



**Universidad Complutense de Madrid**

Facultad de Ciencias Económicas y Empresariales

Máster en Finanzas Cuantitativas y Banca

Medición de Riesgos Financieros

**Análisis de Riesgo Sistémico y CoVaR**

Práctica 2

**Autor:** Guillem Borràs

**Profesor:** Juan Ángel Jiménez Martín

**Curso académico:** Curso 2025–2026

**Fecha:** Madrid, 2 de enero de 2026

# Índice

<b>1. Introducción</b>	<b>2</b>
<b>2. Descripción de las empresas seleccionadas</b>	<b>2</b>
<b>3. Análisis descriptivo</b>	<b>2</b>
<b>4. Regresión cuantílica</b>	<b>3</b>
<b>5. Análisis de riesgo sistémico mediante CoVaR</b>	<b>4</b>
5.1. Estimación dinámica del VaR . . . . .	4
5.2. Estimación del CoVaR . . . . .	4
5.3. VaR vs CoVar . . . . .	5
5.4. Análisis del $\Delta\text{CoVaR}$ . . . . .	6
<b>6. Conclusiones</b>	<b>8</b>
<b>A. Apéndice</b>	<b>9</b>
A.1. Regresión cuantílica . . . . .	9
A.2. VaR dinámico (CaViaR vs. Paramétrico) . . . . .	11
A.3. VaR vs CoVar . . . . .	13
A.4. VaR vs CoVar . . . . .	14

# 1. Introducción

En este trabajo se analiza el riesgo sistémico de cuatro compañías pertenecientes a distintos sectores económicos, todas ellas integrantes del índice STOXX Europe 600. El objetivo es identificar qué empresa tiene un mayor impacto potencial sobre el sistema financiero y sobre una cartera equiponderada construida con dichas compañías, utilizando técnicas de regresión cuantílica y la medida de riesgo CoVaR.

# 2. Descripción de las empresas seleccionadas

Lloyds Banking Group es un grupo bancario británico centrado en banca minorista y comercial, con fuerte exposición al ciclo económico del Reino Unido. Prudential plc es una aseguradora internacional especializada en seguros de vida, salud y ahorro a largo plazo, con un enfoque estratégico en mercados de alto crecimiento como Asia y África. Sopra Steria es una empresa francesa de consultoría tecnológica que ofrece servicios de transformación digital y soluciones IT a grandes organizaciones europeas. Fortum es una compañía energética finlandesa dedicada principalmente a la generación y distribución eléctrica, con un peso significativo de energías renovables. Las cuatro empresas pertenecen al índice STOXX Europe 600 y representan sectores clave de la economía europea, permitiendo un análisis comparativo del riesgo sistémico entre banca, seguros, tecnología y utilities.

# 3. Análisis descriptivo

Se construye una cartera equiponderada (POR) con las cuatro empresas analizadas. La Tabla 1 recoge los estadísticos descriptivos de los rendimientos logarítmicos de las empresas, la cartera y el STOXX Europe 600, incluyendo el ratio de Sharpe.

Sopra Steria presenta la mayor rentabilidad media y volatilidad, mientras que Fortum muestra el menor rendimiento esperado. La volatilidad de la cartera es sensiblemente inferior a la de los activos individuales, reflejando un claro efecto de diversificación, aunque sigue siendo superior a la del índice. Todas las series presentan asimetría negativa y curtosis elevada, indicando colas pesadas.

Tabla 1: Estadísticos descriptivos de los rendimientos logarítmicos

	Media anual	Volatilidad anual	Asimetría	Curtosis	Sharpe Ratio
Lloyds Banking Group	0.0785	0.2898	-0.7127	6.8076	0.1675
Prudential plc	0.0506	0.2927	-0.0243	7.1250	0.0702
Fortum	0.0380	0.3293	-0.1527	8.1430	0.0243
Sopra Steria	0.1196	0.3444	-0.8009	20.1853	0.2600
Cartera Eq.	0.0717	0.2311	-0.6896	8.6342	0.1802
STOXX600	0.0730	0.1620	-1.0431	13.2421	0.2655

El boxplot de la Figura 1 refuerza el análisis descriptivo previo: las empresas individuales presentan una mayor dispersión de los rendimientos y una elevada presencia de valores extremos, especialmente Sopra Steria y Fortum, lo que refleja un mayor riesgo idiosincrático. La cartera equiponderada muestra una reducción clara de la variabilidad y

de la frecuencia de outliers, evidenciando el efecto de diversificación. El STOXX Europe 600 es la serie más estable, con menor rango intercuartílico y colas relativamente más contenidas, coherente con su carácter agregado.

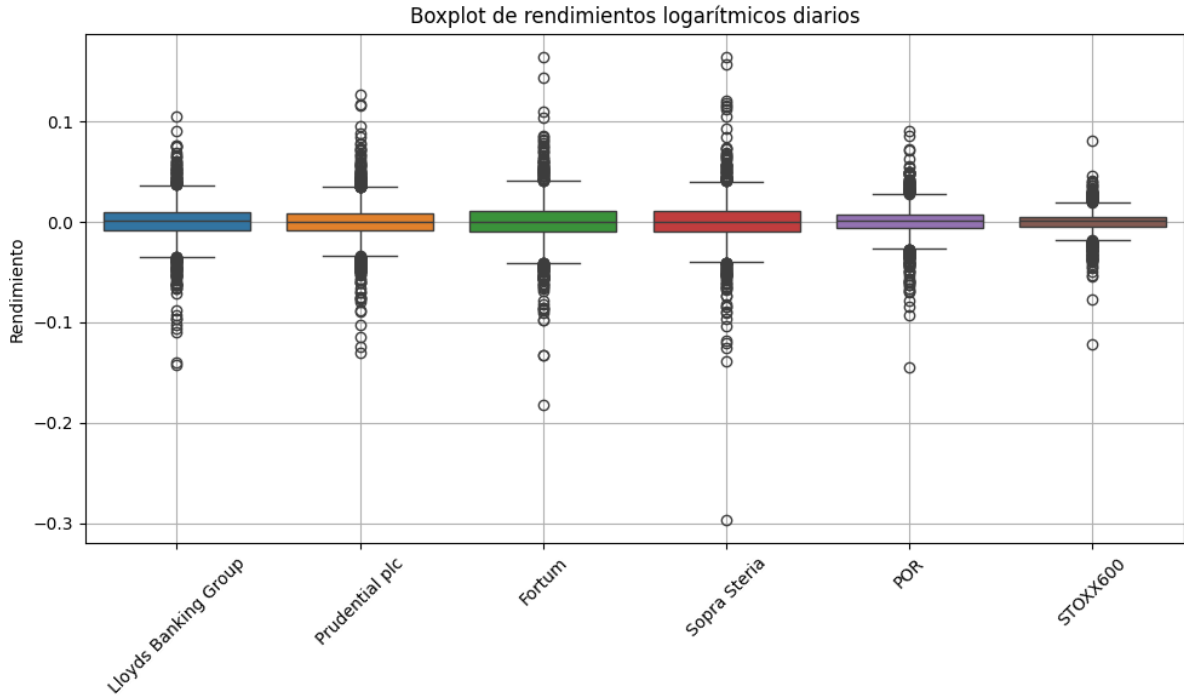


Figura 1: Boxplot con las series de rendimientos de las empresas consideradas en el trabajo.

## 4. Regresión cuantílica

La Tabla 2 muestra las estimaciones de  $\hat{\beta}_\tau$  obtenidas mediante regresión cuantílica del modelo

$$R_t^i = \alpha_\tau + \beta_\tau \text{IND}_t + u_{\tau,t},$$

para distintos cuantiles, junto con la estimación por MCO. Los resultados evidencian una sensibilidad moderadamente alta de los rendimientos al índice, con coeficientes  $\hat{\beta}_\tau$  generalmente superiores a la unidad y más elevados en los cuantiles inferiores, lo que indica una amplificación de las pérdidas en escenarios adversos. Este efecto es especialmente acusado en Prudential y Fortum, coherente con su actividad: la aseguradora es particularmente vulnerable a episodios de estrés financiero y caídas en los mercados, mientras que la empresa de utilities se ve afectada por shocks macroeconómicos y energéticos que impactan de forma no lineal en sus resultados. La cartera equiponderada presenta coeficientes más estables y moderados, reflejando el efecto mitigador de la diversificación.

### Comentario 1:

En comparación con MCO, la regresión cuantílica aporta una visión más rica del comportamiento de los rendimientos al permitir que la sensibilidad al índice varíe a lo largo de la distribución condicional. Mientras que MCO resume este efecto en un único coeficiente medio, la evidencia cuantílica muestra diferencias claras entre cuantiles, especialmente entre las colas y la parte central de la distribución.

A la luz de la Tabla 2 y de los gráficos de regresión cuantílica del Apéndice A.1, la hipótesis de simetría de la distribución condicional queda claramente rechazada tanto para las empresas individuales como para la cartera equiponderada. Las pendientes estimadas muestran una separación sistemática entre cuantiles bajos y altos, con coeficientes sensiblemente mayores en la cola izquierda, lo que evidencia una reacción más intensa de los rendimientos ante caídas del mercado que ante movimientos favorables. Además, la discrepancia visible entre la estimación en el cuantil 0.5 y la recta de MCO confirma que la media y la mediana condicional no coinciden, reforzando la presencia de asimetría y colas pesadas. En conjunto, los resultados indican que la sensibilidad al riesgo depende de forma no lineal del estado del mercado, siendo más pronunciada en episodios de estrés.

Tabla 2: Resultados de la estimación cuantílica

	0.01	0.05	0.25	0.5	MCO	0.75	0.95	0.99
Lloyds Banking Group	1.0222	0.9750	0.9570	0.8921	0.9396	0.8853	0.9242	0.9855
Prudential plc	1.6035	1.2398	1.0207	0.9985	1.1324	1.0435	1.3098	1.3955
Fortum	1.7006	1.5220	1.4240	1.3764	1.4669	1.3675	1.4715	1.6713
Sopra Steria	1.0495	1.0537	1.0574	1.0694	1.0997	1.0964	1.0557	1.0324
Cartera Eq.	1.2530	1.2213	1.1458	1.0962	1.1596	1.1363	1.2089	1.1915

## 5. Análisis de riesgo sistémico mediante CoVaR

### 5.1. Estimación dinámica del VaR

Los gráficos del Apéndice A.1 muestran que, en periodos tranquilos, ambas aproximaciones entregan VaR similares, pero divergen con claridad en episodios de estrés. El VaR paramétrico (basado en momentos condicionales) tiende a reaccionar de forma más “mecánica” a los picos de volatilidad: cuando la varianza condicional se dispara, aparecen caídas puntuales más profundas (muy visibles en Fortum y Sopra Steria), coherentes con su dependencia de shocks macro/energéticos y de episodios de incertidumbre. En cambio, el CaViaR asimétrico ajusta directamente el cuantil y suele captar mejor la asimetría en pérdidas: en Lloyds, por ejemplo, el VaR CaViaR se vuelve más severo en fases de caídas y estrés financiero, reflejando la sensibilidad del sector bancario al downside risk. Finalmente, en Prudential el CaViaR aparece anómalamente plano y excesivamente conservador durante gran parte de la muestra, lo que sugiere una estimación poco estable (p. ej., convergencia/condiciones iniciales), mientras que el paramétrico mantiene una dinámica más razonable. En conjunto, las diferencias se explican por el mecanismo de adaptación: el paramétrico amplifica volatilidad, mientras que CaViaR modeliza de forma más flexible la cola izquierda.

### 5.2. Estimación del CoVaR

#### Comentario 3.

En la Tabla 3 y la Tabla 4 se presentan las estimaciones de la regresión cuantílica con  $\tau = 0,01$  para las variables dependientes IND y POR, respectivamente. En ambos casos, el intercepto  $\hat{\beta}_1$  es negativo y altamente significativo (p-value  $\approx 0$ ), lo que es coherente con que el cuantil 1 % del rendimiento condicional del índice/cartera sea negativo incluso

cuando el rendimiento de la empresa es nulo. La pendiente  $\hat{\beta}_2$  mide el co-movimiento en la cola izquierda: su signo es positivo en todos los activos, indicando que pérdidas más severas en la empresa se asocian con un cuantil 1 % más negativo del índice o de la cartera.

Según la Tabla 3,  $\hat{\beta}_2$  es estadísticamente significativo para Lloyds, Prudential y Fortum (p-values < 0,05), mientras que no lo es para Sopra Steria (p-value = 0,5319). Esto sugiere que, en episodios extremos, Sopra aporta escasa capacidad explicativa sobre el riesgo de cola del mercado agregado. En la Tabla 4, las pendientes estimadas son mayores y vuelven a ser significativas para Lloyds, Prudential y Fortum (p-values < 0,05), mientras que Sopra tampoco resulta significativa (p-value = 0,1738), consistente con una contribución menos estable al riesgo extremo del sistema.

Tabla 3: Regresión cuantílica ( $\tau = 0,01$ ). Variable dependiente: IND

Empresa	$\hat{\beta}_1$	dt( $\hat{\beta}_1$ )	p-value( $\hat{\beta}_1$ )	$\hat{\beta}_2$	dt( $\hat{\beta}_2$ )	p-value( $\hat{\beta}_2$ )	Pseudo- $R^2$
LLOY.L	-0.0229	0.0009	0.0000	0.3719	0.1503	0.0134	0.2787
PRU.L	-0.0207	0.0008	0.0000	0.4404	0.1334	0.0010	0.3657
FORTUM.HE	-0.0188	0.0010	0.0000	0.4198	0.1424	0.0032	0.4055
SOP.PA	-0.0275	0.0024	0.0000	0.2308	0.3691	0.5319	0.1810

El Pseudo- $R^2$  reportado en la Tabla 3 y la Tabla 4 refuerza la interpretación anterior: Fortum presenta el mayor ajuste en ambos paneles (0.4055 para IND y 0.5317 para POR), seguida de Prudential y Lloyds, mientras que Sopra registra el menor Pseudo- $R^2$  en el panel IND (0.1810). En conjunto, ambas tablas apuntan a que Fortum (y, en menor medida, Prudential) es la compañía cuya situación de estrés contiene más información sobre el riesgo extremo del sistema, y que el canal se refleja con mayor intensidad cuando la variable dependiente es la cartera (POR) que cuando es el índice (IND).

Tabla 4: Regresión cuantílica ( $\tau = 0,01$ ). Variable dependiente: POR

Empresa	$\hat{\beta}_1$	dt( $\hat{\beta}_1$ )	p-value( $\hat{\beta}_1$ )	$\hat{\beta}_2$	dt( $\hat{\beta}_2$ )	p-value( $\hat{\beta}_2$ )	Pseudo- $R^2$
LLOY.L	-0.0294	0.0019	0.0000	0.6205	0.2690	0.0212	0.3593
PRU.L	-0.0249	0.0013	0.0000	0.7068	0.1949	0.0003	0.4629
FORTUM.HE	-0.0232	0.0009	0.0000	0.6637	0.1220	0.0000	0.5317
SOP.PA	-0.0289	0.0023	0.0000	0.4950	0.3639	0.1738	0.3534

### 5.3. VaR vs CoVar

Todos los gráficos que se comentan en esta sección se encuentran en el Apéndice A.3. **Comentario 4.**

En la Figura 11 (IND), el  $\text{VaR}_t^{\text{IND}}$  recoge el riesgo de cola *incondicional* del mercado y, por tanto, concentra los mayores episodios de estrés agregado (destaca el desplome de 2020). Las trayectorias de  $\text{CoVaR}_t^{\text{IND} | R^i = \text{VaR}^i}$  se sitúan, en general, por debajo del VaR (más negativas), lo que refleja el *efecto contagio*: cuando una empresa entra en su zona de estrés, el cuantil 1 % del mercado empeora respecto a su nivel incondicional. La separación entre curvas es moderada en tiempos normales y aumenta en episodios específicos de tensión idiosincrática (con heterogeneidad entre empresas), mientras que en

el shock sistémico de 2020 domina el componente común y las curvas tienden a moverse de forma más conjunta.

En la Figura 12 (POR), el  $\text{VaR}_t^{\text{POR}}$  es, en promedio, menos extremo que el del índice por diversificación, pero el  $\text{CoVaR}_t^{\text{POR} | R^i = \text{VaR}^i}$  muestra diferencias más marcadas entre empresas: condicionar la cartera a estrés de un único activo aísla con claridad el canal de transmisión desde ese activo hacia el conjunto. Visualmente, esto se traduce en una mayor dispersión entre curvas de CoVaR y en episodios donde ciertas empresas empujan la cola izquierda de la cartera de forma más severa que otras.

En términos descriptivos, en ambos gráficos el CoVaR aparece *desplazado a la izquierda* (media y mediana más negativas) y con *mayor variabilidad* (desviación típica mayor) cuando la contribución sistémica de la empresa es relevante, porque incorpora no solo el riesgo propio del mercado/cartera, sino el deterioro adicional asociado a la condición de estrés de la firma. La comparación IND vs. POR sugiere que el índice está más dominado por shocks agregados, mientras que la cartera permite ver con más nitidez qué empresas generan un empeoramiento adicional del riesgo extremo.

## 5.4. Análisis del $\Delta\text{CoVaR}$

El CoVaR mide el riesgo extremo del sistema (índice o cartera) *condicionado* a que una empresa se encuentre en una situación de estrés. Sin embargo, parte de ese efecto puede deberse simplemente a que la propia empresa es, en promedio, más arriesgada. Para aislar la contribución *marginal* al riesgo sistémico se utiliza el  $\Delta\text{CoVaR}$ , definido como la diferencia entre el CoVaR cuando la empresa está en su cuantil de estrés y el CoVaR en un estado normal (mediano). Así,  $\Delta\text{CoVaR}$  actúa como una medida de *externalidad sistémica*: cuanto mayor sea, mayor es el deterioro adicional que provoca la empresa sobre la cola izquierda del sistema. En esta última sección,  $\Delta\text{CoVaR}$  nos permitirá identificar qué firma es más sistémica y comparar su comportamiento antes, durante y después del período COVID-19.

Tabla 5: Estadísticos descriptivos de  $\Delta\text{CoVaR}$  (Index = IND) – Muestra total

Empresa	Media	Mediana	Desv. típica
LLOY.L	-0.039	-0.038	0.008
PRU.L	-0.041	-0.039	0.010
FORTUM.HE	-0.040	-0.039	0.011
SOP.PA	-0.041	-0.040	0.007

### Comentario 5.

La evidencia conjunta de las Figuras 13 y 14, junto con los estadísticos descriptivos de las Tablas 6 y 7, permite identificar la firma más sensible (más sistémica) y cómo varía su contribución a lo largo del tiempo. Recordemos que valores más negativos de  $\Delta\text{CoVaR}$  implican un mayor deterioro *marginal* de la cola izquierda del sistema cuando la empresa pasa de un estado normal a estrés, y por tanto una mayor sistémicidad.

En cuanto a lo que a la muestra total respecta (01/01/2015 – 31/10/2025), para **IND**, Prudential (PRU.L) presenta el  $\Delta\text{CoVaR}$  medio más negativo ( $-0,041$ ; Tabla 6), empatando en nivel con Sopra (SOP.PA) pero con mayor variabilidad (desv. típica 0,010 frente a 0,007), lo que sugiere una contribución sistémica menos estable. Fortum (FORTUM.HE) queda muy cerca en media ( $-0,040$ ) pero con la mayor dispersión (desv. típica

Tabla 6: Estadísticos descriptivos de  $\Delta\text{CoVaR}$  (Index = IND): muestra total vs. período COVID-19

Empresa	Muestra total			COVID-19 (15/02/2020–15/02/2021)		
	Media	Mediana	Desv. típica	Media	Mediana	Desv. típica
LLOY.L	-0.039	-0.038	0.008	-0.044	-0.041	0.011
PRU.L	-0.041	-0.039	0.010	-0.056	-0.052	0.017
FORTUM.HE	-0.040	-0.039	0.011	-0.052	-0.046	0.021
SOP.PA	-0.041	-0.040	0.007	-0.044	-0.042	0.010

Tabla 7: Estadísticos descriptivos de  $\Delta\text{CoVaR}$  (Index = POR): muestra total vs. período COVID-19

Empresa	Muestra total			COVID-19 (15/02/2020–15/02/2021)		
	Media	Mediana	Desv. típica	Media	Mediana	Desv. típica
LLOY.L	-0.057	-0.054	0.014	-0.064	-0.059	0.019
PRU.L	-0.057	-0.054	0.017	-0.081	-0.075	0.030
FORTUM.HE	-0.057	-0.054	0.018	-0.075	-0.065	0.034
SOP.PA	-0.057	-0.054	0.014	-0.063	-0.059	0.019

0,011; Tabla 6), consistente con colas más activas. Para **POR**, las medias y medianas son prácticamente idénticas (Tabla 7), por lo que el ranking por promedio es poco informativo; aun así, la mayor desviación típica de Fortum y Prudential (Tabla 7) anticipa episodios de contribución más intensa, en línea con la mayor amplitud de oscilaciones que se aprecia en la Figura 14.

En el período COVID-19 (15/02/2020–15/02/2021), vemos que en la ventana sombreada de las Figuras 13 y 14 aparece el cambio estructural: el  $\Delta\text{CoVaR}$  se desplaza hacia valores más negativos y aumenta su volatilidad, señalando un canal de contagio más fuerte. Para **IND**, PRU.L pasa a ser la más sistémica con diferencia ( $\Delta\text{CoVaR}$  medio  $-0,056$ ; mediana  $-0,052$ ; desv. típica  $0,017$ ; Tabla 6), seguida de Fortum ( $-0,052$ ; desv. típica  $0,021$ ; Tabla 6). Para **POR**, el patrón se intensifica: PRU.L alcanza el peor promedio ( $-0,081$ ; mediana  $-0,075$ ; desv. típica  $0,030$ ; Tabla 7) y Fortum vuelve a situarse como segunda ( $-0,075$ ; desv. típica  $0,034$ ; Tabla 7). Visualmente, esto se refleja en caídas más profundas y persistentes dentro del período COVID, especialmente para PRU.L, coherentes con un empeoramiento adicional del riesgo extremo del sistema (Figuras 13 y 14).

Comparando la era pre-COVID con las era post-COVID; antes de 2020, las series oscilan alrededor de niveles relativamente estables (Figuras 13 y 14), coherentes con las medias de la muestra total (Tablas 6 y 7). Durante COVID-19 se observa el mayor deterioro y la mayor separación entre empresas, dominada por PRU.L (y, en segundo término, FORTUM.HE), tal como cuantifican los paneles COVID de las Tablas 6 y 7. Tras la ventana COVID, las series tienden a normalizarse gradualmente hacia niveles cercanos al período pre-COVID, aunque permanecen episodios de estrés aislados, más visibles en POR (Figura 14), coherentes con la persistencia de colas activas.

Concluyendo: con Index = IND, PRU.L es la empresa más sensible tanto en la muestra total como, especialmente, durante COVID-19 (Tabla 6). Con Index = POR, la muestra



total muestra contribuciones medias prácticamente indistinguibles, pero durante COVID-19, PRU.L emerge de forma nítida como la más sistémica, seguida de FORTUM.HE (Tabla 7 y Figura 14). La interpretación económica de estas diferencias se discute en la sección de conclusiones.

## 6. Conclusiones

Los resultados apuntan a que la contribución al riesgo sistémico es *estado-dependiente*: en escenarios normales las diferencias entre firmas son moderadas, pero en episodios de estrés la cola izquierda domina y emerge un ranking claro. En este sentido, la regresión cuantílica (Tabla 2) muestra que la sensibilidad al mercado aumenta en cuantiles bajos, es decir, las empresas reaccionan de forma más intensa cuando el mercado cae, coherente con un mecanismo de dependencia en crisis. El análisis CoVaR y, especialmente,  $\Delta\text{CoVaR}$  (Figuras 13–14 y Tablas 6–7) confirma que durante COVID-19 (15/02/2020–15/02/2021) el deterioro marginal del riesgo extremo del sistema se intensifica de forma notable.

Desde una lectura económica, **Prudential** aparece como la firma más sistémica en los momentos críticos, especialmente durante COVID. Su negocio (seguros de vida/ahorro a largo plazo y exposición a mercados financieros) es altamente sensible a shocks agregados: caídas de mercado, ampliación de spreads y cambios abruptos en expectativas macro alteran simultáneamente el valor de activos, pasivos y capital económico, lo que amplifica su transmisión al sistema. **Fortum** suele ocupar el segundo lugar en estrés: aunque es una *utility*, su exposición al ciclo energético y a shocks macro (precios, regulación, demanda) puede traducirse en impactos no lineales en resultados y valoración, elevando su contribución a la cola izquierda en periodos turbulentos. **Lloyds**, banco doméstico, mantiene una contribución relevante pero más estable: su canal sistémico opera vía crédito y ciclo económico, y tiende a intensificarse cuando aumenta el riesgo de recesión y deterioro de balances, aunque en esta muestra queda por detrás de Prudential y Fortum en la cola extrema. Por último, **Sopra Steria** muestra una conexión menos robusta con el riesgo extremo del sistema (menor significatividad en la regresión CoVaR): su perfil más ligado a servicios/contratos y a factores idiosincráticos del sector tecnológico parece transmitir menos deterioro marginal al sistema en la cola del 1 %.

En resumen, el patrón central es que la sistemicidad se concentra en modelos de negocio más expuestos a shocks agregados y a efectos de balance (seguros y, en menor medida, energía y banca), y se vuelve especialmente visible durante crisis como la del COVID-19.

## A. Apéndice

### A.1. Regresión cuantílica

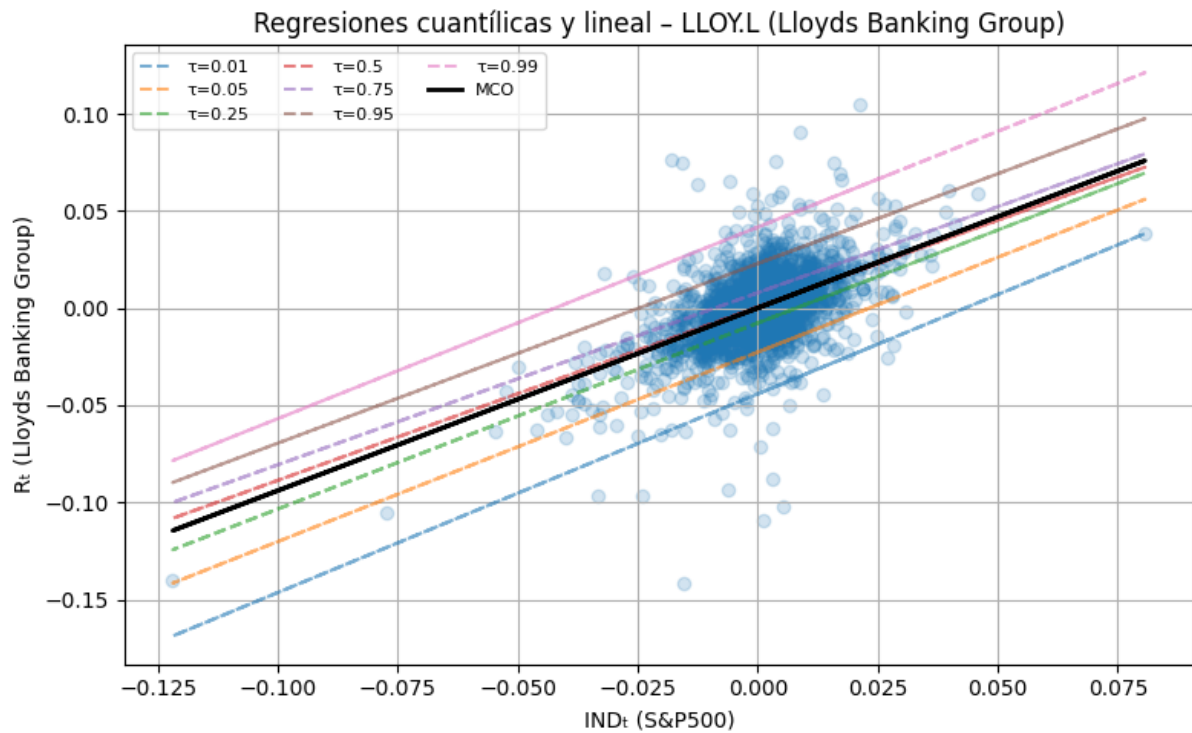


Figura 2: Regresión cuantílica de Lloyds Banking Group

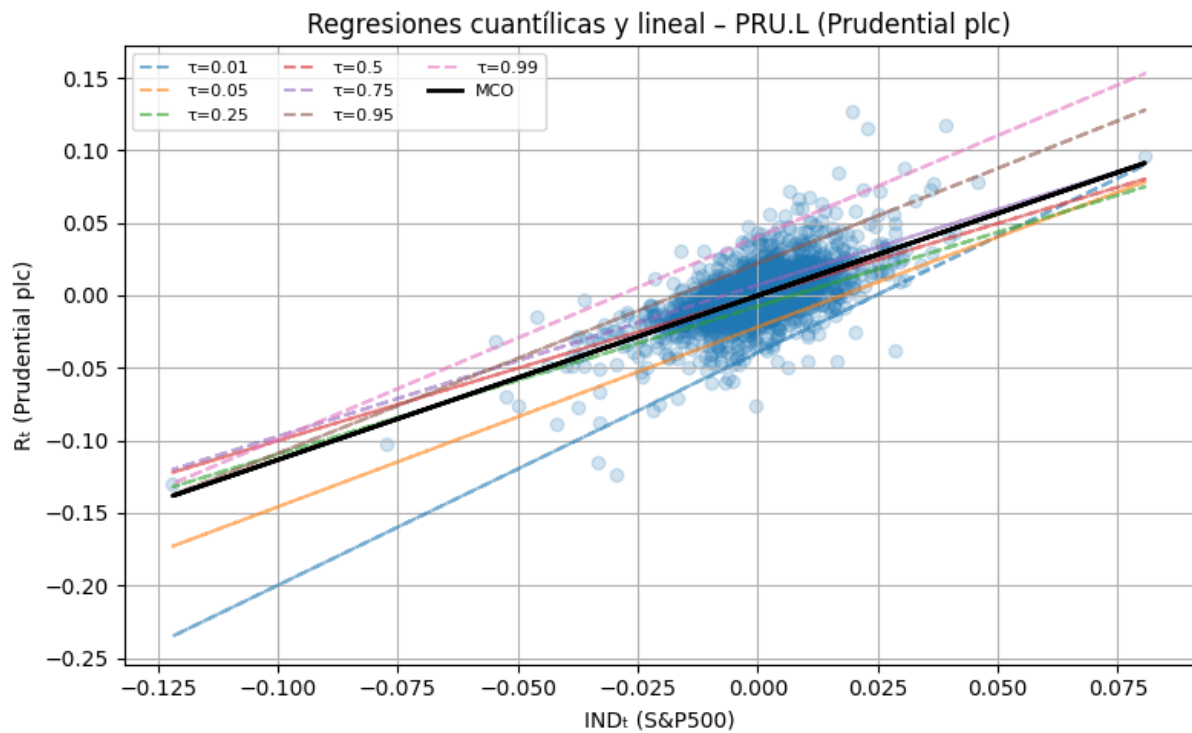


Figura 3: Regresión cuantílica de Prudential plc

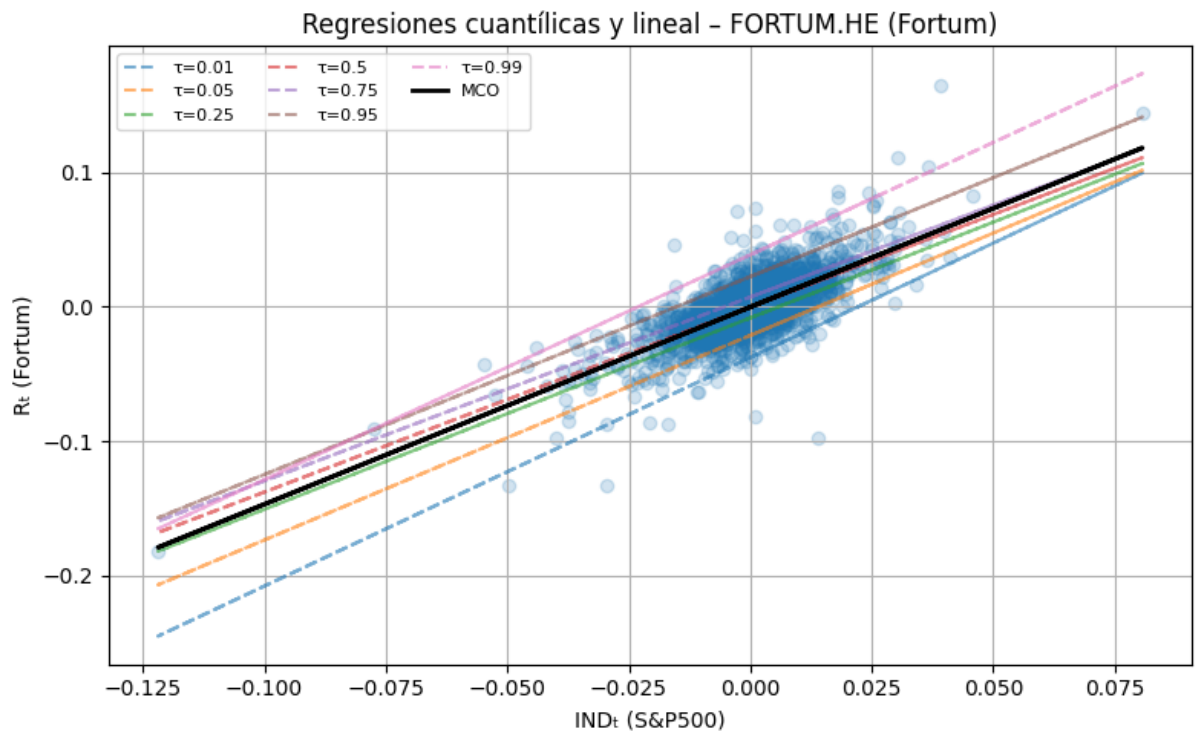


Figura 4: Regresión cuantílica de Fortum

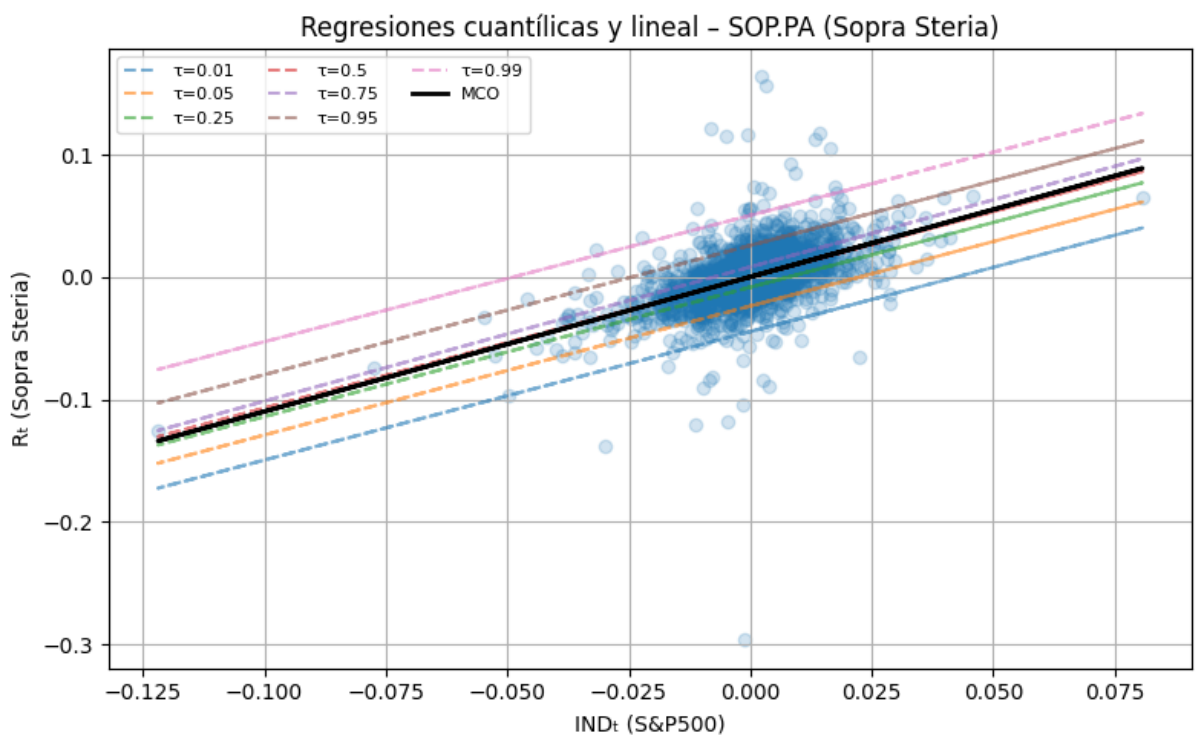


Figura 5: Regresión cuantílica de Sopra Steria

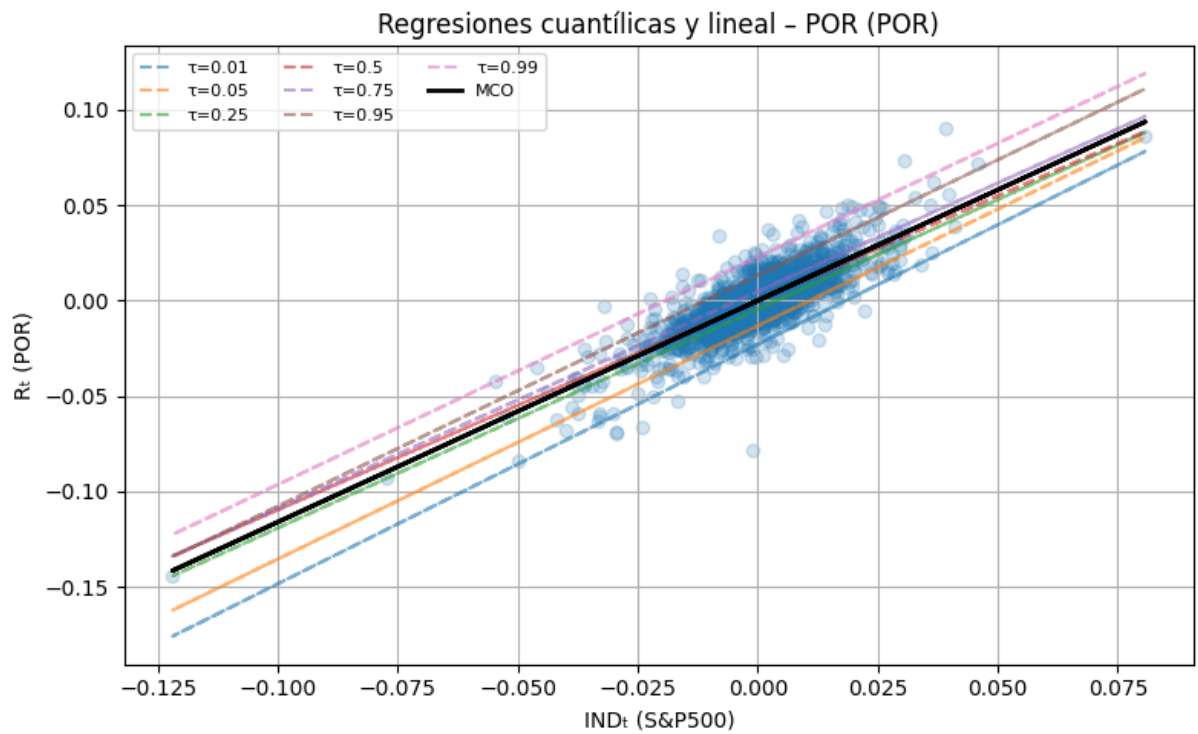


Figura 6: Regresión cuantílica de la cartera equiponderada (POR)

## A.2. VaR dinámico (CaViaR vs. Paramétrico)

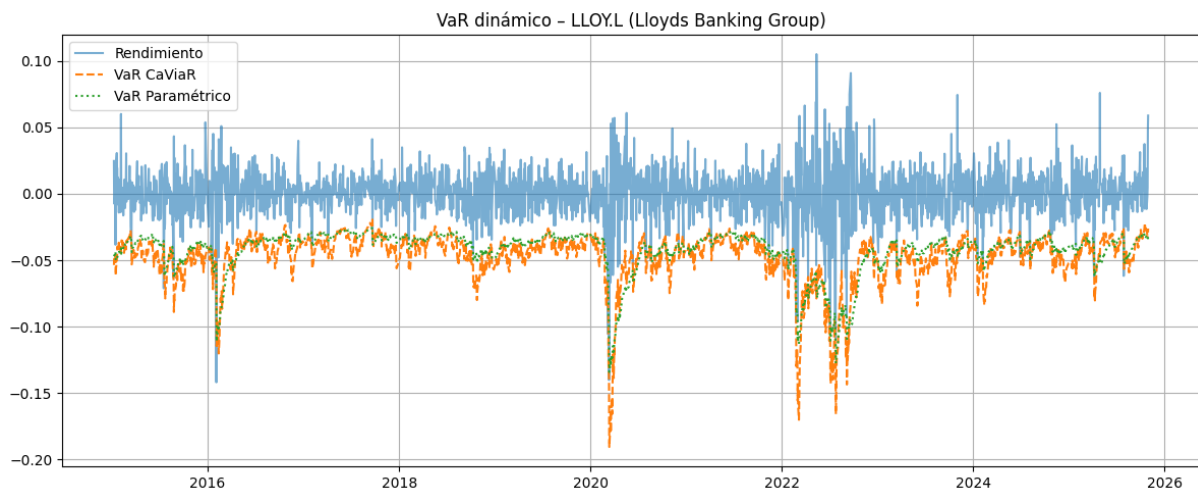


Figura 7: VaR dinámico de Lloyds Banking Group: CaViaR vs. Paramétrico

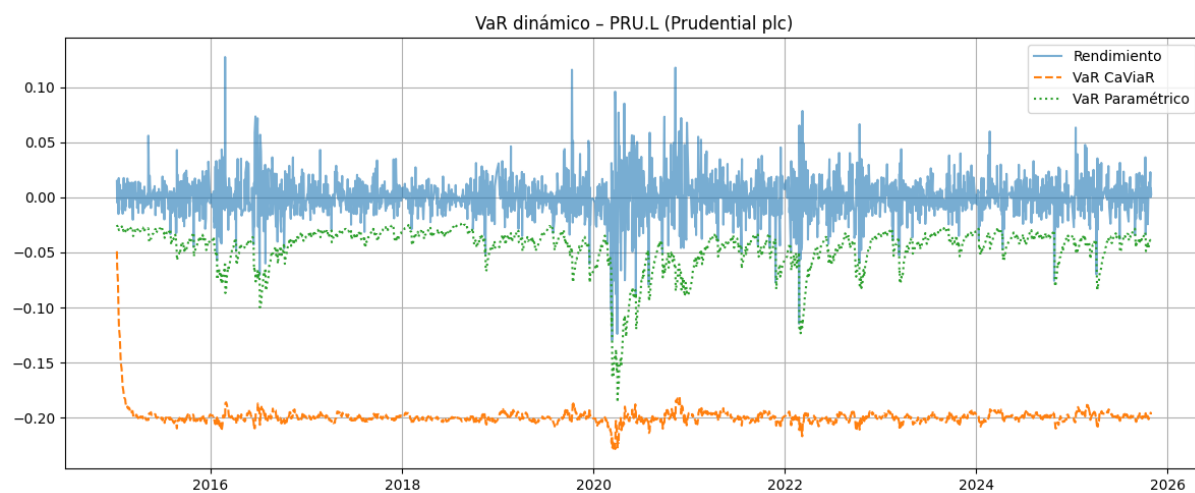


Figura 8: VaR dinámico de Prudential plc: CaViaR vs. Paramétrico

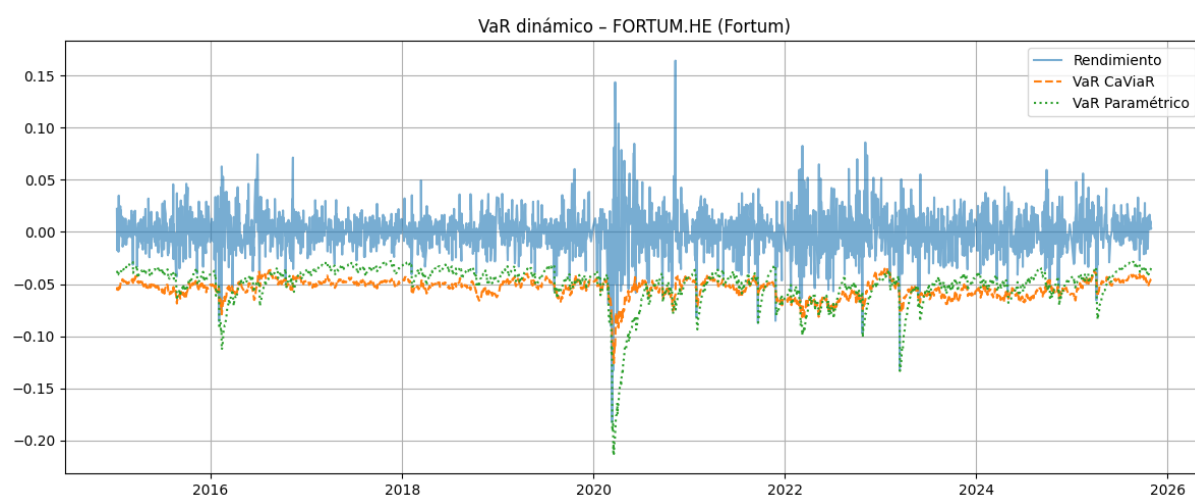


Figura 9: VaR dinámico de Fortum: CaViaR vs. Paramétrico

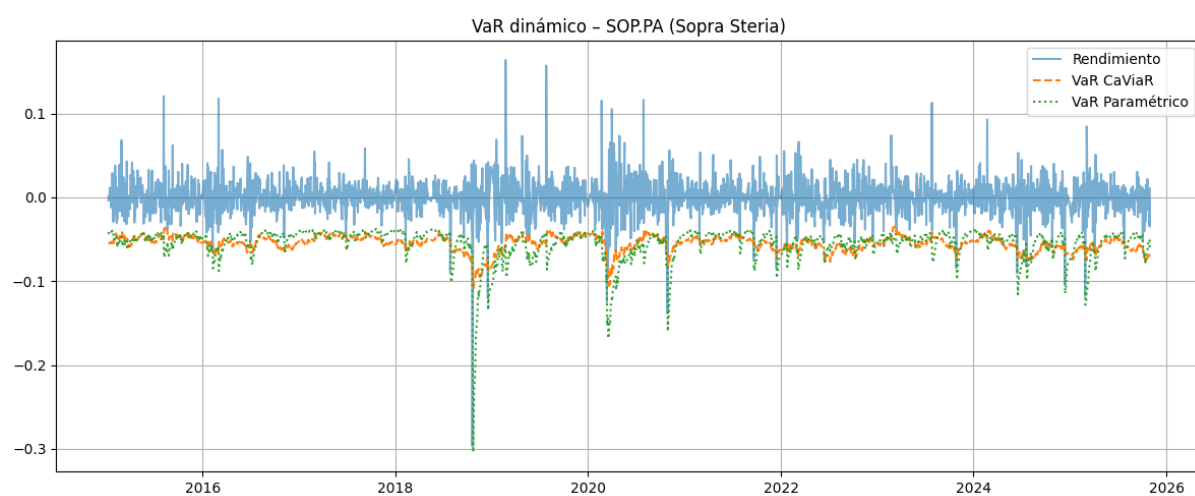


Figura 10: VaR dinámico de Sopra Steria: CaViaR vs. Paramétrico

### A.3. VaR vs CoVar

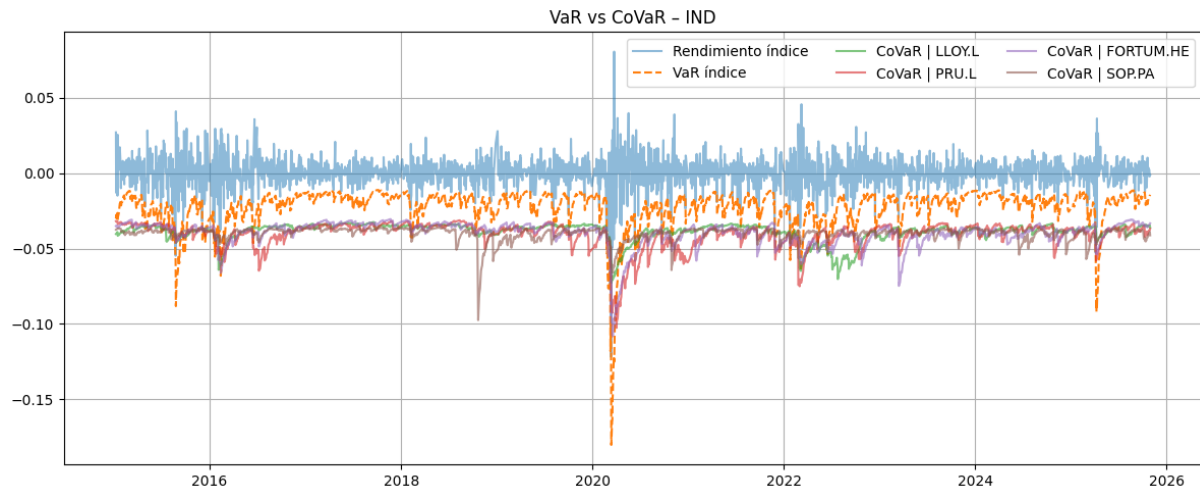


Figura 11: VaR incondicional y CoVaR condicional para el índice STOXX EURO 600 (IND)

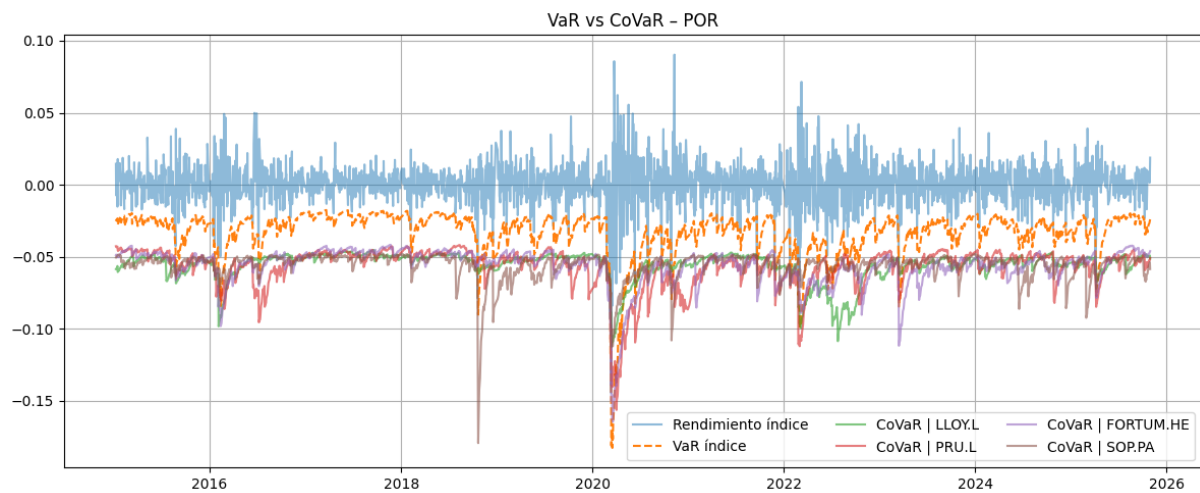


Figura 12: VaR incondicional y CoVaR condicional para la cartera equiponderada (POR)

#### A.4. VaR vs CoVar

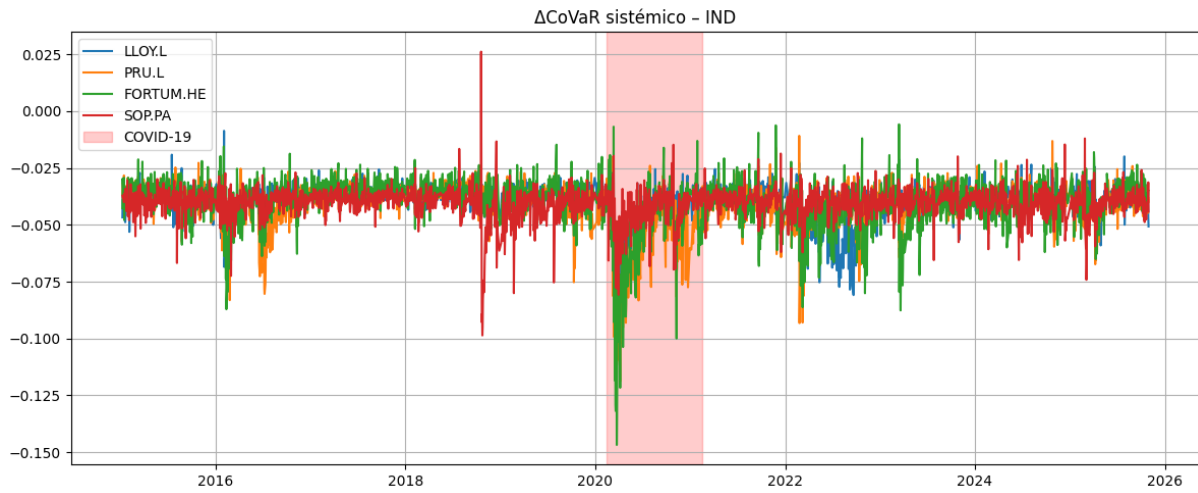


Figura 13: VaR incondicional y CoVaR condicional para el índice STOXX EURO 600 (IND)

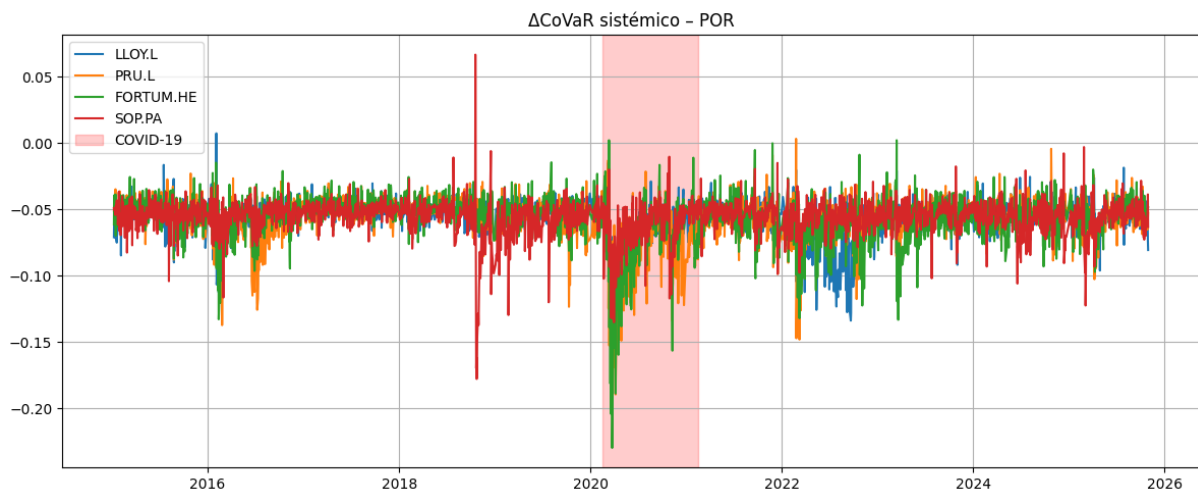


Figura 14: VaR incondicional y CoVaR condicional para la cartera equiponderada (POR)