**TABLA DE CONTENIDO**

[1. INTRODUCCIÓN 2](#_Toc533665758)

[2. OBJETIVO 3](#_Toc533665759)

[3. ALCANCE 3](#_Toc533665760)

[4. PRODUCTOS ESPERADOS 3](#_Toc533665761)

[5. TÉRMINOS Y DEFINICIONES 3](#_Toc533665762)

[6. METODOLOGÍA DEL MODELO VAR DE SIMULACIÓN HISTÓRICA 4](#_Toc533665763)

[6.1. Aplicación de medición. 6](#_Toc533665764)

[7. MODELO VAR DIVERSIFICADO CON VOLATILIDADES EWMA 6](#_Toc533665765)

[7.1. Estimación de las volatilidades bajo la metodología EWMA 6](#_Toc533665766)

[7.2. Parámetros del Modelo 7](#_Toc533665767)

[7.3. Factores de Riesgo 8](#_Toc533665768)

[7.4. Cálculo de las volatilidades 8](#_Toc533665769)

[7.5. Cálculo del VaR Diversificado 9](#_Toc533665770)

[7.5.1.VaR Individual 9](#_Toc533665771)

[7.5.2.Uso de la Matriz de Correlación para el cálculo del VaR Diversificado 10](#_Toc533665772)

[8. CONCLUSIÓN 11](#_Toc533665773)

[9. BIBLIOGRAFÍA 12](#_Toc533665774)

[10. HISTORIAL DE CAMBIOS 12](#_Toc533665775)

[11. APROBACIÓN 12](#_Toc533665776)

# INTRODUCCIÓN

El Ministerio de Hacienda y Crédito Público (MHCP) a través de la Dirección General de Crédito Público y Tesoro Nacional (DGCPTN) se encarga de la administración de los Excedentes de Liquidez provenientes de recursos propios, recursos administrados y los de los Fondos Especiales por medio de la inversión en mercados financieros nacionales y del extranjero con el fin de que los recursos sean eficientes.

La Subdirección de Riesgo, tiene como función plantear políticas y metodologías que permitan administrar el riesgo asociado a las inversiones que la Tesorería realiza, al igual que diseñar estrategias de control y monitoreo de los riesgos asociados. Con el fin de realizar una adecuada administración de los riesgos, es necesario establecer métodos de cálculo que permitan cuantificar la exposición al riesgo para crear alertas tempranas ante cambios en los mercados que podrían afectar negativamente las inversiones de la Tesorería.

En virtud de responder con las funciones propias de la Subdirección de Riesgo, a continuación se expone la metodología que se implementa para cuantificar el riesgo de mercado, entendiéndose éste como el riesgo que las inversiones enfrentan ante cambios significativos de los precios y las tasas de interés que se registran en los diferentes mercados y sistemas de negociación, permitiendo así establecer políticas de control y monitoreo que ayuden a mitigar el riesgo de que el portafolio de la Nación pierda valor por movimientos en los precios.

El presente documento consta de un marco legal con los antecedentes de la gestión de la administración de los Excedentes de Liquidez en la DGCPTN, un marco teórico donde se definirá la metodología de medición, control y monitoreo del Riesgo de Mercado, y finalmente se presentará el esquema de alertas y de escenarios de riesgo que se aplican a la metodología.

# OBJETIVO

Cuantificar la exposición ante el riesgo de mercado que tiene el portafolio activo de la Nación con el fin de realizar análisis de riesgo y de sensibilidades.

# ALCANCE

Descripción metodológica del cálculo de exposición al riesgo de mercado del portafolio activo de la Nación.

# PRODUCTOS ESPERADOS

Con la aplicación adecuada de la metodología descrita en este documento, se espera obtener el siguiente producto:

* Monto expuesto ante cambios en los precios d los activos que componen el portafolio activo de la nación.

# TÉRMINOS Y DEFINICIONES

* **VaR:** Valor en Riesgo, por sus siglas en inglés (*Value at Risk*). Técnica estadística para medir el riesgo financiero de una inversión.
* **VaR EWMA:** EWMA por sus siglas en inglés *Exponentially Weighted Moving Average.* (Promedio móvil ponderado exponencialmente).
* **VaR diversificado:** Exposicion que tiene en cuenta las correlaciones de los rendimientos de los instrumentos financieros.
* **VaR Histórico:** Técnica de estimación del Riesgo de Mercado que tiene en cuenta los rendimientos del pasado.

# METODOLOGÍA DEL MODELO VAR DE SIMULACIÓN HISTÓRICA

El riesgo de mercado se entiende como la exposición que enfrentan las inversiones ante cambios en los precios y tasas de interés de los instrumentos que se tienen en el portafolio, el cual tiene potencial de generar rendimientos y así mismo de perder valor por movimientos significativos en los precios. La Tesorería de la DGCPTN realiza inversiones en diferentes instrumentos, tanto en moneda extranjera como en moneda local y su portafolio esta principalmente compuesto por inversiones de tasa fija que son valorados a precios de mercado. Los instrumentos en moneda local son en su gran mayoría títulos de deuda pública tanto en COP como en UVR y los instrumentos en moneda extranjera están representados por depósitos a término y fondos del mercado monetario (*Time Deposits y Money Market Fund*), al analizar el tipo de operaciones que la Tesorería realiza, se evidencia que el valor del portafolio puede presentar una disminución dependiendo del valor de mercado (precio) registrado diariamente en las plataformas transaccionales.

Teniendo en cuenta que la Subdirección de Riesgo debe identificar, controlar y monitorear los riesgos que implica la administración de los recursos de la Nación, es necesario cuantificar la pérdida potencial del portafolio activo. De acuerdo a las inversiones que la Tesorería realiza, el riesgo identificado para las operaciones de los instrumentos de deuda pública son los movimientos en los precios y las tasas de interés que se registran en los mercados, los cuales cambian diariamente, adicionalmente se debe tener en cuenta el valor de la UVR para los instrumentos denominados en UVR. En cuanto a las inversiones en moneda extranjera se estudian los movimientos en la tasa de cambio, pues las inversiones en *Time Deposits* y en los *Money Market Funds* son pactadas en su moneda de origen (USD), por lo que los retornos de las inversiones van a depender de la tasa de cambio.

Con el fin de calcular el valor en riesgo que el portafolio podría enfrentar ante cambios en los precios y las tasas de interés, la Subdirección de Riesgo implementa la metodología del *VaR* (por sus siglas en ingles *Value at Risk*), la cual permite cuantificar la máxima perdida probable basándose en las variaciones de los precios estableciendo un horizonte de tiempo y un nivel de confianza. Existen diferentes maneras de calcular el *VaR*, una de ellas se denomina el *VaR* Histórico, y se calcula con base en la historia de los precios.

El objetivo principal de la implementación de la metodología es la estimación del valor en riesgo del portafolio, para esto, la aplicación de la metodología se realiza a partir del siguiente procedimiento:

* Se construye una serie de tiempo con los datos de los rendimientos simulados históricos, donde se asume que la ponderación de las inversiones se han mantenido en el portafolio durante todo el periodo de tiempo de la serie de datos. Para la simulación de los rendimientos, se deben tener los precios diarios históricos (es recomendable tener una muestra de precios entre 250 y 500 datos). Posteriormente se debe calcular el percentil 1 (en el caso en que se haya establecido un nivel de confianza del 99%) con base en el histograma de frecuencias. El método para realizar la simulación de los retornos se basa en el crecimiento logarítmico de la siguiente manera:

El cálculo de la simulación de los rendimientos se basa principalmente en el supuesto de que las condiciones del mercado hoy (*t*) son similares a las condiciones del mercado en el pasado (*t-1*).

* De esta forma se obtiene una serie de tiempo simulada para los precios, donde se incorpora la simulación del crecimiento de los rendimientos, definiendo un nuevo precio (*P\**) como se muestra a continuación:

Donde *P0* corresponde al valor de mercado, pues es necesario comparar las simulaciones con el mercado actual.

* Con la simulación de los rendimientos y de los precios, se puede calcular una serie de tiempo de pérdidas y ganancias simulada que se basa en el precio de mercado y el precio que incorpora el crecimiento de los rendimientos.
* Se calcula el valor en riesgo con base en la siguiente ecuación

*NC* = Nivel de Confianza

El nivel del percentil se establece de acuerdo al nivel de confianza deseado, es decir que si se quiere un nivel de significancia del 99%, el percentil debe ser 0,01 del histograma de la simulación de la serie de *Pérdidas y Ganancias.*

Las etapas de medición descritas anteriormente permiten cuantificar la máxima perdida probable a la que está expuesta el portafolio activo de la Nación, en un horizonte de tiempo determinado a un nivel de confianza establecido. El *VaR Histórico* incorpora la volatilidad de los precios mediante las simulaciones históricas de los rendimientos y de la serie de pérdidas y ganancias calculada con base en los precios de mercado y los precios simulados.

## Aplicación de medición.

Con el fin de realizar la medición del Valor en Riesgo de las inversiones que realiza la Tesorería, se toman diferentes insumos para la aplicación del modelo VaR Histórico. Vale la pena mencionar que la medición del Valor en Riesgo se realiza todos los días, por lo que los resultados de la medición se interpretan como la máxima pérdida esperada en un día con un nivel de confianza del 99% bajo condiciones normales. Para la simulación de los rendimientos el modelo utiliza como insumo el valor de los cupones, vencimiento de los títulos y los betas de valoración tanto para los instrumentos denominados en COP como en UVR, y a partir de esta información el modelo valora cada uno de los instrumentos por medio de la siguiente formula[[1]](#footnote-1) la cual define la curva cero cupón generada por el modelo de Nelson-Siegel que describe la trayectoria de las tasas de interés forward en función de un vector de cuatro parámetros compuesto por los betas de valoración (B0, B1, B2, t) y del plazo de vencimiento m.

De esta forma se relacionan los rendimientos y los plazos de cada instrumento para su respectiva valoración. Adicionalmente, para el cálculo de los rendimientos de los instrumentos denominados en *UVR* y en *USD* se debe tener una serie de tiempo con el registro diario de los mismos.

Finalmente, con la simulación de los rendimientos se identifica el Valor en Riesgo del portafolio (*VaR* diversificado que tiene en cuenta el peso que tiene cada tipo de inversión para su medición) y se hace el cálculo individual tanto por factores de riesgo (COP, UVR y TRM) como para cada uno de los TES.

# MODELO VAR DIVERSIFICADO CON VOLATILIDADES EWMA

## Estimación de las volatilidades bajo la metodología EWMA

En 1994 el Banco Estadounidense JP MORGAN publicó un documento técnico llamado Riskmetrics, en el cual propuso el VaR como base para medir cuantitativamente el riesgo de mercado de los instrumentos de deuda y también los portafolios de inversión.

El modelo de JP MORGAN tiene bases estadísticas y probabilísticas que permiten pronosticar posiciones en riesgo sobre determinado activo, de forma que se volvió un estándar internacional. Una de las metodologías usadas por la DGCPTN para identificar, evaluar y monitorear el VaR es la metodología de volatilidades exponenciales conocida como Exponentially Weighted Moving Average (E.W.M.A), que es definido como Medias Móviles Ponderadas Exponencialmente.

La ventaja de este modelo es que captura de forma eficiente las repentinas variaciones en los precios de los activos, los rendimientos determinados de un activo son ordenados en una serie de tiempo para poder asignar un factor de decaimiento llamado lambda (λ), este factor asigna una mayor ponderación a las observaciones más recientes, es decir los datos de una ventana de tiempo determinada que se van quedando rezagados, tienen una importancia menor. Esta metodología parte de observaciones históricas y le confiere mayor peso a las últimas o más recientes observaciones que a las primeras o más alejadas del tiempo y por ello es posible generar mejores pronósticos en épocas de alta volatilidad.

## Parámetros del Modelo

Factor de decaimiento: El factor de decaimiento (Decay Factor) llamado lambda (λ) busca asignar una mayor ponderación en el cálculo a las observaciones más recientes. Se utilizará un lambda de 90% atendiendo las recomendaciones sugeridas por el documento técnico para series diarias.

Ventana de Tiempo: Corresponde al número de datos de la serie de tiempo para estimar la volatilidad. Para el caso de la volatilidad EWMA, se tendrá en cuenta el valor del nivel de confianza y el valor definido de . Para estimar la ventana de tiempo se define la siguiente expresión:

Horizonte de Tiempo: 1 día, el cálculo, medición y monitoreo del riesgo de Mercado debe ser hecho diariamente. Por lo tanto el resultado de este cálculo, debe ser expresado en términos de tenencia diaria del portafolio de inversiones = .

Nivel de Confianza: La probabilidad asignada para el cálculo del VaR es del 99%, es decir para una distribución normal el numero desviaciones estándar alrededor de la media cubren aproximadamente el 99% de los rendimientos financieros posibles, en este caso el área bajo la curva corresponde a 2.33 desviaciones estándar de la media. En otras palabras, existe una probabilidad del 99% de que ocurra una observación diste (positiva o negativamente) 2.33 veces de la media.

## Factores de Riesgo

Un factor de riesgo de mercado es una variable financiera básica, determinada por el mercado de valores, cuyo comportamiento tiene un impacto en el precio de un activo financiero. Los factores del riesgo del modelo incluyen tasas de cambio y tasas de interés.

## Cálculo de las volatilidades

La volatilidad es la desviación estándar de los rendimientos de un activo. El rendimiento de un activo es el cambio de valor que registra en un periodo respecto al periodo inicial. La volatilidad es un indiciador fundamental para la cuantificación de riesgos de mercado porque representa una medida de dispersión de los rendimientos con respecto a la media de los mismos en un horizonte de tiempo definido.

Para obtener el cálculo las volatilidades de los activos se requiere, en primer lugar, estimar los rendimientos de los precios de la siguiente manera:

Donde:

= Rendimiento

= Valor más reciente del activo

= Valor anterior del activo

De la serie de tiempo determinada a partir del cálculo de los rendimientos se requiere, antes de estimar la volatilidad EWMA, definir el nivel de ponderación. Para esto se define la varianza de los rendimientos por su peso específico de la siguiente manera:

Donde es el factor de decaimiento o de ponderación para cada uno de los rendimientos de la serie, en el cual asigna mayor ponderación a los datos más recientes. Este factor se estima de la siguiente manera:

De manera que la varianza de los rendimientos por su factor de ponderación se puede expresar de la siguiente manera:

Posteriormente, se define la volatilidad como la desviación estándar de los rendimientos, para las volatilidades EWMA se toma la expresión anterior y se estima su raíz cuadrada de la siguiente manera:

## Cálculo del VaR Diversificado

### VaR Individual

Para el cálculo para cada uno de los activos que conforman el portafolio de la nación, se presenta la siguiente ecuación:

Donde:

= Factor que determina el nivel de confianza. Para un nivel de confianza del 99%, = 2.33.

= Monto de la inversión que presenta exposición de riesgo.

= Volatilidad EWMA del activo.

= Horizonte de tiempo en que se desea calcular el VaR.

### Uso de la Matriz de Correlación para el cálculo del VaR Diversificado

El VaR diversificado toma en cuenta las correlaciones de los rendimientos entre instrumentos. Hay correlación entre dos instrumentos cuando la variación de una de ellas explica la variación de la otra. No hay correlación, cuando la variación de una no explica el comportamiento de la otra variable. Se mide a través del coeficiente de correlación:

Dónde:

= Covarianza de y

= Desviación estándar de la serie de tiempo del instrumento

= Desviación estándar de la serie de tiempo del instrumento

El valor del coeficiente fluctúa entre -1 y 1. Correlación = 1 significa correlación positiva, es decir, cuando una variable cambia, la otra también cambia en el mismo sentido. Correlación = -1 significa correlación negativa es decir cuando una variable cambia en sentido positivo la otra lo hace en sentido negativo o viceversa. Si la correlación es 0, se dice que son variables independientes y que una variable no depende de la otra.

La matriz de correlaciones usada para estimar el modelo de Var diversificado se puede expresar de la siguiente manera:

En el entendido que los precios de los activos no presentan movimientos paralelos o directamente correlacionados, la agregación de los valores en riesgo de las diferentes posiciones puede sobreestimar el riesgo que se está asumiendo. En este sentido la agregación de los diversos factores de riesgo debe considerar las correlaciones entre ellos, para esto, se calcula la matriz de correlación

Partiendo del valor en riesgo calculado y teniendo en cuenta que cada título tiene asociado un factor de riesgo, entonces se puede realizar una agregación del valor en riesgo por factor sumando el VaR de los títulos que se vean afectados por idéntico factor de riesgo. De esta forma se van a tener tantos VaR agregados como factores de riesgo se hayan definido.

Una vez sumados los VaR por cada factor de riesgo se puede construir una matriz de 1 x m (m: número de factores de riesgo definido).

La notación vectorial de los VaR agregados por factor se presenta a continuación:

El orden de los componentes de la matriz anterior debe ser consistente con el orden de los factores de riesgo en la matriz de correlación.

El VaR correlacionado resulta de la raíz cuadrada de la multiplicación matricial entre el vector de VaR agregado por factor, la matriz de correlación y el vector transpuesto de VaR agregado por factor, como se muestra a continuación:

# CONCLUSIÓN

Mediante la aplicación de la metodología del *VaR*, se logra conocer la exposición de las inversiones ante volatilidades de los precios de los instrumentos, identificando riesgo de pérdidas del portafolio. De esta manera, el *VaR* es una herramienta que permite una correcta administración del riesgo de mercado identificando periodos de alta volatilidad y el efecto que se tiene sobre los precios de las inversiones. Adicionalmente, permite reconocer las posiciones más expuestas a pérdidas potenciales causadas por movimientos en los mercados.

Con la aplicación de la metodología la Subdirección de Riesgo tiene la posibilidad de monitorear y controlar los riesgos potenciales que asume el portafolio activo de la Nación.

# BIBLIOGRAFÍA

* Jorion, P, (2001), *“Value at Risk”*, Estados Unidos New York, McGraw-Hill.
* De Lara, A, (2011), *“Medición y control de riesgos financieros”,* México, México D.F, Limusa Noriega Editores.

# HISTORIAL DE CAMBIOS

| **FECHA** | **VERSIÓN** | **DESCRIPCIÓN DEL CAMBIO** | **ASESOR SUG** |
| --- | --- | --- | --- |
| 20-12-2018 | 1 | Creación del documento | Tatiana Santos Yate |

# APROBACIÓN

|  |  |
| --- | --- |
| **ELABORADO POR:** | **Nombre:** María Catalina Cano Ramos  **Cargo:** Contratista  **Fecha:** Mayo de 2018 |
| **REVISADO POR:** | **Nombre:** Jesus David Rincon Coral  **Cargo:** Profesional Especializado  **Fecha:** Mayo de 2018 |
| **APROBADO POR:** | **Nombre:** Javier Andrés Cuellar Sánchez  **Cargo:**Subdirector de Riesgo  **Fecha**: 20 de diciembre de 2018 |

1. Curva cero cupón con tasa continua, para la transformación a tasa discreta se realiza el cálculo [↑](#footnote-ref-1)