247.13	€ -50,324.57	€ -87,232.32	€ -121,970.38
FRTR 0 1/2 05/25/2072	€ 387,535.00	€ 270,038.97	€ 167,117.79	€ 78,771.47	€ 5,000.00	€ -54,196.61	€ -98,818.36	€ -128,865.26	€ -144,337.30
IBESM 3 1/8 11/22/28	€ 104,935.14	€ 85,913.82	€ 67,292.52	€ 49,071.25	€ 31,250.00	€ 13,828.77	€ -3,192.43	€ -19,813.62	€ -36,034.78
ICO 3.05 10/31/27	€ 88,759.30	€ 73,795.43	€ 59,097.59	€ 44,665.78	€ 30,500.00	€ 16,600.25	€ 2,966.53	€ -10,401.16	€ -23,502.82
BTPS 2.8 03/01/67	€ 469,473.29	€ 338,775.70	€ 221,630.96	€ 118,039.06	€ 28,000.00	€ -48,486.22	€ -111,419.60	€ -160,800.14	€ -196,627.84
SPGB 2.15 10/31/25	€ 39,775.59	€ 35,143.58	€ 30,553.65	€ 26,005.79	€ 21,500.00	€ 17,036.29	€ 12,614.65	€ 8,235.08	€ 3,897.59
SPGB 4.2 01/31/37	€ 271,914.52	€ 209,862.60	€ 150,859.53	€ 94,905.34	€ 42,000.00	-€ 7,856.47	€ -54,664.08	€ -98,422.83	€ -139,132.71
SPGB 5.15 10/31/44	€ 435,650.27	€ 328,892.72	€ 229,281.82	€ 136,817.58	€ 51,500.00	-€ 26,670.92	€ -97,695.18	€ -161,572.78	€ -218,303.72
SPGB 5.9 07/30/26	€ 93,213.17	€ 84,498.19	€ 75,891.00	€ 67,391.61	€ 59,000.00	€ 50,716.18	€ 42,540.16	€ 34,471.92	€ 26,511.47
SPGB 3 1/2 05/31/29	€ 124,257.87	€ 101,106.92	€ 78,513.63	€ 56,477.99	€ 35,000.00	€ 14,079.66	€ -6,283.02	€ -26,088.05	€ -45,335.43
TELEFO 1.495 09/11/25	€ 30,354.75	€ 26,459.94	€ 22,594.21	€ 18,757.57	€ 14,950.00	€ 11,171.52	€ 7,422.11	€ 3,701.79	€ 10.55
UCAJLN 3 1/2 09/12/29	€ 108,059.80	€ 89,197.58	€ 70,733.54	€ 52,667.68	€ 35,000.00	€ 17,730.51	€ 859.19	€ -15,613.94	€ -31,688.88

Tabla 18. Ganacias/Pérdidas de capital en los diferentes escenarios teniendo en cuenta el efecto de los cupones. Source: Microsoft Excel. Elaboración propia.

De primeras ya se ve que el efecto es muy notorio, ya que algunos bonos como el callable de Banco Cooperativo que paga un 5.25% de cupón tiene un carry tan alto que hasta en el escenario de tipos más bearish posible sigue ofreciendo un retorno positivo (aunque cabe recordar que estamos ignorando el riesgo de crédito).

Por tanto, con estos nuevos resultados se obtienen una rentabilidades porcentuales por bono conforme a la siguiente tabla:

Instrumento	Ganancias/Pérdidas de capital								
	-200bps	-150bps	-100bps	-50bps	0bps	+50bps	+100bps	+150bps	+200bps
ADIFAL 1 1/4 05/04/26	4.10%	3.38%	2.67%	1.97%	1.28%	0.59%	-0.09%	-0.76%	-1.42%
MADRID 0.419 04/30/30	11.54%	8.65%	5.85%	3.12%	0.48%	-2.09%	-4.57%	-6.97%	-9.29%
BBVASM 4 3/8 08/29/36	16.13%	13.03%	10.03%	7.13%	4.33%	1.61%	-1.00%	-3.52%	-5.95%
CAJAMA 4 1/8 09/03/30	12.98%	10.66%	8.39%	6.19%	4.04%	1.95%	-0.08%	-2.06%	-3.98%
CAJAMA 5 1/4 11/27/31	9.02%	8.05%	7.08%	6.14%	5.20%	4.28%	3.37%	2.47%	1.59%
SANTAN 3 7/8 04/22/29	12.02%	9.88%	7.80%	5.76%	3.78%	1.84%	-0.04%	-1.87%	-3.66%
DBR 2.6 08/15/34	21.18%	16.20%	11.44%	6.88%	2.55%	-1.58%	-5.49%	-9.19%	-12.67%
CABKSM 4 3/8 08/08/36	16.42%	13.24%	10.16%	7.18%	4.30%	1.52%	-1.16%	-3.74%	-6.21%
EU 3 12/04/34	21.48%	16.53%	11.80%	7.28%	2.97%	-1.11%	-4.99%	-8.65%	-12.09%
FRTR 0 1/2 05/25/2072	106.12%	73.95%	45.76%	21.57%	1.37%	-14.84%	-27.06%	-35.29%	-39.52%
IBESM 3 1/8 11/22/28	10.37%	8.49%	6.65%	4.85%	3.09%	1.37%	-0.32%	-1.96%	-3.56%
ICO 3.05 10/31/27	8.75%	7.28%	5.83%	4.40%	3.01%	1.64%	0.29%	-1.03%	-2.32%
BTPS 2.8 03/01/67	61.10%	44.09%	28.84%	15.36%	3.64%	-6.31%	-14.50%	-20.93%	-25.59%
SPGB 2.15 10/31/25	3.99%	3.52%	3.06%	2.61%	2.16%	1.71%	1.26%	0.83%	0.39%
SPGB 4.2 01/31/37	24.73%	19.09%	13.72%	8.63%	3.82%	-0.71%	-4.97%	-8.95%	-12.65%
SPGB 5.15 10/31/44	35.30%	26.65%	18.58%	11.08%	4.17%	-2.16%	-7.92%	-13.09%	-17.69%
SPGB 5.9 07/30/26	8.81%	7.99%	7.18%	6.37%	5.58%	4.79%	4.02%	3.26%	2.51%
SPGB 3 1/2 05/31/29	11.97%	9.74%	7.56%	5.44%	3.37%	1.36%	-0.61%	-2.51%	-4.37%
TELEFO 1.495 09/11/25	3.07%	2.67%	2.28%	1.90%	1.51%	1.13%	0.75%	0.37%	0.00%
UCAJLN 3 1/2 09/12/29	10.75%	8.87%	7.04%	5.24%	3.48%	1.76%	0.09%	-1.55%	-3.15%

Tabla 19. Rentabilidad lograda en cada bono para cada escenario de tipos de interés teniendo en cuenta el efecto de los cupones. Source: Microsoft Excel. Elaboración propia.

En esta tabla uno de los aspectos más destacables es el efecto de la convexidad en bonos como el FRTR 2072, que es que pusimos como ejemplo en su momento para explicar el concepto. Como se puede ver en la tabla 19, en el escenario más pesimista, obtendríamos una pérdida de 12.09%, que, sin ser despreciable, está muy lejos de la ganancia potencial del 106.12% en un movimiento igual pero en sentido contrario.

Sumando las ganancias/pérdidas de capital para cada escenario y dividiendo entre el capital total invertido en la cartera tradicional, obtenemos la siguiente tabla:

	Escenario de tipos de interés								
	-200bps	-150bps	-100bps	-50bps	0bps	+50bps	+100bps	+150bps	+200bps
Rentabilidad de la cartera de bonos	17.42%	13.52%	9.86%	6.46%	3.31%	0.40%	-2.26%	-4.67%	-6.84%

Tabla 20. Rentabilidad de la cartera tradicional ante distintos escenarios de tipos de interés. Source: Microsoft Excel. Elaboración propia.

Tal y como se puede ver, el efecto de la convexidad hace que invertir en una cartera de renta fija tradicional, sin añadir coberturas ni derivados, en un entorno de tipos altos ya de por sí tiene un ratio riesgo/retorno sesgado al alza. Es por eso que a menudo escuchamos a muchos expertos y analistas recomendar comprar duración en entornos de tipos de interés elevados, cuando se anticipa el comienzo de bajadas de tipos, ya que al ser la política monetaria ya bastante restrictiva, el potencial bajista de los bonos es mucho menor que el potencial de revalorización + los cupones.

Respecto a esto último, es bastante importante resaltar que incluso ante un escenario de tipos "higher for longer" como se suele decir en el mercado, en el que los tipos de interés no se movieran a un año vista, la cartera tradicional daría un 3.31% de retorno, que no está mal para ser una cartera de renta fija, que combina bonos soberanos con crédito corporativo.

Rentabilidad de la cartera con derivados

Dicho esto, pasemos a analizar el retorno de la cartera en los diferentes escenarios de los derivados por separado y, de la cartera compleja en su conjunto posteriormente.

En primer lugar, en la Tabla 13 ya vimos la variación en el precio de las calls especulativas ante variaciones en los tipos de interés, en la que se apreció cómo cuando las opciones vencían OTM la opción expiraba sin valor, mientras que una vez sobrepasaba la barrera de los 20bps para vencer dentro del dinero, las ganancias eran exponenciales, acorde a la gráfica 4. Pasando estas ganancias a términos porcentuales:

Instrumento	Precio actual de la opción	-200bps	-150bps	-100bps	-50bps	0bps	+50bps	+100bps	+150bps	+200bps
Call 1Y 3.02% sobre SPGB 2037	1.9904	1018.12%	717.98%	441.77%	208.21%	-100.00%	-100.00%	-100.00%	-100.00%	-100.00%
Call 1Y 3.31% sobre SPGB 2044	2.9384	693.33%	365.71%	116.27%	6.52%	-100.00%	-100.00%	-100.00%	-100.00%	-100.00%

Tabla 21. Rentabilidad de las calls sobre SPGBs. Source: Microsoft Excel. Elaboración propia.

Independientemente del resultado final, en la Tabla 21 ya se ve que el ratio riesgo/retorno de las calls también está claramente sesgado al alza, con ganancias potenciales muy interesantes para el inversor, mientras se mantiene la pérdida potencial contenida.

Por otro lado, el movimiento de los futuros debería ser inversamente proporcional al movimiento del 50% de la cartera aproximadamente, ya que en ese caso el uso que se ha dado a los derivados financieros es a modo únicamente de hedge. Ya en las tablas 14 y 15 se aprecia que en el caso más bearish, en el que los tipos de interés suben 200bps, la cartera tradicional de bonos pierde en torno a 2MM de euros, mientras que la posición en los futuros gana 1.1MM de euros, reduciendo así las pérdidas de la cartera prácticamente a la mitad, por lo que el objetivo de cubrir el 50% de la exposición a tipos de interés se cumple.

Veamos más en detalle la rentabilidad obtenida en los futuros en términos porcentuales:

Instrumento	Precio actual del contrato	Número de contratos	Valor de mercado inicial	-200bps	-150bps	-100bps	-50bps	0bps	+50bps	+100bps	+150bps	+200bps
RX	132.875	56	7,441,000.00 €	-16.08%	-12.06%	-8.04%	-4.02%	0.00%	4.02%	8.04%	12.06%	16.08%

Tabla 22. Rentabilidad porcentual del contrato de futuros ante los diferentes escenarios de tipos de interés. Source: Microsoft Excel. Elaboración propia.

Una vez demostrado que el hedge está correctamente hecho y analizado el potencial de revalorización de las opciones con fines meramente especulativos, veamos cómo se comporta la cartera con derivados en conjunto ante los diferentes escenarios de tipos de interés:

Ganacias/Pérdidas	Escenario de tipos de interés								
	-200bps	-150bps	-100bps	-50bps	0bps	+50bps	+100bps	+150bps	+200bps
Bonos	€ 3,405,481.50	€ 2,642,976.13	€ 1,928,959.08	€ 1,263,430.37	€ 646,390.00	€ 77,837.96	-€ 442,225.74	-€ 913,801.11	-€ 1,336,888.15
Opciones	€ 406,373.59	€ 250,367.38	€ 122,093.62	€ 43,357.73	-€ 49,288.67	-€ 49,288.67	-€ 49,288.67	-€ 49,288.67	-€ 49,288.67
Futuros	-€ 1,196,330.28	-€ 897,247.71	-€ 598,165.14	-€ 299,082.57	€ -	€ 299,082.57	€ 598,165.14	€ 897,247.71	€ 1,196,330.28
Total	€ 2,615,524.82	€ 1,996,095.80	€ 1,452,887.57	€ 1,007,705.53	€ 597,101.33	€ 327,631.86	€ 106,650.72	-€ 65,842.08	-€ 189,846.54

Tabla 23. Ganancias/Pérdidas de capital de la cartera con derivados ante los diferentes escenarios de tipos de interés separado por componentes. Source: Microsoft Excel. Elaboración propia.

Como se puede observar en la tabla 23, dado que hemos cubierto el 50% de la delta, pero asumimos estabilidad en el crédito y que no hay casos de default o impago de los cupones, la cobertura mediante futuros hace que las pérdidas sean muy pequeñas y solo en los dos casos más extremos de subidas de tipos. Por otro lado, las ganancias en las opciones minimizan la reducción de los beneficios en los casos más alcistas. Por tanto, a falta de comparar ambas carteras en niveles porcentuales, en esta tabla ya se puede empezar a deducir que la inclusión de derivados en las carteras de renta fija mejora notoriamente la rentabilidad ajustada por riesgo de la cartera. En concreto, la rentabilidad porcentual de la cartera compleja ante los diferentes escenarios de tipos de interés sería la siguiente:

	Escenario de tipos de interés								
	-200bps	-150bps	-100bps	-50bps	0bps	+50bps	+100bps	+150bps	+200bps
Rentabilidad de la cartera con derivados	13.26%	10.12%	7.37%	5.11%	3.03%	1.66%	0.54%	-0.33%	-0.96%

Tabla 24. Rentabilidad de la cartera con derivados ante los diferentes escerios de tipos de interés. Source: Microsoft Excel. Elaboración propia.

Tal y como predecíamos, la inclusión de los derivados en la cartera hace que las pérdidas sean mucho menores, manteniendo un potencial alcista muy significativo. En el siguiente apartado, pasaremos a comparar ambas carteras y las particularidades de cada una.

Comparativa Cartera Tradicional vs Cartera Estructurada

Rentabilidad

	Escenario de tipos de interés								
	-200bps	-150bps	-100bps	-50bps	0bps	+50bps	+100bps	+150bps	+200bps
Rentabilidad de la cartera con derivados	13.26%	10.12%	7.37%	5.11%	3.03%	1.66%	0.54%	-0.33%	-0.96%
Rentabilidad de la cartera de bonos	17.42%	13.52%	9.86%	6.46%	3.31%	0.40%	-2.26%	-4.67%	-6.84%

Tabla 25. Comparativa de la Rentabilidad de la cartera con y sin derivados. Source: Microsoft Excel. Elaboración propia.

En la tabla anterior se ven muy claros los conceptos ya mencionados. Si bien, es cierto que la cartera con derivados tiene una ganancia máxima potencial inferior a la cartera tradicional por el efecto inverso de la cobertura, esta pérdida de rentabilidad es mucho menor (en gran parte gracias a las rentabilidades del 600-1000% de las opciones) que el efecto buffer que supone a nivel de pérdidas, donde observamos cómo mientras en un caso bajista en el que los bancos centrales continúan subiendo tipos hasta 200bps al alza, la cartera tradicional supondría una pérdida para el inversor del 6.84%, pudiendo incluso llegar a ser mayor en caso de impagos (riesgo que es mayor en escenarios de tipos de interés al alza, especialmente para las empresas más apalancadas). Sin embargo, en el caso de la cartera con derivados este riesgo se reduce prácticamente por completo, haciendo que el escenario más pesimista sea una pérdida de tan solo el 0.96% del capital total invertido.

Ratio riesgo/retorno

En segundo lugar, analizaremos el ratio riesgo/retorno de la cartera, que evalúa la relación entre el rendimiento esperado y la volatilidad asociada. Es una métrica clave para mostrar la eficiencia de la cartera con o sin derivados. La calcularemos siguiendo la siguiente expresión:

$$Ratio\ RR = \frac{Rentabilidad\ esperada}{Volatilidad}$$

Donde:

- Mediremos la rentabilidad esperada como la rentabilidad promedio de cada cartera en cada uno de los escenarios
- Y la volatilidad será definida por la desviación típica de los retornos, es decir:

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n}(Ri - Re)^2}{n}}$$

Donde:

- Ri es el retorno de la cartera en el escenario i
- Re es el retorno esperado
- N es el número de escenarios

Por tanto, utilizando los datos de la tabla 25, se llega a los siguientes valores:

	Retorno Esperado	Volatilidad	Ratio Riesgo/Retorno
Cartera con derivados	4.42%	4.67%	0.95
Cartera de bonos	4.13%	7.86%	0.53

Tabla 26. Comparativa Ratio Riesgo/Retorno de ambas carteras. Source: Microsoft Excel. Elaboración propia.

En la tabla se aprecia como la cartera con derivados además de tener un retorno esperado 30bps mayor, lo hace con una volatilidad mucho menor (un 40% menor), lo que hace que tenga un ratio riesgo/retorno de prácticamente el doble que la cartera tradicional, asegurando un retorno ajustado por riesgo mucho más atractivo para el inversor.

Máxima pérdida (Drawdown)

Aunque esta métrica ya se puede observar en las tablas anteriores, merece la pena resaltar la diferencia tan significativa entre las máximas pérdidas esperadas en ambas carteras:

	Máxima pérdida	
Cartera con derivados	-€ 189,846.54	-0.96%
Cartera de bonos	-€ 1,336,888.15	-6.84%

Tabla 27. Máxima pérdida en ambas carteras. Source: Microsoft Excel. Elaboración propia.

Mientras en la cartera de bonos tradicional se podría llegar a perder 1.34 millones de euros, lo que representa un -6.84% de TIR, la cartera con derivados limita esta pérdida a 189k euros, con una TIR del -0.96% que es mucho más asumible.

Resumen

Por tanto, tanto en términos de rentabilidad absoluta, como de retorno ajustado por riesgo, como de máxima pérdida asumible, se puede afirmar con cierta seguridad que la cartera con derivados ofrece una alternativa mucho más atractiva para un inversor de renta fija, ya que le permite:

1. Maximizar la rentabilidad utilizando opciones especulativas
2. Minimizar las pérdidas cubriendo parte de la exposición a tipos de interés mediante la venta de futuros
3. Aumentar el retorno ajustado por riesgo aumentando la rentabilidad esperada y reduciendo a su vez la volatilidad de la cartera

Capítulo 5. Optimización de la cartera

Enfoque general

Una vez comprobado que efectivamente la cartera con derivados es superior en todas las métricas de comportamiento estudiadas a una cartera tradicional de bonos, el objetivo de este capítulo será ajustar los pesos de los bonos, opciones y futuros para maximizar el retorno ajustado por riesgo o ratio riesgo retorno, que tal y como vimos en el capítulo anterior, se calculará a partir de la siguiente expresión:

$$Ratio\ RR = \frac{Rentabilidad\ esperada}{Volatilidad}$$

Donde:

- Mediremos la rentabilidad esperada como la rentabilidad promedio de cada cartera en cada uno de los escenarios
- Y la volatilidad será definida por la desviación típica de los retornos, es decir:

  $$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n}(Ri - Re)^2}{n}}$$

  Donde:
  - Ri es el retorno de la cartera en el escenario i
  - Re es el retorno esperado
  - N es el número de escenarios

Esto implica encontrar los pesos óptimos (w_i) de cada activo en la cartera con derivados, sujetos a restricciones como el capital total disponible. Para ello, emplearemos el Solver de Microsoft Excel, aunque se podría haber utilizado también el optimizador de Python.

Estructura y configuración

El primer paso será organizar la información en Excel con los siguientes datos:

- ✓ Nombre del activo
- ✓ Retorno esperado (Ri) en porcentaje
- ✓ Volatilidad (σi) en porcentaje
- ✓ Peso inicial en la cartera

Con lo que obtenemos la siguiente tabla:

Activo	Retorno Esperado (Ri)	Volatilidad (σi)	Peso inicial (wi)
ADIFAL 1 1/4 05/04/26	1.30%	1.78%	4.97%
MADRID 0.419 04/30/30	0.75%	6.73%	4.45%
BBVASM 4 3/8 08/29/36	4.64%	7.13%	5.13%
CAJAMA 4 1/8 09/03/30	4.23%	5.47%	5.18%
CAJAMA 5 1/4 11/27/31	5.24%	2.40%	5.12%
SANTAN 3 7/8 04/22/29	3.95%	5.06%	5.20%
DBR 2.6 08/15/34	3.26%	10.94%	5.18%
CABKSM 4 3/8 08/08/36	4.63%	7.31%	5.16%
EU 3 12/04/34	3.69%	10.85%	5.11%
FRTR 0 1/2 05/25/2072	14.67%	48.43%	1.85%
IBESM 3 1/8 11/22/28	3.22%	4.50%	5.13%
ICO 3.05 10/31/27	3.09%	3.57%	5.14%
BTPS 2.8 03/01/67	9.52%	28.45%	3.90%
SPGB 2.15 10/31/25	2.17%	1.16%	5.06%
SPGB 4.2 01/31/37	4.74%	12.09%	5.57%
SPGB 5.15 10/31/44	6.10%	17.18%	6.26%
SPGB 5.9 07/30/26	5.61%	2.04%	5.36%
SPGB 3 1/2 05/31/29	3.55%	5.27%	5.26%
TELEFO 1.495 09/11/25	1.52%	0.99%	5.02%
UCAJLN 3 1/2 09/12/29	3.61%	4.49%	5.10%
Call 1Y 3.02% sobre SPGB 2037	209.56%	400.73%	0.10%
Call 1Y 3.31% sobre SPGB 2044	75.76%	263.81%	0.15%
RX	0.00%	10.38%	37.73%

Tabla 28. Retornos esperados y volatilidad de los activos de la cartera antes de la optimización. Source: Microsoft Excel. Elaboración propia.

Posteriormente, habría que desarrollar la matriz de covarianzas, partiendo de los retornos de cada uno de los activos en los 9 escenarios de tipos de interés, la cual se puede encontrar en el Anexo 1 de este documento.

Una vez calculada la matriz de covarianzas, se puede calcular también la volatilidad también de la cartera, a través de la siguiente expresión:

$$\sigma_{cartera} = \sqrt{\sum_{i}^{n} \sum_{j} w_i * w_j * Cov\,(Ri, Rj)}$$

Con los pesos iniciales, comprobamos que efectivamente se obtiene un retorno esperado del 4.42% y una volatilidad del 4.67%, lo que se traduce en un ratio riesgo/retorno de 0.95.

A partir de aquí, se pasa a la configuración del Solver. En primer lugar, definimos la función objetivo, que será maximizar el ratio riesgo/retorno.

En segundo lugar, seleccionamos las variables de decisión, que serán los pesos de los activos que conforman la cartera.

En tercer lugar, agregamos las restricciones de nuestro problema, que en este caso serán:

1. Suma de pesos debe ser igual a 1 (100% de la cartera)
2. Los pesos deben ser todos mayores o iguales a 0 (en este ejercicio no vamos a permitir ventas en corto ya que se escapa del scope del proyecto).
3. Ningún activo puede suponer más del 10% de la cartera para diversificar y evitar así un riesgo de crédito excesivo (sin contar los contratos de futuros, ya que solo actúan de hedge)

Por último, seleccionamos GRG Nonlinear como método de resolución, al tratarse de un problema no lineal:

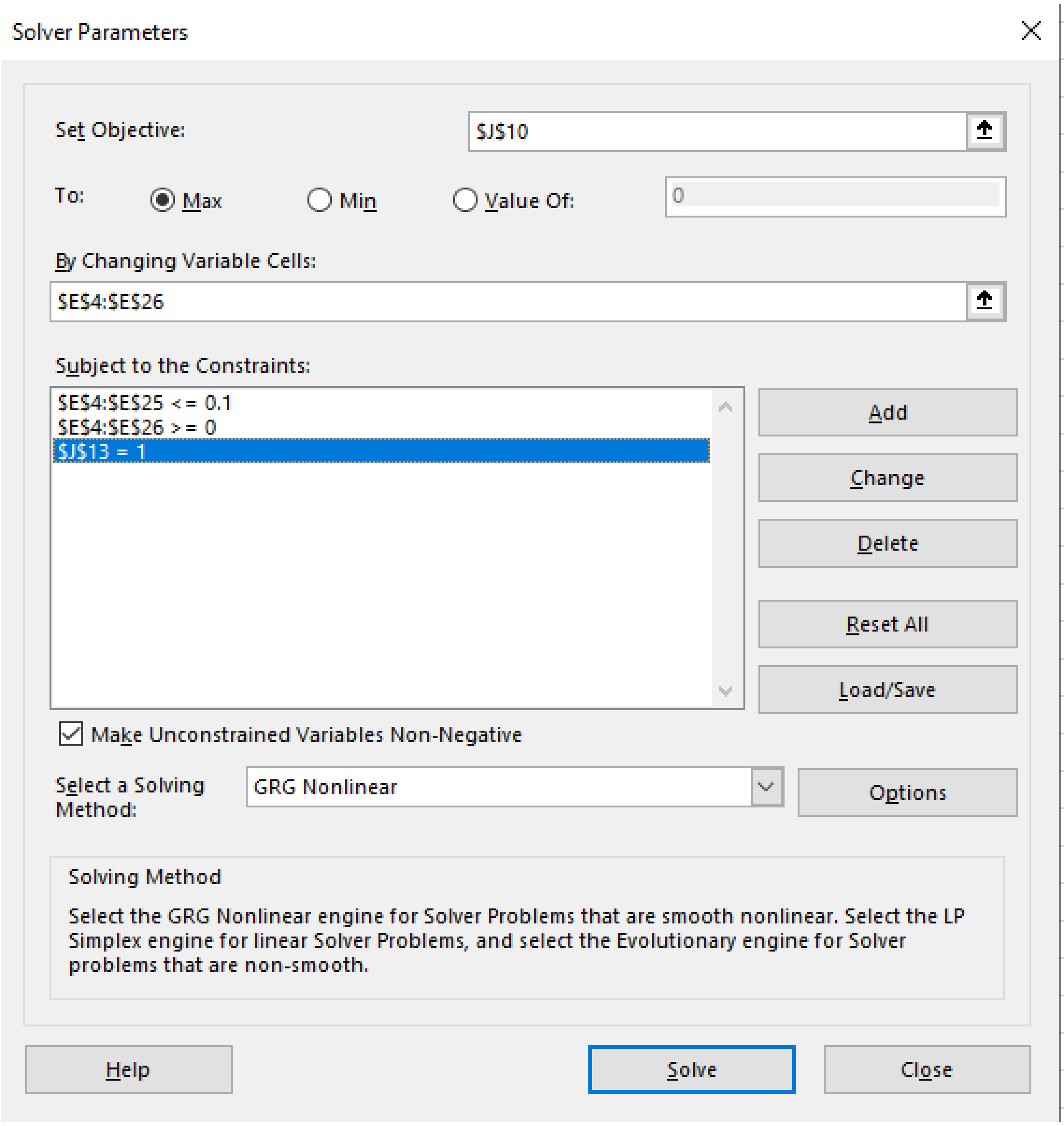


Ilustración 19. Configuración del Solver para optimizar la cartera. Source: Microsoft Excel. Elaboración propia.

Solución Principal

La solución para la cartera con el mejor retorno ajustado por riesgo sería la siguiente:

Activo	Retorno Esperado (Ri)	Volatilidad (σi)	Peso en cartera (wi)
ADIFAL 1 1/4 05/04/26	1.30%	1.78%	9.84%
MADRID 0.419 04/30/30	0.75%	6.73%	0.01%
BBVASM 4 3/8 08/29/36	4.64%	7.13%	0.02%
CAJAMA 4 1/8 09/03/30	4.23%	5.47%	5.08%
CAJAMA 5 1/4 11/27/31	5.24%	2.40%	10.00%
SANTAN 3 7/8 04/22/29	3.95%	5.06%	8.47%
DBR 2.6 08/15/34	3.26%	10.94%	0.00%
CABKSM 4 3/8 08/08/36	4.63%	7.31%	3.03%
EU 3 12/04/34	3.69%	10.85%	0.00%
FRTR 0 1/2 05/25/2072	14.67%	48.43%	0.00%
IBESM 3 1/8 11/22/28	3.22%	4.50%	8.28%
ICO 3.05 10/31/27	3.09%	3.57%	9.78%
BTPS 2.8 03/01/67	9.52%	28.45%	0.00%
SPGB 2.15 10/31/25	2.17%	1.16%	9.99%
SPGB 4.2 01/31/37	4.74%	12.09%	0.00%
SPGB 5.15 10/31/44	6.10%	17.18%	0.00%
SPGB 5.9 07/30/26	5.61%	2.04%	10.00%
SPGB 3 1/2 05/31/29	3.55%	5.27%	7.21%
TELEFO 1.495 09/11/25	1.52%	0.99%	9.17%
UCAJLN 3 1/2 09/12/29	3.61%	4.49%	9.12%
Call 1Y 3.02% sobre SPGB 2037	209.56%	400.73%	0.00%
Call 1Y 3.31% sobre SPGB 2044	75.76%	263.81%	0.00%
RX	0.00%	10.38%	31.49%

Tabla 29. Composición de la cartera con mejor ratio riesgo/retorno. Source: Microsoft Excel. Elaboración propia.

Esta cartera obtiene un retorno esperado del **3.42%** pero con un riesgo/volatilidad del 0.08%, lo que se traduce en un ratio riesgo/retorno del 42.63. Esto significa que esta cartera garantiza un retorno cercano al 3.42% en cualquiera de los 9 escenarios de tipos de interés, por lo que sería probablemente la cartera ideal en caso de no tener una visión específica sobre la duración/tipos de interés.

No obstante, se puede apreciar cómo en esta solución, se han eliminado los activos mayor duración/riesgo (tanto los bonos más largos y convexos como las calls especulativas), lo cual si bien evidentemente reduce drásticamente el riesgo de la cartera, también reduce mucho el potencial de ganancias. Esto se debe a que el ratio de Sharpe (que es el que hemos utilizado para calcular el ratio riesgo retorno de la cartera), se dispara cuando el riesgo tiende a 0, ya que al estar en el denominador, el ratio riesgo/retorno tiende a infinito.

Por tanto, para evitar que esto ocurra y reducir tan significativamente el potencial de ganancias de la cartera en el siguiente apartado se propondrá una solución alternativa.

Solución Alternativa

Para evitar el efecto inflacionario del ratio de Sharpe cuando el riesgo tiende a 0 (incluso cuando el retorno es bastante bajo) y obtener una cartera verdaderamente óptima en términos de rentabilidad ajustada por riesgo, podemos redefinir la función objetivo como:

$$Max(Retorno - \lambda * Riesgo)$$

Donde λ sea un valor seleccionado por nosotros para determinar el nivel de conservadurismo de la cartera. Cuanto mayor sea el valor que le asignamos a λ, más penalizaremos los activos de riesgo en la solución. Por tanto, asignar un valor de $\lambda = 1$, para esta solución alternativa que intenta obtener una rentabilidad algo mayor a la anterior parece adecuado.

Aplicando este cambio al solver, obtenemos la siguiente cartera optimizada:

Activo	Retorno Esperado (Ri)	Volatilidad (σi)	Peso en cartera (wi)
ADIFAL 1 1/4 05/04/26	1.30%	1.78%	0.00%
MADRID 0.419 04/30/30	0.75%	6.73%	0.00%
BBVASM 4 3/8 08/29/36	4.64%	7.13%	10.00%
CAJAMA 4 1/8 09/03/30	4.23%	5.47%	10.00%
CAJAMA 5 1/4 11/27/31	5.24%	2.40%	10.00%
SANTAN 3 7/8 04/22/29	3.95%	5.06%	10.00%
DBR 2.6 08/15/34	3.26%	10.94%	0.00%
CABKSM 4 3/8 08/08/36	4.63%	7.31%	10.00%
EU 3 12/04/34	3.69%	10.85%	0.00%
FRTR 0 1/2 05/25/2072	14.67%	48.43%	0.00%
IBESM 3 1/8 11/22/28	3.22%	4.50%	0.00%
ICO 3.05 10/31/27	3.09%	3.57%	0.00%
BTPS 2.8 03/01/67	9.52%	28.45%	10.00%
SPGB 2.15 10/31/25	2.17%	1.16%	0.00%
SPGB 4.2 01/31/37	4.74%	12.09%	10.00%
SPGB 5.15 10/31/44	6.10%	17.18%	10.00%
SPGB 5.9 07/30/26	5.61%	2.04%	10.00%
SPGB 3 1/2 05/31/29	3.55%	5.27%	0.00%
TELEFO 1.495 09/11/25	1.52%	0.99%	0.00%
UCAJLN 3 1/2 09/12/29	3.61%	4.49%	0.00%
Call 1Y 3.02% sobre SPGB 2037	209.56%	400.73%	10.00%
Call 1Y 3.31% sobre SPGB 2044	75.76%	263.81%	0.00%
RX	0.00%	10.38%	37.12%

Tabla 30. Solución Alternativa con mayor rentabilidad. Source: Microsoft Excel. Elaboración propia.

La cartera solución tendría un retorno medio esperado del **25.82%**, lo cual es un valor raramente visto en el mundo de renta fija (e incluso en la renta variable, la cual históricamente ha dado un retorno medio del 7-8% a nivel mundial), pero con una volatilidad esta vez del 44.76%, es decir, esta cartera tendría muchísimo más riesgo, ya que como se puede observar, da mucho más peso a la call con mayor potencial de revalorización.

Un factor clave a tener en cuenta es que si bien el ratio riesgo/retorno de esta cartera (del 0.58) es significativamente inferior al de la cartera que optimizaba el cociente, esta cartera sigue teniendo un ratio riesgo/retorno superior a la cartera tradicional de bonos, que se situaba en el 0.53, pero con una TIR 6.25 veces superior. Por tanto, esto es un gran ejemplo de los diversos usos que se les puede dar a los derivados en la gestión de carteras de renta fija en función del apetito de riesgo del inversor.

Capítulo 6. Conclusiones y recomendaciones

Conclusiones generales

Valor de las demostraciones matemáticas

A lo largo del desarrollo del marco teórico, se ha demostrado cómo las herramientas matemáticas como la duración modificada, la convexidad y los modelos de valoración de derivados, en particular la fórmula de Black, proporcionan bases sólidas para la gestión de carteras de renta fija. La derivación de fórmulas complejas y su posterior simplificación, además de su implementación en escenarios reales, nos ha permitido validar su utilidad práctica y precisión en la toma de decisiones financieras. En particular:

- ✓ La fórmula de Black adaptada para opciones sobre bonos ha demostrado ser un modelo eficaz para estimar sus precios, aunque requiere la asunción de ciertas hipótesis como que el tipo de interés libre de riesgo es constante y que se conoce y también se mantiene constante el CTD (cheapest to deliver), que son limitaciones importantes en escenarios dinámicos.
- ✓ El análisis de la relación entre convexidad y volatilidad ha resaltado la importancia de tener en cuenta no solo cambios lineales en los tipos de interés, sino también su impacto no lineal, especialmente en carteras diversificadas con vencimientos prolongados.

Efectividad de la cobertura de delta (delta hedge) mediante futuros

El uso de futuros sobre bonos como herramienta de cobertura ha demostrado ser extremadamente eficiente en la gestión del riesgo de una cartera de renta fija. Entre los hallazgos clave:

- ✓ **Reducción de la Exposición al Riesgo**: La cobertura parcial del 50% de la duración con futuros sobre el Bund redujo significativamente la volatilidad de la cartera, suavizando el impacto de subidas en los tipos de interés en los escenarios simulados.
- ✓ **Flexibilidad de Implementación**: Los futuros permiten ajustar rápidamente la exposición al riesgo sin alterar la composición subyacente de la cartera, ofreciendo una solución dinámica y eficiente.

- ✓ **Limitaciones**: Sin embargo, esta estrategia también tiene un coste implícito en términos de rentabilidad, ya que la cobertura elimina parte del beneficio potencial en escenarios bullish.

Opciones sobre bonos como herramientas especulativas

La inclusión de opciones call sobre bonos soberanos españoles (SPGB 2037 y 2044) con fines especulativos aportó un poder de revalorización muy significativo en escenarios alcistas, destacando:

- ✓ **Riesgo Limitado**: Las opciones, al tener un coste inicial (prima), limitaron las pérdidas a este importe en escenarios negativos.
- ✓ **Ganancia Exponencial**: En escenarios bullish, las opciones generaron un retorno exponencial, especialmente en el SPGB 2037, donde los movimientos de tipos fueron más pronunciados en relativo y la prima de la call, más barata.
- ✓ **Optimización del Portfolio**: Estas opciones complementaron perfectamente el delta hedge, combinando estabilidad en escenarios adversos con revalorización en escenarios positivos.

Comparación entre carteras tradicionales y carteras con derivados

La cartera con derivados superó consistentemente a la cartera base en todas las métricas de rentabilidad ajustada por riesgo:

- ✓ **Rentabilidad Esperada Mayor:** En los escenarios simulados, las carteras con derivados lograron retornos significativamente superiores a la cartera tradicional.
- ✓ **Mejoras en el Ratio Riesgo/Retorno**: Las simulaciones mostraron que la adición de derivados optimizó el perfil de riesgo/retorno de manera efectiva, tanto en escenarios moderados como extremos.
- ✓ **Reducción de Volatilidad**: Los futuros actuaron como un amortiguador clave, mientras que las opciones añadieron flexibilidad para aprovechar movimientos dovish en los tipos.

Uso estratégico de derivados según el perfil de riesgo del inversor

Los resultados del problema de optimización demostraron que los derivados pueden adaptarse al apetito de riesgo del inversor, ofreciendo soluciones personalizadas:

- ✓ **Cartera Conservadora**: En un escenario con volatilidad casi nula, la cartera generó un retorno del 3.42%, ideal para inversores con aversión al riesgo.
- ✓ **Cartera Agresiva**: Por otro lado, una solución más arriesgada generó un retorno del 25.82%, aunque con una volatilidad del 44.76%, mostrando cómo los derivados pueden maximizar el rendimiento en perfiles más tolerantes al riesgo.

Importancia de las simulaciones en la optimización de carteras

Las simulaciones jugaron un papel crucial para entender cómo las carteras respondían a distintos escenarios de tipos de interés:

- ✓ Los movimientos no lineales de precios, derivados de la convexidad y las opciones, enfatizaron la necesidad de herramientas como las simulaciones de Monte Carlo para modelar escenarios reales.
- ✓ Los resultados también destacaron la importancia de medir el impacto de métricas clave como el drawdown y la relación entre beta y riesgo sistemático.

Conclusión Final

El uso de derivados financieros en carteras de renta fija, específicamente futuros y opciones, es una estrategia efectiva para optimizar la TIR ajustada por riesgo. Los derivados no solo permiten gestionar la exposición al riesgo de manera dinámica, sino que también ofrecen herramientas para aprovechar oportunidades especulativas. Este proyecto demuestra cómo una combinación equilibrada de ingeniería financiera y análisis cuantitativo puede mejorar significativamente la gestión de carteras en un entorno profesional.

Recomendaciones para inversores

Basándonos en los resultados obtenidos en este trabajo, se pueden extraer diversas recomendaciones clave para la gestión de carteras de renta fija mediante el uso de derivados financieros:

1. **Incorporar futuros como herramienta de cobertura**
    - Gestión del Riesgo de Tipos de Interés: Los futuros sobre bonos son ideales para cubrir parcialmente la exposición a cambios en los tipos. Esto permite reducir la volatilidad de la cartera, especialmente en escenarios de subidas de tipos.

- Flexibilidad Operativa: Al ser instrumentos extremadamente líquidos, los futuros permiten realizar ajustes rápidos en la exposición sin necesidad de reestructurar la cartera subyacente.
- Recomendación Práctica:
    - Utilizar futuros para cubrir entre el 30% y el 70% de la duración de la cartera, dependiendo del perfil de riesgo del inversor (pudiendo llegar hasta el 100% en caso de tener una visión hawkish sobre los tipos).
    - Revisar periódicamente la cobertura para ajustarla a cambios en el entorno de mercado.

2. **Aprovechar las opciones para estrategias especulativas**
    - Maximizar Retornos en Escenarios Alcistas: Las opciones call sobre bonos soberanos o corporativos son herramientas eficaces para captar ganancias exponenciales en escenarios bullish, especialmente en carteras que esperan movimientos a la baja en los tipos de interés.
    - Control del Riesgo: Las posiciones largas en opciones limitan las pérdidas al coste de la prima, lo que las hace ideales para estrategias especulativas con riesgos acotados.
    - Recomendación Práctica:
        - Incluir opciones call con vencimientos de 3 a 12 meses para aprovechar movimientos a corto y medio plazo en los tipos de interés.
        - Seleccionar strikes ligeramente out-of-the-money (10-20bps) para maximizar el apalancamiento sin encarecer excesivamente la prima.

3. **Diseñar carteras según el perfil de riesgo del inversor**
    - Carteras Conservadoras:
        - Enfocarse en estrategias con alta cobertura de futuros para reducir la volatilidad total.
        - Minimizar la exposición a derivados especulativos.
        - Buscar retornos estables, incluso sacrificando parte del rendimiento potencial.
        - Ejemplo: Una cartera con una cobertura del 50-70% y retorno del 3-4% podría ser ideal para inversores aversos al riesgo.
    - Carteras más agresivas:

    - Aumentar la exposición a opciones para maximizar el retorno en escenarios alcistas.
    - Reducir la cobertura de futuros o incluso asumir posiciones largas especulativas en mercados bajistas.
    - Ejemplo: Una cartera con menor cobertura y mayor peso en opciones logró un retorno del 25.82% en las simulaciones, aunque con una volatilidad significativamente mayor.

4. **Monitorizar frecuentemente las métricas clave**
    - Rentabilidad ajustada por riesgo: Utilizar métricas como el ratio de Sharpe para evaluar continuamente la eficiencia de la cartera.
    - Volatilidad y Drawdown: Identificar cómo los movimientos en los tipos afectan la estabilidad de la cartera y ajustar los derivados en consecuencia.
    - Recomendación Práctica: Realizar simulaciones periódicas con escenarios de mercado actualizados para anticipar el impacto de cambios en los tipos.
5. **Diversificar la exposición geográfica y por tipo de bono**
    - Optimización del Riesgo Sistémico: Incorporar bonos de distintos emisores (soberanos y corporativos) y geografías puede reducir el riesgo específico.
    - Recomendación Práctica: Mantener un mix equilibrado entre bonos soberanos de alta calidad (IG) y bonos corporativos (tanto IG como HY) en rangos ajustados al apetito de riesgo del inversor.
6. **Utilizar modelos matemáticos para la toma de decisiones**
    - Las herramientas matemáticas como la duración, convexidad y las fórmulas de valoración de derivados (ejemplo: Black) son esenciales para tomar decisiones informadas.
    - Recomendación Práctica:
        - Incorporar análisis cuantitativos en la selección de derivados.
        - Ajustar parámetros como el strike o el vencimiento de las opciones según las condiciones de mercado simuladas.
7. **Considerar los costes asociados a los derivados**
    - Primas y Márgenes: Tanto las primas de opciones como los márgenes iniciales y de mantenimiento de los futuros deben ser monitorizados, ya que pueden reducir la rentabilidad neta de la cartera (aumentando el capital).
    - Recomendación Práctica:

- Evaluar cuidadosamente el ratio coste-beneficio de los derivados antes de incluirlos en la cartera.
- Optimizar la frecuencia de ajustes para minimizar costes operativos.

Futuras investigaciones

Si bien este trabajo representa una guía práctica muy útil para la gestión de carteras de renta fija, mediante un enfoque cuantitativo, abre la veda para futuras investigaciones que puedan estudiar el efecto de derivados más exóticos como el uso de caps, floors o swaptions en la gestión de carteras de renta fija.

Por otro lado, se podría también extender el presente proyecto para incorporar una optimización multiobjetivo que no solo considere la rentabilidad ajustada por riesgo, sino que incluya también simultáneamente criterios ESG, diversificación geográfica, etc.

En tercer lugar, en este TFM se ha llevado a cabo una estrategia de cobertura estática (sin ajustar el número de futuros según los diferentes escenarios), por lo que se podría llevar a cabo un estudio comparativo de cómo los ajustes periódicos de futuros y opciones afectan al retorno y a la estabilidad de la cartera.

En cuarto lugar, otra idea podría ser expandir el análisis a carteras mixtas, con una combinación de renta fija y renta variable, incorporando derivados sobre ambos tipos de activos.

Por último, dado el increíble revuelo que está causando a día de hoy la aparición de la IA, una futura investigación podría incluir algoritmos de machine learning para mejorar el proceso de optimización de la cartera, explorando cómo el uso de modelos predictivos puede anticipar movimientos en los tipos de interés y mejorar el ajuste de las coberturas y la rentabilidad de la cartera.

Anexo I: Matriz de covarianzas

Matriz de covarianzas	ADIFAL 1 1/4 05/04/26	MADRID 0.419 04/30/30	BBVASM 4 3/8 08/29/36	CAJAMA 4 1/8 09/03/30	CAJAMA 5 1/4 11/27/31	SANTAN 3 7/8 04/22/29	DBR 2.6 08/15/34	CABKSM 4 3/8 08/08/36	EU 3 12/04/34	FRTR 0 1/2 05/25/2072	IBESM 3 1/8 11/22/28	ICO 3.05 10/31/27	BTPS 2.8 03/01/67	SPGB 2.15 10/31/25	SPGB 4.2 01/31/37	SPGB 5.15 10/31/44	SPGB 5.9 07/30/26	SPGB 3 1/2 05/31/29	TELEFO 1.495 09/11/25	UCAJLN 3 1/2 09/12/29	Call 1Y 3.02% sobre SPGB	Call 1Y 3.31% sobre SPGB	RX
ADIFAL 1 1/4 05/04/26	0.000317	0.001198	0.00127	0.000975	0.000427	0.000902	0.001948	0.001302	0.001932	0.008402	0.000801	0.000637	0.004997	0.000207	0.002152	0.00305	0.000363	0.00094	0.000176	0.0008	0.064184	0.039503	-0.00185
MADRID 0.419 04/30/30	0.001198	0.004525	0.004796	0.003683	0.001613	0.003406	0.007361	0.004918	0.007299	0.031879	0.003025	0.002404	0.018933	0.000781	0.008131	0.011536	0.001369	0.003548	0.000666	0.003019	0.244768	0.151113	-0.00698
BBVASM 4 3/8 08/29/36	0.00127	0.004796	0.005083	0.003903	0.00171	0.003609	0.007802	0.005212	0.007737	0.033814	0.003206	0.002547	0.020077	0.000827	0.008619	0.012229	0.001451	0.003761	0.000705	0.0032	0.259859	0.160517	-0.00739
CAJAMA 4 1/8 09/03/30	0.000975	0.003683	0.003903	0.002997	0.001313	0.002772	0.00599	0.004002	0.00594	0.02592	0.002462	0.001956	0.015398	0.000636	0.006617	0.009386	0.001114	0.002888	0.000542	0.002457	0.198804	0.122657	-0.00568
CAJAMA 5 1/4 11/27/31	0.000427	0.001613	0.00171	0.001313	0.000575	0.001214	0.002623	0.001753	0.002601	0.01132	0.001079	0.000857	0.006731	0.000279	0.002897	0.004108	0.000488	0.001265	0.000237	0.001077	0.086528	0.053275	-0.00249
SANTAN 3 7/8 04/22/29	0.000902	0.003406	0.003609	0.002772	0.001214	0.002563	0.005539	0.003701	0.005493	0.023959	0.002277	0.001809	0.014235	0.000588	0.006118	0.008678	0.00103	0.002671	0.000501	0.002272	0.183694	0.113307	-0.00525
DBR 2.6 08/15/34	0.001948	0.007361	0.007802	0.00599	0.002623	0.005539	0.011978	0.008	0.011879	0.052092	0.004919	0.003908	0.030895	0.001269	0.013235	0.01879	0.002226	0.005771	0.001082	0.00491	0.401981	0.248927	-0.01134
CABKSM 4 3/8 08/08/36	0.001302	0.004918	0.005212	0.004002	0.001753	0.003701	0.008	0.005344	0.007933	0.034678	0.003287	0.002612	0.020589	0.000848	0.008838	0.01254	0.001488	0.003856	0.000723	0.003281	0.266564	0.164682	-0.00758
EU 3 12/04/34	0.001932	0.007299	0.007737	0.00594	0.002601	0.005493	0.011879	0.007933	0.01178	0.051667	0.004878	0.003876	0.030641	0.001259	0.013125	0.018635	0.002207	0.005723	0.001073	0.004869	0.398786	0.246977	-0.01124
FRTR 0 1/2 05/25/2072	0.008402	0.031879	0.033814	0.02592	0.01132	0.023959	0.052092	0.034678	0.051667	0.23459	0.021268	0.016883	0.137546	0.005472	0.057667	0.082357	0.009602	0.024968	0.004663	0.021228	1.885549	1.19566	-0.04878
IBESM 3 1/8 11/22/28	0.000801	0.003025	0.003206	0.002462	0.001079	0.002277	0.004919	0.003287	0.004878	0.021268	0.002022	0.001607	0.012638	0.000522	0.005434	0.007707	0.000915	0.002372	0.000445	0.002019	0.162933	0.100455	-0.00467
ICO 3.05 10/31/27	0.000637	0.002404	0.002547	0.001956	0.000857	0.001809	0.003908	0.002612	0.003876	0.016883	0.001607	0.001277	0.010036	0.000415	0.004317	0.006122	0.000727	0.001885	0.000354	0.001604	0.129217	0.07962	-0.00371
BTPS 2.8 03/01/67	0.004997	0.018933	0.020077	0.015398	0.006731	0.014235	0.030895	0.020589	0.030641	0.137546	0.012638	0.010036	0.080948	0.003255	0.03418	0.048718	0.00571	0.014834	0.002774	0.012615	1.091226	0.686845	-0.02904
SPGB 2.15 10/31/25	0.000207	0.000781	0.000827	0.000636	0.000279	0.000588	0.001269	0.000848	0.001259	0.005472	0.000522	0.000415	0.003255	0.000135	0.001402	0.001987	0.000236	0.000612	0.000115	0.000521	0.041774	0.0257	-0.0012
SPGB 4.2 01/31/37	0.002152	0.008131	0.008619	0.006617	0.002897	0.006118	0.013235	0.008838	0.013125	0.057667	0.005434	0.004317	0.03418	0.001402	0.014626	0.020771	0.002458	0.006375	0.001195	0.005424	0.446021	0.276576	-0.01252
SPGB 5.15 10/31/44	0.00305	0.011536	0.012229	0.009386	0.004108	0.008678	0.01879	0.01254	0.018635	0.082357	0.007707	0.006122	0.048718	0.001987	0.020771	0.029527	0.003485	0.009043	0.001694	0.007692	0.64153	0.3995	-0.01775
SPGB 5.9 07/30/26	0.000363	0.001369	0.001451	0.001114	0.000488	0.00103	0.002226	0.001488	0.002207	0.009602	0.000915	0.000727	0.00571	0.000236	0.002458	0.003485	0.000414	0.001074	0.000201	0.000914	0.073373	0.045166	-0.00211
SPGB 3 1/2 05/31/29	0.00094	0.003548	0.003761	0.002888	0.001265	0.002671	0.005771	0.003856	0.005723	0.024968	0.002372	0.001885	0.014834	0.000612	0.006375	0.009043	0.001074	0.002782	0.000522	0.002368	0.191463	0.118113	-0.00547
TELEFO 1.495 09/11/25	0.000176	0.000666	0.000705	0.000542	0.000237	0.000501	0.001082	0.000723	0.001073	0.004663	0.000445	0.000354	0.002774	0.000115	0.001195	0.001694	0.000201	0.000522	9.8E-05	0.000444	0.03558	0.021883	-0.00103
UCAJLN 3 1/2 09/12/29	0.0008	0.003019	0.0032	0.002457	0.001077	0.002272	0.00491	0.003281	0.004869	0.021228	0.002019	0.001604	0.012615	0.000521	0.005424	0.007692	0.000914	0.002368	0.000444	0.002015	0.16263	0.10027	-0.00466
Call 1Y 3.02% sobre SPGB 2037	0.064184	0.244768	0.259859	0.198804	0.086528	0.183694	0.401981	0.266564	0.398786	1.885549	0.162933	0.129217	1.091226	0.041774	0.446021	0.64153	0.073373	0.191463	0.03558	0.16263	16.0585	10.31414	-0.37148
Call 1Y 3.31% sobre SPGB 2044	0.039503	0.151113	0.160517	0.122657	0.053275	0.113307	0.248927	0.164682	0.246977	1.19566	0.100455	0.07962	0.686845	0.0257	0.276576	0.3995	0.045166	0.118113	0.021883	0.10027	10.31414	6.95938	-0.22819
RX	-0.00185	-0.00698	-0.00739	-0.00568	-0.00249	-0.00525	-0.01134	-0.00758	-0.01124	-0.04878	-0.00467	-0.00371	-0.02904	-0.0012	-0.01252	-0.01775	-0.00211	-0.00547	-0.00103	-0.00466	-0.37148	-0.22819	0.01077

Source: Microsoft Excel. Elaboración propia

Anexo II: Alineación con los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS)

En primer lugar, este proyecto contribuye al ODS 4: Educación de Calidad, ya que fomenta el desarrollo de habilidades avanzadas en herramientas cuantitativas y financieras, promoviendo una formación de alta calidad que me prepara tanto a mí como a futuros lectores para enfrentar desafíos complejos en los mercados financieros globales.

En segundo lugar, se alinea también con el ODS 8 (Trabajo decente y crecimiento económico) al promover el uso eficiente de herramientas financieras para optimizar recursos y carteras de inversión.

En tercer lugar, también está alineado con el ODS 9 (Industria, innovación e infraestructura) al emplear simulaciones y modelos para mejorar la gestión de carteras de renta fija, lo cual se puede considerar una práctica innovadora.

Por último, se podría argumentar también que está alineado con el ODS 12: Producción y Consumo Responsables, ya que a través de la optimización de carteras de inversión, el proyecto busca maximizar la eficiencia en el uso de recursos financieros, promoviendo estrategias responsables que equilibren el riesgo y el retorno, y fomentando decisiones sostenibles en los mercados de renta fija.

Bibliografía

Hull, J. C. (2018). Options, Futures, and Other Derivatives. Pearson.

Banco Central Europeo (ECB). Euro area interest rate swaps market and risk-sharing across sectors. https://www.ecb.europa.eu (European Central Bank).

Corporate Finance Institute (CFI). Interest Rate Swap - Learn How Interest Rate Swaps Work. https://corporatefinanceinstitute.com/resources/derivatives/interest-rate-swap/

CFA Institute. Pricing and Valuation of Interest Rates and Other Swaps. https://www.cfainstitute.org/en/membership/professional-development/refresher-readings/pricing-valuation-interest-rate-swaps

LCH Group. Interest Rate Swaps. https://www.lch.com/services/swapclear

Eurex Clearing. Interest Rate Derivatives. https://www.eurex.com.

Eurex Exchange. Contract Specifications for European Government Bond Futures. https://www.eurex.com.

Eurex Exchange. Euro-Bund Futures. https://www.eurex.com.

Investopedia. What Is an Interest Rate Future? Definition and How to Calculate. https://www.investopedia.com/terms/i/interestratefuture.asp

Quickonomics. Interest-Rate Futures Definition & Examples. https://quickonomics.com/terms/interest-rate-futures/

SuperMoney. Bond Options: Understanding, Types, and Practical Applications. https://www.supermoney.com/encyclopedia/options-on-bonds

Investopedia. Interest Rate Options: Definition, How They Work, and Example. https://www.investopedia.com/terms/i/interestrateoptions.asp

Cmat. Pricing Fixed Income Derivatives through Black's Formula. https://www.cmat.edu.uy/~mordecki/hk/lecture24.pdf

Funds People. Manual explicativo para entender tres conceptos básicos en renta fija: duración, duración modificada y sensibilidad. https://fundspeople.com/es/glosario/manual-explicativo-para-entender-tres-conceptos-basicos-en-renta-fija-duracion-duracion-modificada-y-sensibilidad/

Market Bulls. Optimizing Your Fixed Income Portfolio Strategy. https://market-bulls.com/fixed-income-portfolio-optimization/

Derivatives Academy. Chapter 5: Introduction to the Greeks. https://bookdown.org/maxime_debellefroid/MyBook/the-greeks.html

Corporate Finance Institute. Option Greeks. https://corporatefinanceinstitute.com/resources/derivatives/option-greeks/

Zanders Group. How do you value a Credit Default Swap? https://zandersgroup.com/en/insights/blog/how-do-you-value-a-credit-default-swap

CME Group. Calculating the dollar value of a basis point. https://www.cmegroup.com/trading/interest-rates/files/Calculating_the_Dollar_Value_of_a_Basis_Point_Final_Dec_4.pdf

Marcelo Delfino. Forwards y Futuros (resumen del libro de Hull). https://www.marcelodelfino.net/files/apunte_futuros.pdf

Corporate Finance Institute. Risk-Adjusted Return Ratios. https://corporatefinanceinstitute.com/resources/wealth-management/risk-adjusted-return-ratios/#:~:text=It%20takes%20a%20portfolio's%20return,less%20risk%20relative%20to%20return.

Indexa Capital. Pérdida Máxima Acumulada (máximum drawdown) https://support.indexacapital.com/es/esp/perdida-maxima-acumulada#:~:text=La%20p%C3%A9rdida%20m%C3%A1xima%20acumulada%20(maximum,un%20determinado%20periodo%20de%20tiempo.