

Recuadro 1: Generación de escenarios de estrés estadísticos para los portafolios de inversión de las reservas internacionales

El control de riesgo de mercado para inversiones debe ser integral y analizado desde diferentes ángulos. Por este motivo, el Departamento de Inversiones Internacionales (DII) ha venido estudiando nuevas formas de monitorear el riesgo de los cambios en los precios de los activos que componen los portafolios de inversión de las reservas internacionales. Una de las maneras de monitorear el comportamiento de un portafolio de inversión más ampliamente reconocida y recomendada consiste en el análisis de escenarios de estrés. Dichos escenarios consideran movimientos extremos, atípicos y de baja probabilidad sobre la evolución de variables económicas o de factores relevantes para los portafolios para calcular el efecto potencial sobre los retornos de dichos portafolios. Los resultados de los escenarios de estrés no deben interpretarse como un pronóstico.

Las pruebas de estrés son un conjunto de metodologías para cuantificar los efectos potenciales sobre un portafolio de inversión ante eventos que se consideran extremos y poco probables. Al contrario del uso de métricas como el VaR¹ del portafolio, se analizan eventos extremos en condiciones atípicas de mercado que complementan los análisis de VaR y no intentan sustituirlo. Es importante resaltar que los escenarios de estrés intentan medir qué tan grande pueden ser las pérdidas ante un escenario extremo, por lo que no hacen referencia a qué tan probable sería la realización de dichas pérdidas².

El DII cuenta con un proceso para construir escenarios de estrés históricos y, para complementar esas métricas, se consideró adecuado ampliar el número de escenarios analizados introduciendo métodos estadísticos que permiten simular otro tipo de escenarios alternativos. Debido a que los portafolios de reservas internacionales son compuestos por instrumentos de renta fija, es natural generar escenarios de estrés para movimientos de las tasas de interés. Aquellos son generados por simulaciones de los factores que sirven para modelar la estructura a término (nivel, pendiente y curvatura, los cuales se estiman con técnicas de origen estadístico).

Para las simulaciones, se requiere de tres tipos de ajustes de datos. El primero corresponde al cálculo de los factores estadísticos obtenido a partir de las curvas de rendimiento observadas; el segundo, a las distribuciones individuales de cada uno de los cambios de los factores a partir de los movimientos históricos en series de tiempo de largo plazo, y el tercero corresponde al comovimiento del cambio de los factores (lo cual se conoce en términos estadísticos como una cópula). Con los datos simulados, se calcula el retorno generado por dichos cambios (y, de esta forma, se disminuye el número de dimensiones de tres a uno), y finalmente se determinan los escenarios deseados (de los datos de la cola inferior de la distribución de los retornos).

1. Factores para modelar la estructura a término

Desde el trabajo seminal de Nelson y Siegel se estableció que la estructura a término puede ser parametrizada a través de tres factores, como se muestra a continuación^{3,4}:

- 1 El valor en riesgo (VaR: *value at risk*) es un estimado de eventos de cola en condiciones normales o típicas de mercado.
- 2 Aunque los escenarios de estrés se construyen para responder preguntas de tipo “que pasaría si...”, deben ser armados cuidadosamente para evitar incoherencias y escenarios absurdos o imposibles.
- 3 Posterior al trabajo de Nelson y Siegel se han presentado múltiples modificaciones, en particular de la forma específica de las funciones que acompañan los factores. Internamente se utiliza una de estas parametrizaciones alternas que coincide con uno de los sistemas de riesgo del Banco de la República (Axiom), pero por ser propiedad intelectual protegida no puede ser presentada en este documento.
- 4 La parametrización presentada difiere de la original en que la función que acompaña la pendiente es creciente y no decreciente. Este cambio se realiza para facilitar la interpretación de los movimientos de pendiente y para ligar la tasa de corto plazo al nivel.

$$s_t(T) = L_t + S_t \times \left(1 - \frac{1 - e^{-T/\tau}}{T/\tau}\right) + C_t \times \left(\frac{1 - e^{-T/\tau}}{T/\tau} - e^{-T/\tau}\right)$$

donde $s_t(T)$ es la tasa de interés en la fecha t para el plazo T , L_t es el nivel en la fecha t , S_t es la pendiente en la fecha t , C_t es la curvatura en la fecha t y τ es una constante que está relacionada con el punto máximo de la función que acompaña la curvatura.

2. Relación entre retornos y factores

Los retornos no están relacionados con los factores, sino con los cambios de los factores, como se muestra a continuación:

$$r_t = ytm_{t-1}\Delta - D_{L,t-1}(L_t - L_{t-1}) - D_{S,t-1}(S_t - S_{t-1}) - D_{C,t-1}(C_t - C_{t-1})$$

donde r_t es el retorno en la fecha t , ytm_{t-1} es el *yield to maturity* (anualizado) en la fecha $t-1$, Δ es el período entre la fecha $t-1$ y la fecha t (medida en años), $D_{L,t-1}$ es la sensibilidad del portafolio en la fecha $t-1$ al nivel, $D_{S,t-1}$ es la sensibilidad del portafolio en la fecha $t-1$ a la pendiente, $D_{C,t-1}$ es la sensibilidad del portafolio en la fecha $t-1$ a la curvatura, L_t es el nivel en la fecha t , S_t es la pendiente en la fecha t y C_t es la curvatura en la fecha t .

3. Ajuste de distribuciones de probabilidad a movimientos y a comovimientos de factores

En la práctica, el ejercicio es de varias fases. Para iniciar, se toman datos mensuales (cierre de mes) para la curva *spot* de bonos del gobierno de Estados Unidos construida por el Departamento del Tesoro de Estados Unidos; se ajusta el modelo paramétrico de factores, y se hallan las diferencias entre los factores entre meses consecutivos. Posteriormente, se calcula el movimiento acumulado de los factores para cada año y esta serie de datos se ajusta a una distribución de probabilidad. Como ejemplo del resultado para uno de los factores se pueden observar tres medidas de bondad de ajuste de las distribuciones a los datos (verosimilitud, Akaike y BIC) y el valor de los parámetros de la distribución de mejor ajuste. Las distribuciones están ordenadas de mejor a peor ajuste y los tres criterios resultan en el mismo ordenamiento (para este caso, la distribución t corresponde a la distribución con un mejor ajuste, y la log-normal a la peor). Luego, a las tres series de datos (ordenados) se le ajusta una cópula⁵.

En este caso, la “copula T” fue la que mostró la mejor bondad de ajuste. En el Cuadro R1.1 se presentan los resultados (ordenados de mejor a peor por verosimilitud). Aunque la “copula Vine” permite estructuras asimétricas, no es la que produce un mejor ajuste.

Cuadro R1.1
Ajuste de cópula a comovimientos anuales de los factores

Cópula	log-lik
T	26,44
Vine	25,96
Gaussiana	19,18

Fuente: Banco de la República.

4. Selección de escenarios

Finalmente, con las sensibilidades de los portafolios de inversión, se hallan los movimientos de los factores que generan retornos suficientemente bajos (cola de retornos). En este caso se halla un rango de retornos alrededor de un cuantil de la distribución y se obtiene el promedio de todos los movimientos en este rango.

5 La cópula es una función que generaliza el concepto de correlación y que, según el teorema de Sklar, existe bajo condiciones no muy restrictivas sobre el comportamiento de las distribuciones de las variables aleatorias asociadas.

El Cuadro R1.2 presenta un ejemplo de los resultados. Para cada portafolio se utiliza el mismo conjunto de variables simuladas (dL, dS y dC) y luego se calcula el retorno con la fórmula correspondiente. Este cálculo produce una distribución de retornos (diferente) para cada portafolio y sobre cada distribución se halla el cuantil asociado al percentil 1. Posteriormente, se hallan todos los retornos que difieran en 1 punto básico dentro del cuantil establecido y se promedian los movimientos asociados con dichos escenarios (e. g.: aumento del nivel en 3,55, cambio de pendiente en -0,67 y cambio de curvatura de 0,46 para el portafolio pasivo de corto plazo). En las columnas μ y σ se muestra el retorno promedio esperado y su desviación estándar en condiciones típicas para cada portafolio, las cuales permiten dimensionar el efecto negativo en el portafolio de los escenarios extremos simulados (e. g.: 4,57% de retorno esperado y 2,68% de desviación estándar para el portafolio pasivo de corto plazo). Finalmente, se muestra el $VaR_{95\%,1año}$ calculado con el retorno esperado y la desviación estándar de cada portafolio (e. g.: +0,16% para el portafolio pasivo de corto plazo) a manera de comparación de escenarios negativos en condiciones típicas y escenarios negativos en condiciones atípicas.

Los resultados permiten tener una perspectiva diferente con respecto a potenciales retornos en el portafolio de las reservas internacionales. Aunque son casos de baja probabilidad, la información es útil para entender la dimensión del impacto que se tendría en casos extremos, así como para entender de mejor manera el portafolio y los diferentes factores que le afectan. Sin duda, los cálculos son un buen complemento a las otras métricas utilizadas.

Cuadro R1.2
Escenarios de estrés por portafolio: retorno observado ante cambios en factores

Portafolio	dL	dS	dC	Retorno	μ	σ	VaR
Total	3,5	-0,77	0,64	-4	4,95	3,56	-0,91
Portafolio corto plazo	3,55	-0,67	0,46	-2,74	4,57	2,68	0,16
Tramo mediano plazo	3,77	-1,2	0,58	-5,53	5,42	4,83	-2,52

Fuente: Banco de la República.