

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE
MÉXICO

Facultad de Estudios Superiores Acatlán



“MEDICIÓN DE RIESGO DE MERCADO A
TRAVÉS DE SENSIBILIDADES PARA NO
EXCEDER UN VAR OBJETIVO”

T E S I N A

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE:

A C T U A R I O

PRESENTA:

CHRISTIAN GABRIEL MIRANDA RUIZ

ASESOR:

M. en C. HARVEY SPENCER SÁNCHEZ RESTREPO

Naucalpan, Estado de México

Noviembre del 2008



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

Agradecimientos

A mis padres, por todo el amor y el apoyo recibido.

A mi asesor Harvey, por su apoyo incondicional y su paciencia.

A mis sinodales: Arturo, Alejandro, Luz María y Mahil, por su apoyo en la revisión de este trabajo.

A Alva Ayuardo, por su paciencia, comprensión y cariño.

A mis hermanas y en general a toda mi familia por su apoyo.

A la coordinación de Actuaría por su apoyo, paciencia y su amabilidad.

A todos los profesores que me impartieron alguna clase durante la carrera, muchas gracias por compartir su conocimiento.

Y finalmente a esta gran institución que es la UNAM por todo lo que me ha dado.

Índice general

1. Valor en Riesgo	1
1.1. Definición del Valor en Riesgo	1
1.2. ¿Por qué el VaR?	7
1.3. Riesgo en las Instituciones Financieras	9
1.3.1. Definición	9
1.3.2. Tipos de Riesgo	10
2. Marco regulatorio	15
2.1. Antecedentes	15
2.2. Regulación y supervisión financiera	17
2.2.1. Elementos de la regulación prudencial	20
2.2.2. Criterios para determinar los requerimientos de capital	21
2.3. Regulación prudencial en México	26
2.4. Regulación Prudencial. Comité de Basilea	31
3. Cálculo de Riesgo de Mercado	37
3.1. Cálculo de Sensibilidades a Factores de Riesgo del Instrumento	37
3.2. Modelos de Valor en Riesgo	39
3.2.1. Modelos de simulación histórica	41
3.2.2. Modelos de Portafolio o de varianza - covarianza	46
3.2.3. Adecuaciones al modelo de portafolio	50
4. Medición de Riesgo de Mercado	55
4.1. Límites de Valor en Riesgo	56
4.2. Estructura de Límites de Sensibilidad	57
4.2.1. Límites de Tasas de Interés	58

4.2.2.	Límites de Sensibilidad a la Volatilidad	63
4.2.3.	Límites de Sensibilidad a la Posición en Renta Variable	65
4.2.4.	Límites de Sensibilidad a la Posición en Tipo de cambio	66
4.3.	Simulación de Sensibilidades	67
4.4.	Cálculo de VaR (Simulación Histórica)	71
4.4.1.	Obtención del Nominal a partir de la Sensibilidad	71
4.4.2.	Obtención del VaR por Simulación Histórica	75
4.5.	Análisis de los Resultados Obtenidos	83
4.5.1.	Relación VaR Tasa de Interés y sus Límites de Sensibilidad	83
4.5.2.	Relación VaR Volatilidad y sus Límites de Sensibilidad	86
4.5.3.	Relación VaR Posición Índice de Renta Variable y Tipo de Cambio y sus Límites de Sensibilidad	89
A.	Programas para Simulaciones y VaR	93
A.1.	Simulación de Sensibilidades (Matlab)	93
A.2.	Cálculo de Riesgo de Mercado (SAS)	98

Resumen

En este trabajo se propone un enfoque para medir el riesgo de mercado desde un punto de vista analítico basado en la sensibilidad de los factores de riesgo, de una forma sencilla, eficaz e intuitiva.

Asimismo, se sugieren métodos, tanto cualitativos como cuantitativos, para la medición de riesgo de mercado, y el establecimiento de límites de sensibilidad que si se respetan no excederán el VaR propuesto con un nivel de confianza del 99 %.

Introducción

En este trabajo se da a conocer un enfoque moderno de medición de riesgo de mercado por medio de límites de sensibilidad apoyándose del cálculo del VaR por simulación histórica para probar la eficiencia de esta medición, estableciéndose así definiciones, regulaciones, y las herramientas fundamentales para el desarrollo del riesgo de mercado.

En el primer capítulo se presenta la definición del riesgo de capital, se describen los principales elementos de la metodología de Valor en Riesgo (VaR) y se destacan las razones de por qué el desarrollo, la aceptación y difusión del VaR como un modelo apropiado para estimar el riesgo de capital. Asimismo se definen los tipos de riesgos a las que se enfrentan las instituciones financieras.

En el segundo capítulo se mencionan los principales elementos de los modelos de regulación prudencial y se describen de manera cronológica las adecuaciones al marco regulatorio sobre el tema de riesgos, instrumentadas por las autoridades mexicanas y se presentan las realizadas por el comité de Basilea.

En el tercer capítulo se describen los principales modelos para calcular el VaR, y se enfatiza en los supuestos, ventajas y limitaciones de diferentes modelos de VaR. En el mismo se presenta el método para el cálculo de sensibilidades de diferentes instrumentos financieros al mismo tiempo que se enfatiza la importancia de esta herramienta en la gestión del riesgo.

En el cuarto y último capítulo se muestra un caso práctico de establecimiento de límites de sensibilidades con el objeto de medir de una manera global y asegurándose que las instituciones que cumplan con éste método no excederán un valor en riesgo establecido. Dicha medición se basa en la simulación de sensibilidades y el establecimiento de escenarios que cumplan con límites fijos (por Plazo, Moneda, Riesgo

Base y Factor de Riesgo). Una vez planteados los escenarios se obtendrá el valor en riesgo vía Simulación Histórica de cada uno de ellos para obtener el cálculo del VaR de cada escenario, mostrando estadísticamente que con esta metodología no se rebasa el VaR objetivo.

Finalmente se anexan los programas creados para la simulación de sensibilidades (Matlab), y para el cálculo de VaR (SAS).

La finalidad de este texto es aportar una metodología para la correcta medición del riesgo de mercado.

Capítulo 1

Valor en Riesgo

En este capítulo se presenta la definición del riesgo de capital, se describen los principales elementos de la metodología de Valor en Riesgo (VaR) y se destacan las razones de por qué el desarrollo, la aceptación y difusión del VaR como un modelo apropiado para estimar el riesgo de capital. Asimismo se definen los tipos de riesgos a las que se enfrentan las instituciones financieras.

1.1. Definición del Valor en Riesgo

El riesgo del capital, y concretamente el VaR, se define como la pérdida máxima que una institución financiera podría observar por una determinada posición o cartera de inversión la cual se supone que no cambia durante el periodo de inversión, aun cuando se pueda presentar un cambio en los factores de riesgo, durante un horizonte de inversión definido y con un nivel de probabilidad determinado.

En términos algebraicos, si se supone que “ x ” es una variable aleatoria que representa las pérdidas o ganancias en alguna fecha futura “ T ”, y “ Z ” es la probabilidad porcentual, el VaR se define como $Prob(x_T < VaR) = Z$.

De acuerdo con la definición anterior, la estimación del VaR involucra cuatro elementos, que deben definirse de manera precisa si el objetivo es realizar estimaciones confiables:

1. *Grado de sensibilidad del valor de la cartera de inversión ante cambios en los factores de riesgo:* Para estimar el VaR se requiere determinar un conjunto de factores de riesgo alternativos que, comparados con los niveles de los factores de riesgo vigentes, permitan estimar las pérdidas o ganancias de un portafolio de inversión o de crédito; sin embargo, la relación entre el cambio en los factores de riesgo y el cambio en el valor del portafolio puede tomar diferentes formas:
 - **Relación lineal.** La respuesta porcentual del valor de una cartera es equivalente al cambio porcentual en los factores de riesgo. La cartera de acciones, divisas, metales y commodities, entre otros instrumentos sigue este comportamiento.
 - **Relación Convexa.** En este caso la respuesta del valor de la cartera ante cambios en los factores de riesgo, aunque siguen una tendencia, ésta no es lineal.
 - **Relación irregular.** Por último, se pueden observar relaciones no lineales entre los cambios del valor de la cartera y los cambios en los factores de riesgo, sobre todo cuando la cartera incluye títulos opcionales.

La elección del modelo de VaR apropiado dependerá del tipo de relación que hay entre los cambios en los factores de riesgo de los instrumentos que conforman la cartera de inversión y el cambio en el valor del portafolio.

2. *Forma de la distribución de probabilidad del cambio en los factores del riesgo:* Para determinar el tamaño y la probabilidad de que se presenten movimientos adversos en los factores de riesgo que determinan el precio de los activos financieros y crediticios, es preciso conocer la distribución de frecuencias de los cambios de estos factores de riesgo. En la práctica, la mayoría de los modelos que se utilizan para estimar el riesgo del capital suponen que las distribuciones son normales o lognormales, ya que con sólo dos parámetros (media y desviación estándar) es posible replicar la información contenida en toda la distribución. Sin embargo, este supuesto contrasta significativamente con las distribuciones de los cambios en los factores de riesgo de los instrumentos que se negocian en los mercados. En virtud de que la estimación del VaR se concentra en las colas de la distribución, una mala estimación o supuesto sobre la forma de la misma puede traducirse en cálculos incorrectos del valor en riesgo. No obstante, existen diferentes modelos para estimar la volatilidad del cambio en los factores de riesgo que pueden incorporar las peculiaridades (leptocurtósicas) de las distribuciones de probabilidad.
3. *Horizonte de inversión:* Es necesario determinar el periodo en el que se supone que se mantendrá la posición de riesgo en las instituciones financieras. Donde existe una relación directa entre el horizonte de inversión y el VaR, ya que en la medida que un portafolio se mantenga

por más tiempo, el riesgo será mayor. Para determinar el horizonte de inversión se deberían tener en cuenta los siguientes factores:

Por ejemplo, un banco pequeño podría vender toda su posición de un bono con riesgo soberano como los Cetes, seguramente sería más sencillo que vender una posición de una cartera de acciones no bursátiles.

- Propósito de la posición de riesgo: Por ejemplo, para la estimación del valor de mercado J.P. Morgan considera dos horizontes de inversión en sus estimaciones. Si las posiciones son para el “*trading*” supone un día. Por contra, si las posiciones que corresponden a inversiones, como por ejemplo, de la tesorería, sociedades de inversión, etc. J.P. Morgan considera un horizonte de 30 días.
- Desarrollo de los mercados: El tamaño de los mercados es otra variable determinante en la definición del horizonte de riesgo. En la medida que los volúmenes operados sean relativamente bajos como sucede con los productos derivados, intentar realizar operaciones de cobertura en estos mercados puede incrementar el VaR, en vez de reducirlo.
- Condiciones de los mercados: El periodo necesario para liquidar o cubrir la posición de riesgo depende de las condiciones de mercado. En periodos de estabilidad seguramente tomará menos tiempo deshacer la posición que en periodos de turbulencia.
- Supuestos del modelo: Calcular el VaR para diferentes horizontes de inversión a partir de la estimación de la volatilidad calculada con datos diarios, sólo puede realizarse si se cumplen determinados supuestos estadísticos. Por su parte, para estimar el VaR de crédito al horizonte de inversión depende del tipo de modelo que

se utilice.

Como se observa, son diversos los elementos que influyen en la determinación óptima del horizonte de inversión. A pesar de ello, y para efectos de determinar los requerimientos de capital, por concepto del riesgo de mercado el Comité de Basilea definió un horizonte de inversión de dos semanas (10 días hábiles).

4. *Nivel de Confianza*: Esto implica determinar, de un número de resultados probables de pérdidas o ganancias, en cuántos de ellos un intermediario requiere que la estimación de las pérdidas máximas (VaR) sea inferior a las que realmente podrían observarse. Por ejemplo, si un intermediario determina un nivel de confianza de 95 %, significa que dicho intermediario estará dispuesto a aceptar que en sólo cinco de cada cien casos las pérdidas observadas serán superiores a las máximas estimadas. En un marco de regulación prudencial, determinar el nivel de confianza debería ser una decisión interna de las instituciones financieras. Entre los factores a considerar para determinar el nivel de confianza destacan los siguientes:¹

- **Apetito de riesgo de los accionistas y disposición para realizar aportaciones de capital**: Accionistas adversos al riesgo podrían elegir un nivel de confianza mayor a otros con mayor apetito de riesgo; por ejemplo 99 % vs 95 %. Asimismo, accionistas con poca disposición a reponer el capital en el caso de una pérdida deberían

¹Cabe mencionar que en la estimación Interna del VaR, la mayoría de las Instituciones financieras considera un nivel de confianza de 97.5 %; otras instituciones, como J.P. Morgan considera un nivel de confianza de 95.0 %. Por su parte, para determinar los requerimientos de capital el Comité de Basilea estableció un nivel de confianza de 99 %.

utilizar un nivel de confianza elevado que reduzca la frecuencia de tales requerimientos.

- **Calidad de los modelos internos de Valor en Riesgo:** La estimación del VaR es una estimación estadística cuya calidad puede variar significativamente entre instituciones financieras. Establecer un nivel de confianza, por ejemplo de 99 % como lo establece el Comité de Basilea, bajo el pretexto de que las estimaciones de algunas instituciones no son satisfactorias implica un castigo (subutilización del capital) para aquellas instituciones que cuentan con modelos más confiables desde el punto de vista estadístico.

- **Composición de las carteras de inversión y de crédito:** Este punto está estrictamente ligado con el punto anterior, ya que por ejemplo, si una cartera de inversión incluye títulos opcionales, mayor tendrá que ser la calidad y sofisticación de los modelos para captar las relaciones no lineales entre el cambio en los factores de riesgo y en el valor de la cartera que surge con la presencia de las opciones. Si el modelo disponible en la institución financiera no cumple con los requisitos para estimar el VaR de una cartera de opciones, la mala calidad de la estimación del VaR podría “compensarse” al considerar un nivel de confianza más conservador. En el caso de los modelos de riesgo de crédito donde aún no hay un consenso sobre un modelo estándar la calidad del modelo todavía es más cuestionable.

1.2. ¿Por qué el VaR?

Evidentemente la sencillez para estimar el riesgo de capital mediante el VaR es uno de los factores que ha coadyuvado a su aceptación entre los intermediarios financieros y los reguladores. Sin embargo, también tiene otras ventajas, destacan las siguientes:

- La estimación del VaR está expresada en pesos, lo que permite homogeneizar y comparar los riesgos de las diferentes posiciones de una institución financiera, es decir, el VaR permite construir portafolios de referencia (benchmark). Eso contrasta con los enfoques tradicionales donde, por ejemplo, para medir el riesgo de una posición en renta fija se utilizaba el concepto de duración, mientras que para determinar el riesgo de una cartera de acciones se utilizaba la β , lo que impedía comparar los riesgos de esas posiciones
- La metodología de valor en riesgo se puede aplicar a todas las posiciones de riesgo o carteras de inversión y a todos los niveles de una institución financiera. Recientemente, los modelos de VaR también se están aplicando a aseguradoras, fondos de pensiones, bancos al menudeo, etc.
- El riesgo del portafolio está directamente relacionado con el comportamiento de variables de mercado, como las tasas de interés, el tipo de cambio y los precios de los activos financieros, y de crédito, como la tasa de incumplimiento. Eso permite entender la naturaleza de los riesgos y, por ende, la manera de controlarlos.
- Los miembros del consejo directivo y de la alta dirección de las instituciones financieras pueden entender e interpretar fácilmente sus riesgos

mediante el VaR, sin tener que conocer los cálculos complicados que se requieren para realizarlos.

- Ayuda a la dirección a evaluar el comportamiento de las unidades de negocio y a determinar la estrategia de la institución financiera bajo una base de rendimientos ajustados por riesgos, es decir, permite asignar el capital a las áreas de negocio en función de los rendimientos esperados y del nivel de riesgo que se debe soportar para alcanzarlo. En otras palabras, el riesgo de capital es equivalente al capital económico que soporta la operación de una unidad de riesgo.

Como resultado de estas ventajas, y como consecuencia de los quebrantos observados por instituciones financieras por tomar riesgos de mercado y de crédito excesivos, el Comité de Basilea adoptó la metodología del VaR para determinar los requerimientos de capital de las instituciones financieras por concepto del riesgo de mercado, dicha regulación entró en vigor en diciembre de 1997². Sin embargo, ante los propios riesgos -de instrumentación y del modelo- que implica estimar el VaR correctamente, el Comité de Basilea estableció que los requerimientos de capital serán equivalentes a tres veces el monto de valor en riesgo estimado. En el caso de México, la circular sobre regulación prudencial aplicable a los bancos ya establece la necesidad de realizar estimaciones de VaR³; en México las autoridades regulatorias estiman el VaR con diferente periodicidad. Asimismo, un gran número de instituciones financieras, como bancos, afores y casas de bolsa, principalmente, ya estiman el valor en riesgo de su cartera; en estos casos, los cálculos difieren en grados de automatización, cobertura y sofisticación. Cabe mencionar que

²Comité de Basilea (1996); Ludwing (1995) analiza el quebranto registrado por Baring

³CNBV(2007) y el capítulo 3

algunas empresas que no pertenecen al sector financiero están iniciando, en estas fechas, proyectos para constituir sus unidades de control de riesgos.

1.3. Riesgo en las Instituciones Financieras

1.3.1. Definición

Originalmente, la palabra riesgo significa *roca peligrosa*. Es una palabra que se deriva de los vocablos latinos *riesco* e italiano *risico*; donde *risico* significa, la acción de adentrarse por el camino más escarpado. En el siglo XVI ya se tenía una concepción moderna del riesgo, ya que se definía como una contingencia que podía presentarse. Posteriormente, a mediados del siglo XX los conceptos riesgo e incertidumbre se trataron de manera indistinta; sin embargo, actualmente existe una diferencia muy clara entre incertidumbre y riesgo; mientras la incertidumbre es subjetiva y no medible, lo que implica una distribución de frecuencia desconocida, el riesgo es cuantificable y objetivo, con una distribución de frecuencias conocida. Para efectos de esta tesis, el riesgo se define como la variación del valor de la cartera de inversión con respecto de su valor actual, debido a movimientos en los factores de riesgo financieros o por cambios en las variables crediticias y de liquidez, o por la presencia de problemas operativos. Eso significa que, a diferencia de lo que se considera generalmente, tanto las desviaciones positivas y negativas del valor del portafolio se consideran riesgo. Eso es así ya que, a menos que existan mercados imperfectos (que permitan realizar funciones de arbitraje con cero riesgo), rendimientos extraordinarios sólo se alcanzarían con posiciones con gran exposición al riesgo.

1.3.2. Tipos de Riesgo

En virtud de que el objetivo consiste en estimar el valor en riesgo (máxima pérdida probable) de las posiciones en instrumentos financieros en activos crediticios y en instrumentos derivados, es necesario identificar los diferentes riesgos a los que están expuestas estas posiciones. Para identificar estos riesgos, considérese un bono con las siguientes características:

Valor Nominal	100 unidades de inversión (Udis)
Plazo	3 años
Tasa Cupón	Udibonos + 0 puntos
Tasa de interés “real” de mercado	8.0%
Emisor	Sector privado
Calificación crediticia	AAA
Bursatilidad	Alta

De la información anterior, ¿Cuáles serían las causas que podrían provocar que el precio de mercado del bono cambiara durante su periodo de vigencia? Las clasificaciones de riesgo pueden ser mucho más exhaustivas que la que aquí se presentan. Por ejemplo, Dym (1995) y Fitch Investor Services (1995) mencionan los riesgos de: reinversión, prepago, opcionalidad, riesgo soberano, riesgo relativo y el riesgo de comportamiento, entre otros. Debe mencionarse que los riesgos que aquí se describen, especialmente el riesgo de liquidez, podría tener otras interpretaciones, sobre todo cuando dicho riesgo se analiza en el contexto de todo el balance de un banco.

1. **Riesgo de mercado o de capital:** Un incremento en la tasa de interés “real” de un punto porcentual implicaría una reducción del precio del bono de 100 a 97.4 Udis.

Diferentes factores dependiendo del instrumento financiero de que se trate, podrían ser la causa de la presencia de este riesgo de mercado. Los más importantes son:

Tasa de Interés . Se refiere al riesgo de que el nivel de las tasas de interés de mercado se modifique, como por ejemplo, el incremento comentado de la tasa del bono.

Sobre tasa Cambios en la sobretasa de mercado de los instrumentos; por ejemplo, si la sobretasa del bono se incrementa de cero a medio punto porcentual, el precio del bono disminuiría de 100 a 98.7 Udis.

Curva de rendimiento . Un riesgo adicional de los instrumentos de renta fija se refiere a la posibilidad de que las curvas de rendimiento con base en las que se determina el rendimiento de los activos y pasivos de las instituciones financieras se muevan en direcciones y/o en magnitudes diferentes.

Riesgo de inflación . Si se decide financiar el bono a través de operaciones de reporto con un premio del reporto denominado en términos nominales implicaría que mientras el fondeo se realiza a tasa nominal el instrumento devengará un rendimiento “real” más la revaloración de las unidades de inversión. Sin embargo, si la revaloración es diferente a la inflación estimada para el periodo del fondeo, el valor de la posición se modificará.

Riesgo cambiario . Las unidades de inversión (Udis), al igual que el dólar, diariamente tienen una cotización con respecto al peso. Si bien su evolución depende del comportamiento de la inflación observada en los últimos quince días, su evolución para un ho-

rizonte de inversión mayor es incierta, eso significa que el valor de estos bonos, en términos de pesos, dependerá de la cotización udi/peso. Si dicha cotización se modifica, el valor de los bonos en pesos también se modificará, de la misma manera que podría variar el precio, en pesos, de un bono denominado en dólares.

Riesgo accionario Este tipo de riesgo es resultado de cambios en los precios de las acciones lo que significa que en el caso del ejemplo no se aplica.

2. **Riesgo de crédito:** Si el grado de calidad crediticia del bono se deteriora durante la vida del instrumento por ejemplo de AAA a AA, la tasa de descuento con base en la cual se deberían descontar los flujos de efectivo debería aumentar, lo que se traduciría en una caída del precio del bono. En el extremo, si el emisor del bono se declara en quiebra, el precio del bono dependerá de las garantías del propio bono. Al riesgo de que el precio del bono se modifique como resultado de cambios en la calidad crediticia del instrumento, se le denomina riesgo de crédito. Un tipo particular del riesgo crediticio se refiere al riesgo de contraparte. Este riesgo está relacionado con la incapacidad de pago de un intermediario que negocia activos financieros emitidos por otra institución financiera. Por ejemplo, si el banco A compra nuestro bono al banco B, mediante una operación de reporto, aparece el riesgo de que el banco B no pueda pagar, al vencimiento del reporto, el premio acordado con el banco A. Cabe mencionar que en este caso, este riesgo no tiene ninguna relación con la solvencia financiera del emisor.
3. **Riesgo de liquidez:** En el caso de los instrumentos financieros y derivados, el riesgo de liquidez tiene varias formas:

- El riesgo de que la bursatilidad del bono disminuya, es decir, que se amplíe el periodo estimado de liquidación del título más allá del horizonte de inversión elegido para estimar el VaR. Cuando eso sucede existe el riesgo de mantener posiciones perdedoras por un periodo prolongado, adicional al costo de mantener un capital no productivo, o bien, tomar pérdidas al liquidar el instrumento.
- En el caso de los instrumentos derivados, especialmente los que requieren garantías (márgenes), existe el riesgo de que las instituciones financieras no cuenten con los recursos líquidos suficientes para incrementarlas.

4. **Riesgo operativo:** Comprende los riesgos que se generan en la propia negociación y operación de los instrumentos financieros. Estos riesgos son de diversas características y abarcan desde la falta de definición de procedimientos y políticas, contratos mal elaborados (riesgo legal), hasta fraudes y violaciones a los ordenamientos regulatorios establecidos por las autoridades encargadas de la supervisión del sistema financiero.

En el caso de los bancos mexicanos, los riesgos mencionados se manifestaron durante la crisis de 1994-1995 con igual importancia, como lo muestran los resultados siguientes:

- La cartera vencida de los bancos múltiples alcanzó un nivel de 13.1 %, – más de 20 % si se considera a los bancos intervenidos o con problemas de capitalización – de la cartera total (riesgo de crédito) y debido a contratos mal elaborados (riesgo legal).
- Trece instituciones financieras fueron intervenidas por manejos

inapropiados (riesgo operativo).

- Importantes fueron las pérdidas de los bancos a causa de la devaluación del peso de casi 100 %, la caída del índice bursátil de 23.5 % en términos reales y el incremento de las tasas de los Cetes de 70 puntos porcentuales (riesgo de mercado).
- Después de la devaluación numerosos cuenta habientes de la banca retiraron sus depósitos en dólares y, ante la insuficiencia de efectivo, el banco central tuvo que otorgar préstamos en dólares a los bancos para que éstos, a su vez, atendieran las necesidades de su clientela (riesgo de liquidez).

Capítulo 2

Marco regulatorio

A principios de la década de los ochenta, las autoridades regulatorias internacionales eligieron el modelo de regulación prudencial para supervisar los niveles de capitalización en las instituciones financieras. En éste, los modelos de valor en riesgo son fundamentales para determinar los niveles de capitalización, consistentes con los niveles de riesgo al que están expuestas estas entidades.

En este capítulo se mencionan los principales elementos de los modelos de regulación prudencial y se describen, de manera cronológica, las adecuaciones al marco regulatorio sobre el tema de riesgos instrumentadas por las autoridades mexicanas y se presentan las realizadas por el Comité de Basilea.

2.1. Antecedentes

Durante los últimos años, el marco regulatorio del sistema financiero mexicano ha sufrido importantes cambios. En la década de los ochenta la

operación de los bancos mexicanos, en ese momento estatales, estaba muy regulada, con un encaje legal marginal de hasta 100 %, control sobre las tasas de interés pasivas y cajones de inversión obligatorios a sectores prioritarios.

Posteriormente, a partir de 1989 se inició un proceso de desregulación y de liberalización del sistema financiero. Se autorizó la presencia de los grupos financieros con el fin de orientar a las instituciones hacia el concepto de “banca universal”. En 1991 se inició el proceso de privatización de los bancos, se otorgaron concesiones a bancos nuevos y, en el marco del Tratado de Libre Comercio, se permitió la presencia de los bancos extranjeros. Así mismo, se autorizó la operación con nuevos instrumentos, entre ellos, los productos derivados.

La privatización de los bancos vino acompañada de una expansión del crédito acelerada; con tasas de crecimiento reales de 29.1 % por año en promedio entre 1992 y 1994, así como de posiciones de riesgo elevadas en las mesas de dinero, cambios y coberturas cambiarias que alentó la falta de requerimientos de capital sobre esas posiciones. En este periodo de grandes posiciones de riesgo, ocurrió la devaluación del peso de diciembre de 1994, el incremento de la inflación y de las tasas de interés y la caída de la actividad económica y de los salarios reales.

La combinación de esos factores provocó la crisis de los bancos mexicanos, que puso de manifiesto todos los riesgos a los que estaban expuestos y que, en la mayoría de los casos, las instituciones ignoraban. Para apoyar los endeblés niveles de capitalización de los bancos se instrumentaron diferentes programas de apoyo para los acreedores y para las propias instituciones financieras, que evitaron un deterioro del sistema de pagos en México.

2.2. Regulación y supervisión financiera

¿Qué hace diferente al sistema financiero del resto de las industrias en la economía, de tal manera que requiera de un marco regulatorio y de apoyos especiales? La crisis bancaria en México y en diferentes países muestran que en el caso de las instituciones financieras la insolvencia en una de ellas se puede contagiar al resto de las entidades que conforman el sector, lo que puede provocar, mediante un efecto dominó, la quiebra total de la industria.

Para evitar el contagio de insolvencia en el sector financiero, proteger a los ahorradores, evitar la presencia de poderes oligopólicos, garantizar el sistema de pagos en la economía, y controlar el riesgo de que los accionistas de los bancos tomen posiciones excesivas, dada la asimetría que existe entre quien se beneficia de las utilidades (accionistas) y quien absorbe las pérdidas (contribuyentes y/o ahorradores) entre otras cosas, es necesario regular y supervisar al sector financiero.

Para regular y supervisar al sistema financiero existen dos alternativas: regular de manera autárquica cada uno de los mercados, instrumentos, operaciones y participantes, o bien regular y supervisar las funciones de las instituciones en el proceso de intermediación financiera. Mientras en el primer caso la supervisión del sistema está a cargo completamente de las autoridades, en el segundo caso la solvencia de las instituciones es responsabilidad tanto de las autoridades como de las propias entidades financieras.

Ambos esquemas de supervisión tienen importantes ventajas y desventajas; no obstante, debido a la constante innovación de transacciones y de productos y a la globalización de los mercados se dificultó el proceso de supervisión autárquica de las instituciones financieras, por lo que, al final de la década de los ochenta, los organismos internacionales optaron por el

segundo modelo, es decir, el de la supervisión de las funciones, o regulación prudencial como se conoce comúnmente.

Cabe mencionar que un marco regulatorio prudencial también tiene sus propios riesgos, sobre todo en sistemas financieros en los que las autoridades actúan como prestatarios de última instancia; ese fue el caso de México, donde el Fobaproa y el gobierno se encargaron del rescate de las instituciones financieras entre 1994 y 1997. Es decir, en un marco regulatorio prudencial es más probable que se manifiesten problemas de “daño moral” entre las instituciones financieras y los reguladores. Por tanto, las unidades de control de riesgos deben ser las áreas responsables de informar al consejo de administración de los niveles de riesgo en las diferentes líneas de negocio y, en su caso, indicar al propio consejo de administración los riesgos de carácter estratégico en que las propias instituciones podrían estar incurriendo.

Ante estos riesgos, para alentar la estabilidad de las instituciones financieras y coadyuvar al éxito del marco regulatorio prudencial, el Comité de Basilea ha insistido en la divulgación de la información cuantitativa y cualitativa correspondiente al rendimiento y riesgo de la cartera de las instituciones financieras¹. El llamado reporte de Fisher sugiere que las instituciones financieras deben presentar la siguiente información²:

¹ El Comité de Basilea sobre Supervisión Bancaria fue creado en 1974 por el Bank for International Settlements, con el propósito de apoyar al Franklin Nacional Bank y al Bankhaus Herstatt. Actualmente su función es determinar los niveles mínimos de capital de las instituciones financieras. El Comité lo integran miembros de las entidades supervisoras que pertenecen al Grupo de los Diez. Mientras el Comité de Basilea se encarga de la supervisión de los bancos comerciales, The European Union Capital Adequacy Directive (CAD) tiene a su cargo la regulación de los casas de bolsa y de los bancos de inversión.

²Comité de Basilea y Comité Técnico de la Organización Internacional de Comisiones de Valores

- Describir cada uno de los principales riesgos en las instituciones financieras y los métodos utilizados para calcularlos y administrarlos.
- Aspectos esenciales de la estructura organizacional para el proceso de control y administración de riesgos.
- Informes sobre la calidad crediticia de la contraparte, disponibilidad de garantías, descripción de los modelos para estimar la exposición potencial del crédito, concentración de crédito, riesgo de fondeo y volatilidad de la exposición del crédito ante cambios en las variables macro financieras.
- Técnicas para medir los riesgos de mercado. Eso incluye: modelo utilizado, carteras cubiertas por el modelo, parámetros del modelo - horizonte de riesgo, nivel de confianza y comparación entre el cambio real en el valor de la cartera con el riesgo estimado.

En las instituciones financieras que pertenecen al Grupo de los Diez, el proceso de divulgación es bastante satisfactorio y contrasta significativamente con la práctica en los mercados mexicanos, donde la información sobre los riesgos que se muestra en los informes anuales y en los reportes de la información financiera trimestral es casi inexistente.

A pesar de los esfuerzos mencionados para garantizar la solvencia de las instituciones mediante una regulación prudencial, se han presentado importantes quebrantos en algunos bancos y casas de bolsa con cobertura internacional; ante ello; las autoridades de supervisión bancaria inglesas están evaluando los costos y beneficios de instrumentar modelos de supervisión menos prudenciales, lo que implicaría un retroceso en el proceso de la implantación de un marco de regulación prudencial en el sistema financiero

internacional.

2.2.1. Elementos de la regulación prudencial

El marco de una regulación prudencial se conforma de:

- Requerimientos de autorización de las instituciones financieras, en función de la experiencia y calidad moral de los administradores, del nivel de capitalización disponible y de los recursos operativos necesarios para realizar operaciones.
- Normas de capitalización, definición de estándares mínimos de conducta, reportes periódicos que informen al mercado sobre la evolución financiera de las entidades, y una supervisión mediante visitas de inspección.
- Seguro de depósito a los ahorradores que sustituyen la expectativa de apoyos incondicionales a las instituciones, lo que a su vez reduce la posibilidad de que las instituciones financieras tomen posiciones de riesgo excesivas.

Para instrumentar dicho marco de regulación prudencial, al menos se debe contar con los siguientes requisitos: criterios contables que permitan evaluar la situación financiera de las instituciones, reglas de capitalización claras, mecanismos de valuación de las carteras a precios de mercado, calificaciones de riesgo de las carteras, lineamientos mínimos sobre la actividad crediticia, normas de revelación de la información, códigos de conducta, lineamientos de control interno, límites a las operaciones y lineamientos sobre una administración integral de riesgos, donde se incluye la estimación del VaR.

2.2.2. Criterios para determinar los requerimientos de capital

Uno de los elementos fundamentales en el marco de la regulación prudencial, se refiere a los criterios para estimar los requerimientos de capital de las instituciones financieras asociados a sus posiciones de riesgo. Mientras que en el caso del riesgo de mercado ha habido avances importantes, como se menciona a continuación, sobre el riesgo de crédito todavía hay diferencias significativas entre los reguladores sobre que modelos son los más apropiados para calcular los requerimientos de capital por este tipo de riesgo. En cuanto al riesgo operativo los avances son más limitados.

Requerimientos de capital por riesgos de mercado

En lo que se refiere al riesgo de mercado de los portafolios de inversión, durante los últimos años se han utilizado diferentes modelos, principalmente en varios países del Grupo de los Diez, para determinar los requerimientos de capital. El punto de partida común de los modelos que se utilizan para estimar el requisito de capital es:

$$K_{j,t,m} = \Lambda_m ER_m(P_{j,t}) \quad (2.1)$$

Donde:

K =Requerimiento de capital por riesgo de mercado en “ t ” del portafolio “ j ” calculado con el modelo “ m ”.

Λ =Factor que determina la magnitud relativa de capital requerido.

$ER_m(P)$ =Exposición al riesgo de mercado, donde $P > 0$ son posiciones largas y $P < 0$ son cortas.

La diferencia entre cada uno de estos modelos tiene que ver con la forma en que se define, $ER(P)$. Las principales aproximaciones son:

Capital neto en riesgo . De acuerdo con este modelo la medida de exposición al riesgo es el capital neto o accionario de la institución que está en riesgo, es decir:

$$ER_{CN} = \sum P_{j,t} \quad (2.2)$$

Este modelo indica que el capital necesario tiene una relación directa con las pérdidas esperadas del portafolio. Por ejemplo, si se espera que los precios de mercado se deterioren 10 %, el capital necesario debería ser equivalente a 10 % de la posición de riesgo. Las limitaciones de esta aproximación son:

- Supone que el portafolio de la institución financiera está perfectamente diversificado, lo cual difícilmente ocurre en la práctica.
- Si el portafolio está perfectamente balanceado con posiciones cortas y largas, la exposición al riesgo podría ser muy pequeña o incluso cero, lo que dificulta determinar el valor de Λ .

Aproximación completa (“comprehensive”). Este modelo aplica un cargo de capital a todas las posiciones de riesgo, independientemente de si son posiciones cortas o largas. La SEC (Securities and Exchange Commission) en EUA utiliza una versión de este modelo, pero permite compensar todas las posiciones cortas, contra un cuarto de posiciones largas, como se muestra a continuación:

$$ER_{AC} = \sum |P_{j,t}| - \min \left(\sum_{P_p0} |P_{j,t}|, \frac{1}{4} \sum_{P_f0} |P_{j,t}| \right) \quad (2.3)$$

Para determinar los requerimientos de capital, la exposición al riesgo anterior, valuada a precios de mercado, se multiplica por un factor Λ igual a 15 %.

Aproximación de bloques. Este modelo determina el requerimiento de capital sobre la posición bruta y sobre la posición neta de riesgo de las instituciones, lo que implica reconocer ciertas correlaciones entre los instrumentos que conforman el portafolio. Sin embargo, el modelo supone que el portafolio no está perfectamente diversificado, por lo que establece un requerimiento de capital adicional por los riesgos específicos del portafolio. De acuerdo con este modelo la exposición al riesgo, valuada a precios de mercado, se define como:

$$ER_{AB} = \sum P_{j,t} + \frac{1}{2} \sum |P_{j,t}| \quad (2.4)$$

Este modelo es el que se aplica en México y el que los bancos del Grupo de los Diez utilizaron hasta diciembre de 1997. El requerimiento de capital depende del riesgo general de mercado y de los riesgos específicos del portafolio³. El cargo del capital por el riesgo de mercado general (Λ) es de 8.0 %, mientras que los requerimientos por los riesgos específicos fluctúan entre 2.00 % y 8.00 % en función de la liquidez y de la diversificación del portafolio.

Aproximación de portafolio simple. Este modelo lo utilizó Inglaterra durante 1986; es una versión simplificada de la versión del modelo

³Los riesgos específicos dependen del tipo de portafolio. Por ejemplo, en el caso de una cartera de acciones, el riesgo específico se deriva de la falta de diversificación de la cartera. En el caso de los instrumentos de renta fija, los riesgos específicos son: el riesgo de diferencial crediticio, el riesgo de insolvencia y el riesgo de modificaciones en la calificación crediticia.

de mercado de Sharpe. Para determinar la exposición al riesgo, este modelo supone que las de todos los activos son iguales a uno, y que la varianzas residuales de todos los activos en la fecha “t” son iguales. La exposición al riesgo se calcula como:

$$ER_{PS} = \sigma \sum P_{j,t} + \sqrt{1 + 1,5 \sum \left(P_{j,t} / \sum P_{j,t} \right)^2} \quad (2.5)$$

Donde:

σ =Desviación estándar semanal.

Esta aproximación es la primera en considerar la teoría del portafolio en la determinación de los requerimientos de capital, lo que permite tomar en cuenta la diversificación y las posiciones cortas y largas del portafolio. Para asegurar un nivel de confianza de 95 % las entidades reguladores fijaron un factor Λ igual a 2.

Modelos Internos. En enero de 1996 el Comité de Basilea autorizó a las instituciones bancarias a utilizar modelos desarrollados internamente para estimar los requerimientos de capital por concepto de riesgo de mercado. De estos modelos destacan dos clases:

- **Aproximación de valor en riesgo.** Para determinar el requerimiento de capital con base en este modelo se considera, al igual que en el modelo de bloques, un cargo por el riesgo de mercado general y otro por el riesgo específico; sin embargo, éstos se estiman con base en modelos de valor en riesgo. Para estimar los cargos de capital por concepto de mercado general el VaR de mercado se multiplica por tres, mientras que el VaR específico se multiplica por 3 ó por 4, dependiendo de si el modelo interno es capaz de aislar y de modelar de manera correcta el VaR.

- **Modelo de “Pre-Commitment”.** En 1995 el Federal Reserve Board dio a conocer un modelo alternativo para estimar los requerimientos de capital de mercado. De acuerdo con este modelo cada institución financiera determina de antemano los requerimientos de capital, así como una penalidad en el caso de que la institución registre una pérdida superior a la predeterminada.

Hay diferentes estudios que evalúan la confiabilidad de los modelos descritos. Las principales conclusiones, que podrían ser tomadas en cuenta por las instituciones financieras para elegir su modelo de riesgo, son:

- Los modelos de portafolio y de valor en riesgo son los modelos más eficientes para asignar el capital, mientras que la versión del capital neto en riesgo es la más ineficiente.
- El cargo de capital con el modelo de bloques es, en promedio, superior en dos puntos porcentuales al requerimiento estimado con los modelos de valor en riesgo.
- Los diferentes estudios no encuentran justificación del por qué las instituciones reguladoras no adoptan como un estándar los modelos de VaR para determinar los requerimientos de capital. Sobre todo cuando los modelos de VaR logran integrar los requisitos de la administración de riesgos con los propósitos regulatorios.
- No obstante, el modelo “Pre-Commitment” tiene ventajas adicionales que no tienen los modelos de valor en riesgo, ya que en la medida que la institución pueda ser penalizada por registrar pérdidas adicionales, o bien mantener requerimientos de capital excesivos si quisiera mantener una posición conservadora, tenderá a establecer requerimientos

de capital óptimos.

- Las aproximaciones estándar (bloques y completa) ignoran la calidad crediticia (riesgo específico) de los bonos que forman parte de la cartera de inversión.
- El cargo al capital por el riesgo específico de un portafolio de bonos estimado con el VaR es más bajo que el calculado con los modelos estándar; sin embargo, si se considera un solo bono, el cargo al capital calculado con el VaR es mayor.

2.3. Regulación prudencial en México

En el caso del sistema financiero mexicano, el Banco de México, la Comisión Nacional Bancaria y de Valores (CNBV), la Comisión de Seguros y Fianzas (CNSF) y la Comisión Nacional del Sistema de Ahorros para el Retiro (CONSAR) al igual que las instituciones reguladoras internacionales, se han adherido al principio de regulación prudencial. Las principales medidas regulatorias que las autoridades han adoptado son:

- En 1991 se determinó que el capital neto de los bancos debería ser al menos 8 % del total de los activos ponderados por riesgo. Actualmente los activos se clasifican en tres categorías de riesgo.

Cuadro 2.1: Activos y Ponderaciones de Riesgo

Activos	% Ponderación de Riesgo
Caja, valores gubernamentales, valores garantizados por Banxico o empresas filiales	0 %
Depósitos, valores y créditos a cargo de instituciones financieras, casas de bolsa, estados y municipios Avalado por instituciones	20 %
Créditos, valores y demás activos Valores emitidos por el Gobierno para el programa de apoyo en UDI's	100 %

- En 1995 el Banco de México en el Anexo 9 de la Circular 2019/85 del 20 de septiembre estableció que las instituciones financieras que pretendan participar en los mercados de coberturas cambiarias, compra venta de dólares a futuro y de opciones de compra y venta de dólares, deberán cumplir con 31 puntos, de los cuales destacan:
- Se involucra la Dirección General y al Consejo de Administración de las instituciones financieras, en la definición de la operación límites de riesgo, y aprobación de nuevos productos.
- Se crea la unidad de control de riesgos, independiente de las áreas de “trading” con la función de medir y de informar diariamente a la dirección general sobre la exposición al riesgo de la institución.
- Se necesita establecer un código de ética profesional.

- Se destaca que las unidades de control de riesgos deberán contar con sistemas de estimación y de valuación de riesgos.
- Los modelos de valuación deberán ser aprobados por consultores externos. La evaluación inicial de los 31 puntos está a cargo de entidades con experiencia en la supervisión del proceso de administración de riesgos y autorizadas por Banxico. Para fortalecer el esquema de regulación prudencial, se responsabiliza estas empresas auditoras de los dictámenes que realicen.
- El 28 de junio de 1996 la CNBV emitió las “Reglas para los requerimientos de capitalización de las casas de bolsa”. Los puntos más destacables son los siguientes:
 - El objetivo es establecer el régimen prudencial en materia de control de riesgos.
 - El riesgo se divide en riesgo de mercado, riesgo de liquidez y riesgo de crédito.
 - El modelo para estimar los riesgos es un “modelo de bloques”, similar al modelo propuesto por el Comité de Basilea en 1993 y que se describe en la sección anterior, es decir ignora la correlación entre factores de riesgo; pero supone perfecta correlación entre los rendimientos de los instrumentos cuyos plazos son similares (es decir, que están dentro de la misma banda).
- El requerimiento de capital se determina como la suma de requerimientos por cada tipo de riesgo:
 - Riesgo de mercado: 12 % del valor de la posición neta de la cartera

de inversión + entre 4 % y 8 % por el riesgo específico de cada tipo de producto.

- Riesgo de liquidez: 4 % del valor absoluto de cada serie accionaria y en función del grado de bursatilización.
- En la valuación de los instrumentos derivados, se distingue entre aquellos que son para fines de negociación y las que son para cubrir posiciones de riesgo. En ambos casos la valuación reconoce el impacto de las fluctuaciones de los precios sobre el valor de mercado de las posiciones.
- En octubre de 1998 el Banco de México indicó la conveniencia de que los bancos homogeneicen los 31 puntos que aplican a la operación, negociación y control de riesgo de los instrumentos derivados, a todos los productos y servicios que negocian las mesas financieras de las casas de bolsa y de los bancos.
- En enero de 1999, mediante la Circular 1423, la CNBV emitió las “Disposiciones de Carácter Prudencial en Materia de Administración Integral de Riesgos”. Las principales disposiciones son:
 - Las instituciones deberán definir los objetivos sobre su exposición al riesgo; deberán determinar las funciones y responsabilidades de las distintas áreas y órganos sociales en el proceso de administración de riesgo, y deberán medir, limitar, controlar e informar sobre los riesgos cuantificables.
 - Se responsabiliza al Consejo de Administración de la aprobación de las políticas y procedimientos para la administración integral de riesgos; políticas y procedimientos que se tendrán que evaluar periódicamente.

- Se responsabiliza a los Comités de Riesgo del seguimiento, control y divulgación de los riesgos de la institución. El Comité debe informar al Consejo de Administración por lo menos cada tres meses sobre los riesgos de la institución.
 - Las unidades de control de riesgos tendrán que ser unidades independientes de las áreas de negocio y serán las áreas responsables de vigilar que el sistema de riesgos sea integral. Cualquier desviación de los límites de riesgos deberán informarse a la Dirección General de la entidad. Asimismo, el proceso de administración de riesgos deberá ser auditable.
 - Se deberán cuantificar los riesgos de mercado, de crédito y de liquidez. En el caso del riesgo operativo se deberán establecer planes de contingencia y sistemas de control de alerta temprana.
 - Para administrar el riesgo de mercado se deberán utilizar modelos de valor en riesgo. Mientras la circular establece que se deberá evaluar la diversificación de los riesgos de mercado, y que las unidades de riesgo deberán allegarse de información histórica de los factores de riesgo, no define los parámetros, como lo hace Basilea, que deberán considerarse para la estimación del VaR⁴.
- Por último, en 1999 el Banco de México determinó un formato en el que las empresas responsables de la evaluación externa de los requerimientos de los 31 puntos tendrán que basarse para validar los modelos

⁴Además de que el VaR no se utilizará para estimar los requerimientos de capital, la Circular 1423 de la CNBV determina que a las instituciones que no cumplan con las disposiciones sobre la administración integral de riesgos se les podrán solicitar requerimientos adicionales de capital.

de valuación y de riesgos que se utilizan en la concertación y registro de los instrumentos derivados. Dicho formato incluye la verificación de los modelos en condiciones de estabilidad y de estrés y el análisis de la calidad de las estimaciones de los modelos (pruebas de back-testing).

2.4. Regulación Prudencial. Comité de Basilea

A nivel internacional las entidades reguladoras han adoptado el concepto de regulación prudencial, es decir, los bancos son los responsables de controlar los riesgos que eligen, bajo un criterio estándar de requerimientos de capital. A continuación se describen, de manera cronológica, los principales acuerdos tomados al respecto.

- 1988.⁵ Grupo de los 10. Basilea.
 - Requerimientos de capital mínimo aplicables a todos los países.
 - Capital mínimo: 8% del total de activos ponderados por riesgo.
 - Posiciones de riesgo excesivo (10% del valor del capital) se deben reportar.
 - Limite máximo en una sola posición: 25% del capital.
 - Suma total de posiciones de riesgo excesivo: 800% del capital.
- 1993. Comité de Basilea.⁶
 - Instrumentación del “Modelo Estándar”.

⁵Basle Comité on Banking Supervision (1988). El Grupo de los 10 lo integran: Bélgica, Canadá, Francia, Alemania, Italia, Japón, Luxemburgo, Holanda, Suecia, Suiza, el Reino Unido y EUA.

⁶Basle Committee on Banking Supervision (1993)

- Estimar el VaR de cada tipo de riesgo (modelo de bloques).
 - El VaR total se estima como la suma de los VaR individuales.
 - Problemas: No considera la correlación entre factores de riesgos. Supone perfecta correlación entre los instrumentos que están dentro de la misma banda; la duración de algunos instrumentos no se puede identificar.
- 1993. Grupo de los 30.
 - Valuar las posiciones a precios de mercado y estimar riesgos financieros con el VaR.
 - 1994. The Financial Accounting standard Board.
 - Los activos (acciones y deuda) se clasifican en tres, en función del tipo de posición de que se trate:
 - A vencimiento: se reportan a costo de amortización.
 - Para “trading”: se reportan a valor de mercado y las ganancias (pérdidas) van a resultados.
 - Para venta: Se reportan a valor de mercado y las ganancias (pérdidas) se registran en una cuenta de capital.
 - Recomienda la estimación del VaR.
 - 1995. Securities and Exchange Comisión (SEC).
 - La información que se entregue a la SEC debe incluir cualquiera de los tres reportes siguientes:
 - Flujos esperados por categoría de riesgo.

- Análisis de sensibilidad para estimar pérdidas por cambios hipotéticos en los precios de mercado.
 - Estimación del valor en riesgo.
- 1995. Federal Reserve Board.
 - Propone el modelo (precommitment) para estimar los requerimientos de capital.
 - El capital requerido lo determina cada institución en función de la pérdida máxima que las mesas de operación esperan observar durante un periodo determinado.
 - Si una institución financiera sufre una pérdida mayor a este capital estimado, el capital requerido debe incrementarse.
 - Tiene la ventaja de que cada institución determina su requerimiento de capital. Sin embargo, el modelo trabaja mal en periodos de crisis permanentes, sobre todo cuando, ante falta de liquidez en los mercados, no pueden instrumentarse las políticas de “stop-loss”; el riesgo sistemático del modelo es mayor que el del VaR.
 - 1995-1996-1997.⁷ Comité de Basilea.
 - Instrumentación de modelos internos elegidos por las propias instituciones.
 - La estimación del VaR de mercado debe cumplir con los siguientes requisitos:

⁷Comité de Basilea sobre supervisión Bancaria(1996), Comité de Basilea sobre Supervisión Bancaria (1996a) y Basle Committe on Banking Supervision(1997)

- Horizonte de riesgo: 10 días.
 - Intervalo de confianza: 99 %.
 - Observaciones históricas de por lo menos un año.
 - Se consideran correlaciones entre categorías de riesgo.
 - Requerimientos de capital igual al promedio aritmético del VaR de los últimos 60 días, multiplicado por un factor, que depende del riesgo de mercado general y específico del portafolio.
 - En el caso de que el portafolio de la institución financiera incluya opciones, el modelo interno debe incorporar factores delta y gamma si el modelo con el que se estima el VaR es un modelo analítico.
- Adicionalmente se establecen requerimientos de capital inversamente proporcionales a la calidad de los modelos internos de riesgo, la cual se determina con base en los resultados de las pruebas del modelo “back-testing”. En función del número de observaciones fuera del intervalo de confianza se determinan tres zonas: verde, con no más de 4 excepciones de un total de 250 observaciones; amarilla, entre 5 y 9 excepciones y roja con 10 o más observaciones fuera del intervalo de confianza.
 - Los instrumentos no incluidos en la estimación del riesgo con los modelos internos, lo deben analizar con base en el modelo regulatorio estándar.
 - La estimación del VaR debe estar a cargo de una unidad independiente; el proceso de administración de riesgo tiene que ser validado por peritos externos; las estimaciones del VaR tienen

que ser diarias, mientras que las pruebas de estrés y las de comprobación del modelo tienen que realizarse de acuerdo con un programa aprobado.

- 1999 Comité de Basilea.
 - Se destacan los principales elementos para modelar el riesgo de crédito y se menciona la posibilidad de utilizar los modelos internos para los propósitos regulatorios y de supervisión.

Capítulo 3

Cálculo de Riesgo de Mercado

3.1. Cálculo de Sensibilidades a Factores de Riesgo del Instrumento

La sensibilidad de un instrumento de inversión es el impacto que tiene ante el cambio infinitesimal en alguna de sus variables, ésta se puede expresar en cantidades monetarias, en días (según sea el caso), o en porcentajes.

Debido al alcance de éste trabajo, se definirán los siguientes tipos de sensibilidad.

$$\frac{\partial C}{\partial S} = \Delta_S \text{ Sensibilidad al precio del subyacente (Delta de posición)}$$

$$\frac{\partial^2 C}{\partial S^2} = \gamma_S \text{ Sensibilidad de la sensibilidad al precio del subyacente}$$

$$\frac{\partial C}{\partial t} = \Delta \text{ Sensibilidad a la tasa de interés (Delta)}$$

$$\frac{\partial C}{\partial p} = \theta \text{ Sensibilidad al tiempo (Theta)}$$

$$\frac{\partial C}{\partial \sigma} = v \text{ Sensibilidad a la volatilidad del subyacente (Vega)}$$

Donde C es la valuación de un instrumento de inversión arbitrario que se define de la siguiente forma:

$$C = K \cdot f(S, t, p, \sigma) \quad (3.1)$$

Donde:

K =Constante o monto a invertir

S =Precio del subyacente

t =Tasa de interés

p =Plazo de vencimiento

σ =Volatilidad del subyacente

Para obtener sensibilidades puntuales, es decir sensibilidad a incrementos específicos en el factor de riesgo, se utilizan las siguientes ecuaciones:

$$\Delta_S = K \left(f(S \cdot (1 + \eta), t + \delta, p + \omega, \sigma + \epsilon) - f(S, t, p, \sigma) \right)$$

$$\Delta_S = K \left(f(S \cdot (1 + \eta), t, p, \sigma) - f(S, t, p, \sigma) \right)$$

$$\gamma_S = K \cdot \phi \cdot [f(S \cdot (1 + \eta), t, p, \sigma) - f(S, t, p, \sigma)]$$

$$\Delta = K \left(f(S, t + \delta, p, \sigma) - f(S, t, p, \sigma) \right)$$

$$\theta = K \left(f(S, t, p + \omega, \sigma) - f(S, t, p, \sigma) \right)$$

$$v = K \left(f(S, t, p, \sigma + \epsilon) - f(S, t, p, \sigma) \right)$$

Donde η , ϕ , δ , ϵ , son incrementos que pueden tomar valores muy pequeños, cercanos y mayores a cero, lo más común son 100 puntos base, $100pb = 1\% = 0.01$, para el caso del incremento ω , se mide en días

siendo muy usual que $\omega = 1$, y las sensibilidades Δ_S , γ_S , Δ , v , θ se expresan en cantidades monetarias, y se lee como: “La pérdida o la ganancia que se tendría en caso del incremento en el valor del factor de riesgo “ X ” en “ y ” unidades”.

Cabe mencionar que el valor de f en 3.1 para muchos casos no depende de todas las variables definidas en 3.1, es decir que no tienen sensibilidad a todos los factores de riesgo, por ejemplo un bono solo tiene Δ y θ , al igual que un SWAP o un Cross Currency Swap (CCS), un ejemplo de instrumentos que tienen sensibilidad a todos los factores de riesgo son la opción, cap, floor, swaption, y casi todos los derivados.

3.2. Modelos de Valor en Riesgo

Diversos modelos de valor en riesgo se han desarrollado para estimar el riesgo de mercado de los portafolios de Inversión. En esta sección se describirá el de “Simulación Histórica” y se ejemplifican de manera detallada.

Si $f(v)$ es la distribución de probabilidad de los cambios futuros del valor de mercado de un portafolio de inversión, entonces dado un nivel de confianza “ α ”, se puede encontrar la mayor disminución del valor de mercado del portafolio (V) en relación con el valor vigente, tal que la probabilidad de que la reducción del valor del portafolio sea mayor a V es $1 - \alpha$. Esta mayor pérdida del valor del portafolio (V) es el valor en riesgo¹.

¹Una distribución de probabilidad es la relación entre los posibles resultados y su verosimilitud de ocurrencia.

Es decir, para estimar el VaR es necesario conocer la distribución de probabilidad de los cambios futuros del valor de mercado del portafolio y de cada una de sus posiciones durante el periodo de tenencia de la cartera.

En términos generales, para estimar la función de probabilidad y el VaR es necesario seguir cuatro etapas[2]:

1. Identificar los factores de riesgo que pueden influir en el valor de mercado del portafolio de inversión.
2. Estimar la distribución de probabilidad de los cambios de los factores de riesgo que podrían ocurrir durante el horizonte de inversión².
3. Calcular el VaR de las posiciones individuales y de todo el portafolio de inversión.

En función de los supuestos y alcances que se consideran para realizar las fases anteriores, los modelos estadísticos de valor en riesgo se pueden clasificar en: modelos de portafolio o de *varianza-covarianza*, donde la revaluación del portafolio se realiza mediante aproximaciones analíticas, y los modelos de simulación, históricos y de Monte Carlo, los cuales construyen la distribución de probabilidad a partir de la generación de escenarios y la revaluación del portafolio con cada uno de ellos.

²Cabe mencionar que en esta fase el objetivo es predecir un rango de posibles cambios en el factor de riesgo, y no el realizar un pronóstico específico del factor de riesgo. Cuando las unidades de control de riesgos intentan alcanzar el segundo objetivo empiezan a encontrarse con problemas de credibilidad.

3.2.1. Modelos de simulación histórica

Este método consiste en generar escenarios de los factores de riesgo (tasas de interés, tipo de cambio, precio de las acciones, etc.) a partir de la información observada en un determinado número de días. La estimación del VaR consiste en las siguientes fases:

1. Se crea una serie histórica del factor de riesgo(FR):

Figura 3.1: Ejemplo

Generación de Escenarios Modelo de Simulación Histórica										
Esc	Día	Precios (Pesos)		Variaciones Diarias		Estimación escenario		Valor de la posición (pesos)		
		Dólar	IPC	Dólar	IPC	Dólar	IPC	Dólar (A)	IPC (B)	Total (A+B)
0	17/Jun	10.2036	30,354.18							
1	18/Jun	10.2252	29,925.27	0.0215	-428.91	10.2791	27,006.89	102,791.28	270,068.90	372,860.18
2	19/Jun	10.2035	29,618.11	-0.0217	-307.16	10.2359	27,128.64	102,359.10	271,286.40	373,645.50
3	20/Jun	10.2435	29,847.85	0.0400	229.74	10.2976	27,665.54	102,975.92	276,655.40	379,631.32
4	23/Jun	10.2157	29,533.44	-0.0277	-314.41	10.2298	27,121.39	102,298.48	271,213.90	373,512.38
5	24/Jun	10.2013	29,464.54	-0.0145	-68.9	10.2431	27,366.90	102,431.05	273,669.00	376,100.05
6	25/Jun	10.2250	29,291.61	0.0238	-172.93	10.2814	27,262.87	102,813.53	272,628.70	375,442.23
7	26/Jun	10.2345	29,569.44	0.0095	277.83	10.2671	27,713.63	102,670.71	277,136.30	379,807.01
8	27/Jun	10.2160	29,199.94	-0.0185	-369.5	10.2391	27,066.30	102,390.61	270,663.00	373,053.61
9	30/Jun	10.2113	29,295.00	-0.0047	95.06	10.2529	27,530.86	102,528.78	275,308.60	377,837.38
10	01/Jul	10.1307	29,395.49	-0.0805	100.49	10.1771	27,536.29	101,770.65	275,362.90	377,133.55
11	02/Jul	10.1487	29,221.11	0.0179	-174.38	10.2755	27,261.42	102,755.04	272,614.20	375,369.24
12	03/Jul	10.1514	28,680.83	0.0028	-540.28	10.2603	26,895.52	102,603.41	268,955.20	371,558.61
13	04/Jul	10.1787	28,465.55	0.0273	-215.28	10.2849	27,220.52	102,848.60	272,205.20	375,053.80
14	07/Jul	10.1929	28,338.12	0.0142	-127.43	10.2718	27,308.37	102,718.06	273,083.70	375,801.76
15	08/Jul	10.1831	28,383.53	-0.0098	45.41	10.2478	27,481.21	102,478.01	274,812.10	377,290.11
16	09/Jul	10.2194	28,551.25	0.0362	167.72	10.2938	27,603.52	102,938.31	276,035.20	378,973.51
17	10/Jul	10.2113	28,095.79	-0.0081	-455.46	10.2495	26,980.34	102,495.26	269,803.40	372,298.66
18	11/Jul	10.2071	27,877.33	-0.0042	-218.46	10.2534	27,217.34	102,533.66	272,173.40	374,707.06
19	14/Jul	10.2261	27,614.54	0.0190	-262.79	10.2766	27,173.01	102,766.32	271,730.10	374,496.42
20	15/Jul	10.1962	27,517.11	-0.0299	-97.43	10.2277	27,338.37	102,276.88	273,383.70	375,660.58
21	16/Jul	10.2576	27,435.80	0.0614	-81.31	10.3190	27,354.49	103,189.67	273,544.90	376,734.57

Donde se tiene una posición de 100,000 dólares y de 10 contratos de Indices de Precios y Cotizaciones.

Por ejemplo para el escenario 1 0.0215 es igual a la diferencia de $10.2252 - 10.2036$ y el valor de la estimación del dolar $10.2046 = 10.2576 - 0.0215$ donde 10.2576 es el valor más reciente

del dolar, y finalmente el valor de la posición es la multiplicación de la estimación del escenario del dólar por 100,000 que da \$102,046.

Para estimar el VaR se estiman las pérdidas y ganancias del portafolio y se ordenan, como se muestra a continuación:

2. Se construye la serie de rendimientos. Es decir, se estiman las variaciones diarias de los factores de riesgo:

$$R_{t-i,t-i-1} = FR_t - FR_{t-1}$$

3. Se estima la serie alternativa del factor de riesgo. Para ello, al valor actual del factor de riesgo se agrega el valor de las variaciones calculadas:

$$FR_n \cdot \begin{pmatrix} R_2 \\ R_3 \\ \vdots \\ R_n \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} FR_2 \\ FR_3 \\ \vdots \\ FR_n \end{pmatrix}$$

4. El portafolio se revalúa con cada uno de los valores estimados de los factores de riesgo.
5. Se calculan las pérdidas y ganancias del portafolio. Estas se obtienen de la diferencia entre el valor del portafolio estimado con cada uno de los escenarios, y el valor del portafolio vigente en la fecha de valuación.
6. Se ordenan los resultados del portafolio de mayores pérdidas a mayores ganancias, y se calcula el VaR con base en el nivel de confianza (percentil o cuantil) elegido.

En la figura 3.1 se supone que el portafolio de inversión consiste en una posición larga de 100,000 dólares y de una posición larga de 10

contratos de IPC; el tipo de cambio peso/dólar vigente y el precio de la acción de Telmex son \$10.2576, y \$27,435.80, respectivamente. Si se consideran 21 datos precedentes a la fecha de valuación (16 de julio), los precios, estimados y el valor de las posiciones y del portafolio son:

Figura 3.2: Pérdidas y Ganancias

Pérdidas y Ganancias (pesos)				Pérdidas y Ganancias (ordenadas)			
Esc	Día	Dólar (A)	IPC (B)	Total (A+B)	Dólar (A)	IPC (B)	Total (A+B)
0	17-Jun						
1	18-Jun	- 398.39	- 3,476.00	- 3,874.39	-1,419.02	-4,589.70	- 5,175.96
2	19-Jun	- 830.57	- 2,258.50	- 3,089.07	- 912.80	-3,741.50	- 4,435.91
3	20-Jun	- 213.75	3,110.50	2,896.75	- 891.19	-3,476.00	- 3,874.39
4	23-Jun	- 891.19	- 2,331.00	- 3,222.19	- 830.57	-2,881.90	- 3,680.96
5	24-Jun	- 758.62	124.10	- 634.52	- 799.06	-2,331.00	- 3,222.19
6	25-Jun	- 376.14	- 916.20	- 1,292.34	- 758.62	-2,258.50	- 3,089.07
7	26-Jun	- 518.97	3,591.40	3,072.43	- 711.67	-1,814.80	- 2,238.15
8	27-Jun	- 799.06	- 2,881.90	- 3,680.96	- 694.41	-1,371.50	- 2,027.51
9	30-Jun	- 660.90	1,763.70	1,102.80	- 660.90	-1,339.70	- 1,680.77
10	01-Jul	- 1,419.02	1,818.00	398.98	- 656.01	- 930.70	- 1,365.34
11	02-Jul	- 434.64	- 930.70	- 1,365.34	- 586.26	- 916.20	- 1,292.34
12	03-Jul	- 586.26	- 4,589.70	- 5,175.96	- 518.97	- 461.20	- 1,074.00
13	04-Jul	- 341.07	- 1,339.70	- 1,680.77	- 471.61	- 161.20	- 932.81
14	07-Jul	- 471.61	- 461.20	- 932.81	- 434.64	124.10	- 634.52
15	08-Jul	- 711.67	1,267.20	555.53	- 423.35	1,267.20	398.98
16	09-Jul	- 251.36	2,490.30	2,238.94	- 398.39	1,763.70	555.53
17	10-Jul	- 694.41	- 3,741.50	- 4,435.91	- 376.14	1,818.00	1,102.80
18	11-Jul	- 656.01	- 1,371.50	- 2,027.51	- 341.07	2,490.30	2,238.94
19	14-Jul	- 423.35	- 1,814.80	- 2,238.15	- 251.36	3,110.50	2,896.75
20	15-Jul	- 912.80	- 161.20	- 1,074.00	- 213.75	3,591.40	3,072.43

Las pérdidas y ganancias por ejemplo de la cartera de dólares (-\$398.39) se obtienen al comparar el valor estimado del portafolio (\$102,791.28) con el valor actual del portafolio (\$103,189.67).

Si se supone un horizonte de inversión de un día y un nivel de confianza de 95.0%(es decir, se excluye el dato más adverso (5 % de 20 = 1), el VaR del portafolio asciende a \$4,435.91, lo que significa que en 19 de 20 observaciones las pérdidas deberían ser inferiores a los \$4,435.91. De las estimaciones destacan las siguientes conclusiones:

- Mientras el VaR del portafolio asciende a \$4,435.91 el VaR de cada una de las posiciones es de \$912.8 y de \$3,741.50, es decir, el VaR del portafolio es inferior a la suma de los valores en

riesgo individuales. Eso significa que este modelo incorpora las correlaciones inherentes en la información pasada - que pueden ser tanto correlaciones estables como correlaciones que brincan en el tiempo debido a cambios en el nivel del factor de riesgo - sin hacer supuestos explícitos del comportamiento de la correlación.

- El modelo no hace ningún supuesto sobre la forma de la distribución de los cambios en el valor del portafolio, de tal manera que el modelo de simulación histórica puede capturar los eventos extremos, las características leptocurtóticas de la distribución (colas más anchas que las de una normal) y el sesgo a la izquierda de la distribución que se deriva de grandes pérdidas en el mercado.
- Otras ventajas del modelo de simulación histórica son:
- Como se observa en el ejemplo, el modelo permite arreglar los riesgos a través de los diferentes mercados, en este caso el riesgo del mercado de divisas con el riesgo del mercado accionario.
 - En la medida en la que el portafolio se reevalúa con diferentes niveles de cada factor de riesgo, el modelo puede incorporar la característica no lineal de las opciones, así como efectos gamma y vega.
 - Si se contara con suficiente información podrían construirse varias trayectorias muestrales. En el ejemplo anterior, si se tuvieran 100 datos, se podrían utilizar diversos conjuntos de 20 datos. Asimismo el número de posibles trayectorias podría incrementarse si, en vez de dar el mismo peso a todas las observaciones, como en el ejemplo se les diera diferente ponderación, por ejemplo dar más peso a los datos recientes.
 - El método es robusto, fácil de instrumentar y muy intuitivo, lo que facilita su explicación a la alta dirección de instituciones financieras.
- Sin embargo, el modelo de simulación histórica también tiene importantes desventajas, destacan las siguientes:

- Cuando se incluyen portafolios muy grandes o con estructuras muy complicadas, el modelo se puede volver impráctico y computacionalmente muy caro. En esos casos es recomendable estimar el VaR por subportafolio, o por áreas de negocios.

- Una estimación eficiente del VaR con base en el modelo de simulación histórica requiere un trabajo disciplinado, ya que el usuario de estos modelos debe poner mucha atención, sobre todo en los siguientes casos:
 - Cuando las observaciones tienen la misma ponderación, la estimación del VaR puede cambiar de manera significativa después de que una observación se excluya de los cálculos.
 - Si la serie es muy larga se pueden incluir muchos eventos extremos que pueden oscurecer los beneficios de estimar el VaR de manera periódica, ya que el VaR estimado durante varios días podría ser el mismo y eventualmente cambiar, incluso drásticamente, por el sólo hecho de que un evento extremo desaparezca de la muestra.
 - No existen indicadores estadísticos que permitan determinar de manera óptima cuántas observaciones se debe incluir a priori en la estimación del VaR. Mientras mayor es el intervalo elegido, en principio mayor es la calidad de la estimación; no obstante, existe el riesgo de incorporar datos que impidan capturar los cambios estructurales en los mercados.

En conclusión, no obstante las limitaciones mencionadas, el “riesgo del modelo”³ de simulación histórica es reducido, ya que permite realizar medidas de riesgo locales (alrededor de los niveles de precios actuales) y globales (captura los eventos extremos) e incorpora la no linealidad de las opciones y las características leptocurtósicas de las distribuciones de probabilidad de las variaciones de los factores de riesgo.

3.2.2. Modelos de Portafolio o de varianza - covarianza

El modelo analítico, de portafolio o de varianza - covarianza parte de la teoría del portafolio de Markowitz. De acuerdo con este modelo, si una cartera de inversión se conforma de dos activos, X y Y , cuyos factores de riesgo son FR_x y FR_y y la relación entre el cambio en valor del portafolio (V) y el cambio en los factores de riesgo es lineal, el cambio en el valor de la cartera se define como ⁴:

$$\Delta V = \frac{\partial V}{\partial FR_x} \Delta FR_x + \frac{\partial V}{\partial FR_y} \Delta FR_y$$

Si se supone que los precios cambian diariamente, la dispersión de las variaciones del valor del portafolio en relación con su valor inicial se pueden estimar a través de la varianza de los cambios en el valor del portafolio. De tal manera que el concepto *ganancias diarias en riesgo* (GeR) se puede definir como:

$$GeR = \sqrt{\text{varianza}(\Delta V)}$$

$$\Rightarrow GeR = \sqrt{\text{varianza} \left[\Delta V \frac{\partial V}{\partial FR_x} \Delta FR_x + \frac{\partial V}{\partial FR_y} \Delta FR_y \right]} = \sqrt{\partial \Omega \partial'}$$

³El riesgo del modelo se refiere al riesgo de realizar estimaciones de VaR sesgadas, debido a que los supuestos son inadecuados

⁴Debido al supuesto de linealidad, las derivadas de segundo orden y las derivadas cruzadas son cero.

Donde Ω es la matriz de varianza-covarianza y ∂ es el vector de sensibilidades o ponderaciones de las posiciones (el supraíndice representa la transpuesta del vector fila), es decir:

$$\delta = \left[\frac{\partial V}{\partial FR_x} \quad \frac{\partial V}{\partial FR_y} \right]; \delta' = \begin{bmatrix} \frac{\partial V}{\partial FR_x} \\ \frac{\partial V}{\partial FR_y} \end{bmatrix}; \Omega = \begin{bmatrix} \sigma_{FR_x}^2 & \sigma_{FR_x FR_y} \\ \sigma_{FR_x FR_y} & \sigma_{FR_y}^2 \end{bmatrix}$$

Para estimar el VaR, es decir, las pérdidas esperadas, dado un nivel de confianza definido y un horizonte de inversión deseado, las GeR se multiplican por la raíz cuadrada del tiempo, y por el parámetro Φ , que dado el supuesto de normalidad permite alcanzar dicho nivel de confianza.⁵

$$VaR = \Phi \cdot \sqrt{\partial \Omega \partial'} \cdot \sqrt{T}$$

La versión de los modelos de portafolio de mayor difusión es la de Risk Metrics que desarrolló J.P. Morgan⁶. De acuerdo con este modelo, el VaR se calcula como:

$$VaR = \Phi \cdot \sigma_p \cdot \sqrt{T}$$

Donde ambas ecuaciones son similares, con la excepción de que la desviación estándar del portafolio (σ_p) se calcula a partir de la información de las posiciones del portafolio (ω) y de la matriz de varianza-covarianza (Ω) de los rendimientos de los factores de riesgo, es decir⁷:

⁵Sobre la regla de la raíz cuadrada del tiempo y el parámetro Φ

⁶J. P. Morgan (1996). Otros modelos que destacan son el Modelo de Portafolio Normal, y el Modelo Delta Normal, al respecto véase Wilson (1996); sin embargo, cabe mencionar que en la literatura hay confusión, ya que mientras Wilson (1996) identifica al modelo de Risk Metrics como un Modelo de Activos Normales, Jorion (1997) lo identifica como un Modelo Delta Normal.

⁷El modelo de Risk Metrics supone que los rendimientos condicionales se distribuyen normalmente con media cero y varianza unitaria. Donde la varianza del portafolio se estima con base en un modelo de promedios móviles ponderados exponencialmente.

$$VaR = \Phi \cdot \sqrt{\begin{bmatrix} \omega_1 \omega_2 \cdots \omega_n \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \sigma_1^2 & \sigma_{12} & \cdots & \sigma_{1n} \\ \sigma_{21} & \sigma_2^2 & \cdots & \sigma_{2n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \sigma_{n1} & \sigma_{n2} & \cdots & \sigma_n^2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \omega_1 \\ \omega_2 \\ \dots \\ \omega_n \end{bmatrix}} \cdot \sqrt{T}$$

o bien, en terminos de volatilidades y correlaciones:

$$VaR = \Phi \cdot \sqrt{\begin{bmatrix} \varphi_1 \varphi_2 \cdots \varphi_n \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \rho_{11} & \rho_{12} & \cdots & \rho_{1n} \\ \rho_{21} & \rho_{22} & \cdots & \rho_{2n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \rho_{n1} & \rho_{n2} & \cdots & \rho_{nn} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \varphi_1 \\ \varphi_2 \\ \vdots \\ \varphi_n \end{bmatrix}} \sqrt{T}$$

donde:

$$\varphi = \omega_i \sigma_i$$

ρ = Coeficiente de correlación

σ = Desviación Estándar

$\sigma_{ij} = \rho_{ij} \sigma_i \sigma_j$ = Covarianzas

$$\sigma_{ij} = \sigma_i^2$$

Esta versión de portafolio ha sido ampliamente criticada, las principales desventajas de este modelo son:

- La evidencia muestra que en términos generales las distribuciones de los rendimientos de los activos financieros muestran características leptocurtóticas (colas más anchas que una normal), lo que puede subestimar la estimación del VaR, el cual se concentra precisamente en las colas de la distribución. Asimismo, se ha probado que cuando el portafolio mantiene consistentemente posiciones cortas o largas, la distribución será sesgada a la izquierda o a la derecha, en ese orden.

- El modelo realiza estimaciones locales de riesgo, es decir, considera los cambios en los factores de riesgo alrededor de los niveles vigentes de las posiciones financieras. Eso significa que de presentarse un evento extremo, como la devaluación de 1994 o la caída del mercado bursátil durante 1998, las pérdidas que podrían observarse ni siquiera aparecerían en la distribución estimada a partir de la matriz de varianza - covarianza histórica.
- El modelo supone que las relaciones entre los cambios en los factores de riesgo y los cambios en el valor del portafolio son lineales, supuesto que es válido en el caso del ejemplo, donde la cartera incluye acciones y divisas; sin embargo, en el caso de instrumentos con convexidad como los bonos, o no lineales como las opciones, la estimación del VaR puede ser muy ineficiente.
- La explicación a la alta dirección de los resultados del VaR, obtenidos a partir del modelo de portafolio, seguramente requerirá de mayores, esfuerzos que los que se realizan con el modelo de simulación histórica.

A pesar de las críticas realizadas al modelo de portafolio, éste es uno de los métodos de mayor utilización en la industria bancaria, puesto que sus ventajas también son importantes:

- Es un modelo que se basa en la teoría del portafolio, es decir, es un modelo transparente que permite a los usuarios entender y evaluar las medidas de riesgo.
- La normalidad y la independencia serial permiten una aproximación parsimoniosa del uso de los datos, ya que con sólo dos parámetros, la

media y la desviación estándar, se puede construir la distribución de probabilidad de los cambios en el valor del portafolio.

- Es posible realizar análisis de sensibilidad al suponer diferentes valores de la matriz de varianza-covarianza.
- A pesar de que el modelo no captura los eventos extremos, la estimación sistemática del VaR permite realizar un análisis de riesgo-rendimiento y realizar una asignación del capital bajo indicadores de rendimiento ajustados por riesgo.
- Se destaca que una de las deficiencias del modelo es que no toma en cuenta los eventos extremos; sin embargo, debe mencionarse que cuando esos eventos se presentan, los supuestos de liquidez y de amplitud en los mercados se invalidan, lo que puede traducirse en estimaciones de riesgo sesgadas.
- Al igual que en los modelos de simulación, los riesgos de diferentes mercados se pueden agregar.
- Dado el supuesto de normalidad y de independencia serial de los rendimientos, es posible calcular el VaR con diferentes horizontes de inversión, siempre y cuando estos cambios en el horizonte sean reducidos, a partir de la regla de la raíz cuadrada del tiempo. Por ejemplo, si se supone que la estructura del portafolio se mantiene.

3.2.3. Adecuaciones al modelo de portafolio

Debido a las limitaciones del modelo de portafolio mencionadas en la sección anterior, se han desarrollado nuevos modelos que pretenden corregir dichas deficiencias. En esta sección se describen tres tipos de modelos:

Mezcla de Normales: Modelos de valor en riesgo que pretenden capturar la presencia de los eventos extremos.

Modelos Delta-Gamma: Modelos que incorporan indicadores de sensibilidad no lineales, o de segundo orden.

Modelos VarDelta: El objetivo de estos modelos es analizar la distribución marginal, de un instrumento o factor de riesgo, al riesgo total del portafolio

Modelos de Mezcla de Normales

El modelo de RiskMetrics supone que los rendimientos condicionales (rendimientos / desviación estándar) se distribuyen normalmente con media cero y varianza unitaria, lo que impide capturar los eventos extremos y provoca un gran número de violaciones del VaR.⁸

El modelo de mezcla de normales supone que los rendimientos de los activos financieros se generan con base en el siguiente modelo:

$$R_{it}^{MN} = \Psi R_{it}^{N1} + (1 - \Psi) R_{it}^{N2} \quad (3.2)$$

Donde:

R^{MN} son los rendimientos generados con la mezcla de normales.

$$R^{N1} \sim N(\mu_{N1}, \sigma_{N1}^2)$$

$$R^{N2} \sim N(\mu_{N2}, \sigma_{N2}^2)$$

$0 < \Psi \leq 1$ Con probabilidad p y $\Psi = 0$ con probabilidad $(1 - p)$.

El modelo de mezcla de normales supone que en condiciones de estabilidad (mismo “cluster”) los rendimientos se generan a partir de una distribución normal unitaria; sin embargo, si se presenta un evento extremo que

⁸De hecho el modelo de donde se obtiene la regla de la raíz cuadrada del tiempo, supone que los cambios son infinitesimales.

está fuera del cluster actual, los rendimientos se generan con otra distribución normal con mayor desviación estándar.

Es necesario tomar en cuenta que:

- La distribución de la mezcla de normales es asimétrica.
- Las colas de la distribución de la mezcla de normales son más anchas que las de la normal unitaria.
- La asimetría y la leptocurtosidad de la distribución se acentúan cuanto mayor es el valor de $(1 - \Psi)$, es decir, mientras mayor es la frecuencia de los eventos extremos.
- La presencia de colas más anchas que se generan con la mezcla de normales implica que los errores en la estimación del VaR deben ser menores que los derivados de una distribución normal, a pesar de que el nivel de confianza sea superior a 95 %.

Desafortunadamente, como el parámetro Ψ no es observable, es necesario estimar las desviaciones estándar (σ 's), y las medias (μ 's) de las distribuciones, así como el valor de la probabilidad (p y $1-p$), lo que significa que la estimación del VaR no es directa, lo que puede oscurecer los beneficios de esta metodología.

Para estimar los parámetros mencionados se han propuesto modelos de máxima verosimilitud cuasibayesianos y un algoritmo de Monte Carlo conocido como generador de escenarios de Gibbs. El objetivo de ambos modelos consiste en obtener la distribución marginal de Ψ , p y la varianza, a partir de distribuciones de probabilidad «a priori», es decir, a partir de los valores que el usuario cree que ocurrirán. Para ello se generan escenarios aleatorios

Monte Carlo, con base en funciones de densidad con colas anchas, como las distribuciones T de Student.

El valor óptimo de los parámetros se alcanza cuando se maximiza la función de verosimilitud. Posteriormente se combinan los valores de los parámetros supuestos y los calculados, y se estiman las distribuciones marginales de Ψ , p y de la varianza.

El resultado de este proceso es la distribución de los rendimientos correspondientes a los eventos extremos.

Modelos Delta-Gamma

El modelo del portafolio supone que la relación entre el cambio en los factores de riesgo y el cambio en el valor de la cartera es lineal; sin embargo, cuando la cartera incluye instrumentos de renta fija o títulos opcionales, ese supuesto ya no es válido, lo que provoca un sesgo en la estimación del VaR.

Por tanto el objetivo del modelo delta-gamma consiste en incorporar la no linealidad de los instrumentos en la estimación del valor en riesgo. Para ello se supone que el cambio en el valor del portafolio (V) depende de los cambios en los factores de riesgo FR_x y FR_y que se supone que se distribuyen normalmente de manera conjunta, con media cero y covarianza Ω .

Una manera de estimar las variaciones en el valor del portafolio derivados de los cambios en los factores de riesgo FR_x y FR_y y al mismo tiempo incorporar las relaciones no lineales y las relaciones cruzadas de los factores de riesgo, consiste en aproximar los cambios en el valor de la cartera mediante una expansión de Taylor de segundo orden.

Capítulo 4

Medición de Riesgo de Mercado

En intermediarias financieras generalmente se establece un límite de posible pérdida máxima al día, es decir, un límite de VaR diario, el cual en caso de darse, no afecte de manera relevante a la institución, es por esto que es necesario establecer una forma de medición del riesgo del portafolio, ya sea por sensibilidades o estableciendo un límite de monto máximo a operar, éste límite está implícito al establecer un límite de sensibilidades por factores de riesgo.

En este capítulo se establece una medición global de riesgo de mercado, con una estructura de límites de sensibilidades, dado un límite de VaR fijo, probando que si un portafolio cumple con la estructura de límites de sensibilidades establecidos entonces estará debajo del límite de VaR, esto con el objeto de probar que la metodología utilizada es consistente y a prueba de cualquier posición de la tesorería.

Asímismo se genera un algoritmo para una estructura de límites de sen-

sibilidades, mediante un ejemplo real, donde se simulan vectores de sensibilidades que cumplan con la estructura de límites, observando que al simular un número grande de vectores de sensibilidades y al obtener el VaR de cada uno de éstos vectores vía simulación histórica, se obtendrá al final un vector de valores en riesgo, y el percentil α , con $\alpha = 0,01$, de éste vector es menor o igual al límite de VaR establecido.

4.1. Límites de Valor en Riesgo

En una institución financiera es muy común que haya límites de posible pérdida máxima al día, es decir límites de valor en riesgo por lo que se plantearán límites de valor en riesgo, por factores de riesgo (tasa de Interés, volatilidad (*renta variable, tipo de cambio y tasa de interés*), posición¹) y global, por lo que para éste caso práctico se establecerán los siguientes límites de VaR:

Límites de VaR MX\$ Millones	
VaR IR	395
VaR EQ	230
VaR FX	35
VaR Vega EQ	15
VaR Vega FX	70
VaR Vega IR	45
VaR Total	410

Donde:

VaR IR es el VaR del factor de riesgo de tasa de interés.

VaR EQ es el VaR de la posición en renta variable.

¹La Posición puede ser cambiaria o de acciones.

VaR FX es el VaR de la posición en tipos de cambio.

VaR Vega EQ es el VaR de la volatilidad de renta variable.

VaR FX es el VaR de la volatilidad de tipo de cambio.

VaR IR es el VaR de la volatilidad de tasa de interés.

VaR Total que es el VaR de todos los factores de riesgo.

Nótese que el VaR no se suma por lo que el límite no es la suma de los límites de valor en riesgo de los factores de riesgo.

4.2. Estructura de Límites de Sensibilidad

Se plantearán límites de sensibilidad por factores de riesgo (tasa de interés, volatilidad, posición), y por cada de factor de riesgo excepto posición, se establecerán límites por plazo, y únicamente para tasa de interés se establecerán límites adicionales por riesgo base, y por curva de descuento (cetes, tiie, libor, etc).

Asímismo es necesario que en una institución financiera o en cualquier lugar donde se operen instrumentos bursátiles, se deberá tener un histórico de sensibilidades por los factores de riesgo que se vayan a medir para obtener un estructura de límites de sensibilidades consistente, si no es así se puede consultar la estrategia de inversión, los instrumentos a los cuales se piensa invertir, y el monto que se piensa invertir, ésto para realizar simulaciones de escenarios extremos para obtener así el VaR de éstos y de ahí implementar el límite de sensibilidad; éste procedimiento se puede aplicar para productos nuevos de los que no se tenga operación previa.

4.2.1. Límites de Tasas de Interés

En la mayoría de las instituciones financieras el 80 % de las operaciones bursátiles son con productos de tasas de interés como bonos, bonos m, cetes, revisables, swaps, y en algunos casos ccs (Cross Currency Swaps), forwards, futuros, opciones de tasas de interés, etc., lo que refleja la importancia del establecimiento de éstos límites.

En primer lugar se tienen que establecer los plazos con los que se va a trabajar, y las curvas en las cuales hay mas sensibilidad, por lo que del histórico que se tenga hay que observar por plazo y por curva el mínimo y el máximo valor de cada factor, o en caso de no tener historia, consultar la estrategia de inversión, e inferir escenarios extremos con montos muy grandes para establecer límites de sensibilidad.

En el ejercicio práctico se utilizan seis curvas de tasas de interés: tres para pesos mexicanos (MXP) y tres para dólares (USD), las cuales son:

Moneda	Nombre de la Curva	Sensibilidad a:
MXP	CETES	bonos gubernamentales, futuros, opciones (TI), forwards
MXP	FORWARD	futuros (tipo de cambio), ccs opciones (TC), forwards (TC)
MXP	THE	SWAP, Bonos Bancarios, opciones (TI), futuros, forwards
USD	GUBERNAMENTAL	bonos Gub., futuros, opciones (TI), forwards
USD	BASIS	futuros (TC), ccs opciones (TC), forwards (TC)
USD	LIBOR	swap, bonos bancarios, opciones (TI), futuros, forwards

Estas curvas para el caso práctico y para el análisis tienen que ser curvas cupón cero.

Antes de definir la estructura de los límites de sensibilidad para la tasa de interés, es necesario definir los siguientes conceptos:

Sensibilidad por plazo: Es la pérdida o ganancia que se tendría en caso

de que la tasa de interés se incrementara en un δ^2 a un plazo determinado, en general se mide la sensibilidad con incrementos en la tasa en puntos base.

Sensibilidad por Tramo: Es la suma de las sensibilidades de plazos determinados.

Riesgo Base: Riesgo de que la cobertura utilizada para cubrir una posición de contado no cubra exactamente los movimientos adversos a la posición, para el caso de sensibilidades se medirá el riesgo base entre dos curvas ya que si se cubre una posición tendría que ser entre dos curvas, un ejemplo sería tener una posición larga en bonos m a 10 años, y cubrir esa posición con una posición corta con un swap al mismo plazo, en este caso tendríamos sensibilidad negativa en la curva de CETES y sensibilidad positiva en la curva de TIIE. El riesgo base se mide con la siguiente ecuación:

$$\text{Si } (S_{c_1})(S_{c_2}) < 0 \Rightarrow RB = \min\{|S_{c_1}|, |S_{c_2}|\} \quad \text{si no} \Rightarrow RB = 0$$

Donde:

RB = Riesgo Base.

S_{c_1} = Sensibilidad de la curva 1 (puede ser la suma de sensibilidades por algunos plazos o de toda la curva).

S_{c_2} = Sensibilidad de la curva 2 (puede ser la suma de sensibilidades por algunos plazos o de toda la curva).

Sensibilidad por Moneda: Es la suma de las sensibilidades de todos los plazos de las curvas de una misma moneda.

Sensibilidad Total: Es la suma de las sensibilidades de todos los plazos de todas las curvas.

La estructura de límites de sensibilidades de tasa de interés es de la siguiente forma:

²En el ejercicio $\delta = 0.01$

Límite por Plazo: Se utilizan los mismos límites para las tres curvas en MXP, y otros diferentes para las tres curvas en USD. Los plazos y los límites son:

Límites de Sensibilidad por Plazos (Tasa de Interés) MXP\$ Millones											
Moneda	91	182	365	720	1095	1800	2520	3600	5400	7200	10800
MXP	240	240	240	240	240	240	328	328	54.6	54.6	54.66
USD	59.5	59	59.5	59.5	59	59.5	111.3	111.3	18.5	18.5	18.5

Esta estructura es muy importante ya que es la columna vertebral de la medición del riesgo a tasa de interés, ésta se puede obtener de un histórico obteniendo el máximo y el mínimo de la sensibilidades observadas, y tomar el máximo del valor absoluto de estos dos números y multiplicarlo por un factor mayor que 1 segun convenga, o bien, estableciendo un límite grande con base en un escenario extremo, es decir una operación con un nominal grande, y sobre todo tener en cuenta la estrategia con la que se va a invertir para ser coherentes con el establecimiento de éstos límites. En este caso se plantean los límites con estrategia a corto, mediano y largo plazo, tanto para USD como para MXP.

Límite por Tramo: Se utilizan tres tramos por moneda, los límites son:

Límites de Sensibilidad por Tramo Direccional (Tasa de Interés) MXP\$ Millones			
Moneda	[0, 365]	(365, 1800]	(1800, 10800]
MXP	800	750	800
USD	370	340	470

El límite por tramo tambien se establece de acuerdo a la estrategia de inversión. Para MXP se establece un límite direccional que sea muy cercano a la suma de los límites de los plazos por tramo y por moneda, para que al simular las sensibilidades sean lo mas cercanas a la realidad, ya que en la estrategia para MXP por periodos se hacen estrategias de riesgo cero,

es decir, que la suma de las sensibilidades por moneda y por tramo tiende por lo general a ser pequeña. Para el caso de USD el límite de sensibilidad por tramo es muy cercano al doble de la suma de límites de sensibilidad por plazo en USD, esto refleja que la sensibilidad que se simulará será con una estrategia abierta ya que la posición de curvas de USD estarán apenas cubiertas entre sí.

Límite por Riesgo Base por Tramo: Se utilizan tres tramos para cada par de curvas en MXP:

Límites de Riesgo Base por Tramo (Tasa de Interés)			
(Tasa de Interés) MXP\$ Millones			
Moneda	[0, 365]	(365, 1800]	(1800, 10800]
Cetes vs Forward	314	661	758
Forward vs TIIE	314	661	758
TIIE vs Cetes	626	694	592

El límite de riesgo base por tramo se establece de acuerdo a la estrategia de inversión, al igual que el límite por tramo direccional, en éste caso se establece un límite de riesgo base por tramo únicamente para curvas de tasas de interés en MXP; si el límite de riesgo base por tramo es pequeño significa que en ese tramo y para ese par de curvas la posición tiene que estar mas cubierta entre esas dos curvas que si el límite de riesgo base fuera mas amplio, ésto se hace para que al momento de simular con esta restricción, la sensibilidad sea lo mas real posible, es decir, se simulan sensibilidades estratégicas.

Límite por Moneda: Se utilizan dos límites que restringen la suma de todos los plazos de las curvas de la moneda respectiva, estos son:

Límites de Sensibilidad por Moneda (Tasa de Interés) MXP\$ Millones	
Moneda	Límite Total
MXP	1250
USD	580

Para el caso de MXN el límite que se toma es muy cercano a $f=0.5$ de la suma de los límites por plazos en MXN, éste límite se toma así por estrategia de inversión, ya que la mayoría de la posición en curvas de MXN se cubren entre sí, si $f > 0.5$ se podría tomar como que la estrategia no es cubrir su posición totalmente con curvas de MXP, o simplemente la estrategia es no cubrir su posición, ahora si $f < 0.5$ se estaría obligando a cubrir casi en su totalidad su posición con curvas en MXP. Para el caso de USD, f es muy cercano a 0.9 lo que nos indica que la estrategia en USD está muy abierta, casi no cubre su posición con curvas de USD, esto es coherente con el límite de sensibilidades por tramo de USD.

Límite Total: El límite de sensibilidad total es:

Límite de Sensibilidad Total (Tasa de Interés) MXP\$ Millones
1500

Este límite es muy cercano al 80% de la suma de los límites de sensibilidad por moneda, lo que refleja que las curvas en MXP y las curvas en USD se cubren muy ligeramente entre sí, finalmente reflejando que en USD se apuesta por una estrategia de posición abierta, en MXP una estrategia de posición más cerrada cubriéndose en su mayoría entre sus curvas, y cubriéndose ligeramente entre sí la posición de las curvas en USD con las de MXP.

4.2.2. Límites de Sensibilidad a la Volatilidad

Los límites que se establecen en ésta sección son de sensibilidad de volatilidad (Vega) de opciones europeas al incremento de cien puntos base en la volatilidad, éstas opciones son: opciones de tipo de cambio (MXP-USD, MXP-EUR), opciones de renta variable (IPC, SPX500³), opciones de tasa de interés (TIIE), por lo que se establecerán límites a las superficies de volatilidad del subyacente de la opción.

En este caso de sensibilidad a la volatilidad, los límites que se establecen se plantean con base en históricos de vega y estrategia de inversión; aunque no se tengan históricos de vega, con la estrategia de inversión se pueden plantear. A diferencia de los límites de sensibilidad a tasa de interés, en este apartado solo se establecen límites de vega por plazo de vencimiento de la opción europea, límites totales de vega por tipo de subyacente (tipo de cambio, renta variable o tasa de interés) y límite total de vega.

La estructura de límites de volatilidad se divide en:

Límites de Sensibilidad a la Volatilidad de Renta Variable

Límites de Vega de Indices por Plazos: Los límites de vega que se establecen son para las opciones europeas del IPC y del indicador SPX500, uno es en MXP y el otro es en USD, respectivamente, los límites son:

Límites de Vega de Renta Variable por Plazos MXP\$Millones					
Subyacente	30	91	182	365	720
IPC	0.4	0.4	0.4	0.8	1.9
SPX500	0.35	0.35	3	0.1	0

Límites de Vega de Renta Variable Total: La suma de las vegas por plazo tiene que ser menor a:

³Indicador de Standard&Poors

Límite de Vega Total
Renta Variable MXP\$Millones
4.20

Este límite es muy cercano al 40 % de la suma de todos los límites de vega de renta variable por plazos, lo cual indica que la estrategia es tener diferentes es (larga o corta) en diversos plazos tal que la suma de todas las vegas tienda a ser un número pequeño; se podría inferir también que la posición de IPC se esta cubriendo con la de SPX500, lo cual al simularse resulta en valores más cercanos a la realidad.

Límites de Sensibilidad a la Volatilidad de Tipo de Cambio

Límites de Vega de Tipo de Cambio por Plazos: Los límites de vega que se establecen son para las opciones europeas de EUR-MXP (Euros-Pesos) y de USD-MXP (Dólares-Pesos), los límites son:

Límites de Vega					
Tipo de Cambio MXP\$ Millones					
Subyacente	30	91	182	365	720
USD-MXP	14	20.5	28	14	14
EUR-MXP	5.1	75	10.3	5.1	5.1

Límites de Vega de Tipo de cambio Total: La suma de las vegas por plazo tiene que ser menor a:

Límite de Vega Total
Tipo de Cambio MXP\$ Millones
25

Este límite es muy cercano al 15 % de la suma de todos los límites de vega de tipo de cambio por plazos, lo cual indica que la estrategia es que la posición de EUR-MXP se cubre a si misma a lo largo de sus plazos o se esta cubriendo con la de USD-MXP, y viceversa.

Límites de Sensibilidad a la Volatilidad de Tasa de Interés

Límites de Vega de Tasa de Interés por Plazos: Los límites de vega que se establecen son para las opciones europeas de la TIIE, los límites son:

Límites de Vega					
Tasa de Interés por Plazos MXP\$ Millones					
Subyacente	365	1095	1460	1800	3600
TIIE	30	87.5	87.5	10	10

Límites de Vega de Tasa de Interés Total: La suma de las vegas por plazo tiene que ser menor a:

Límite de Vega Total
Tasa de Interés MXP\$ Millones
73

Este límite es muy cercano al 30 % de la suma de todos los límites de vega de tipo de cambio por plazos, lo cual indica que la estrategia es que la posición de opciones de TIIE se cubra a si misma a lo largo de sus plazos.

4.2.3. Límites de Sensibilidad a la Posición en Renta Variable

Los límites que se establecen en esta sección son de sensibilidad a subidas de 1 % en el precio de índices de renta variable, es decir, ¿cuanto se ganaría o perdería en caso de que el precio del índice se incremente en un 1%?, para éste caso solo se utiliza sensibilidad al índice IPC y al SPX500, pero se podrá extender para cualquier acción o índice de renta variable.

Establecer un límite de sensibilidad para este rubro es muy sencillo, no importa si se tiene un histórico o no, basta con saber cual es monto máximo a operar en renta variable.

Los límites de sensibilidad a la posición de renta variable son:

Límites de Sensibilidad	
Posición en Renta Variable MXP\$ Millones	
IPC	64
SPX500	35
Limite Total	84

Se tiene que el límite total de sensibilidad a la posición en renta variable es el 84 % de la suma de la sensibilidad al indicador IPC y el SPX500, esto debido a que en esta estrategia no se opera el monto total que se tiene, generalmente se invierte el 84 % de su efectivo en posición, sin embargo si pueden llegar a ocupar hasta 64 millones de sensibilidad en IPC y 35 millones para SPX500, pero su sensibilidad conjunta no puede exceder los 84 millones.

4.2.4. Límites de Sensibilidad a la Posición en Tipo de cambio

Los límites que se establecen en esta sección son de sensibilidad a subidas de 1 % en el tipo de cambio. En este caso solo se utilizará sensibilidad al tipo de cambio USD-MXN y EUR-MXN, pero se podrá extender para cualquier tipo.

Al igual que en la sensibilidad de la posición de renta variable es muy sencillo establecer un límite para este rubro.

Los límites de sensibilidad a la posición de tipo de cambio son:

Límites de Sensibilidad	
Posición de Tipo de cambio MXP\$ Millones	
USD-MXP	47.20
EUR-MXP	10
Limite Total	45

Se tiene que el límite total de sensibilidad a la posición en tipo de cambio es cercano al 80 % de la suma de la sensibilidad USD-MXN y EUR-MXN, esto

debido a que en esta estrategia no se opera el monto total, generalmente se invierte el 80% de su efectivo en posición, sin embargo se puede ocupar hasta 47.2 millones de sensibilidad en USD-MXN y 10 millones para EUR-MXN, pero su sensibilidad conjunta no puede exceder los 45 millones.

4.3. Simulación de Sensibilidades

Una vez que se tiene la estructura de límites de sensibilidades, establecidas en la sección 4.2, se deben simular escenarios de sensibilidades aleatorios tal que cumplan con todos los límites establecidos en dicha sección. En total se tienen 95 factores de riesgo los cuales son: *factores de riesgo para sensibilidad de tasa de interés* donde se tienen 11 plazos para pesos y 11 para dólares, y para cada moneda se tienen 3 curvas, es decir se tienen 33 factores de riesgo para cada moneda, lo que nos da un total de 66 factores de riesgo de sensibilidad a tasa de interés; para el caso de *factores de riesgo con sensibilidad de volatilidad* se tienen 10 factores de riesgo para vega de tipo de cambio, 10 para vega de indicadores, y 5 para vega de tasa de interés, obteniendo un total de 25 factores de riesgo para vega; y finalmente para los *factores de riesgo con sensibilidad de posición de tipo de cambio y de renta variable* se tienen 4 factores de riesgo, por lo que finalmente se tienen un total de 95 factores de riesgo.

Para simular sensibilidades que cumplan con los límites establecidos en 4.2 hay que seguir el siguiente algoritmo:

1. Crear un vector L de $1 \times p$ donde p es el número de factores de riesgo, y donde cada columna de L es el valor del límite del plazo del factor de riesgo correspondiente, la estructura del vector L se especifica a

continuación:

Vector de Límites L^T	
Curva	Tipo de Riesgo
CETES	IR
FORWARD	IR
TIIIE	IR
GUBERNAMENTAL	IR
BASIS	IR
LIBOR	IR
VOL-USDMXP	VOL-FX
VOL-EURMXP	VOL-FX
VOL-IPC	VOL-EQ
VOL-SPX500	VOL-EQ
VOL-TIIIE	VOL-IR
FX-EUR	FX
FX-USD	FX
EQ-IPC	EQ
EQ-SPX500	EQ

Donde para los tipos de riesgo:

a) Tasa de Interés:

- IR con moneda en MXP y curvas CETES, FORWARD y TIIIE (utilizando los límites establecidos en *Límites de sensibilidad por plazos* sección 4.2.1) se ocupan 33 columnas del vector L .

- IR con moneda en USD y curvas GUBERNAMENTAL, BASIS y LIBOR (utilizando los límites establecidos en *Límites de sensibilidad por plazos* sección 4.2.1) se ocupan 33 columnas del vector L .

Ocupando así 66 columnas para el factor de riesgo tasa de interés en MXP y USD.

b) Volatilidad:

- Vol-FX y curvas VOL-USDMXP y VOL-EURMXP (utilizando los límites establecidos en sección: *Límites de Vega de Tipo de Cambio* en 4.2.2) se ocupan 10 columnas del vector L .
- Vol-EQ y curvas VOL-IPC y VOL-SPX500 (utilizando los límites establecidos en sección: *Límites de Vega de Indices por plazos* en 4.2.2) se ocupan 10 columnas del vector L .
- Vol-IR y curvas VOL-TIIE (utilizando los límites establecidos en sección: *Límites de Vega de Tasa de Interés por plazos* en 4.2.2) se ocupan 10 columnas del vector L . Ocupando así 25 columnas para el factor de riesgo de Volatilidad para los subyacentes SPX500, IPC, USDMXP, EURMXP y TIIE.

c) Posición de Renta Variable: EQ y subyacentes IPC y SPX500 (utilizando los límites establecidos en sección 4.2.3) se ocupan 2 columnas del vector L .

d) Posición de Tipo de Cambio: FX y subyacentes USDMXP y EURMXP (utilizando los límites establecidos en sección 4.2.4) se ocupan 2 columnas del vector L .

Por lo tanto se tienen 66 columnas para tasa de interés, 25 columnas para volatilidad, y 4 columnas para la posición de renta variable y de Tipo de cambio, por lo que el vector L es un vector de sensibilidades de 95 factores de riesgo (columnas).

2. Simular un vector aleatorio Y con distribución $U[-1, 1]^4$ de tamaño $1xp$.

3. Crear un vector S , multiplicando cada columna de L por cada columna de Y , tal que si:

$$L = (l_1, \dots, l_p) \text{ y } Y = (y_1, \dots, y_p) \Rightarrow S = (l_1y_1, \dots, l_py_p)$$

4. Si S cumple con todos los límites establecidos en la sección 4.2 entonces ir al siguiente paso, si no regresar al paso 3.

5. Incluir como fila el vector S a la matriz X

6. Repetir desde el paso 3 hasta que X sea de dimension nxp donde $n=10,000$.

⁴ $Y \sim U[-1, 1] \Rightarrow Y = 2V - 1$ donde $V \sim U[0, 1]$

4.4. Cálculo de VaR (Simulación Histórica)

Una vez obtenida la matriz X de sensibilidades simuladas que cumplen con todos los límites establecidos, donde cada fila de X se interpreta como la posible posición de la tesorería con base en su estrategia de inversión, se obtiene el VaR por simulación histórica de cada fila de X . Para Calcular el VaR por simulación histórica se tiene que obtener el nominal de cada sensibilidad simulada, y para lo cual son necesarios los valores históricos (al menos 500) de las variables de las tasas de interés de cada curva, de las volatilidades de las opciones de cada subyacente, de los tipos de cambio y de los índices. En este ejercicio se utilizan los siguientes factores de riesgo:

Curva	Riesgo	Moneda	Plazos por Tipo de Riesgo						
			Plazos	IR	VOL-FX	VOL-EQ	VOL-IR	FX	EQ
CETES	IR	MXP	0				x	x	
FORWARD	IR	MXP	30		x	x			
THIE	IR	MXP	91	x	x	x			
GUB.	IR	USD	182	x	x	x			
BASIS	IR	USD	365	x	x	x	x		
LIBOR	IR	USD	720	x	x	x			
VOL-USDMXN	VOL-FX	USD	1095	x			x		
VOL-EURMXN	VOL-FX	EUR	1460				x		
VOL-IPC	VOL-EQ	MXP	1800	x			x		
VOL-SPX500	VOL-EQ	USD	2520	x					
VOL-THIE	VOL-IR	MXP	3600	x			x		
FX-EUR	FX	EUR	5400	x					
FX-USD	FX	USD	7200	x					
EQ-IPC	EQ	MXP	10800	x					
EQ-SPX500	EQ	USD							

4.4.1. Obtención del Nominal a partir de la Sensibilidad

A tasa de interés

para cualquier instrumento, la sensibilidad a la tasa de interés, en caso de un incremento δ , se calcula::

$$\Delta = Nom \left[\left(1 + (t + \delta) \frac{p}{360} \right)^{-1} - \left(1 + t \frac{p}{360} \right)^{-1} \right] \quad (4.1)$$

Donde:

Δ =Sensibilidad de tasa de interés (Delta)

Nom =Nominal

t =tasa

p =plazo

δ =Factor de stress para sensibilidad

Despejando el Nominal de la ecuación 4.1 tenemos que:

$$Nom = \frac{\Delta}{\left[\left(1 + (t + \delta) \frac{p}{360} \right)^{-1} - \left(1 + t \frac{p}{360} \right)^{-1} \right]} \quad (4.2)$$

Así, a partir de las sensibilidades simuladas se obtiene de manera analítica el nominal, una vez que se tiene este valor se puede obtener el VaR.

A Volatilidad

Para este caso las vegas que se obtienen son únicamente de opciones europeas por lo que el Nominal se despeja de la fórmula de Black-Scholes, sin embargo la obtención del Nominal también depende de la superficie de volatilidad, es decir, si la superficie de volatilidad es “*At the money*”⁵ o “*Moneyness*”⁶.

La superficie de volatilidad del factor de riesgo VOL-FX es “*At the money*”, para los factores de riesgo VOL-EQ y VOL-IR se tiene una superficie de volatilidad “*Moneyness*”. La sensibilidad al incremento en un factor $\delta = 1pb$ de la volatilidad es:

$$v = Nom \left[Spot(D_{t_e}) \left(N(d1_\delta) - N(d1) \right) - Spot(1 + \kappa) D_{t_l} \left(N(d2_\delta) - N(d2) \right) \right] \quad (4.3)$$

⁵Cuando el strike es igual al spot

⁶Cuando el strike es muy cercano al spot

Donde:

v =Sensibilidad a volatilidad (Vega)

Nom =Nominal

$Spot$ =Precio del Subyacente

κ =Factor de diferencia entre strike y spot para superficie de volatilidad “*Moneyness*”

$D_{t_e} = \left(1 + t_e \frac{p}{360}\right)^{-1}$ Factor de Descuento de tasa extranjera

$D_{t_l} = \left(1 + t_l \frac{p}{360}\right)^{-1}$ Factor de Descuento de tasa local

$d_{1\delta} = -\log(1 + \kappa) + \frac{(t_{cl} - t_{ce} + \frac{(\sigma + \delta)^2 p}{730})}{(\sigma + \delta) \left(\frac{p}{365}\right)^{\frac{1}{2}}}$

$d_{2\delta} = -\log(1 + \kappa) + \frac{(t_{cl} - t_{ce} - \frac{(\sigma + \delta)^2 p}{730})}{(\sigma + \delta) \left(\frac{p}{365}\right)^{\frac{1}{2}}}$

$d_1 = -\log(1 + \kappa) + \frac{(t_{cl} - t_{ce} + \frac{\sigma^2 p}{730})}{\sigma \left(\frac{p}{365}\right)^{\frac{1}{2}}}$

$d_2 = -\log(1 + \kappa) + \frac{(t_{cl} - t_{ce} - \frac{\sigma^2 p}{730})}{\sigma \left(\frac{p}{365}\right)^{\frac{1}{2}}}$

$N(\cdot)$ =Distribución Acumulativa de una Normal Estándar

$t_{ce} = \log\left(1 + t_e \frac{p}{360}\right) \frac{365}{p}$ Tasa Continua Extranjera

$t_{cl} = \log\left(1 + t_l \frac{p}{360}\right) \frac{365}{p}$ Tasa Continua Local

t_l =Tasa Simple Local

t_e =Tasa Simple Extranjera

p =plazo

σ =Volatilidad

δ =Factor de stress a la volatilidad

Despejando Nom de 4.3 tenemos que:

$$Nom = \frac{v}{\left[Spot(D_{t_e}) \left(N(d_{1\delta}) - N(d_1) \right) - Spot(1 + \kappa) D_{t_l} \left(N(d_{2\delta}) - N(d_2) \right) \right]} \quad (4.4)$$

Para el factor de Riesgo VOL-FX $\kappa = 0$ ya que la superficie de volatilidad de sus subyacentes son “*At the money*”, su curva de descuento para tasa local es la FORWARD, y para la tasa extranjera depende de su subyacente, en este caso es la LIBOR para USDMXN y la LIBOR de EUROS para EURMXN.

Para el factor de Riesgo VOL-EQ se tiene un valor $\kappa = 0.0175$ para IPC y $\kappa = 0.0175$ para SPX500, ya que la superficie de volatilidad de sus subyacentes son “*Moneyness*”, para este caso $t_l = t_e$, es decir que solo se utiliza una curva para descontar la prima de la opción y se utiliza la THIE para el IPC y la LIBOR para el SPX500.

Para el factor de Riesgo VOL-IR se tiene un valor $\kappa = 0.05$ y $t_l = t_e$ y el *SPOT* = 1 ya que el subyacente es una tasa de interés, en éste caso el descuento de la prima de la opción se hace con la curva THIE.

A Posición de Indices de Renta Variable

Para obtener el Nominal de la Posición de Indices de Renta Variable a partir de su sensibilidad, se calcula a través del incremento del precio del índice en un 1% como se establece en la sección 4.2.3, por lo que la sensibilidad a la Posición de Indices de Renta Variable se obtiene de la siguiente forma:

$$\Delta_{eq} = Nom \cdot (-\eta) \quad \Rightarrow \quad Nom = -\frac{\Delta_{eq}}{\eta} \quad (4.5)$$

Donde:

Nom =Nominal

Δ_{eq} =Sensibilidad a la posición de índices de renta variable

P =Precio del índice

η =Porcentaje de incremento en el Precio ($\eta = 1\%$)

Observemos que el nominal dada la sensibilidad de la posición de índice de renta variable sólo depende del porcentaje de incremento en el precio.

A la Posición de Tipo de Cambio

Para obtener el nominal de la posición de tipo de cambio a partir de su sensibilidad es totalmente análogo a la obtención del nominal de la posición de índices de renta variable:

$$\Delta_{fx} = Nom \cdot (-\eta) \quad \Rightarrow \quad Nom = -\frac{\Delta_{fx}}{\eta} \quad (4.6)$$

Donde:

Nom =Nominal

Δ_{fx} =Sensibilidad a la posición de tipo de cambio

P =Tipo de Cambio en Pesos

η =Porcentaje de incremento en el Precio ($\eta = 1\%$)

Observemos que el nominal dada la sensibilidad de la posición de tipo de cambio sólo depende del porcentaje de incremento en el precio.

4.4.2. Obtención del VaR por Simulación Histórica

Una vez que se obtienen los nominales a partir de las sensibilidades, se deben obtener las pérdidas o las ganancias, que es la revaluación de los nominales en cada escenario con base en su instrumento, donde los escenarios se obtienen de históricos de los factores de riesgo, en este caso cada escenario es la diferencia del valor de cada factor de un día contra el anterior. De esta forma obtenemos la pérdida o la ganancia de cada escenario a partir del nominal y de las ecuaciones 4.1, 4.3, 4.5 y 4.6, pero el valor de la δ y de la η es el valor de cada escenario correspondiente al factor de riesgo y el plazo

que le corresponda. Entonces las pérdidas o las ganancias de cada factor de Riesgo se calculan de la siguiente forma:

Pérdidas y ganancias de Tasa de Interés

Se obtienen 66 valores de pérdidas y ganancias por cada escenario, siendo 500 escenarios, y esto sólo se puede obtener teniendo una matriz de 66 x 500 valores que son diferencias de tasas de interés a través del tiempo, por lo que el escenario 500 es la diferencia de los valores de las tasas de interés del día 499 menos los valores del día 500.

$$PL_{IR_i} = Nom \left[\left(1 + (t + esc_i) \frac{p}{360} \right)^{-1} - \left(1 + t \frac{p}{360} \right)^{-1} \right] \quad (4.7)$$

Donde:

PL_{IR_i} = Pérdida o Ganancia del escenario i

Nom = Nominal

t = tasa a la fecha de valuación del VaR

p = plazo

$esc_i = t_{fi} - t_{fi-1}$, $i = 1, \dots, 500$, Valor del escenario i en la curva y el plazo correspondiente a la tasa, con t_{fi} = Tasa a la Fecha del ejercicio menos i días hábiles.

Una vez que se obtienen todos los valores de Pérdidas o Ganancias de todas las curvas y de todos sus plazos se tiene que obtener el valor global de pérdidas o ganancias por curva, por moneda, y por todo el factor de riesgo, es decir los siguientes valores:

$$PL_{IR-MXN_i} = PL_{IR-TIIE_i} + PL_{IR-FORWARD_i} + PL_{IR-CETES_i}$$

Donde:

$PL_{IR-TIIE_i}$ = Es la suma de pérdidas o ganancias de todos los plazos de la curva TIIE del escenario i .

$PL_{IR-FORWARD_i}$ =Es la suma de pérdidas o ganancias de todos los plazos de la curva FORWARD del escenario i .

$PL_{IR-CETES_i}$ =Es la suma de pérdidas o ganancias de todos los plazos de la curva CETES del escenario i .

PL_{IR-MXN_i} =Es la suma de pérdidas o ganancias de todos los plazos de las curvas en pesos del escenario i .

$$PL_{IR-USD_i} = PL_{IR-LIBOR_i} + PL_{IR-BASIS_i} + PL_{IR-GUBERNAMENTAL_i}$$

Donde:

$PL_{IR-LIBOR_i}$ =Es la suma de pérdidas o ganancias de todos los plazos de la curva LIBOR del escenario i .

$PL_{IR-BASIS_i}$ =Es la suma de pérdidas o ganancias de todos los plazos de la curva BASIS del escenario i .

$PL_{IR-GUBERNAMENTAL_i}$ =Es la suma de pérdidas o ganancias de todos los plazos de la curva GUBERNAMENTAL del escenario i .

PL_{IR-USD_i} =Es la suma de pérdidas o ganancias de todos los plazos de todas las curvas en dólares del escenario i .

$$PL_{IR-TOTAL_i} = PL_{IR-MXN_i} + PL_{IR-USD_i}$$

Donde:

$PL_{IR-TOTAL_i}$ =Es la suma de pérdidas o ganancias de todos los plazos de todas las curvas de tasas de interés del escenario i .

Pérdidas y ganancias de Volatilidad

En éste caso se obtienen 25 valores de Pérdida o Ganancia por escenario, y teniendo la matriz de escenarios de 25 x 500 se calcula el PL^7 de éste factor de la siguiente manera:

$$PL_{VOL_i} = Nom \left[Spot(D_{t_e}) \left(N(d1_{esc_i}) - N(d1) \right) - Spot(1+\kappa) D_{t_l} \left(N(d2_{esc_i}) - N(d2) \right) \right] \quad (4.8)$$

Donde:

PL_{VOL_i} = Pérdida o Ganancia del escenario i

Nom = Nominal

$Spot$ = Precio del Subyacente

κ = Factor de diferencia entre Strike y Spot para superficie de Volatilidad

“*Moneyness*”

$D_{t_e} = \left(1 + t_e \frac{p}{360} \right)^{-1}$ Factor de Descuento de Tasa Extranjera

$D_{t_l} = \left(1 + t_l \frac{p}{360} \right)^{-1}$ Factor de Descuento de Tasa Local

$d1_{esc_i} = -\log(1 + \kappa) + \frac{(t_{cl} - t_{ce} + \frac{(\sigma + esc_i)^2 p}{730})}{(\sigma + esc_i) \left(\frac{p}{365} \right)^{\frac{1}{2}}}$

$d2_{esc_i} = -\log(1 + \kappa) + \frac{(t_{cl} - t_{ce} - \frac{(\sigma + esc_i)^2 p}{730})}{(\sigma + esc_i) \left(\frac{p}{365} \right)^{\frac{1}{2}}}$

$d1 = -\log(1 + \kappa) + \frac{(t_{cl} - t_{ce} + \frac{\sigma^2 p}{730})}{\sigma \left(\frac{p}{365} \right)^{\frac{1}{2}}}$

$d2 = -\log(1 + \kappa) + \frac{(t_{cl} - t_{ce} - \frac{\sigma^2 p}{730})}{\sigma \left(\frac{p}{365} \right)^{\frac{1}{2}}}$

$N(.)$ = Distribución Acumulativa de una Normal Estándar

$t_{ce} = \log\left(1 + t_e \frac{p}{360}\right) \frac{365}{p}$ Tasa Continua Extranjera a la fecha de valuación del VaR

$t_{cl} = \log\left(1 + t_l \frac{p}{360}\right) \frac{365}{p}$ Tasa Continua Local a la fecha de valuación del VaR

t_l = Tasa Simple Local a la fecha de valuación del VaR

⁷La Pérdida o la Ganancia

t_e = Tasa Simple Extranjera a la fecha de valuación del VaR

p = plazo

σ = Volatilidad a la fecha de valuación del VaR

$esc_i = \sigma_{f_i} - \sigma_{f_{i-1}}$ $i = 1, \dots, 500$, Valor del escenario i en la superficie y el plazo correspondiente a la volatilidad del subyacente, con σ_{f_i} = Volatilidad a la Fecha del ejercicio menos i días hábiles.

Notese que 4.3 es la misma ecuación que 4.8 con la única diferencia que $\delta = esc_i$. Ahora se tiene que obtener el PL por superficie de volatilidad, y por subyacente.

$$PL_{VOL-EQ_i} = PL_{VOL-IPC_i} + PL_{VOL-SPX500_i}$$

Donde:

$PL_{VOL-IPC_i}$ = Es la suma de las PL de todos los plazos de la superficie de volatilidad del IPC del escenario i .

$PL_{VOL-SPX500_i}$ = Es la suma de las PL de todos los plazos de la superficie de volatilidad del SPX500 del escenario i .

PL_{VOL-EQ_i} = Es la suma de las PL de todos los plazos de las superficies de volatilidad de índices de Renta Variable del escenario i .

$$PL_{VOL-FX_i} = PL_{VOL-USDMXN_i} + PL_{VOL-EURMXN_i}$$

Donde:

$PL_{VOL-USDMXN_i}$ = Es la suma de las PL de todos los plazos de la superficie de volatilidad de tipo de cambio USDMXN del escenario i .

$PL_{VOL-EURMXN_i}$ = Es la suma de las PL de todos los plazos de la superficie de volatilidad de tipo de cambio EURMXN del escenario i .

PL_{VOL-FX_i} = Es la suma de las PL de todos los plazos de las superficies de volatilidad de tipo de cambio del escenario i .

PL_{VOL-IR_i} = Es la suma de las PL de todos los plazos de las superficies de volatilidad de tasa de interés del escenario i .

Pérdidas y ganancias de Posición de Índices de Renta Variable

Para este caso sólo se obtienen 2 valores de PL , uno de IPC y otro de SPX500, y se tiene un matriz de escenarios de índices de renta Variable de 2×500 , y la PL se calcula de la siguiente forma:

$$PL_{POS-EQ_i} = Nom \left[-\frac{esc_i}{P} \right] \quad (4.9)$$

Donde:

Nom =Nominal

PL_{POS-EQ_i} =Pérdida o Ganancia del escenario i

P =Precio del índice a la fecha de valuación del VaR

$esc_i = P_{f_i} - P_{f_{i-1}}$ $i = 1, \dots, 500$, Valor del escenario i del índice correspondiente, con P_{f_i} =Precio a la Fecha del ejercicio menos i días hábiles.

Nótese que 4.9 es igual a 4.5 con excepción de que $\eta = esc_i$. En éste caso la PL de la posición global de índices de renta variable es:

$$PL_{POS-EQ_i} = PL_{POS-EQ-IPC_i} + PL_{POS-EQ-SPX500_i}$$

Donde:

PL_{POS-EQ_i} =Es la suma de la PL de la posición del IPC y del SPX500 del escenario i .

$PL_{POS-EQ-IPC_i}$ =Pérdida o ganancia de la posición del IPC del escenario i .

$PL_{POS-EQ-SPX500_i}$ =Pérdida o ganancia de la posición del SPX500 del escenario i .

Pérdidas y ganancias de Posición de Tipo de Cambio

Para este caso sólo se obtienen 2 valores de PL , uno de USDMXN(dólar-peso) y otro de EURMXN(EUR-MXN), y se tiene un matriz de escenarios de Posición de Tipo de Cambio de 2×500 , y la PL se calcula de la siguiente forma:

$$PL_{POS-FX_i} = Nom \left[-\frac{esc_i}{P} \right] \quad (4.10)$$

Donde:

Nom =Nominal

PL_{POS-FX_i} =Pérdida o Ganancia del escenario i

P =Precio del índice a la fecha de valuación del VaR

$esc_i = P_{f_i} - P_{f_{i-1}} \forall i \leq 500$, Valor del escenario i del tipo de cambio correspondiente, con P_{f_i} =Precio a la Fecha del ejercicio menos i días hábiles.

Nótese que 4.10 es igual a 4.6 con excepción de que $\eta = esc_i$. En éste caso el PL de la posición global de índices de renta variable es:

$$PL_{POS-FX_i} = PL_{POS-FX-USDMXN_i} + PL_{POS-FX-EURMXN_i}$$

Donde:

PL_{POS-FX_i} =Es la suma de la PL de la posición del USDMXN y del EURMXN del escenario i .

$PL_{POS-FX-USDMXN_i}$ =Pérdida o ganancia de la posición de dólares del escenario i .

$PL_{POS-FX-EURMXN_i}$ =Pérdida o ganancia de la posición de euros del escenario i .

Una vez obtenidas las PL de cada factor de riesgo, se calcula la PL global, que es la suma de las PL por factor de riesgo, es decir:

$$PL_{TOTAL_i} = PL_{IR_i} + PL_{VOL_i} + PL_{POS-EQ_i} + PL_{POS-FX_i}$$

Donde:

PL_{TOTAL_i} = Es la PL global del vector de sensibilidad simulado que cumple con la estructura de límites definida en 4.2.

Una vez obtenidas las pérdidas o las ganancias globales de cada escenario, se puede obtener el VaR por curva, por moneda, por factor de riesgo, y total. De las 500 PL por curva, por moneda, factor de riesgo y global se toma el percentil 1 %, es decir el valor más cercano al 5° peor escenario de cada PL , por curva, por moneda, factor de riesgo y global, siendo éste el valor del VaR por curva, por moneda, por factor de riesgo, y total, respectivamente.

De ésta forma por cada fila de la matriz X creada en la sección 4.3 se obtiene un VaR, por factor de riesgo y global, asimismo al obtener los Valores en Riesgo de todas las filas de la matriz X , se obtienen un vector de valores en riesgo, por factor de riesgo y global, y el percentil 1 % es menor o igual a los límites de VaR establecidos en 4.1, lo que conduce a que la estructura de límites descrita en 4.2 es coherente y si no se rebasan estos límites se prueba con un nivel de confianza al 99 % no se rebasarán los límites de VaR establecidos en las sección 4.1.

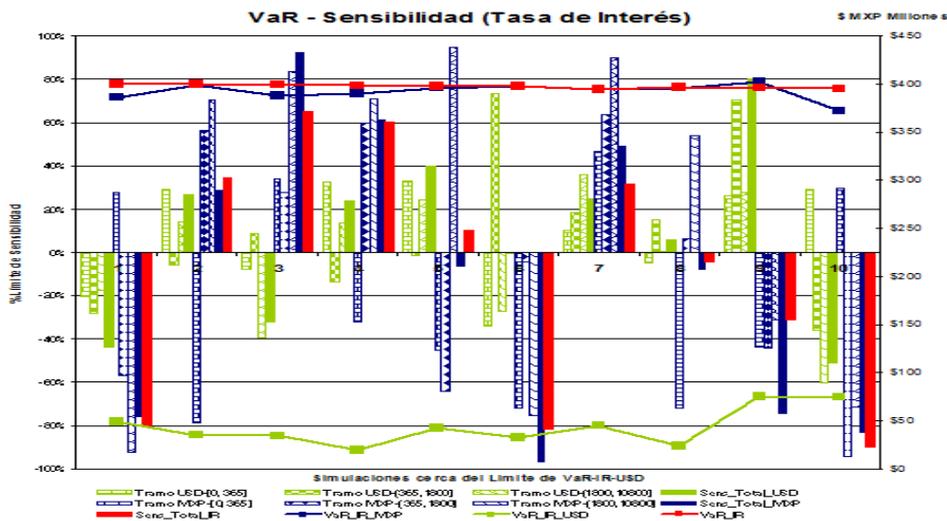
4.5. Análisis de los Resultados Obtenidos

En ésta parte se analizan los resultados obtenidos del ejercicio por factor de riesgo, relación sensibilidad-VaR, y análisis global del ejercicio.

4.5.1. Relación VaR Tasa de Interés y sus Límites de Sensibilidad

Después de haber simulado 10,000 vectores aleatorios de sensibilidad y de haber obtenido 10,000 valores en riesgo, se toma el percentil al 0.01 % de este vector de valores en riesgo para así establecer el VaR máximo que se contrasta con los límites establecidos en 4.1, de ésta forma se grafica el escenario más cercano al percentil 0.01 %, y se analiza la relación sensibilidad-VaR de tasa de interés.

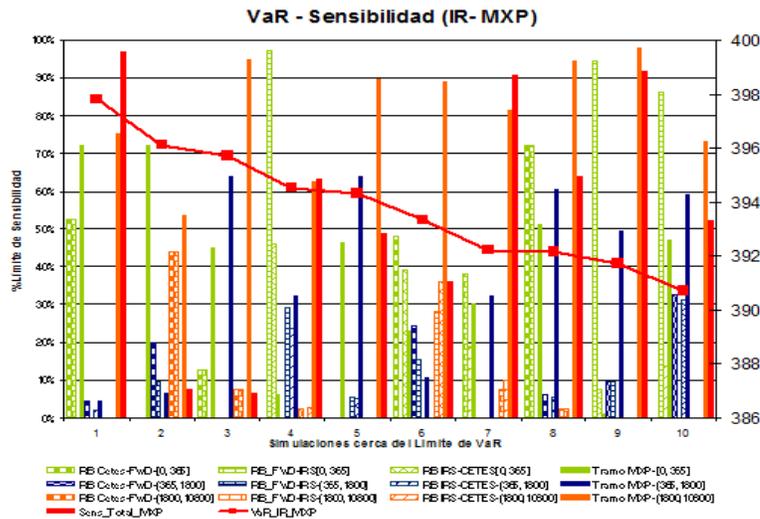
Figura 4.1:



En la gráfica 4.1 se observa que el VaR global de tasa de interés tiene un

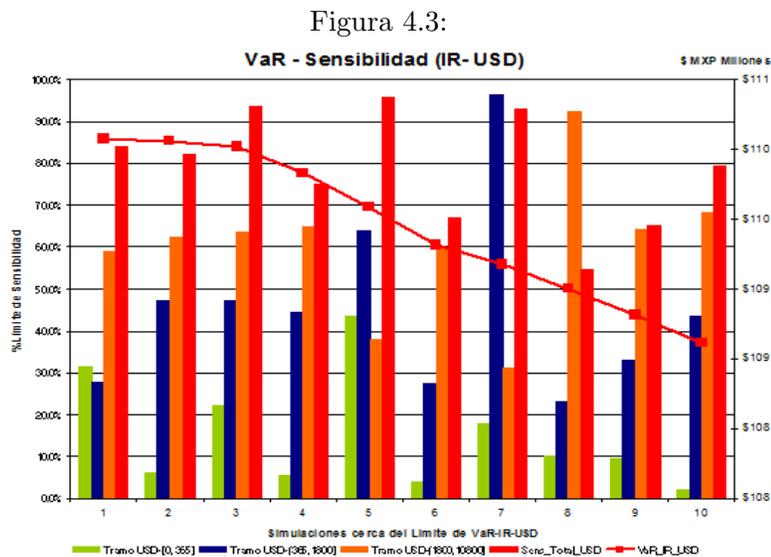
índice alto de correlación con el VaR de tasa de interés de MXP, y que a mayor sensibilidad total (MXN y USD), de MXP y de USD hay mayor VaR, también se observa que a mayor sensibilidad por tramo también implica mayor VaR como es el caso de la cartera 8 donde se tiene un uso de límite mayor al 50 % en pesos en el tramo (1800 – 10800] con sensibilidad positiva, y un uso del 70 % del límite del tramo menor a un año con sensibilidad negativa, lo que implica que los plazos mayores a 5 años se tiene más volatilidad que en los plazo menores a un año donde a mayor sensibilidad en plazos mas grandes implica mayor VaR.

Figura 4.2:



En la gráfica 4.2 hay 10 escenarios, éstos son los vectores simulados que tienen un VaR de tasa de interés de MXP muy cercano al percentil 0.01 % del vector de valores en riesgo de tasa de interés en MXP, en ésta gráfica se tiene el porcentaje absoluto del límite de las sensibilidades especificadas

en 4.2.1 (valor absoluto de la suma de las sensibilidades con base en los criterios de dicha sección), y se observa que éstas carteras⁸ tienen un uso muy alto en el límite de sensibilidad direccional en los tramos (365 – 1800] y (1800 – 10800] (mayor al 50%), y en general se puede observar que en la mayoría de las 10 carteras aleatorias se tiene un alto uso del límite total de sensibilidad de MXP, en resumen entre mas consumo de límites por tramo direccional y límite total de sensibilidad en MXP se tiene mas VaR, asimismo si se tiene un consumo alto de algún límite de riesgo Base como es el caso de la cartera 4 del gráfico donde se tiene un 97% de consumo en riesgo base de FWD-IRS, y se tiene un consumo mayor del 90% en el límite por tramo direccional mayor a 5 años se obtiene un VaR igual al límite de VaR de tasa de interés establecido en 4.1.

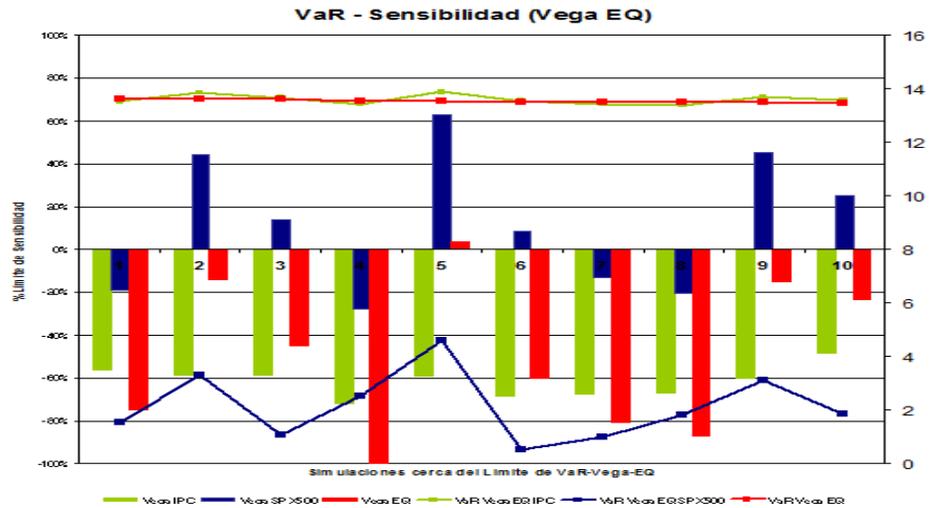


⁸Vector de sensibilidades simuladas con base en los límites y criterios de la sección 4.2

Para la gráfica 4.3 se tiene un razonamiento similar a la de pesos, excepto que en USD no se establecieron límites de riesgo base entre curvas, sin embargo se observa que a más sensibilidad para los tramos mayores a 1 año hay mas VaR, y también se tiene que el consumo del límite de sensibilidad total de USD oscila entre el 55 % y el 95 %, lo que implica un VaR elevado.

4.5.2. Relación VaR Volatilidad y sus Límites de Sensibilidad

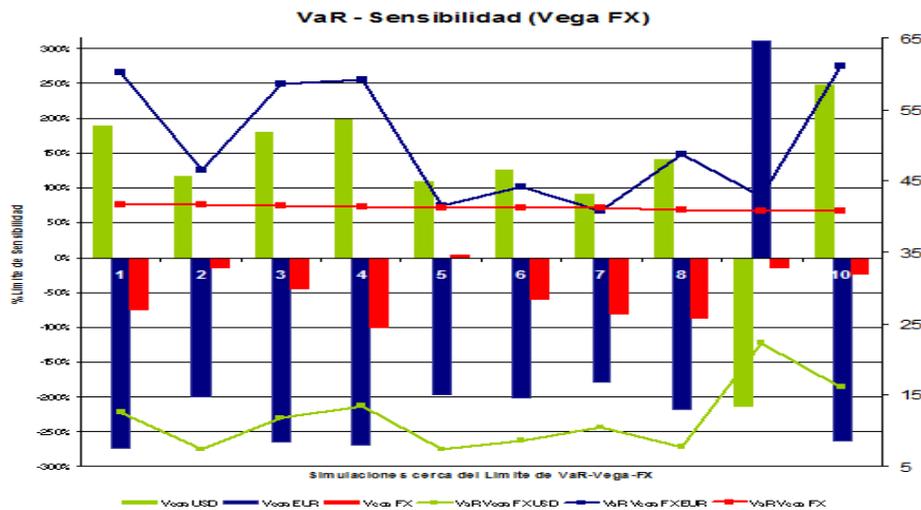
Figura 4.4:



Para la relación de VaR-Vega de índices de renta variable (VaR-Vega-EQ) se tiene que sólo hay un límite de sensibilidad a la volatilidad de índices de renta variable, mismo que se puede observar en la gráfica la gráfica 4.4 muestra que el VaR-Vega-EQ tiene un índice alto de correlación con el VaR del IPC, esto debido a que los límites establecidos en 4.2.2 son mayores para

los plazos del IPC que para el índice SPX-500, en la gráfica se observa que a mayor consumo del Límite de Volatilidad separado por subyacente mayor es su VaR, ya que en la cartera 5 el límite global de Volatilidad es muy pequeño sin embargo el consumo del límite de SPX500 y de IPC es muy cercano al 60 %, éstas sensibilidades se netean entre sí, sin embargo el IPC es mas volátil que el SPX500, y para este caso en específico, el volumen de sensibilidad en los plazos mayores a un año para el IPC es mucho mayor al volumen del SPX500 para el mismo plazo.

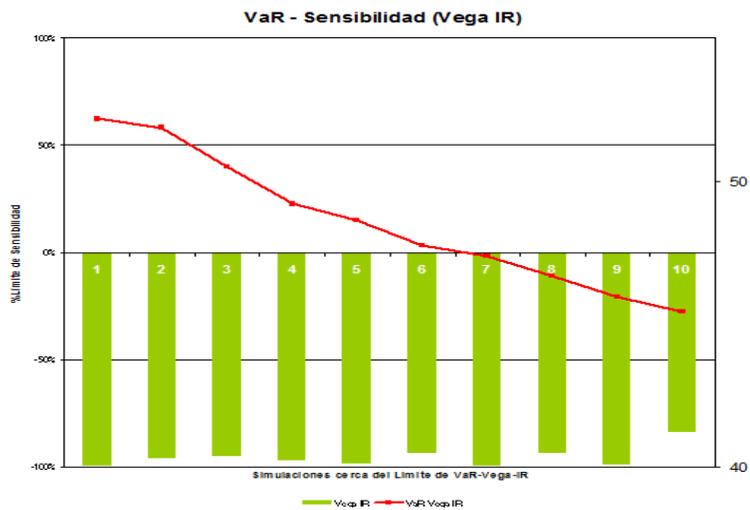
Figura 4.5:



Para el caso del VaR-Vega de tipo de cambio (VaR-Vega-FX) se tiene que el VaR-Vega-EUR es mayor que el VaR-Vega-FX esto debido a los límites por plazos establecidos en 4.2.2, y por la estrategia de que las opciones de EUR se cubren con opciones de USD, sin embargo la sensibilidad que

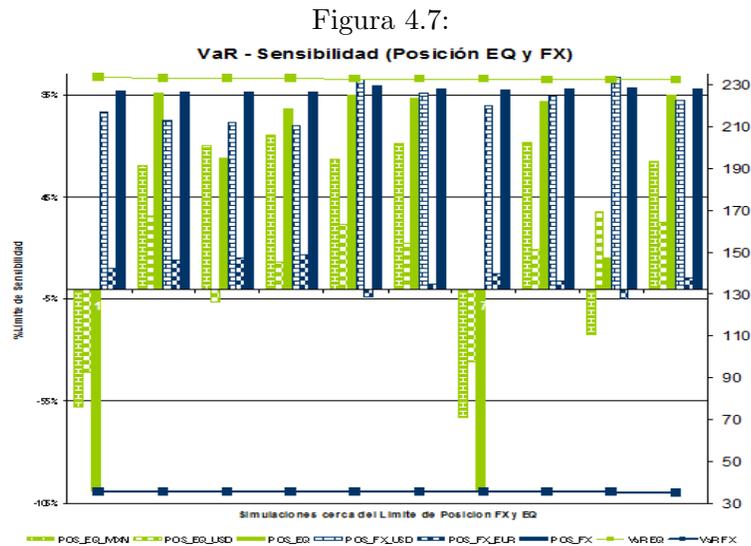
se tiene en el plazo a un año de las opciones de EUR es mucho mayor a la sensibilidad del mismo plazo para las opciones de USD, en la gráfica se muestra que la sensibilidad total de Vega-FX es pequeña, dado que se necesitan las sensibilidades entre EUR y USD, sin embargo hay mas consumo del límite de vega de EUR, por lo que se asocia mas VaR.

Figura 4.6:



En el caso del VaR-Vega-IR gráfico 4.6 es mas sencillo, ya que sólo depende de la curva de límites establecidos por plazos, y el global, y a entre más sensibilidad hay se le adjudica mas VaR, en este caso si se tiene más sensibilidad en plazos grandes se tiene más VaR ya que la volatilidad de los plazos grandes es mayor a la de plazos pequeños.

4.5.3. Relación VaR Posición Índice de Renta Variable y Tipo de Cambio y sus Límites de Sensibilidad



En la gráfica 4.7 se observa claramente que a mayor consumo del límite de posición tanto para FX como para EQ se obtiene un VaR mayor, donde el VaR del índice que mayor correlación tiene con el VaR de posición de índices de renta variable es el IPC, y el tipo de cambio que más correlación tiene con el VaR global de tipo de cambio es el USD, esto se da por los límites establecidos en 4.2.3.

En la mayoría de los casos a mayor sensibilidad mayor VaR, por lo que con éste ejercicio se prueba que la estructura de sensibilidades definida en 4.2 es totalmente coherente para no rebasar los límites de VaR definidos en 4.1.

Conclusiones

Una correcta medición del riesgo de mercado es la que previene a la tesorería de pérdidas muy grandes, es por eso que ésta medición tiene que ser integral, es decir, usando todos los instrumentos estadísticos posibles que garanticen que con una correcta medición no habrán pérdidas mayores a las que se puedan soportar, es por esto que se establece esta metodología de medición por medio de sensibilidades y se garantiza por medio de simulación, que se pueden tener todos los escenarios posibles que cumplan con todos los límites establecidos que no exceden un límite de pérdida máxima.

Cabe mencionar que ésta medición se tiene que actualizar periódicamente, ya que a los escenarios de sensibilidades simulados se les calcula el VaR vía simulación histórica y éste cálculo se realiza con una ventana histórica de tiempo, que ya no servirá para periodos que han experimentado volatilidad extrema que no se incluyeron en los escenarios de simulación histórica para el cálculo de VaR en el ejercicio de establecimiento de límites, por lo que se sugiere utilizar los mismos escenarios de sensibilidades simulados y reevaluar el VaR con la actualización de escenarios extremos de volatilidad. En resumen es recomendable reevaluar los escenarios simulados cada 3 meses para validar estadísticamente que los límites de sensibilidad funcionan, o bien, para hacer ajustes en éstos.

De la misma manera si la estrategia de la tesorería va a cambiar radicalmente su estrategia o se va a incorporar un nuevo instrumento de inversión, se tiene que incorporar un límite de sensibilidad para éste nuevo instrumento o para ésta nueva estrategia, tal que al simularse y al reevaluar su VaR a la fecha de actualización de límites, el valor extremo del vector de valores en riesgo no tiene que exceder el límite de pérdida máxima que se pueda soportar.

Esta metodología se puede extender para cualquier instrumento y se puede segmentar por mesas de operación, tal que la suma de todos los límites de sensibilidad de cada mesa sea el límite de sensibilidad global establecido.

Apéndice A

Programas para Simulaciones y VaR

A.1. Simulación de Sensibilidades (Matlab)

Para éste programa, se pueden auxiliar de un archivo en excel con el siguiente formato, donde se establecen los límites que se utilizarán en la simulación de sensibilidades.

Después éste se importa a matlab haciendo cada registro un vector de límites de sensibilidad.

Y el programa en matlab es el siguiente:

```
%% Límites de delta de tipos de interés para la mesa Total
% Vector Total de Limites cargados de Deltas tasas de interés MXN y USD, FX, las deltas con los siguientes
% nodos
% 3M 6M 1Y 2Y 3Y 5Y 7Y 10Y 15Y 20Y 30Y por moneda
% y las Vegas EQ y FX con los plazos 1M 3M 6M 1Y 2Y
% y para la Vega IR con los plazos 1Y 2Y 1A 3A 4A 5A 10A
Limite-IR-MXN-PP=Limite-IR-MXN-PP(1)*ones(1,11);
Limite-IR-USD-PP=Limite-IR-USD-PP(1)*ones(1,11);
N-simul=N-simul(1);
aux-Total = Limite-IR-MXN-PP Limite-IR-USD-PP Limites-IR-Total-Real;
aux-IR-Total=Limites-IR-Total-MXN Limites-IR-Total-USD;
fil-Total, col-Total = size(aux-Total);
Limites-VOL-FX-USDMXN-Total=Limites-VOL-FX-USDMXN-Total(1,1:5);
```

```

Limites-VOL-FX-EURMXN-Total=Limites-VOL-FX-EURMXN-Total(1,1:5);
Limites-VOL-EQ-IPC-Total=Limites-VOL-EQ-IPC-Total(1,1:5);
Limites-VOL-EQ-SPX500-Total=Limites-VOL-EQ-SPX500-Total(1,1:5);
Limites-VOL-IR-MXN-THE-Total=Limites-VOL-IR-MXN-THE-Total(1,1:5);
Limite-Vega-FX-TOTAL=Limite-Vega-FX-TOTAL(1);
Limite-Vega-IR-TOTAL=Limite-Vega-IR-TOTAL(1);
Limite-Vega-EQ-TOTAL=Limite-Vega-EQ-TOTAL(1);
Limite-Vega-TOTAL=Limite-Vega-TOTAL(1);
Delta-EQ-MXN-Total=Delta-EQ-MXN-Total(1);
Delta-EQ-USD-Total=Delta-EQ-USD-Total(1);
Delta-EQ-Total=Delta-EQ-Total(1);
Delta-FX-USD-Total=Delta-FX-USD-Total(1);
Delta-FX-EUR-Total=Delta-FX-EUR-Total(1);
Delta-FX-Total=Delta-FX-Total(1);
Limite-IR-Curva-MXN-Total=Limite-IR-Curva-MXN-Total(1);
Limite-IR-Curva-USD-Total=Limite-IR-Curva-USD-Total(1);
TOTAL-lim-IR-MXN=Limite-IR-Total-MXN(1);
TOTAL-lim-IR-USD=Limite-IR-Total-USD(1);
TOTAL-lim-IR-Real=Limite-IR-Total-Real(1);
rtavar=rtavar(1);
cambios=cambios(1);
vol=vol(1);
estruc=estruc(1);
aux-vol-Total=Limites-VOL-FX-USDMXN-Total Limites-VOL-FX-EURMXN-Total Limites-VOL-EQ-IPC-
Total Limites-VOL-EQ-SPX500-Total
Limites-VOL-IR-MXN-THE-Total;
aux-pos-Total= Delta-EQ-MXN-Total Delta-EQ-USD-Total Delta-FX-USD-Total Delta-FX-EUR-Total ;
aux-sbtasas-Total=IR-BONDES-MXN-SP IR-BPAS182-MXN-SP IR-BPAS28-MXN-SP IR-BPAS91-MXN-
SP IR-BREMS-MXN-SP;
fil-Total, col-vol-Total = size(aux-vol-Total);
fil-Total, col-pos-Total = size(aux-pos-Total);
fil-Total, col-sbtasas-Total=size(aux-sbtasas-Total);
h=col-Total;
y=col-vol-Total;
w=col-pos-Total;
z=col-sbtasas-Total;
i=1;
j=1;
x=1;
r=1;
piv=1;
Cartera-IR-MXN-CETES=zeros(N-simul,h/3); %aqui se crea la matriz de las curva CETES
Cartera-IR-MXN-FORWARD=zeros(N-simul,h/3); %aqui se crea la matriz de las curva FORWARD
Cartera-IR-MXN-IRS=zeros(N-simul,h/3); %aqui se crea la matriz de las curva IRS PARA PESOS
Cartera-IR-USD-GOVT=zeros(N-simul,h/3); %aqui se crea la matriz de las curva GOVT-USD
Cartera-IR-USD-IRS=zeros(N-simul,h/3); %aqui se crea la matriz de las curva IRS USD
Cartera-IR-USD-DEPOSWAP=zeros(N-simul,h/3);
Cartera-IR-Real=zeros(N-simul,h/3);
Cartera-IR-Real-INPC-GROWTH=zeros(N-simul,h/3);
Cartera-Vega-Total=zeros(N-simul,y);
Cartera-Pos-Total=zeros(N-simul,w);

```

```

Cartera-IR-MXN=zeros(N-simul,11)
Cartera-IR-USD=zeros(N-simul,11)
tic
while i <= 9
while j<=n-simuls(1)
if i==7
Cartera-simul-IR-MXN-CETES = Limites-IR-Total-Cetes(1,i:i+4).*(2*rand(1,5)-ones(1,5));
Cartera-simul-IR-MXN-IRS=Limites-IR-Total-IRS(1,i:i+4).*(2*rand(1,5)-ones(1,5));
Cartera-simul-IR-MXN-Base-Cetes(1)=sum(Cartera-simul-IR-MXN-CETES);
Cartera-simul-IR-MXN-Base-IRS(1)=sum(Cartera-simul-IR-MXN-IRS);
else
Cartera-simul-IR-MXN-CETES = Limites-IR-Total-Cetes(1,i:i+2).*(2*rand(1,3)-ones(1,3));
Cartera-simul-IR-MXN-IRS=Limites-IR-Total-IRS(1,i:i+2).*(2*rand(1,3)-ones(1,3));
Cartera-simul-IR-MXN-Base-Cetes(1)=sum(Cartera-simul-IR-MXN-CETES);
Cartera-simul-IR-MXN-Base-IRS(1)=sum(Cartera-simul-IR-MXN-IRS);
end
if Cartera-simul-IR-MXN-Base-Cetes(1)*Cartera-simul-IR-MXN-Base-IRS(1)<0
CI=min(abs(Cartera-simul-IR-MXN-Base-Cetes(1)),abs(Cartera-simul-IR-MXN-Base-IRS(1)));
else
CI=0;
end
f=0;
if ((CI<Limites-IR-Total-Base-IRSVsCetes(1,i+2)))
while f==0
if i==7
Cartera-simul-IR-MXN-FORWARD=Limites-IR-Total-Forward(1,i:i+4).*(2*rand(1,5)-ones(1,5));
Cartera-simul-IR-MXN-Base-Forward(1)=sum(Cartera-simul-IR-MXN-FORWARD);
Cartera-simul-IR-MXN=Cartera-simul-IR-MXN-CETES+Cartera-simul-IR-MXN-IRS+Cartera-simul-IR-MXN-
FORWARD;
Tot-tramo-MXN=sum(Cartera-simul-IR-MXN);
else
Cartera-simul-IR-MXN-FORWARD=Limites-IR-Total-Forward(1,i:i+2).*(2*rand(1,3)-ones(1,3));
Cartera-simul-IR-MXN-Base-Forward(1)=sum(Cartera-simul-IR-MXN-FORWARD);
Cartera-simul-IR-MXN=Cartera-simul-IR-MXN-CETES+Cartera-simul-IR-MXN-IRS+Cartera-simul-IR-MXN-
FORWARD;
Tot-tramo-MXN=sum(Cartera-simul-IR-MXN);
end
if (Cartera-simul-IR-MXN-Base-Cetes(1)*Cartera-simul-IR-MXN-Base-Forward(1))<0
CF=min(abs(Cartera-simul-IR-MXN-Base-Cetes(1)),abs(Cartera-simul-IR-MXN-Base-Forward(1)));
else
CF=0;
end
if (Cartera-simul-IR-MXN-Base-Forward(1)*Cartera-simul-IR-MXN-Base-IRS(1))<0
FI=min(abs(Cartera-simul-IR-MXN-Base-Forward(1)),abs(Cartera-simul-IR-MXN-Base-IRS(1)));
else
FI=0;
end
if(FI<=Limites-IR-Total-Base-ForwardvsIRS(1,i+2))
if ((CF<=Limites-IR-Total-Base-CetesvsFwd(1,i+2)))
if ((abs(Tot-tramo-MXN(1))<=Limites-IR-Total-MXN-Direccional(i+2)))
if i==7

```

```

Cartera-IR-MXN-CETES(j,i:i+4)=Cartera-simul-IR-MXN-CETES;
Cartera-IR-MXN-FORWARD(j,i:i+4)= Cartera-simul-IR-MXN-FORWARD;
Cartera-IR-MXN-IRS(j,i:i+4)=Cartera-simul-IR-MXN-IRS;
Cartera-IR-MXN(j,i:i+4)=Cartera-simul-IR-MXN;
else
Cartera-IR-MXN-CETES(j,i:i+2)=Cartera-simul-IR-MXN-CETES;
Cartera-IR-MXN-FORWARD(j,i:i+2)= Cartera-simul-IR-MXN-FORWARD;
Cartera-IR-MXN-IRS(j,i:i+2)=Cartera-simul-IR-MXN-IRS;
Cartera-IR-MXN(j,i:i+2)=Cartera-simul-IR-MXN;
end
j=j+1;
f=1;
piv=0;
end
end
end
piv=piv+1;
if (piv==6)
piv=0;
break
end
end
end
end
i=i+3;
j=1;
end
toc
i=1
while i<=9
while x<=n-simuls(1)
if i==7
Cartera-simul-IR-USD-IRS=Limites-IR-Total-USD(1,i:i+4).*(2*rand(1,5)-ones(1,5));
Cartera-simul-IR-USD-GOVT= Limites-IR-Total-USD(1,i:i+4).*(2*rand(1,5)-ones(1,5));
Cartera-simul-IR-USD-DEPOSWAP=Limites-IR-Total-USD(1,i:i+4).*(2*rand(1,5)-ones(1,5));
Cartera-simul-IR-USD=Cartera-simul-IR-USD-GOVT+Cartera-simul-IR-USD-IRS+ Cartera-simul-IR-USD-
DEPOSWAP;
Tot-tramo-USD=sum(Cartera-simul-IR-USD);
else
Cartera-simul-IR-USD-IRS=Limites-IR-Total-USD(1,i:i+2).*(2*rand(1,3)-ones(1,3));
Cartera-simul-IR-USD-GOVT= Limites-IR-Total-USD(1,i:i+2).*(2*rand(1,3)-ones(1,3));
Cartera-simul-IR-USD-DEPOSWAP=Limites-IR-Total-USD(1,i:i+2).*(2*rand(1,3)-ones(1,3));
Cartera-simul-IR-USD=Cartera-simul-IR-USD-GOVT+Cartera-simul-IR-USD-IRS+ Cartera-simul-IR-USD-
DEPOSWAP;
Tot-tramo-USD=sum(Cartera-simul-IR-USD);
end
if(abs(Tot-tramo-USD(1))<=Limites-IR-Total-USD-Direccional(i+2))
if i==7
Cartera-IR-USD-GOVT(x,i:i+4)=Cartera-simul-IR-USD-GOVT;
Cartera-IR-USD-DEPOSWAP(x,i:i+4)=Cartera-simul-IR-USD-DEPOSWAP;
Cartera-IR-USD-IRS(x,i:i+4)=Cartera-simul-IR-USD-IRS;

```

```

Cartera-IR-USD(x,i:i+4)=Cartera-simul-IR-USD;
else
Cartera-IR-USD-GOVT(x,i:i+2)=Cartera-simul-IR-USD-GOVT;
Cartera-IR-USD-DEPOSWAP(x,i:i+2)=Cartera-simul-IR-USD-DEPOSWAP;
Cartera-IR-USD-IRS(x,i:i+2)=Cartera-simul-IR-USD-IRS;
Cartera-IR-USD(x,i:i+2)=Cartera-simul-IR-USD;
end
x=x+1;
end
end
i=i+3;
x=1;
end
end
toc
tic
j=1;
Cartera-Vega-Total=zeros(N-simul,y);
while ( j<= n-simuls(1))
Cartera-simul-Vega-Total=2.*rand(1,y) - ones(1,y);
Cartera-Vega-Total-aux=Cartera-simul-Vega-Total.*aux-vol-Total;
FX-VOL-aux=sum(Cartera-Vega-Total-aux(1,1:10));
EQ-VOL-aux=sum(Cartera-Vega-Total-aux(1,11:20));
IR-VOL-aux=sum(Cartera-Vega-Total-aux(1,21:25));
Total-Vega=FX-VOL-aux+EQ-VOL-aux+IR-VOL-aux;
if ((abs(FX-VOL-aux)<=Limite-Vega-FX-TOTAL(1))&&(abs(EQ-VOL-aux)<=Limite-Vega-EQ-TOTAL(1))&&(abs(IR-
VOL-aux)<=Limite-Vega-IR-TOTAL(1)))
Cartera-Vega-Total(j,:)=Cartera-Vega-Total-aux;
j=j+1;
end
end
toc
tic
j=1
while ( j<= n-simuls(1))
Cartera-simul-Pos-Total=2.*rand(1,w) - ones(1,w);
Cartera-Pos-Total-aux=aux-pos-Total.*Cartera-simul-Pos-Total;
if ((abs((Cartera-Pos-Total-aux(1,1)+Cartera-Pos-Total-aux(1,2)))<=Delta-EQ-Total)&&((abs(Cartera-Pos-
Total-aux(1,3)+Cartera-Pos-Total-aux(1,4))) <=Delta-FX-Total))
Cartera-Pos-Total(j,:)=Cartera-Pos-Total-aux;
j=j+1;
end end
toc
Cartera-ini=Cartera-IR-MXN-CETES Cartera-IR-MXN-FORWARD Cartera-IR-MXN-IRS Cartera-IR-USD-
GOVT Cartera-IR-USD-IRS Cartera-IR-USD-DEPOSWAP
Cartera-Vega-Total Cartera-Pos-Total;
for i = 1 : n-simuls(1)
MXN-IR-aux(i)= sum(Cartera-IR-MXN(i,:));
USD-IR-aux(i)= sum(Cartera-IR-USD(i,:));
TOTAL-IR=MXN-IR-aux(i)+USD-IR-aux(i);

```

```

if ((abs(MXN-IR-aux(i)) <= TOTAL-lim-IR-MXN)&&(abs(USD-IR-aux(i)) <= TOTAL-lim-IR-USD)&&(abs(TOTAL-
IR)<=Limites-IR-Total(1)))
  Cartera-Total(j,:)=Cartera-ini(i,:); %Matriz final de sensibilidades simuladas
  j=j+1;
end
i=i+1; end

```

A.2. Cálculo de Riesgo de Mercado (SAS)

Para este programas se necesitan 3 importantes bases de datos:

1. Matriz de Sensibilidades, es decir la que generó matlab
2. Los valores de los factores (tasas, volatilidades, precios) de riesgo al día de la valuación para este caso es al día 16 de julio del 2008.
3. Los escenarios de los factores de riesgo (que son las diferencias de los factores de riesgo, para el caso de tipo de cambio se utiliza la diferencia del recíproco de los tipos de cambio $esc_i = TC_i^{-1} - TC_{i-1}^{-1}$, y para los precios de los índices se utiliza el cociente del tipo de cambio del día actual entre el anterior.).

El programa de SAS es el siguiente:

```

libname cat "Directorio";
libname PUT "Directorio";
%LET FILE=Directorio/Cartera-Total.txt;
%LET FILEIMP=Directorio/VaR/;
%LET LIB1=PUT;
%LET LIB0=cat;
DATA &LIB0..Risk-fact;
input Nom $ 1-24 tipo $ 24-32 uso $32-34;
cards;
EQX-IPC-IND EQ S
EQX-SPX-500-IND EQ S
FX-EUR FX S
FX-USD FX S
VOL-EUR-MXN VOL-FX S
VOL-MXN-IPC-IND VOL-EQ S
VOL-MXN-USD VOL-FX S
VOL-SPX-500-IND VOL-EQ S
VOL-TIIE VOL-IR S

```

```
IR-BONDES-MXN-BASE IR N
IR-BPAS182-MXN-BASE IR N
IR-BPAS28-MXN-BASE IR N
IR-BPAS91-MXN-BASE IR N
IR-BREMS-MXN-BASE IR N
IR-GOVT-USD-BASE IR S
IR-MXN-CORP-D1-BASE IR N
IR-MXN-PRLV-AAA-BASE IR N
IR-SWAP-EUR-BASE IR N
IR-SWAP-MXN-BASE IR S
IR-SWAP-USD-BASE IR S
MXN-CETES-CRV-BASE IR S
MXN-FORWARD-CRV-BASE IR S
MXN-INPC-Growth-BASE IR N
UDI-DEPOSWAP-CRV-BASE IR N
UMS-BOND-CRV IR N
USD-DEPOSWAP-CRV-BASE IR S
;
run;
DATA &LIB0..Nodos;
input Factor $ 1-7 nodo best12.;
CARDS;
IR 91
IR 182
IR 365
IR 720
IR 1095
IR 1800
IR 2520
IR 3600
IR 5400
IR 7200
IR 10800
VOL-FX 30
VOL-FX 90
VOL-FX 180
VOL-FX 365
VOL-FX 730
VOL-EQ 30
VOL-EQ 90
VOL-EQ 180
VOL-EQ 365
VOL-EQ 730
VOL-IR 365
VOL-IR 1095
VOL-IR 1460
VOL-IR 1825
VOL-IR 3650
;
RUN;
DATA &LIB0..Nodos-VOL;
```

```
input Factor $ 1-7 nodo best12.;
CARDS;
VOL-EQ 28
VOL-EQ 91
VOL-EQ 182
VOL-EQ 365
VOL-EQ 720
VOL-FX 28
VOL-FX 91
VOL-FX 182
VOL-FX 365
VOL-FX 720
VOL-IR 365
VOL-IR 1095
VOL-IR 1440
VOL-IR 1800
VOL-IR 3600
;
RUN;
DATA &LIB0..VaR-rf;
input Factor $ 1-10 ;
CARDS;
EQ-MXN
EQ-USD
EQ
FX-EUR
FX-USD
FX
IR
IR-MXN
IR-USD
VOL-FX
VOL-FX-USD
VOL-FX-EUR
VOL-EQ
VOL-EQ-USD
VOL-EQ-MXN
VOL-IR
TOTAL
;
RUN;
/*Creación de Macro Variables*/
PROC SQL;
create table temp as
SELECT distinct tipo FROM &LIB0..Risk-fact where compress(uso." ")="S";
select COUNT(*) INTO: N-rf from temp;
%let N-rf=&N-rf;
select tipo into :RF-1 - :RF-&N-rf from temp;
drop table temp;
quit;
```

```

PROC SQL;
%let i=1;
SELECT COUNT(*) INTO: CTR-%%RF-%%i.. FROM &LIB0..Risk-fact where compress(tipo, " ")="%%RF-%%i"
and compress(uso, " ")="S" ; %LET CTR-%%RF-%%i=%%&&CTR-%%RF-%%i;
SELECT Nom INTO : CFR-%%RF-%%i..-1 - : CFR-%%RF-%%i..-%%&&CTR-%%RF-%%i FROM &LIB0..Risk-fact
where compress(tipo, " ")="%%RF-%%i" and compress(uso, " ")="S";
%let i=2;
SELECT COUNT(*) INTO: CTR-%%RF-%%i.. FROM &LIB0..Risk-fact where compress(tipo, " ")="%%RF-%%i"
and compress(uso, " ")="S" ; %LET CTR-%%RF-%%i=%%&&CTR-%%RF-%%i;
SELECT Nom INTO : CFR-%%RF-%%i..-1 - : CFR-%%RF-%%i..-%%&&CTR-%%RF-%%i FROM &LIB0..Risk-fact
where compress(tipo, " ")="%%RF-%%i" and compress(uso, " ")="S";
%let i=3;
SELECT COUNT(*) INTO: CTR-%%RF-%%i.. FROM &LIB0..Risk-fact where compress(tipo, " ")="%%RF-%%i"
and compress(uso, " ")="S" ; %LET CTR-%%RF-%%i=%%&&CTR-%%RF-%%i;
SELECT Nom INTO : CFR-%%RF-%%i..-1 - : CFR-%%RF-%%i..-%%&&CTR-%%RF-%%i FROM &LIB0..Risk-fact
where compress(tipo, " ")="%%RF-%%i" and compress(uso, " ")="S";
SELECT COUNT(*) INTO: NFR-%%RF-%%i FROM &LIB0..Nodos where compress(FACTOR, " ")="%%RF-%%i"
;
%LET NFR-%%RF-%%i=%%&&NFR-%%RF-%%i;
SELECT NodO INTO : NOD-%%RF-%%i..-1 - : NOD-%%RF-%%i..-%%&&NFR-%%RF-%%i FROM &LIB0..Nodos
where compress(FACTOR, " ")="%%RF-%%i" ;
%let i=4;
SELECT COUNT(*) INTO: CTR-%%RF-%%i.. FROM &LIB0..Risk-fact where compress(tipo, " ")="%%RF-%%i"
and compress(uso, " ")="S" ; %LET CTR-%%RF-%%i=%%&&CTR-%%RF-%%i;
SELECT Nom INTO : CFR-%%RF-%%i..-1 - : CFR-%%RF-%%i..-%%&&CTR-%%RF-%%i FROM &LIB0..Risk-fact
where compress(tipo, " ")="%%RF-%%i" and compress(uso, " ")="S";
SELECT COUNT(*) INTO: NFR-%%RF-%%i FROM &LIB0..Nodos where compress(FACTOR, " ")="%%RF-%%i"
;
%LET NFR-%%RF-%%i=%%&&NFR-%%RF-%%i;
SELECT NodO INTO : NOD-%%RF-%%i..-1 - : NOD-%%RF-%%i..-%%&&NFR-%%RF-%%i FROM &LIB0..Nodos
where compress(FACTOR, " ")="%%RF-%%i" ;
SELECT COUNT(*) INTO: VFR-%%RF-%%i FROM &LIB0..Nodos-vol where compress(FACTOR, " ")="%%RF-%%i"
;
%LET VFR-%%RF-%%i=%%&&VFR-%%RF-%%i;
SELECT NodO INTO : VNOD-%%RF-%%i..-1 - : VNOD-%%RF-%%i..-%%&&VFR-%%RF-%%i FROM &LIB0..Nodos-
vol
where compress(FACTOR, " ")="%%RF-%%i" ;
%let i=5;
SELECT COUNT(*) INTO: CTR-%%RF-%%i.. FROM &LIB0..Risk-fact where compress(tipo, " ")="%%RF-%%i"
and compress(uso, " ")="S" ; %LET CTR-%%RF-%%i=%%&&CTR-%%RF-%%i;
SELECT Nom INTO : CFR-%%RF-%%i..-1 - : CFR-%%RF-%%i..-%%&&CTR-%%RF-%%i FROM &LIB0..Risk-fact
where compress(tipo, " ")="%%RF-%%i" and compress(uso, " ")="S";
SELECT COUNT(*) INTO: NFR-%%RF-%%i FROM &LIB0..Nodos where compress(FACTOR, " ")="%%RF-%%i"
;
%LET NFR-%%RF-%%i=%%&&NFR-%%RF-%%i;
SELECT NodO INTO : NOD-%%RF-%%i..-1 - : NOD-%%RF-%%i..-%%&&NFR-%%RF-%%i FROM &LIB0..Nodos
where compress(FACTOR, " ")="%%RF-%%i" ;
SELECT COUNT(*) INTO: VFR-%%RF-%%i FROM &LIB0..Nodos-vol where compress(FACTOR, " ")="%%RF-%%i"
;
%LET VFR-%%RF-%%i=%%&&VFR-%%RF-%%i;
SELECT NodO INTO : VNOD-%%RF-%%i..-1 - : VNOD-%%RF-%%i..-%%&&VFR-%%RF-%%i FROM &LIB0..Nodos-

```

```

vol where compress(FACTOR, " ")="&&RF-&i" ;
%let i=6;
SELECT COUNT(*) INTO: CTR-&&RF-&i. FROM &LIB0..Risk-fact where compress(tipo, " ")="&&RF-&i"
and compress(uso, " ")="S" ; %LET CTR-&&RF-&i=&&&&CTR-&&RF-&i;
SELECT Nom INTO : CFR-&&RF-&i.-1 - : CFR-&&RF-&i.-&&&&CTR-&&RF-&i FROM &LIB0..Risk-fact
where compress(tipo, " ")="&&RF-&i" and compress(uso, " ")="S" ;
SELECT COUNT(*) INTO: NFR-&&RF-&i FROM &LIB0..Nodos where compress(FACTOR, " ")="&&RF-&i"
;
%LET NFR-&&RF-&i=&&&&NFR-&&RF-&i; SELECT NodO INTO : NOD-&&RF-&i.-1 - : NOD-&&RF-&i.-
&&&&NFR-&&RF-&i FROM &LIB0..Nodos where compress(FACTOR, " ")="&&RF-&i" ;
SELECT COUNT(*) INTO: VFR-&&RF-&i FROM &LIB0..Nodos-vol where compress(FACTOR, " ")="&&RF-
&i" ;
%LET VFR-&&RF-&i=&&&&VFR-&&RF-&i;
SELECT NodO INTO : VNOD-&&RF-&i.-1 - : VNOD-&&RF-&i.-&&&&VFR-&&RF-&i FROM &LIB0..Nodos-
vol where compress(FACTOR, " ")="&&RF-&i" ;
quit;

```

```
PROC SQL;
```

```
SELECT COUNT(*) INTO: VaR-N FROM &LIB0..VaR-RF ; %LET VaR-N=&VaR-N; SELECT FACTOR IN-
TO : VaR-NOM-1 - : VaR-NOM-&VaR-N FROM &LIB0..VaR-RF; QUIT;
```

```
PROC SQL;
```

```
SELECT COUNT(*) INTO: start FROM &lib1..VaR-Global-alt;; %LET start=&start; QUIT;
```

```

%LET KEEP-IR=MXN-CETES-CRV-BASE-91 MXN-CETES-CRV-BASE-182 MXN-CETES-CRV-BASE-
365 MXN-CETES-CRV-BASE-720 MXN-CETES-CRV-BASE-1095 MXN-CETES-CRV-BASE-1800 MXN-CETES-
CRV-BASE-2520 MXN-CETES-CRV-BASE-3600 MXN-CETES-CRV-BASE-5400 MXN-CETES-CRV-BASE-7200
MXN-CETES-CRV-BASE-10800 MXN-FORWARD-CRV-BASE-91 MXN-FORWARD-CRV-BASE-182 MXN-FORWARD-
CRV-BASE-365 MXN-FORWARD-CRV-BASE-720 MXN-FORWARD-CRV-BASE-1095 MXN-FORWARD-CRV-
BASE-1800 MXN-FORWARD-CRV-BASE-2520 MXN-FORWARD-CRV-BASE-3600 MXN-FORWARD-CRV-BASE-
5400 MXN-FORWARD-CRV-BASE-7200 MXN-FORWARD-CRV-BASE-10800 IR-SWAP-MXN-BASE-91 IR-SWAP-
MXN-BASE-182 IR-SWAP-MXN-BASE-365 IR-SWAP-MXN-BASE-720 IR-SWAP-MXN-BASE-1095 IR-SWAP-
MXN-BASE-1800 IR-SWAP-MXN-BASE-2520 IR-SWAP-MXN-BASE-3600 IR-SWAP-MXN-BASE-5400 IR-SWAP-
MXN-BASE-7200 IR-SWAP-MXN-BASE-10800 IR-GOVT-USD-BASE-91 IR-GOVT-USD-BASE-182 IR-GOVT-
USD-BASE-365 IR-GOVT-USD-BASE-720 IR-GOVT-USD-BASE-1095 IR-GOVT-USD-BASE-1800 IR-GOVT-
USD-BASE-2520 IR-GOVT-USD-BASE-3600 IR-GOVT-USD-BASE-5400 IR-GOVT-USD-BASE-7200 IR-GOVT-
USD-BASE-10800 IR-SWAP-USD-BASE-91 IR-SWAP-USD-BASE-182 IR-SWAP-USD-BASE-365 IR-SWAP-USD-
BASE-720 IR-SWAP-USD-BASE-1095 IR-SWAP-USD-BASE-1800 IR-SWAP-USD-BASE-2520 IR-SWAP-USD-
BASE-3600 IR-SWAP-USD-BASE-5400 IR-SWAP-USD-BASE-7200 IR-SWAP-USD-BASE-10800 USD-DEPOSWAP-
CRV-BASE-91 USD-DEPOSWAP-CRV-BASE-182 USD-DEPOSWAP-CRV-BASE-365 USD-DEPOSWAP-CRV-
BASE-720 USD-DEPOSWAP-CRV-BASE-1095 USD-DEPOSWAP-CRV-BASE-1800 USD-DEPOSWAP-CRV-BASE-
2520 USD-DEPOSWAP-CRV-BASE-3600 USD-DEPOSWAP-CRV-BASE-5400 USD-DEPOSWAP-CRV-BASE-7200
USD-DEPOSWAP-CRV-BASE-10800;

```

```

%LET KEEP-IR-RET=T-MXN-CETES-CRV-BASE-91 T-MXN-CETES-CRV-BASE-182 T-MXN-CETES-
CRV-BASE-365 T-MXN-CETES-CRV-BASE-720 T-MXN-CETES-CRV-BASE-1095 T-MXN-CETES-CRV-BASE-
1800 T-MXN-CETES-CRV-BASE-2520 T-MXN-CETES-CRV-BASE-3600 T-MXN-CETES-CRV-BASE-5400 T-
MXN-CETES-CRV-BASE-7200 T-MXN-CETES-CRV-BASE-10800 T-MXN-FORWARD-CRV-BASE-91 T-MXN-
FORWARD-CRV-BASE-182 T-MXN-FORWARD-CRV-BASE-365 T-MXN-FORWARD-CRV-BASE-720 T-MXN-
FORWARD-CRV-BASE-1095 T-MXN-FORWARD-CRV-BASE-1800 T-MXN-FORWARD-CRV-BASE-2520 T-MXN-
FORWARD-CRV-BASE-3600 T-MXN-FORWARD-CRV-BASE-5400 T-MXN-FORWARD-CRV-BASE-7200 T-MXN-

```

FORWARD-CRV-BASE-10800 T-IR-SWAP-MXN-BASE-91 T-IR-SWAP-MXN-BASE-182 T-IR-SWAP-MXN-BASE-365 T-IR-SWAP-MXN-BASE-720 T-IR-SWAP-MXN-BASE-1095 T-IR-SWAP-MXN-BASE-1800 T-IR-SWAP-MXN-BASE-2520 T-IR-SWAP-MXN-BASE-3600 T-IR-SWAP-MXN-BASE-5400 T-IR-SWAP-MXN-BASE-7200 T-IR-SWAP-MXN-BASE-10800 T-IR-GOVT-USD-BASE-91 T-IR-GOVT-USD-BASE-182 T-IR-GOVT-USD-BASE-365 T-IR-GOVT-USD-BASE-720 T-IR-GOVT-USD-BASE-1095 T-IR-GOVT-USD-BASE-1800 T-IR-GOVT-USD-BASE-2520 T-IR-GOVT-USD-BASE-3600 T-IR-GOVT-USD-BASE-5400 T-IR-GOVT-USD-BASE-7200 T-IR-GOVT-USD-BASE-10800 T-IR-SWAP-USD-BASE-91 T-IR-SWAP-USD-BASE-182 T-IR-SWAP-USD-BASE-365 T-IR-SWAP-USD-BASE-720 T-IR-SWAP-USD-BASE-1095 T-IR-SWAP-USD-BASE-1800 T-IR-SWAP-USD-BASE-2520 T-IR-SWAP-USD-BASE-3600 T-IR-SWAP-USD-BASE-5400 T-IR-SWAP-USD-BASE-7200 T-IR-SWAP-USD-BASE-10800 T-USD-DEPOSWAP-CRV-BASE-91 T-USD-DEPOSWAP-CRV-BASE-182 T-USD-DEPOSWAP-CRV-BASE-365 T-USD-DEPOSWAP-CRV-BASE-720 T-USD-DEPOSWAP-CRV-BASE-1095 T-USD-DEPOSWAP-CRV-BASE-1800 T-USD-DEPOSWAP-CRV-BASE-2520 T-USD-DEPOSWAP-CRV-BASE-3600 T-USD-DEPOSWAP-CRV-BASE-5400 T-USD-DEPOSWAP-CRV-BASE-7200 T-USD-DEPOSWAP-CRV-BASE-10800;

%LET ESC-TASAS=E-EQX-IPC-IND E-EQX-SPX-500-IND E-FX-EUR E-FX-USD E-IR-GOVT-USD-BASE-91 E-IR-GOVT-USD-BASE-182 E-IR-GOVT-USD-BASE-365 E-IR-GOVT-USD-BASE-720 E-IR-GOVT-USD-BASE-1095 E-IR-GOVT-USD-BASE-1800 E-IR-GOVT-USD-BASE-2520 E-IR-GOVT-USD-BASE-3600 E-IR-GOVT-USD-BASE-5400 E-IR-GOVT-USD-BASE-7200 E-IR-GOVT-USD-BASE-10800 E-IR-SWAP-MXN-BASE-91 E-IR-SWAP-MXN-BASE-182 E-IR-SWAP-MXN-BASE-365 E-IR-SWAP-MXN-BASE-720 E-IR-SWAP-MXN-BASE-1095 E-IR-SWAP-MXN-BASE-1800 E-IR-SWAP-MXN-BASE-2520 E-IR-SWAP-MXN-BASE-3600 E-IR-SWAP-MXN-BASE-5400 E-IR-SWAP-MXN-BASE-7200 E-IR-SWAP-MXN-BASE-10800 E-IR-SWAP-USD-BASE-91 E-IR-SWAP-USD-BASE-182 E-IR-SWAP-USD-BASE-365 E-IR-SWAP-USD-BASE-720 E-IR-SWAP-USD-BASE-1095 E-IR-SWAP-USD-BASE-1800 E-IR-SWAP-USD-BASE-2520 E-IR-SWAP-USD-BASE-3600 E-IR-SWAP-USD-BASE-5400 E-IR-SWAP-USD-BASE-7200 E-IR-SWAP-USD-BASE-10800 E-MXN-CETES-CRV-BASE-91 E-MXN-CETES-CRV-BASE-182 E-MXN-CETES-CRV-BASE-365 E-MXN-CETES-CRV-BASE-720 E-MXN-CETES-CRV-BASE-1095 E-MXN-CETES-CRV-BASE-1800 E-MXN-CETES-CRV-BASE-2520 E-MXN-CETES-CRV-BASE-3600 E-MXN-CETES-CRV-BASE-5400 E-MXN-CETES-CRV-BASE-7200 E-MXN-CETES-CRV-BASE-10800 E-MXN-FORWARD-CRV-BASE-91 E-MXN-FORWARD-CRV-BASE-182 E-MXN-FORWARD-CRV-BASE-365 E-MXN-FORWARD-CRV-BASE-720 E-MXN-FORWARD-CRV-BASE-1095 E-MXN-FORWARD-CRV-BASE-1800 E-MXN-FORWARD-CRV-BASE-2520 E-MXN-FORWARD-CRV-BASE-3600 E-MXN-FORWARD-CRV-BASE-5400 E-MXN-FORWARD-CRV-BASE-7200 E-MXN-FORWARD-CRV-BASE-10800 E-USD-DEPOSWAP-CRV-BASE-91 E-USD-DEPOSWAP-CRV-BASE-182 E-USD-DEPOSWAP-CRV-BASE-365 E-USD-DEPOSWAP-CRV-BASE-720 E-USD-DEPOSWAP-CRV-BASE-1095 E-USD-DEPOSWAP-CRV-BASE-1800 E-USD-DEPOSWAP-CRV-BASE-2520 E-USD-DEPOSWAP-CRV-BASE-3600 E-USD-DEPOSWAP-CRV-BASE-5400 E-USD-DEPOSWAP-CRV-BASE-7200 E-VOL-EUR-MXN-30 E-VOL-EUR-MXN-90 E-VOL-EUR-MXN-180 E-VOL-EUR-MXN-365 E-VOL-EUR-MXN-730 E-VOL-MXN-IPC-IND-30 E-VOL-MXN-IPC-IND-90 E-VOL-MXN-IPC-IND-180 E-VOL-MXN-IPC-IND-365 E-VOL-MXN-IPC-IND-730 E-VOL-MXN-USD-30 E-VOL-MXN-USD-90 E-VOL-MXN-USD-180 E-VOL-MXN-USD-365 E-VOL-MXN-USD-730 E-VOL-SPX-500-IND-30 E-VOL-SPX-500-IND-90 E-VOL-SPX-500-IND-180 E-VOL-SPX-500-IND-365 E-VOL-SPX-500-IND-730 E-VOL-TIIE-365 E-VOL-TIIE-1095 E-VOL-TIIE-1460 E-VOL-TIIE-1825 E-VOL-TIIE-3650;

%LET KEEP-VOL-FX-IR= V-MXN-FORWARD-CRV-BASE-28 V-MXN-FORWARD-CRV-BASE-91 V-MXN-FORWARD-CRV-BASE-182 V-MXN-FORWARD-CRV-BASE-365 V-MXN-FORWARD-CRV-BASE-720 V-IR-SWAP-EUR-BASE-28 V-IR-SWAP-EUR-BASE-91 V-IR-SWAP-EUR-BASE-182 V-IR-SWAP-EUR-BASE-365 V-IR-SWAP-EUR-BASE-720 V-IR-SWAP-USD-BASE-28 V-IR-SWAP-USD-BASE-91 V-IR-SWAP-USD-BASE-182 V-IR-SWAP-USD-BASE-365 V-IR-SWAP-USD-BASE-720 V-IR-SWAP-MXN-BASE-28 V-IR-SWAP-MXN-BASE-91 V-IR-SWAP-MXN-BASE-182 V-IR-SWAP-MXN-BASE-365 V-IR-SWAP-MXN-BASE-720 V-IR-SWAP-MXN-BASE-1095 V-IR-SWAP-MXN-BASE-1440 V-IR-SWAP-MXN-BASE-1800 V-IR-SWAP-MXN-BASE-3600; %LET KEEP-VOL-FX-IR-RET =T-V-MXN-FORWARD-CRV-BASE-28 T-V-MXN-FORWARD-CRV-BASE-91 T-V-MXN-FORWARD-CRV-BASE-182 T-V-MXN-FORWARD-CRV-BASE-365 T-V-MXN-FORWARD-CRV-BASE-720 T-V-IR-SWAP-USD-BASE-28 T-V-IR-SWAP-USD-BASE-91 T-V-IR-SWAP-USD-BASE-182 T-V-IR-SWAP-USD-BASE-365 T-

V-IR-SWAP-USD-BASE-720 T-V-IR-SWAP-EUR-BASE-28 T-V-IR-SWAP-EUR-BASE-91 T-V-IR-SWAP-EUR-BASE-182 T-V-IR-SWAP-EUR-BASE-365 T-V-IR-SWAP-EUR-BASE-720 T-V-IR-SWAP-MXN-BASE-28 T-V-IR-SWAP-MXN-BASE-91 T-V-IR-SWAP-MXN-BASE-182 T-V-IR-SWAP-MXN-BASE-365 T-V-IR-SWAP-MXN-BASE-720 T-V-IR-SWAP-MXN-BASE-1095 T-V-IR-SWAP-MXN-BASE-1440 T-V-IR-SWAP-MXN-BASE-1800 T-V-IR-SWAP-MXN-BASE-3600; %LET KEEP-VOL=VOL-MXN-USD-30 VOL-MXN-USD-90 VOL-MXN-USD-180 VOL-MXN-USD-365 VOL-MXN-USD-730 VOL-EUR-MXN-30 VOL-EUR-MXN-90 VOL-EUR-MXN-180 VOL-EUR-MXN-365 VOL-EUR-MXN-730 VOL-MXN-IPC-IND-30 VOL-MXN-IPC-IND-90 VOL-MXN-IPC-IND-180 VOL-MXN-IPC-IND-365 VOL-MXN-IPC-IND-730 VOL-SPX-500-IND-30 VOL-SPX-500-IND-90 VOL-SPX-500-IND-180 VOL-SPX-500-IND-365 VOL-SPX-500-IND-730 VOL-TIIE-365 VOL-TIIE-1095 VOL-TIIE-1460 VOL-TIIE-1825 VOL-TIIE-3650 EQX-IPC-IND EQX-SPX-500-IND FX-USD FX-EUR;

%let KEEP-VOL-RET=T-VOL-MXN-USD-30 T-VOL-MXN-USD-90 T-VOL-MXN-USD-180 T-VOL-MXN-USD-365 T-VOL-MXN-USD-730 T-VOL-EUR-MXN-30 T-VOL-EUR-MXN-90 T-VOL-EUR-MXN-180 T-VOL-EUR-MXN-365 T-VOL-EUR-MXN-730 T-VOL-MXN-IPC-IND-30 T-VOL-MXN-IPC-IND-90 T-VOL-MXN-IPC-IND-180 T-VOL-MXN-IPC-IND-365 T-VOL-MXN-IPC-IND-730 T-VOL-SPX-500-IND-30 T-VOL-SPX-500-IND-90 T-VOL-SPX-500-IND-180 T-VOL-SPX-500-IND-365 T-VOL-SPX-500-IND-730 T-VOL-TIIE-365 T-VOL-TIIE-1095 T-VOL-TIIE-1460 T-VOL-TIIE-1825 T-VOL-TIIE-3650 T-EQX-IPC-IND T-EQX-SPX-500-IND T-FX-USD T-FX-EUR;

%let KEEP-N-RET= N-EQX-IPC-IND N-EQX-SPX-500-IND N-FX-EUR N-FX-USD N-IR-GOVT-USD-BASE-91 N-IR-GOVT-USD-BASE-182 N-IR-GOVT-USD-BASE-365 N-IR-GOVT-USD-BASE-720 N-IR-GOVT-USD-BASE-1095 N-IR-GOVT-USD-BASE-1800 N-IR-GOVT-USD-BASE-2520 N-IR-GOVT-USD-BASE-3600 N-IR-GOVT-USD-BASE-5400 N-IR-GOVT-USD-BASE-7200 N-IR-GOVT-USD-BASE-10800 N-IR-SWAP-MXN-BASE-91 N-IR-SWAP-MXN-BASE-182 N-IR-SWAP-MXN-BASE-365 N-IR-SWAP-MXN-BASE-720 N-IR-SWAP-MXN-BASE-1095 N-IR-SWAP-MXN-BASE-1800 N-IR-SWAP-MXN-BASE-2520 N-IR-SWAP-MXN-BASE-3600 N-IR-SWAP-MXN-BASE-5400 N-IR-SWAP-MXN-BASE-7200 N-IR-SWAP-MXN-BASE-10800 N-IR-SWAP-USD-BASE-91 N-IR-SWAP-USD-BASE-182 N-IR-SWAP-USD-BASE-365 N-IR-SWAP-USD-BASE-720 N-IR-SWAP-USD-BASE-1095 N-IR-SWAP-USD-BASE-1800 N-IR-SWAP-USD-BASE-2520 N-IR-SWAP-USD-BASE-3600 N-IR-SWAP-USD-BASE-5400 N-IR-SWAP-USD-BASE-7200 N-IR-SWAP-USD-BASE-10800 N-MXN-CETES-CRV-BASE-91 N-MXN-CETES-CRV-BASE-182 N-MXN-CETES-CRV-BASE-365 N-MXN-CETES-CRV-BASE-720 N-MXN-CETES-CRV-BASE-1095 N-MXN-CETES-CRV-BASE-1800 N-MXN-CETES-CRV-BASE-2520 N-MXN-CETES-CRV-BASE-3600 N-MXN-CETES-CRV-BASE-5400 N-MXN-CETES-CRV-BASE-7200 N-MXN-CETES-CRV-BASE-10800 N-MXN-FORWARD-CRV-BASE-91 N-MXN-FORWARD-CRV-BASE-182 N-MXN-FORWARD-CRV-BASE-365 N-MXN-FORWARD-CRV-BASE-720 N-MXN-FORWARD-CRV-BASE-1095 N-MXN-FORWARD-CRV-BASE-1800 N-MXN-FORWARD-CRV-BASE-2520 N-MXN-FORWARD-CRV-BASE-3600 N-MXN-FORWARD-CRV-BASE-5400 N-MXN-FORWARD-CRV-BASE-7200 N-MXN-FORWARD-CRV-BASE-10800 N-USD-DEPOSWAP-CRV-BASE-91 N-USD-DEPOSWAP-CRV-BASE-182 N-USD-DEPOSWAP-CRV-BASE-365 N-USD-DEPOSWAP-CRV-BASE-720 N-USD-DEPOSWAP-CRV-BASE-1095 N-USD-DEPOSWAP-CRV-BASE-1800 N-USD-DEPOSWAP-CRV-BASE-2520 N-USD-DEPOSWAP-CRV-BASE-3600 N-USD-DEPOSWAP-CRV-BASE-5400 N-USD-DEPOSWAP-CRV-BASE-7200 N-USD-DEPOSWAP-CRV-BASE-10800 N-VOL-EUR-MXN-30 N-VOL-EUR-MXN-90 N-VOL-EUR-MXN-180 N-VOL-EUR-MXN-365 N-VOL-EUR-MXN-730 N-VOL-MXN-IPC-IND-30 N-VOL-MXN-IPC-IND-90 N-VOL-MXN-IPC-IND-180 N-VOL-MXN-IPC-IND-365 N-VOL-MXN-IPC-IND-730 N-VOL-MXN-USD-30 N-VOL-MXN-USD-90 N-VOL-MXN-USD-180 N-VOL-MXN-USD-365 N-VOL-MXN-USD-730 N-VOL-SPX-500-IND-30 N-VOL-SPX-500-IND-90 N-VOL-SPX-500-IND-180 N-VOL-SPX-500-IND-365 N-VOL-SPX-500-IND-730 N-VOL-TIIE-365 N-VOL-TIIE-1095 N-VOL-TIIE-1460 N-VOL-TIIE-1825 N-VOL-TIIE-3650;

%let KEEP-SENS= S-MXN-CETES-CRV-BASE-91 S-MXN-CETES-CRV-BASE-182 S-MXN-CETES-CRV-BASE-365 S-MXN-CETES-CRV-BASE-720 S-MXN-CETES-CRV-BASE-1095 S-MXN-CETES-CRV-BASE-1800 S-MXN-CETES-CRV-BASE-2520 S-MXN-CETES-CRV-BASE-3600 S-MXN-CETES-CRV-BASE-5400 S-MXN-CETES-CRV-BASE-7200 S-MXN-CETES-CRV-BASE-10800 S-MXN-FORWARD-CRV-BASE-91 S-MXN-FORWARD-CRV-BASE-182 S-MXN-FORWARD-CRV-BASE-365 S-MXN-FORWARD-CRV-BASE-720 S-MXN-FORWARD-

CRV-BASE-1095 S-MXN-FORWARD-CRV-BASE-1800 S-MXN-FORWARD-CRV-BASE-2520 S-MXN-FORWARD-CRV-BASE-3600 S-MXN-FORWARD-CRV-BASE-5400 S-MXN-FORWARD-CRV-BASE-7200 S-MXN-FORWARD-CRV-BASE-10800 S-IR-SWAP-MXN-BASE-91 S-IR-SWAP-MXN-BASE-182 S-IR-SWAP-MXN-BASE-365 S-IR-SWAP-MXN-BASE-720 S-IR-SWAP-MXN-BASE-1095 S-IR-SWAP-MXN-BASE-1800 S-IR-SWAP-MXN-BASE-2520 S-IR-SWAP-MXN-BASE-3600 S-IR-SWAP-MXN-BASE-5400 S-IR-SWAP-MXN-BASE-7200 S-IR-SWAP-MXN-BASE-10800 S-IR-GOVT-USD-BASE-91 S-IR-GOVT-USD-BASE-182 S-IR-GOVT-USD-BASE-365 S-IR-GOVT-USD-BASE-720 S-IR-GOVT-USD-BASE-1095 S-IR-GOVT-USD-BASE-1800 S-IR-GOVT-USD-BASE-2520 S-IR-GOVT-USD-BASE-3600 S-IR-GOVT-USD-BASE-5400 S-IR-GOVT-USD-BASE-7200 S-IR-GOVT-USD-BASE-10800 S-IR-SWAP-USD-BASE-91 S-IR-SWAP-USD-BASE-182 S-IR-SWAP-USD-BASE-365 S-IR-SWAP-USD-BASE-720 S-IR-SWAP-USD-BASE-1095 S-IR-SWAP-USD-BASE-1800 S-IR-SWAP-USD-BASE-2520 S-IR-SWAP-USD-BASE-3600 S-IR-SWAP-USD-BASE-5400 S-IR-SWAP-USD-BASE-7200 S-IR-SWAP-USD-BASE-10800 S-USD-DEPOSWAP-CRV-BASE-91 S-USD-DEPOSWAP-CRV-BASE-182 S-USD-DEPOSWAP-CRV-BASE-365 S-USD-DEPOSWAP-CRV-BASE-720 S-USD-DEPOSWAP-CRV-BASE-1095 S-USD-DEPOSWAP-CRV-BASE-1800 S-USD-DEPOSWAP-CRV-BASE-2520 S-USD-DEPOSWAP-CRV-BASE-3600 S-USD-DEPOSWAP-CRV-BASE-5400 S-USD-DEPOSWAP-CRV-BASE-7200 S-USD-DEPOSWAP-CRV-BASE-10800 S-VOL-MXN-USD-30 S-VOL-MXN-USD-90 S-VOL-MXN-USD-180 S-VOL-MXN-USD-365 S-VOL-MXN-USD-730 S-VOL-EUR-MXN-30 S-VOL-EUR-MXN-90 S-VOL-EUR-MXN-180 S-VOL-EUR-MXN-365 S-VOL-EUR-MXN-730 S-VOL-MXN-IPC-IND-30 S-VOL-MXN-IPC-IND-90 S-VOL-MXN-IPC-IND-180 S-VOL-MXN-IPC-IND-365 S-VOL-MXN-IPC-IND-730 S-VOL-SPX-500-IND-30 S-VOL-SPX-500-IND-90 S-VOL-SPX-500-IND-180 S-VOL-SPX-500-IND-365 S-VOL-SPX-500-IND-730 S-VOL-TIIE-365 S-VOL-TIIE-1095 S-VOL-TIIE-1460 S-VOL-TIIE-1825 S-VOL-TIIE-3650 S-EQX-IPC-IND S-EQX-SPX-500-IND S-FX-USD S-FX-EUR ;

```
%let VaR=&lib1..VaR-IR &lib1..VaR-IR-MXN &lib1..VaR-IR-USD &lib1..VaR-VOL-FX &lib1..VaR-VOL-FX-USD &lib1..VaR-VOL-FX-EUR &lib1..VaR-VOL-EQ &lib1..VaR-VOL-EQ-USD &lib1..VaR-VOL-EQ-MXN &lib1..VaR-VOL-IR &lib1..VaR-EQ &lib1..VaR-FX &lib1..VaR-TOTAL;
```

```
%let Var-alt=&lib1..VaR-IR-ALT &lib1..VaR-IR-MXN-ALT &lib1..VaR-IR-USD-ALT &lib1..VaR-VOL-FX-ALT &lib1..VaR-VOL-FX-USD-ALT &lib1..VaR-VOL-FX-EUR-ALT &lib1..VaR-VOL-EQ-ALT &lib1..VaR-VOL-EQ-USD-ALT &lib1..VaR-VOL-EQ-MXN-ALT &lib1..VaR-VOL-IR-ALT &lib1..VaR-EQ-ALT &lib1..VaR-FX-ALT &lib1..VaR-TOTAL-ALT;
```

```
%LET PL=PL-EQX-IPC-IND PL-EQX-SPX-500-IND PL-FX-EUR PL-FX-USD PL-IR-GOVT-USD-BASE-91 PL-IR-GOVT-USD-BASE-182 PL-IR-GOVT-USD-BASE-365 PL-IR-GOVT-USD-BASE-720 PL-IR-GOVT-USD-BASE-1095 PL-IR-GOVT-USD-BASE-1800 PL-IR-GOVT-USD-BASE-2520 PL-IR-GOVT-USD-BASE-3600 PL-IR-GOVT-USD-BASE-5400 PL-IR-GOVT-USD-BASE-7200 PL-IR-GOVT-USD-BASE-10800 PL-IR-SWAP-MXN-BASE-91 PL-IR-SWAP-MXN-BASE-182 PL-IR-SWAP-MXN-BASE-365 PL-IR-SWAP-MXN-BASE-720 PL-IR-SWAP-MXN-BASE-1095 PL-IR-SWAP-MXN-BASE-1800 PL-IR-SWAP-MXN-BASE-2520 PL-IR-SWAP-MXN-BASE-3600 PL-IR-SWAP-MXN-BASE-5400 PL-IR-SWAP-MXN-BASE-7200 PL-IR-SWAP-MXN-BASE-10800 PL-IR-SWAP-USD-BASE-91 PL-IR-SWAP-USD-BASE-182 PL-IR-SWAP-USD-BASE-365 PL-IR-SWAP-USD-BASE-720 PL-IR-SWAP-USD-BASE-1095 PL-IR-SWAP-USD-BASE-1800 PL-IR-SWAP-USD-BASE-2520 PL-IR-SWAP-USD-BASE-3600 PL-IR-SWAP-USD-BASE-5400 PL-IR-SWAP-USD-BASE-7200 PL-IR-SWAP-USD-BASE-10800 PL-MXN-CETES-CRV-BASE-91 PL-MXN-CETES-CRV-BASE-182 PL-MXN-CETES-CRV-BASE-365 PL-MXN-CETES-CRV-BASE-720 PL-MXN-CETES-CRV-BASE-1095 PL-MXN-CETES-CRV-BASE-1800 PL-MXN-CETES-CRV-BASE-2520 PL-MXN-CETES-CRV-BASE-3600 PL-MXN-CETES-CRV-BASE-5400 PL-MXN-CETES-CRV-BASE-7200 PL-MXN-CETES-CRV-BASE-10800 PL-MXN-FORWARD-CRV-BASE-91 PL-MXN-FORWARD-CRV-BASE-182 PL-MXN-FORWARD-CRV-BASE-365 PL-MXN-FORWARD-CRV-BASE-720 PL-MXN-FORWARD-CRV-BASE-1095 PL-MXN-FORWARD-CRV-BASE-1800 PL-MXN-FORWARD-CRV-BASE-2520 PL-MXN-FORWARD-CRV-BASE-3600 PL-MXN-FORWARD-CRV-BASE-5400 PL-MXN-FORWARD-CRV-BASE-7200 PL-MXN-FORWARD-CRV-BASE-10800 PL-USD-DEPOSWAP-CRV-BASE-91 PL-USD-DEPOSWAP-CRV-BASE-182 PL-USD-DEPOSWAP-CRV-BASE-365 PL-USD-DEPOSWAP-CRV-BASE-720 PL-USD-DEPOSWAP-CRV-BASE-1095 PL-USD-DEPOSWAP-CRV-BASE-1800 PL-USD-DEPOSWAP-CRV-BASE-2520 PL-USD-DEPOSWAP-CRV-BASE-3600 PL-USD-DEPOSWAP-
```

```

CRV-BASE-5400 PL-USD-DEPOSWAP-CRV-BASE-7200 PL-USD-DEPOSWAP-CRV-BASE-10800 PL-VOL-EUR-
MXN-30 PL-VOL-EUR-MXN-90 PL-VOL-EUR-MXN-180 PL-VOL-EUR-MXN-365 PL-VOL-EUR-MXN-730 PL-
VOL-MXN-IPC-IND-30 PL-VOL-MXN-IPC-IND-90 PL-VOL-MXN-IPC-IND-180 PL-VOL-MXN-IPC-IND-365
PL-VOL-MXN-IPC-IND-730 PL-VOL-MXN-USD-30 PL-VOL-MXN-USD-90 PL-VOL-MXN-USD-180 PL-VOL-
MXN-USD-365 PL-VOL-MXN-USD-730 PL-VOL-SPX-500-IND-30 PL-VOL-SPX-500-IND-90 PL-VOL-SPX-500-
IND-180 PL-VOL-SPX-500-IND-365 PL-VOL-SPX-500-IND-730 PL-VOL-TIIE-365 PL-VOL-TIIE-1095 PL-VOL-
TIIE-1460 PL-VOL-TIIE-1825 PL-VOL-TIIE-3650 PL-IR PL-IR-MXN PL-IR-USD PL-VOL-FX PL-VOL-FX-
USD PL-VOL-FX-EUR PL-VOL-EQ PL-VOL-EQ-USD PL-VOL-EQ-MXN PL-VOL-IR PL-TOTAL;

```

```

PROC SQL; SELECT COUNT(*) INTO: N-sens FROM &LIB1..Sensibilidades; %LET N-sens=&N-sens;
QUIT;

```

```

PROC SQL; SELECT COUNT(*) INTO: N-esc FROM &LIB1..esc-tasas; %LET N-Esc=&N-esc; QUIT;

```

```

%let shock=1/100; /*Factor de Stress para IR y VEGA*/
%let sh-IR=5/100; /*Factor de Moneyess para opcion TIIE*/
%let sh-EQ=175/10000; /*Factor de Moneyess para EQ*/
%let fx-eq-up=1/100; /*Factor stress para posicion FX y EQ*/ /* Fin Creación de Macro Variables*/ /*Inicio
Calculo VaR*/ %MACRO CalculoVaR;
data &lib1..Tasas-esc (drop=Fecha &keep-ir &KEEP-VOL &KEEP-vol-FX-IR);
/*Matriz Tasas Escenarios*/ MERGE PUT.tasas PUT.vols PUT.tasas-VOL-FX-IR put.esc-tasas put.esc-vols;
retain &keep-ir-RET &KEEP-VOL-RET &KEEP-vol-FX-IR-RET ;
%do i=1 %to 2;
%DO j=1 %to &&&&CTR-&&RF-&i;
if -n=1 then T-&&&&CFR-&&RF-&i..-&j=&&&&CFR-&&RF-&i..-&j;
%END;
%END;

%DO j=1 %to &&&&CTR-&&RF-&i;
%DO k=1 %to &&&&NFR-&&RF-&i;
IF -N=1 THEN T-&&&&CFR-&&RF-&i..-&j..-&&&&NOD-&&RF-&i..-&k=&&&&CFR-&&RF-&i..-&j..-&&&&NOD-
&&RF-&i..-&k;
%end;
%end;

%let i=4;

%DO j=1 %to &&&&CTR-&&RF-&i;
%DO k=1 %to &&&&NFR-&&RF-&i;
if "&&RF-&i"="VOL-EQ" then DO;
IF -n=1 THEN DO;
T-&&&&CFR-&&RF-&i..-&j..-&&&&NOD-&&RF-&i..-&k=&&&&CFR-&&RF-&i..-&j..-&&&&NOD-&&RF-&i..-
&k;
T-V-IR-SWAP-USD-BASE-&&&&VNOD-&&RF-&i..-&k=V-IR-SWAP-USD-BASE-&&&&VNOD-&&RF-&i..-&k;
T-V-IR-SWAP-MXN-BASE-&&&&VNOD-&&RF-&i..-&k=V-MXN-FORWARD-CRV-BASE-&&&&VNOD-&&RF-
&i..-&k;
END;
end;
%end;
%end;
%let i=5;

```

```

%DO j=1 %to &&&&CTR-&&RF-&i;
%DO k=1 %to &&&&NFR-&&RF-&i;
if "&&RF-&i"="VOL-FX" then DO;
IF -n=1 THEN DO;
T-&&&&CFR-&&RF-&i.-&j.-&&&&NOD-&&RF-&i.-&k=&&&&CFR-&&RF-&i.-&j.-&&&&NOD-&&RF-&i.-
&k;
T-V-IR-SWAP-USD-BASE-&&&&VNOD-&&RF-&i.-&k=V-IR-SWAP-USD-BASE-&&&&VNOD-&&RF-&i.-&k;
T-V-IR-SWAP-EUR-BASE-&&&&VNOD-&&RF-&i.-&k=V-IR-SWAP-EUR-BASE-&&&&VNOD-&&RF-&i.-&k;
T-V-MXN-FORWARD-CRV-BASE-&&&&VNOD-&&RF-&i.-&k=V-MXN-FORWARD-CRV-BASE-&&&&VNOD-
&&RF-&i.-&k;
END;
END;
%end;
%end;

%let i=6;

%DO j=1 %to &&&&CTR-&&RF-&i;
%DO k=1 %to &&&&NFR-&&RF-&i;
if "&&RF-&i"="VOL-IR" then DO;
IF -n=1 THEN DO;
T-&&&&CFR-&&RF-&i.-&j.-&&&&NOD-&&RF-&i.-&k=&&&&CFR-&&RF-&i.-&j.-&&&&NOD-&&RF-&i.-
&k;
T-V-IR-SWAP-MXN-BASE-&&&&VNOD-&&RF-&i.-&k=V-IR-SWAP-MXN-BASE-&&&&VNOD-&&RF-&i.-&k;
end;
END;
%end;
%end;
run;

%do f=1 %to &n-sens;
/*Calculo de VaR de cada fila de la matriz de Sensibilidades "&lib1..Sensibilidades"*/ data &lib1..Sensit (keep=&keep-
sens);
merge &lib1..Sensibilidades (firstobs=&f obs=&f) &lib1..Tasas-esc;
retain &keep-sens;
IF -N=1 THEN DO;
%do i=1 %to 2;
%DO j=1 %to &&&&CTR-&&RF-&i;
S-&&&&CFR-&&RF-&i.-&j=ST-&&&&CFR-&&RF-&i.-&j;
%END;
%END;
%DO j=1 %to &&&&CTR-&&RF-&i;
%DO k=1 %to &&&&NFR-&&RF-&i;
if "&&RF-&i"="IR" then DO;
S-&&&&CFR-&&RF-&i.-&j.-&&&&NOD-&&RF-&i.-&k=ST-&&&&CFR-&&RF-&i.-&j.-&&&&NOD-&&RF-
&i.-&k;
END;
%end;
%end;
%let i=4;

```

```

%DO j=1 %to &&&&CTR-&&RF-&i;
%DO k=1 %to &&&&NFR-&&RF-&i;
if "&&RF-&i"="VOL-EQ" then DO;
S-&&&&CFR-&&RF-&i...&j...-&&&&NOD-&&RF-&i...&k=ST-&&&&CFR-&&RF-&i...&j...-&&&&NOD-&&RF-
&i...&k;
end;
%end;
%end;

%let i=5;
%DO j=1 %to &&&&CTR-&&RF-&i;
%DO k=1 %to &&&&NFR-&&RF-&i;
if "&&RF-&i"="VOL-FX" then DO;
S-&&&&CFR-&&RF-&i...&j...-&&&&NOD-&&RF-&i...&k=ST-&&&&CFR-&&RF-&i...&j...-&&&&NOD-&&RF-
&i...&k;
end;
%end;
%end;

%let i=6;
%DO j=1 %to &&&&CTR-&&RF-&i;
%DO k=1 %to &&&&NFR-&&RF-&i;
if "&&RF-&i"="VOL-IR" then DO;
S-&&&&CFR-&&RF-&i...&j...-&&&&NOD-&&RF-&i...&k=ST-&&&&CFR-&&RF-&i...&j...-&&&&NOD-&&RF-
&i...&k;
end;
%end;
%end;
end;
run;
data &lib1..Nominales ;
MERGE &lib1..Sensit &lib1..Tasas-esc;
/*Creación Nominales*/ %do i=1 %to 2;
/*Posición EQ y FX*/ %DO j=1 %to &&&&CTR-&&RF-&i;
N-&&&&CFR-&&RF-&i...&j=S-&&&&CFR-&&RF-&i...&j/(-1*&fx-eq-up);
%END;
%END;
%DO j=1 %to &&&&CTR-&&RF-&i;
/*Tasa de Interés*/ %DO k=1 %to &&&&NFR-&&RF-&i;
if "&&RF-&i"="IR" then DO;
N-&&&&CFR-&&RF-&i...&j...-&&&&NOD-&&RF-&i...&k=S-&&&&CFR-&&RF-&i...&j...-&&&&NOD-&&RF-
&i...&k/(1/(1+(T-&&&&CFR-&&RF-&i...&j...-&&&&NOD-&&RF-&i...&k+(&shock))*&&&&NOD-&&RF-&i...
&k/360)-1/(1+(T-&&&&CFR-&&RF-&i...&j...-&&&&NOD-&&RF-&i...&k)*&&&&NOD-&&RF-&i...&k/360));
END;
%end;
%end;

%let i=4;
/*Opción de EQ*/ %DO j=1 %to &&&&CTR-&&RF-&i;
%DO k=1 %to &&&&NFR-&&RF-&i;
if "&&RF-&i"="VOL-EQ" then DO;

```

```

IF "%substr(T-&&&&CFR-&&RF-&i.-&j,7,7)"="SPX-500" THEN PRICE=T-EQX-SPX-500-IND;
ELSE PRICE=T-EQX-IPC-IND;
d1=LOG(PRICE/(PRICE*(1+&sh-EQ)))+((T-&&&&CFR-&&RF-&i.-&j.-&&&&NOD-&&RF-&i.-&k)**2/2
    *&&&&NOD-&&RF-&i.-&k/365)/((T-&&&&CFR-&&RF-&i.-&j.-&&&&NOD-&&RF-&i.-&k)*(&&&&NOD-
&&RF-&i.-&k/365)**(1/2));
d2=LOG(PRICE/(PRICE*(1+&sh-EQ)))-((T-&&&&CFR-&&RF-&i.-&j.-&&&&NOD-&&RF-&i.-&k)**2/2*
    &&&&NOD-&&RF-&i.-&k/365)/((T-&&&&CFR-&&RF-&i.-&j.-&&&&NOD-&&RF-&i.-&k)*(&&&&NOD-
&&RF-&i.-&k/365)**(1/2));
d1P=LOG(PRICE/(PRICE*(1+&sh-EQ)))+((T-&&&&CFR-&&RF-&i.-&j.-&&&&NOD-&&RF-&i.-&k+&shock)**2/2
    *&&&&NOD-&&RF-&i.-&k/365)/((T-&&&&CFR-&&RF-&i.-&j.-&&&&NOD-&&RF-&i.-&k+&shock)*(&&&&NOD-
&&RF-&i.-&k/365)**(1/2));
d2P=LOG(PRICE/(PRICE*(1+&sh-EQ)))-((T-&&&&CFR-&&RF-&i.-&j.-&&&&NOD-&&RF-&i.-&k+&shock)**2/2
    *&&&&NOD-&&RF-&i.-&k/365)/((T-&&&&CFR-&&RF-&i.-&j.-&&&&NOD-&&RF-&i.-&k+&shock)*(&&&&NOD-
&&RF-&i.-&k/365)**(1/2));
IF "%substr(T-&&&&CFR-&&RF-&i.-&j,7,7)"="SPX-500" THEN N-&&&&CFR-&&RF-&i.-&j.-&&&&NOD-
&&RF-&i.-&k=S-&&&&CFR-&&RF-&i.-&j.-&&&&NOD-&&RF-&i.-&k/(PRICE*((1/(1+T-V-IR-SWAP-USD-
BASE-&&&&VNOD-&&RF-&i.-&k*&&&&NOD-&&RF-&i.-&k/360))* (cdf(ÑORMAL',d1P,0,1)-cdf(ÑORMAL',d1,0,1))-
PRICE*(1+&sh-EQ)*(1/(1+T-V-IR-SWAP-USD-BASE-&&&&VNOD-&&RF-&i.-&k*&&&&NOD-&&RF-&i.-&k/360))
*(cdf(ÑORMAL',d2P,0,1)-cdf(ÑORMAL',d2,0,1)))));
ELSE N-&&&&CFR-&&RF-&i.-&j.-&&&&NOD-&&RF-&i.-&k=S-&&&&CFR-&&RF-&i.-&j.-&&&&NOD-&&RF-&i.-&k/
&i.-&k/(PRICE*((1/(1+T-V-IR-SWAP-MXN-BASE-&&&&VNOD-&&RF-&i.-&k*&&&&NOD-&&RF-&i.-&k/360))
*(cdf(ÑORMAL',d1P,0,1)-cdf(ÑORMAL',d1,0,1))-PRICE*(1+&sh-EQ)*(1/(1+T-V-IR-SWAP-MXN-BASE-&&&&VNOD-
&&RF-&i.-&k*&&&&NOD-&&RF-&i.-&k/360)) *(cdf(ÑORMAL',d2P,0,1)-cdf(ÑORMAL',d2,0,1)))));
end;
%end;
%end;
%let i=5;
/*Opción de fx*/
    %DO j=1 %to &&&&CTR-&&RF-&i;
    %DO k=1 %to &&&&NFR-&&RF-&i;
    if "&&RF-&i"="VOL-FX" then DO;
    IF "%substr(T-&&&&CFR-&&RF-&i.-&j,7,3)"="EUR" THEN SPOT=T-FX-EUR;
    ELSE SPOT=T-FX-USD;
    IF "%substr(T-&&&&CFR-&&RF-&i.-&j,7,3)"="EUR" THEN DO;
    d1=(log(1+T-V-MXN-FORWARD-CRV-BASE-&&&&VNOD-&&RF-&i.-&k*&&&&NOD-&&RF-&i.-&k/360)
        *365/&&&&NOD-&&RF-&i.-&k - log(1+T-V-IR-SWAP-EUR-BASE-&&&&VNOD-&&RF-&i.-&k*&&&&NOD-
&&RF-&i.-&k/360)
        *365/&&&&NOD-&&RF-&i.-&k + (T-&&&&CFR-&&RF-&i.-&j.-&&&&NOD-&&RF-&i.-&k)**2/2*&&&&NOD-
&&RF-&i.-&k/365)/((T-&&&&CFR-&&RF-&i.-&j.-&&&&NOD-&&RF-&i.-&k)*(&&&&NOD-&&RF-&i.-&k/365)**(1/2));
    d2=(log(1+T-V-MXN-FORWARD-CRV-BASE-&&&&VNOD-&&RF-&i.-&k*&&&&NOD-&&RF-&i.-&k/360)
        *365/&&&&NOD-&&RF-&i.-&k - log(1+T-V-IR-SWAP-EUR-BASE-&&&&VNOD-&&RF-&i.-&k*&&&&NOD-
&&RF-&i.-&k/360)
        *365/&&&&NOD-&&RF-&i.-&k - (T-&&&&CFR-&&RF-&i.-&j.-&&&&NOD-&&RF-&i.-&k)**2/2*&&&&NOD-
&&RF-&i.-&k/365)/((T-&&&&CFR-&&RF-&i.-&j.-&&&&NOD-&&RF-&i.-&k)*(&&&&NOD-&&RF-&i.-&k/365)**(1/2));
    d1P=(log(1+T-V-MXN-FORWARD-CRV-BASE-&&&&VNOD-&&RF-&i.-&k*&&&&NOD-&&RF-&i.-&k/360)
        *365/&&&&NOD-&&RF-&i.-&k - log(1+T-V-IR-SWAP-EUR-BASE-&&&&VNOD-&&RF-&i.-&k*&&&&NOD-
&&RF-&i.-&k/360)
        *365/&&&&NOD-&&RF-&i.-&k + (T-&&&&CFR-&&RF-&i.-&j.-&&&&NOD-&&RF-&i.-&k+&shock)**2/2*&&&&NOD-
&&RF-&i.-&k/365)/((T-&&&&CFR-&&RF-&i.-&j.-&&&&NOD-&&RF-&i.-&k+&shock)*(&&&&NOD-&&RF-
&i.-&k/365)**(1/2));
    d2P=(log(1+T-V-MXN-FORWARD-CRV-BASE-&&&&VNOD-&&RF-&i.-&k*&&&&NOD-&&RF-&i.-&k/360)

```



```

*(cdf(NORMAL',d1P,0,1)-cdf(NORMAL',d1,0,1))/(1+(1+T-V-MXN-FORWARD-CRV-BASE-
&i.-&k*&NOD-
&i.-&k/360)) *(cdf(NORMAL',d2P,0,1)-cdf(NORMAL',d2,0,1)));
END;
ELSE DO;
d1=(log(1+T-V-MXN-FORWARD-CRV-BASE-
&i.-&k*&NOD-
&i.-&k/360)
*365/&NOD-
&i.-&k - log(1+T-V-IR-SWAP-USD-BASE-
&i.-&k*&NOD-
&i.-&k/360)
*365/&NOD-
&i.-&k + (T-
&i.-&j.-&NOD-
&i.-&k)**2*&NOD-
&i.-&k/365)/((T-
&i.-&j.-&NOD-
&i.-&k)*(
&i.-&k/365)**(1/2));
d2=(log(1+T-V-MXN-FORWARD-CRV-BASE-
&i.-&k*&NOD-
&i.-&k/360)
*365/&NOD-
&i.-&k - log(1+T-V-IR-SWAP-USD-BASE-
&i.-&k*&NOD-
&i.-&k/360)
*365/&NOD-
&i.-&k - (T-
&i.-&j.-&NOD-
&i.-&k)**2*&NOD-
&i.-&k/365)/((T-
&i.-&j.-&NOD-
&i.-&k)*(
&i.-&k/365)**(1/2));
d1P=(log(1+T-V-MXN-FORWARD-CRV-BASE-
&i.-&k*&NOD-
&i.-&k/360)
*365/&NOD-
&i.-&k - log(1+T-V-IR-SWAP-USD-BASE-
&i.-&k*&NOD-
&i.-&k/360)
*365/&NOD-
&i.-&k + (T-
&i.-&j.-&NOD-
&i.-&k+E-
&i.-&j.-&CFR-
&i.-&k)**2*&NOD-
&i.-&k/365)/((T-
&i.-&j.-&CFR-
&i.-&k)*(
&i.-&k/365)**(1/2));
d2P=(log(1+T-V-MXN-FORWARD-CRV-BASE-
&i.-&k*&NOD-
&i.-&k/360)
*365/&NOD-
&i.-&k - log(1+T-V-IR-SWAP-USD-BASE-
&i.-&k*&NOD-
&i.-&k/360)
*365/&NOD-
&i.-&k - (T-
&i.-&j.-&NOD-
&i.-&k+E-
&i.-&j.-&CFR-
&i.-&k)**2*&NOD-
&i.-&k/365)/((T-
&i.-&j.-&CFR-
&i.-&k)*(
&i.-&k/365)**(1/2));
PL-
&i.-&j.-&CFR-
&i.-&k=N-
&i.-&j.-&NOD-
&i.-&k)*
(SPOT*(1/(1+T-V-IR-SWAP-USD-BASE-
&i.-&k*&NOD-
&i.-&k/360)
*(cdf(NORMAL',d1P,0,1)-cdf(NORMAL',d1,0,1))-(1/(1+T-V-MXN-FORWARD-CRV-BASE-
&i.-&k*&NOD-
&i.-&k/360)) *(cdf(NORMAL',d2P,0,1)-cdf(NORMAL',d2,0,1))));
END;
end;
%end;
%end;

%let i=6;
%DO j=1 %to &CTR-
&i;
%DO k=1 %to &NFR-
&i;
if "&i"="VOL-IR" then DO;
d1=LOG(T-V-IR-SWAP-MXN-BASE-
&i.-&k/(T-V-IR-SWAP-MXN-BASE-
&i.-&k+
&i.-&j.-&NOD-
&i.-&k)**2*&NOD-
&i.-&k/365)/((T-
&i.-&j.-&NOD-
&i.-&k)*(
&i.-&k/365)**(1/2));
d2=LOG(T-V-IR-SWAP-MXN-BASE-
&i.-&k/(T-V-IR-SWAP-MXN-BASE-
&i.-&k+
&i.-&j.-&NOD-
&i.-&k)**2*&NOD-
&i.-&k/365)/((T-
&i.-&j.-&NOD-
&i.-&k)*(
&i.-&k/365)**(1/2));
d1P=LOG(T-V-IR-SWAP-MXN-BASE-
&i.-&k/(T-V-IR-SWAP-MXN-BASE-
&i.-&k+
&i.-&j.-&NOD-
&i.-&k+E-
&i.-&j.-&CFR-
&i.-&k)**2*&NOD-
&i.-&k/365)/((T-
&i.-&j.-&NOD-
&i.-&k+E-
&i.-&j.-&CFR-
&i.-&k)*(
&i.-&k/365)**(1/2));

```

```

d2P=LOG(T-V-IR-SWAP-MXN-BASE-$$$VNOD-$$$RF-$$$i-$$$k/(T-V-IR-SWAP-MXN-BASE-$$$VNOD-
$$$RF-$$$i-$$$k*(1+$$$sh-IR)))-((T-$$$CFR-$$$RF-$$$i-$$$j-$$$NOD-$$$RF-$$$i-$$$k+E-$$$CFR-$$$RF-
$$$i-$$$j-$$$NOD-$$$RF-$$$i-$$$k)**2/2*$$$NOD-$$$RF-$$$i-$$$k/365)/((T-$$$CFR-$$$RF-$$$i-$$$j-$$$NOD-
$$$RF-$$$i-$$$k+E-$$$CFR-$$$RF-$$$i-$$$j-$$$NOD-$$$RF-$$$i-$$$k)*($$$NOD-$$$RF-$$$i-$$$k/365)**(1/2));
PL-$$$CFR-$$$RF-$$$i-$$$j-$$$NOD-$$$RF-$$$i-$$$k=N-$$$CFR-$$$RF-$$$i-$$$j-$$$NOD-$$$RF-
$$$i-$$$k*((1/(1+T-V-IR-SWAP-MXN-BASE-$$$VNOD-$$$RF-$$$i-$$$k*$$$NOD-$$$RF-$$$i-$$$k/360))
*(cdf(NORMAL',d1P,0,1)-cdf(NORMAL',d1,0,1))-(1/(1+T-V-IR-SWAP-MXN-BASE-$$$VNOD-$$$RF-
$$$i-$$$k*$$$NOD-$$$RF-$$$i-$$$k/360))
*(cdf(NORMAL',d2P,0,1)-cdf(NORMAL',d2,0,1)));
end;
%end;
%end;

      %do i=1 %to 2;
PL-$$$RF-$$$i=0;
PL-$$$RF-$$$i=0;
%DO j=1 %to $$$CTR-$$$RF-$$$i;
if “%substr(T-$$$CFR-$$$RF-$$$i-$$$j,3,2)”=“FX” then PL-$$$RF-$$$i=PL-$$$RF-$$$i + PL-$$$CFR-$$$RF-
$$$i-$$$j;
else PL-$$$RF-$$$i=PL-$$$RF-$$$i + PL-$$$CFR-$$$RF-$$$i-$$$j;
%END;
%END;
%let i=3;
if “$$$RF-$$$i”=“IR” then DO;
PL-$$$RF-$$$i=0;
PL-$$$RF-$$$i-USD=0;
PL-$$$RF-$$$i-MXN=0;
END;
%let i=5;
if “$$$RF-$$$i”=“VOL-FX” then
      DO;
PL-$$$RF-$$$i-EUR=0;
PL-$$$RF-$$$i-USD=0;
PL-$$$RF-$$$i=0;
end;
%let i=6;
if “$$$RF-$$$i”=“VOL-IR” then PL-$$$RF-$$$i=0;
%let i=4;
if “$$$RF-$$$i”=“VOL-EQ” then DO;
PL-$$$RF-$$$i-USD=0;
PL-$$$RF-$$$i-MXN=0;
PL-$$$RF-$$$i=0;
end;

      %let i=3;
%DO j=1 %to $$$CTR-$$$RF-$$$i;
%DO k=1 %to $$$NFR-$$$RF-$$$i;
if “$$$RF-$$$i”=“IR” then DO;
PL-$$$RF-$$$i=PL-$$$CFR-$$$RF-$$$i-$$$j-$$$NOD-$$$RF-$$$i-$$$k + PL-$$$RF-$$$i;
IF “%substr($$$CFR-$$$RF-$$$i-$$$j,9,3)”=“USD” OR “%substr($$$CFR-$$$RF-$$$i-$$$j,1,3)”=“USD”
THEN PL-$$$RF-$$$i-USD=PL-$$$CFR-$$$RF-$$$i-$$$j-$$$NOD-$$$RF-$$$i-$$$k + PL-$$$RF-$$$i-USD;

```

```

ELSE PL-&&RF-&i..MXN=PL-&&&&CFR-&&RF-&i..-&j..-&&&&NOD-&&RF-&i..-&k + PL-&&RF-&i..MXN;
END;
%end;
%end;

%let i=4;
%DO j=1 %to &&&&CTR-&&RF-&i;
%DO k=1 %to &&&&NFR-&&RF-&i;
if "&&RF-&i"="VOL-EQ" then DO;
IF "%substr(&&&&CFR-&&RF-&i..-&j,5,7)"="SPX-500" THEN PL-&&RF-&i..USD=PL-&&&&CFR-&&RF-
&i..-&j..-&&&&NOD-&&RF-&i..-&k + PL-&&RF-&i..USD;
ELSE PL-&&RF-&i..MXN=PL-&&&&CFR-&&RF-&i..-&j..-&&&&NOD-&&RF-&i..-&k + PL-&&RF-&i..MXN;
PL-&&RF-&i=PL-&&&&CFR-&&RF-&i..-&j..-&&&&NOD-&&RF-&i..-&k + PL-&&RF-&i;
end;
%end;
%end;

%let i=5;
%DO j=1 %to &&&&CTR-&&RF-&i;
%DO k=1 %to &&&&NFR-&&RF-&i;
if "&&RF-&i"="VOL-FX" then DO;
IF "%substr(&&&&CFR-&&RF-&i..-&j,5,3)"="EUR" THEN PL-&&RF-&i..EUR=PL-&&&&CFR-&&RF-&i..
&j..-&&&&NOD-&&RF-&i..-&k + PL-&&RF-&i..EUR;
ELSE PL-&&RF-&i..USD=PL-&&&&CFR-&&RF-&i..-&j..-&&&&NOD-&&RF-&i..-&k + PL-&&RF-&i..USD;

PL-&&RF-&i=PL-&&&&CFR-&&RF-&i..-&j..-&&&&NOD-&&RF-&i..-&k + PL-&&RF-&i;
end;
%end;
%end;

%let i=6;
%DO j=1 %to &&&&CTR-&&RF-&i;
%DO k=1 %to &&&&NFR-&&RF-&i;
if "&&RF-&i"="VOL-IR" then PL-&&RF-&i=PL-&&&&CFR-&&RF-&i..-&j..-&&&&NOD-&&RF-&i..-&k +
PL-&&RF-&i;
%end;
%end;

PL-TOTAL=0;
%do i=1 %to &N-rf;
PL-TOTAL=PL-TOTAL + PL-&&RF-&i;
%END;
RUN;
/*Obtención de VaR*/ %let VaR-esc=%eval((&n-esc*1)/100+1);
%DO i=1 %to &VaR-N;
/*procedimiento sin asumiendo distribucion y percentiles exactos*/ proc univariate data=put.nominales noprint;
VAR PL-&&VaR-nom-&i;
output out=&lib1..Var-&&VaR-nom-&i pctlpts=1 pctlpre=VaR-&&VaR-nom-&i..;
run;
/*procedimiento con escenario*/ proc sort data=put.nominales;
by PL-&&VaR-nom-&i;

```

```
run;

      data &lib1..Var-&&VaR-nom-&i..-ALT ;
set put.nominales (firstobs=&VaR-esc obs=&VaR-esc keep= ESCENARIO PL-&&VaR-nom-&i RENAME=(PL-
&&VaR-nom-&i=VaR-&&VaR-nom-&i ESCENARIO=ESC-&&VaR-nom-&i));
run;

      %END;
data &lib1..VaR-Global-temp;
merge &VaR;
run;

      data &lib1..VaR-Global-temp-alt;
merge &VaR-alt;
run;
%if &f=1 %then %do;
data &lib1..VaR-Global;
set &lib1..VaR-Global-temp;
run;
data &lib1..VaR-Global-alt;
set &lib1..VaR-Global-temp-alt;
run;
%end;
%else %do;
data &lib1..VaR-Global;
set &lib1..VaR-Global &lib1..VaR-Global-temp; run;
data &lib1..VaR-Global-alt; set &lib1..VaR-Global-alt &lib1..VaR-Global-temp-alt; run;
%end;
%end;
%mend;
%CalculoVaR;
```

Bibliografía

- [1] Sanchez Cerón, Carlos, (2001). *Valor en Riesgo y Otras Aproximaciones*, Valuación Análisis y Riesgo, S.C., 1a edición.
- [2] Jorion, P. (1977). “*Value at Risk: the New Benchmark for Controlling Risk*”, Richard D. Irwin.
- [3] Hull, J. (1993). “*Options, Futures, and Other Derivatives*”, Prentice Hall.
- [4] Venegas Martínez, Francisco, (2007). *Riesgos financieros y Económicos*, Thomson
- [5] Sheldon M., Ross, (1997). *Simulation*, Academic Press
- [6] Charles W. Smithson (2001) MANAGING FINANCIAL RISK, A Guide to Derivative Products, Financial Engineering, and Value Maximization. McGraw-Hill.
- [7] A. Soler Ramos, (1999) GESTIÓN DE RIESGOS FINANCIEROS. Un enfoque práctico para países latinoamericanos. BID, Grupo Santander.
- [8] Gabriel Baca Urbina, (2001) EVALUACIÓN DE PROYECTOS McGraw-Hill. México.

- [9] M.R. Greene & O.N., (1978) Serbein, RISK MANAGEMENT: TEXT AND CASES, Reston Publishing Company Inc.
- [10] Cooper's & Lybrand, (1996) GENERALLY ACCEPTED RISK PRINCIPLES, Cooper's & Lybrand.
- [11] Lawrence Weiss, (1990) BANKRUPTCY RESOLUTION: Direct Costs an Violations of Priority of Claims, Journal of Financial Economics
- [12] Acerbi, C., Nordio, C., Sirtori, C. (2001): "*Expected Shortfall as a Tool for Financial Risk Management*" di Abaxbank. Corso Monforte 34
- [13] Ancona-Navarrete, M.A., Tawn, J.A. (2000): "*A comparison of methods for estimating the extremal index*". Extremes 3(1), pp. 5-38.
- [14] Artzner, P., Delbaen, F., Eber, J.M. e Heat, D. (1999): "*Coherent measures of risk*". Mathematical Finance 9, pp. 203-228.
- [15] Black, F., Scholes, M. (1973): "*The pricing of options and corporate liabilities*". Journal of Political Economy, 81, pp. 637 - 654.
- [16] Baxter M., Rennie A. (1996) "*Financial calculus: introduction to derivative pricing*", Cambridge University Press
- [17] Rebonato R. "*Interest-rate option models*", 2ed., Wiley and Sons
- [18] Shafer G., Vovk V. (2001), "*Probability and finance: It's only a game*", Wiley
- [19] Shiryaev A., et al. (2006), "*Stochastic Finance*", Springer
- [20] Wilmott, Howison, Dewynne. (1996), "*The mathematics of financial derivatives*", Cambridge

- [21] Haerdle W., Kleinow T., (2002), *“Stahl G. Applied quantitative finance,* Springer
- [22] Khindanova, I. N., Rachev, S. T. (2000), *“Value at Risk: recent advances”*. Manuscript. www.gloriamundi.org.
- [23] Ramazan G., Faruk S., Abdurrahman U. (2001) *“EVIM: A software package for extreme value analysis in Matlab”*, Bilkent, Ankara.
- [24] Reiss, R.D., Thomas, M. (1997), *“Statistical analysis of extreme values”*. Birkhäuser, Basel.
- [25] Smith, R.L. (1987), *“Estimating tails of probability distributions”*. Ann.Statist
- [26] Steinherr, A. (1998), *“Derivatives. The wild beast of finance”*. Wiley,
- [27] www.riskmexico.com/cgi/asociaciones.asp
- [28] www.cnbv.gob.mx
- [29] www.banxico.gob.mx
- [30] www.bmv.com.mx
- [31] www.valmer.com.mx