Duración y Convexidad I

En este material se presentan de forma accesible, mas con un grado responsable de rigor matemático, los conceptos de duración y convexidad. Se asume que el lector cuenta con conocimientos básicos sobre el mercado de bonos y del cálculo diferencial.

BONOS

Un bono se entiende como un conjunto de flujos futuros de efectivo mediante los cuales un deudor paga a un acreedor el principal más intereses por un financiamiento recibido.

Generalmente los flujos de efectivo reciben el nombre de cupones además de que en el último pago se incluye el valor nominal o facial. En ocasiones, bajo un esquema de amortización tradicional o variaciones de éste, se paga parte del valor nominal en cada flujo. También se puede dar un prepago de principal o una pausa en el pago de los flujos.

Son varias las clases de bonos que se observan en los mercados financieros. Una clasificación involucra los bonos emitidos por empresas (corporativos) y aquellos emitidos por el gobierno. Otra clasificación se da en función del riesgo de impago mediante la categoría de grado de inversión (BBB-). Por el lugar de emisión existen los eurobonos que son emitidos en un mercado de capitales exterior al doméstico como el caso de los bonos Samurai. En los globalizados mercados financieros un bono puede ser emitido en cualquier país y se pueden colocar en alguna moneda dura o de mercado emergente[1]. No menos importantes, los bonos del carbono son una gran oportunidad para que las economías emergentes se orienten con rumbo al desarrollo sostenible.

Únicamente con fines explicativos se da tratamiento al bono clásico compuesto por cupones y pago de principal al vencimiento. No obstante, los conceptos de duración y convexidad pueden aplicarse a cualquier instrumento de renta fija. A la luz de lo anterior se dispone de la siguiente notación:

- P: Precio del bono
- VN: Valor nominal o facial del bono
- n: Número de cupones que paga el bono
- C_t: Cupón pagado en el período $1 \leq t \leq n$
- R: Tasa de mercado al vencimiento

[1] Recientemente, bancos regionales de Alemania y el gobierno de Austria han colocado bonos en pesos mexicanos dando lugar al europeso.

- *S*: Días de un período de pago de cupón
- *D*: Duración de Macauly
- *D**: Duración Modificada
- *C*: Convexidad

El precio *P=P(R)* de un bono, es el agregado de los valores presentes de los flujos futuros de efectivo C_t más el valor nominal *VN*.

$$P(R)=\sum_{t=1}^{n}C_t\left(1+R\frac{S}{360}\right)^{-t}+VN\left(1+R\frac{S}{360}\right)^{-n}$$

Se asume que dicho precio depende únicamente de *R*, la tasa de mercado al vencimiento por lo que se tiene una curva de rendimiento plana. Ello significa que la tasa de descuento es la misma para todos los flujos de efectivo. Además, entre cada pago de cupón existen *S* días.

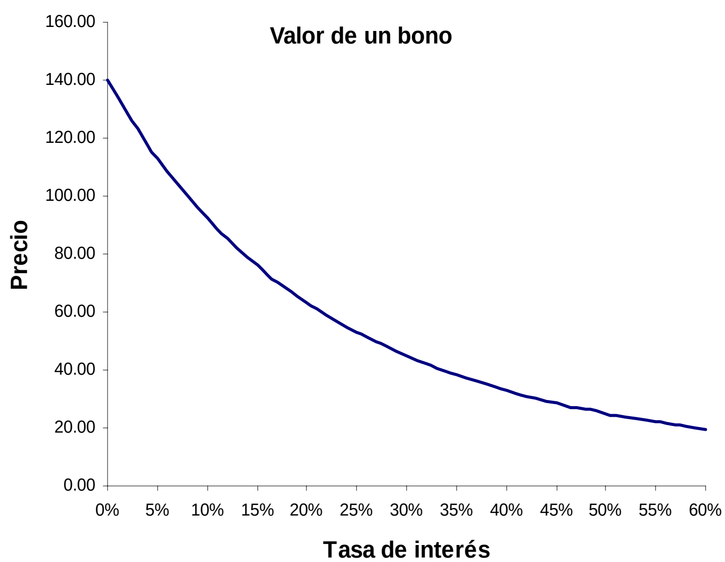

Ilustración 1. Relación inversa entre el precio de un bono y la tasa de mercado que paga.

A partir de la función *P(R)* e indicado por la Ilustración 1 se aprecia una relación inversa entre el tipo de interés y el precio del bono. La importancia económica de esta relación emerge cuando se piensa que la inversión se incrementa cuando se tienen bajas tasas de interés, entre otros factores. En cuanto a la inversión en mercados extranjeros, si los bonos de un país ofrecen mejores rendimientos que los bonos del exterior se presenta una apreciación de la moneda. Si la moneda de un país se encuentra apreciada entonces los inversionistas extranjero encontrarán jugosos rendimientos en dólares al invertir en bonos.

DURACIÓN Y CONVEXIDAD

¿Por qué estudiar los conceptos de duración y convexidad?

Es importante estudiar éstos conceptos debido a que la variabilidad de las tasas de interés modifica el valor de una posición en renta fija. Por ejemplo, cuando se incrementan los réditos, los tenedores de bonos sufren pérdidas.

La duración y la convexidad sirven para estimar las variaciones en los valores de los portafolios de bonos y de ahí que sean una valiosa herramienta en la administración del riesgo de tasa de interés.

En el argot financiero, las variaciones en los tipos de interés se miden en puntos base, cada uno de ellos es la centésima parte de un punto porcentual. Es decir, 100 puntos base equivalen a 1%.

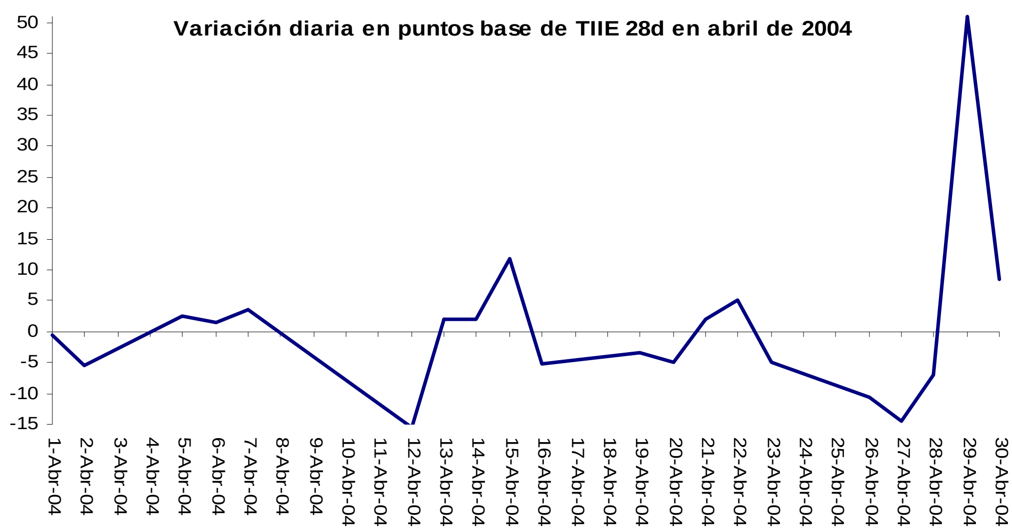

Ilustración 2. En abril de 2004 se dio el llamado crack de bonos del mercado mexicano.

Los cambios en el valor de los activos y pasivos sensibles a movimientos en el tipo de interés son relevantes para las instituciones bancarias. En este caso, se agrega un elemento conocido como riesgo de descalce en el que interviene la duración[2]. Un banco se encuentra descalzado cuando la duración de sus pasivos es menor que la duración de los activos.

De la Ilustración 2 se aprecia que la variación en las tasas puede ser de unos cuantos hasta varias decenas de puntos base. En abril de 2004, algunas tesorerías en México sufrieron por una variación en los tipos de interés en lo que se interpretó como un crack de bonos.

[2] También existe el riesgo de descalce de monedas.

Dos conceptos de duración

La duración indica la sensibilidad de los cambios relativos en el precio de un instrumento de renta fija ante cambios en la tasa de interés de mercado. Este grado de sensibilidad es consecuencia de la aplicación del teorema de Taylor.

$$dP = \frac{dP}{dR}(R - R_0) + o(R^2)$$

$$\frac{dP}{dR} = -\frac{S}{360}\sum_{t=1}^{n} tC_t(1 + R\frac{S}{360})^{-t-1} - \frac{S}{360}nVN(1 + R\frac{S}{360})^{-n-1}$$

Considerando despreciable el error $o(R^2)$ se tiene la siguiente aproximación:

$$dP = \left[-\frac{S}{360}\sum_{t=1}^{n} tC_t(1 + R\frac{S}{360})^{-t-1} - \frac{S}{360}nVN(1 + R\frac{S}{360})^{-n-1} \right] \left[R - R_0 \right]$$

Debe recordarse que el polinomio de Taylor indica una aproximación local de los valores funcionales. Es decir, se tienen estimaciones de la función $P(R)$ alrededor de la tasa inicial R_0. Mientras más lejos de R_0 se tome el valor de R, se tendrá menor exactitud en la aproximación.

Si se divide el cambio del precio dP entre el precio entonces se obtiene el cambio relativo en el valor del bono y además se da la definición de duración.

$$\frac{dP}{P} = -\frac{1}{P}\frac{S}{360}\left[\sum_{t=1}^{n} tC_t(1 + R\frac{S}{360})^{-t-1} + nVN(1 + R\frac{S}{360})^{-n-1} \right] \left[R - R_0 \right]$$

Duración modificada

Esta duración se define como $D^* = -\frac{1}{P}\frac{dP}{dR}$ por lo que es positiva. En el caso del bono en estudio se tiene:

$$D^* = \frac{1}{P}\frac{S}{360}\left[\sum_{t=1}^{n} tC_t(1 + R\frac{S}{360})^{-t-1} + nVN(1 + R\frac{S}{360})^{-n-1} \right]$$

Entonces los cambios relativos en el valor de un bono son de la forma $\frac{dP}{P} = -D^*\left[R - R_0 \right]$.

Duración de Frederick Robertson Macaulay

Este es el caso original de la duración. La forma es $D=-\frac{1}{P}\frac{dP}{dR}\left[1+R\frac{S}{360}\right]$ y es fácil notar que la duración modificada es la duración de Macaulay descontada un período. Aunque esta definición parece un tanto extraña y estar de más, en realidad tiene el significado de un promedio ponderado del tiempo. Para ver este enfoque se muestra el siguiente desarrollo:

Sea $N=\{1,2,\ldots,n\}$ el conjunto de los períodos de pago de cupón. Por ejemplo, si los cupones son trimestrales entonces $N=\{1\ semestre,\ 2\ semestres,\ \ldots,\ n\ semestres\}$. Es de interés encontrar el porcentaje en que contribuye cada flujo de efectivo al valor del bono. El conjunto F se compone de estas contribuciones.

$$F=\left\{\frac{1}{P}C_t\left[1+R\frac{S}{360}\right]^{-t},t=1,2,\ldots,n\right\}\cup\left\{\frac{1}{P}VN\left[1+R\frac{S}{360}\right]^{-n}\right\}$$

No es complicado notar que la suma de los elementos de F es igual a la unidad. Al ponderar cada elemento del conjunto N con el elemento correspondiente del conjunto F se obtiene la un promedio ponderado D_n.

$$D_n=\sum_{t=1}^{n}\frac{1}{P}C_t\left[1+R\frac{S}{360}\right]^{-t}t+nVN\left[1+R\frac{S}{360}\right]^{-n-1}$$

Nótese que el valor de D_n está en términos de los períodos de pago por lo que debe anualizarse multiplicándose por $\frac{S}{360}$.

$$\frac{S}{360}D_n=\frac{\left[1+R\frac{S}{360}\right]}{P}\frac{S}{360}\sum_{t=1}^{n}tC_t\left[1+R\frac{S}{360}\right]^{-t-1}+nVN\frac{S}{360}\left[1+R\frac{S}{360}\right]^{-n-1}=D$$

$$\Rightarrow D=-\frac{1}{P}\frac{dP}{dR}\left[1+R\frac{S}{360}\right]$$

De esta manera puede darse la definición de la duración de Macaulay como el indicador del tiempo promedio en el que el tenedor del bono obtiene los beneficios del mismo.

En posteriores parágrafos se probará que la duración modificada de un strip equivale al tiempo al vencimiento del mismo. Si un inversionista compra un strip que vence en 5 años entonces, para recibir el pago del principal, debe esperar los cinco años. En cambio, con un bono cuponado el inversionista recibe flujos de efectivo. En esta situación, la duración de Macaulay contribuye a estimar el tiempo en el que se recibe el pago del principal.

Propiedades de la duración

La duración presenta propiedades que en ocasiones dependen de las características del bono como se muestra en el siguiente listado:

1. La duración es menor o igual que el plazo al vencimiento del bono. La igualdad se presenta cuando se trata de un strip cuando es la duración de Macaulay.
2. *Ceteris paribus* a mayor tiempo al vencimiento se tiene mayor duración.
3. *Ceteris paribus* a menor cupón se tiene mayor duración.
4. Ceteris paribus a mayor tasa de mercado se tiene menor duración.

Convexidad

Cuando las tasas de interés varían en demasiados puntos base, deja de ser la duración una buena medida de sensibilidad y se recurre a la convexidad. En la Ilustración 3 se aprecia que la estimación de la variación en el precio de un bono a través de la duración es en realidad una aproximación lineal. Cuando se tienen fluctuaciones bruscas en el tipo de interés, el resultado que arroja da duración pierde efectividad por lo que la alternativa es estimar el valor del bono con una parábola.

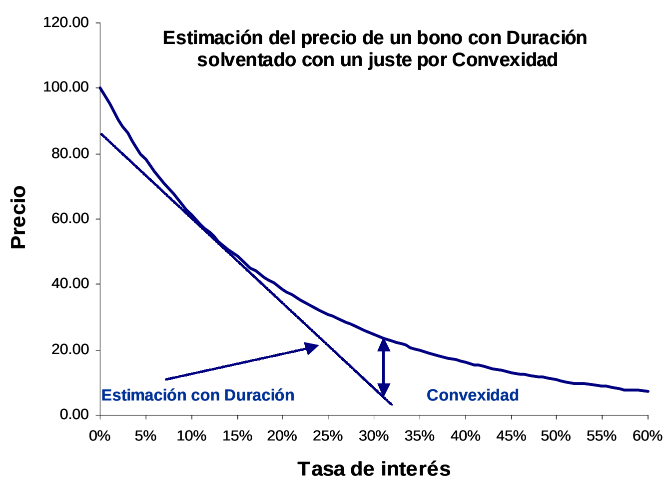

Ilustración 3. La convexidad ajusta la estimación obtenida por duración.

En realidad lo que se hace es aproximar el precio del bono con el polinomio de Taylor de segundo orden como se muestra.

$$dP = \frac{dP}{dR}(R - R_0) + \frac{1}{2}\frac{d^2P}{dR^2}(R - R_0)^2 + o(R^3)$$

$$\frac{d^2P}{dR^2} = \sum_{t=1}^{n} t(t+1)C_t\left(1 + R\frac{S}{360}\right)^{-t-2}\left(\frac{S}{360}\right)^2 + n(n+1)VN\left(1 + R\frac{S}{360}\right)^{-n-2}\left(\frac{S}{360}\right)^2$$

Nótese que $P^{/}<0$ por lo que el precio es una función decreciente mientras que $P^{//}>0$ lo que significa que *P(R)* es convexa. La convexidad se define de la siguiente manera:

$$C = \frac{1}{P}\frac{d^2P}{dR^2} = \frac{1}{P}\sum_{t=1}^{n} t(t+1)C_t\left(1 + R\frac{S}{360}\right)^{-t-2}\left(\frac{S}{360}\right)^2 + \frac{1}{P}n(n+1)VN\left(1 + R\frac{S}{360}\right)^{-n-2}\left(\frac{S}{360}\right)^2$$

El hecho de que la función *P(R)* sea convexa implica que todas las recta tangentes se encuentren subvalúen sus valores funcionales por lo que la convexidad debe ser positiva para mejorar las estimaciones[3].

Propiedades de la Convexidad

Al igual que la duración, la convexidad cuenta con algunas propiedades relevantes:

1. La convexidad varía de forma inversa con la tasa de mercado. Es decir si la tasa se incrementa la convexidad disminuye y viceversa.
2. La convexidad aumenta cuando disminuye el cupón manteniendo fijos el plazo y la tasa de mercado.
3. Dadas la tasa de mercado y duración modificada, a menor tasa cupón menor será la convexidad. Esto implica que los bonos cupón cero serán aquellos que tengan la menor convexidad dada una duración modificada.

Ejemplo de aplicación

En este punto de la exposición es ya conveniente un ejemplo en el que se obtengan y apliquen los conceptos de duración y convexidad.

Considérese un bono con las siguientes características:

[3] Los bonos prepagables tienen convexidad negativa pero requieren de un tratamiento un tanto distinto.

VN:*100*
Tasa cupón: *8%*
Tasa de mercado: *10%*
Días entre pago de cupón (*S*): *180*
Años: *5*

Con estos datos el precio del bono asciende a 92.27 unidades monetarias (u.m). Este resultado es lógico pues se trata de un bono bajo par. A continuación se obtienen las duraciones y la convexidad para luego darles aplicación mediante preguntas a las que se da respuesta.

Determinación de los valores

- Duración Modificada

$$D^* = \frac{1}{92.27}\left[\frac{180}{360}\right]\left[\sum_{t=1}^{10} t * 4(1+0.10\frac{180}{360})^{-t-1} + 10*100(1+0.10\frac{180}{360})^{-11}\right] = 3.98$$

- Duración de Macaulay

$$D = D^*\left[1+0.10\frac{180}{360}\right] = 4.18$$

- Convexidad

$$C = \frac{1}{92.27}\sum_{t=1}^{10} t(t+1)4\left(1+0.10\frac{180}{360}\right)^{-t-2}\left(\frac{180}{360}\right)^2 + \frac{1}{92.27}10*11*100\left(1+0.10\frac{180}{360}\right)^{-12}\left(\frac{180}{360}\right)^2$$

$$C = 19.57$$

Cuestiones

1.- Supóngase un incremento de *10* puntos base en la tasa de mercado por lo que ahora se tiene una tasa de *10.1%*. ¿Cuánto varía el precio del bono usando únicamente la duración?

Respuesta

Se sabe que $D^* = -\frac{1}{P}\frac{dP}{dR} \Rightarrow dP = -D^*\left[R - R_0\right]P$ que es la variación del precio. Aplicando la fórmula se obtiene $dP = -3.98\left[0.101 - 0.10\right]*92.27 = -0.37$. Es decir el nuevo precio de mercado es P^**=92.27-0.37=91.90*.

2.-Encuéntrese la variación del precio de mercado sin utilizar el concepto de duración.

Respuesta

P(0.10)=92.27 mientras que *P(0.101)=91.91* entonces *dP=91.91-92.27=-0.36* que es sumamente cercano al valor obtenido por la duración. La diferencia es que en este caso se hace un uso más intensivo del tiempo para evaluar los precios.

3.-Ahora suponga que se da un incremento de *100* puntos base en la tasa de mercado. ¿Cuál es la variación del precio haciendo uso de la duración modificada?

Respuesta

Nuevamente al aplicar la fórmula se obtiene $dP = -3.98[0.11 - 0.10]*92.27 = -3.5$. Es decir el nuevo precio de mercado es $P^*=92.27-3.5=88.77$

4.- Una vez más encuéntrese la variación del precio de mercado sin utilizar el concepto de duración.

Respuesta

P(0.10)=92.27 mientras que *P(0.11)=88.69* entonces *dP=88.69-92.27=-3.58* que no es tan cercano al valor obtenido por la duración. Este resultado se obtiene debido a que se ha aproximado, de forma local, el valor del bono a partir de una recta. En este caso comienza a ser necesaria la convexidad para obtener un mejor ajuste.

5.-Ajustar con la convexidad

Respuesta

Se trata de usar la aproximación de Taylor en la que interviene el término cuardrático.

$$\frac{dP}{P} = -D^* dR + \frac{1}{2} C(dR)^2 \Rightarrow dP = -P * D^* dR + \frac{1}{2} P * C(dR)^2$$

$$dP = -92.27 * 3.98 * (0.01) + 0.5 * 92.27 * 19.57 * (0.01)^2 = -3.58$$

El ajuste de la convexidad aproxima de forma casi perfecta las variaciones en el precio del bono ante cambios bruscos en los tipos de interés.

6.-Supóngase un bono perpetuo con pago de cupón anual de un monto B equivalente a un porcentaje del valor nominal VN. Calcular duración y convexidad.

Respuesta

Para calcular la duración es necesario encontrar la fórmula del precio. Dicha fórmula es una suma infinita.

$$P=\sum_{t=1}^{\infty}\frac{B}{(1+R)^t}=B\sum_{t=1}^{\infty}\left[\frac{1}{1+R}\right]^t$$

Dado que $\frac{1}{1+R}<1$ la serie de potencias $\sum_{t=1}^{\infty}\left[\frac{1}{1+R}\right]^t$ converge a $\frac{\frac{1}{1+R}}{1-\frac{1}{1+R}}=\frac{1}{R}$

De esta forma el precio de un bono perpetuo con estas condiciones es $P=\frac{B}{R}$. La primer derivada resulta ser negativa $\frac{dP}{dR}=-\frac{B}{R^2}\Rightarrow-\frac{1}{P}\frac{dP}{dR}=\frac{1}{P}\frac{B}{R^2}$ pero se recuerda que el precio del bono es $P=\frac{B}{R}$ por lo que la duración del mismo es $D^*=\frac{1}{R}$. La convexidad se obtiene de forma similar.

$$\frac{d^2P}{dR^2}=\frac{2B}{R^3}\Rightarrow C=\frac{1}{P}\frac{d^2P}{dR^2}=\frac{R}{B}\frac{2B}{R^3}=\frac{2}{R^2}.$$

7.- Inquirir los valores de la duración y la convexidad de un bono cupón cero.

Respuesta

Es muy fácil dar solución a esta cuestión pues simplemente se aplican las fórmulas obtenidas con $C_t=0$.

$$D^*=\frac{1}{P}\frac{S}{360}\left[\sum_{t=1}^{n}tC_t(1+R\frac{S}{360})^{-t-1}+nVN(1+R\frac{S}{360})^{-n-1}\right]=\frac{1}{P}\frac{S}{360}nVN\left[1+R\frac{S}{360}\right]^{-n-1}$$

Sin embargo el precio de un strip de estas características es $P=VN\left[1+R\frac{S}{360}\right]^{-n}$ por lo que la duración se reduce a $D^*=n\frac{S}{360}\left[1+R\frac{S}{360}\right]^{-1}\Rightarrow D=n\frac{S}{360}$ que es el tiempo al vencimiento del bono.

La convexidad se obtiene de forma similar

$$C=\frac{1}{P}n(n+1)VN\left(1+R\frac{S}{360}\right)^{-n-2}\left(\frac{S}{360}\right)^{2}=n(n+1)\left(1+R\frac{S}{360}\right)^{-2}\left(\frac{S}{360}\right)^{2}$$

Duración y el riesgo de mercado.

El valor en riesgo, (VaR) por sus siglas en inglés, es la pérdida máxima probable dado un nivel de confianza que se puede tener en una inversión. Por ejemplo, si se dice que un bono a la par con valor nominal de *100 u.m.* tiene un VaR de *2%* con un *95%* de confianza entonces la pérdida máxima posible que se enfrenta es de *2 u.m.*

Para estimar el VaR de un bono se hace necesario el uso de la duración modificada.

Se sabe que $\frac{dP}{P}=-D^{*}\left[R-R_{0}\right]$. Para calcular la volatilidad de los precios relativos del bono se debe multiplicar y dividir el miembro derecho de esta igualdad por R para luego calcular la varianza.

$\operatorname{var}\left(\frac{dP}{P}\right)=\operatorname{var}\left(-D^{*}R\frac{dR}{R}\right)=(-D^{*}R)^{2}\operatorname{var}\left(\frac{dR}{R}\right)$ con estas igualdades se puede tener la volatilidad σ_P del precio del bono a partir de la volatilidad de las variaciones en las tasas de interés σ_R.

$\sigma_P=D^{*}R\sigma_R$

Para estimar el valor en riesgo se multiplica la volatilidad del precio del bono por un factor adecuado al nivel de confianza deseado.

$VaR_{bono}=-P*NC*D^{*}R\sigma_R*$

Donde

NC: Nivel de confianza. Al *95%* es *1.65* y al *99% NC=2.33*

Ejemplo: Suponga un bono con precio de mercado de *100 u.m.* cuya duración modificada es de *3.98* con volatilidad trimestral de las tasas de interés de *3%* y $R_0=10\%$. Estimar el VaR a un nivel de confianza del *99%.*

$VaR_{bono}=-100*2.33*3.98*0.03*0.025=0.70$

Se espera que la pérdida máxima a un nivel de 99% de confianza sea de 70 centavos de u.m.

DURACIÓN Y CONVEXIDAD DE UN PORTAFOLIO DE BONOS

El concepto de duración se puede extender en la participación de más de un bono. El teorema de Taylor es nuevamente el vehículo para la consecución de la duración de un portafolio de bonos.

Considerese un portafolio compuesto por K bonos en donde $P_i(R_i)$ y m_i son el precio y la cantidad de unidades del *i-ésimo* bono. El valor del portafolio $P=P(R_1,R_2,...,R_K)$ es la suma de las cantidades invertidas en los bonos que lo componen. Con estos supuestos se tienen los siguientes teoremas:

Teorema 1. La duración D_p de un portafolio de K bonos es el promedio ponderado de las duraciones particulares. El ponderador w_i de la *i-ésima* duración es el porcentaje de portafolio que representa el *i-ésimo* bono.

Demostración.

Por construcción $P=\sum_{i=1}^{K} m_i P_i(R_i)$. La diferencial total de $P(R_1,R_2,...,R_K)$ es $dP=\sum_{i=1}^{K} m_i \frac{\partial P}{\partial R_i} dR_i$ para $1 \leq i \leq K$

Si se multiplica y divide por P_i al *i-ésimo* sumando de dP entonces se tiene que $dP=\sum_{i=1}^{K} m_i P_i D_i^* dR_i$. Al definir $w_i=\frac{m_i P_i}{P}$ y dividir dP por P se tiene el resultado deseado.

$$\frac{dP}{P}=\sum_{i=1}^{K} w_i D_i^* dR_i \Rightarrow D_P^*=\sum_{i=1}^{K} w_i D_i^* \qquad \blacksquare$$

Teorema 2. En las mismas condiciones del teorema anterior resulta que la convexidad de un bono es la suma ponderada de las convexidades.

Demostración

En este caso se da el uso del hessiano para obtener el resultado. $dP=\sum_{i=1}^{K} m_i \frac{\partial P}{\partial R_i} dR_i + \frac{1}{2}\sum_{i=1}^{K}\sum_{j=1}^{K} m_i \frac{\partial^2 P}{\partial R_i \partial R_j} dR_i dR_j$ pero se sabe que $\frac{\partial^2 P}{\partial R_i \partial R_j}=0$ para $i \neq j$. El caso $i=j$ conduce a que $dP=\sum_{i=1}^{K} \frac{\partial P}{\partial R_i} dR_i + \frac{1}{2}\sum_{i=1}^{K} m_i \frac{\partial^2 P}{\partial R_i^2}(dR_i)^2$. Una vez más se multiplica y divide por P_i al *i-ésimo* sumando de cada suma y se divide por P a dP para obtener el resultado esperado.

$$\frac{dP}{P} = \sum_{i=1}^{K} w_i D_i^* dR_i + \frac{1}{2}\sum_{i=1}^{K} w_i C_i (dR_i)^2 \Rightarrow C_P = \sum_{i=1}^{K} w_i C_i \qquad \blacksquare$$

Ejemplo. Considere un portafolio hipotético compuesto por dos bonos cuyos datos encierra la tabla siguiente:

Bono	*Duración*	*Convexidad*	*Participación en el portafolio*
1	*4*	*23*	*200,000 u.m.*
2	*3*	*16*	*300,000 u.m.*

$m_1P_1=200{,}000$
$m_2P_2=300{,}000$
$P=500{,}000$
$w_1=0.4$
$w_2=0.6$

$D_p=0.4*4+0.6*3=3.4$
$C_p=0.4*23+0.6*16=18.8$

Los valores obtenidos de duración y convexidad del portafolio se usan de igual forma que en el caso de un bono individual.

RESUMEN

Luego de leer esta exposición el lector debe tener presente lo siguiente:

- La duración indica el grado de sensibilidad del valor de un portafolio de instrumentos de renta fija ante cambios en el tipo de interés. La duración de Macaulay indica el tiempo promedio en el que el inversionista recibe el pago del principal.
- Ante variaciones grandes en el tipo de interés se recurre a la convexidad del bono para ajustar la estimación obtenida a través de la duración.
- La duración (convexidad) de un portafolio es el promedio ponderado de las duraciones (convexidades) de cada bono.

REFERENCIAS

Fabozzi, Frank (2000). *Bond Markets Analysis and Strategies*. Prentice Hall.
Lara Haro (2005), *Alfonso de. Medición y control de riesgos financieros*. Limusa.