



Vigilada Mineducación

Aplicación de Backtesting y Stresstesting al modelo actuarial para establecer el valor del contrato en una Institución Prestador de Servicios de Salud (IPS) de Colombia.

Application of Backtesting and Stresstesting to the actuarial model to establish the value of the contract in a Health Service Provider Institution (IPS) in Colombia.

### Autores:

Edwin Andrés Gómez Peña  
eagomezp@eafit.edu.co  
Andrés Geovanny Suaza  
agsuazar@eafit.edu.co

### Asesor:

Brayan Ricardo Rojas Ormaza

### Universidad EAFIT

Escuela de Finanzas, Economía y Gobierno  
Maestría en Administración Financiera – MAF  
Cali  
2024

## Resumen

En el sistema de salud colombiano, las IPS son reguladas por Supersalud. En 2021 emitieron la circular 2021170000004-5, instruyendo la creación de un sistema integral de gestión de riesgos para las IPS. La gestión de riesgo actuarial es esencial para valorar los contratos de salud, ya que las IPS enfrentan diversos riesgos en su operación. La circular insta a las IPS a realizar pruebas de estrés y autocomprobación en los modelos actuariales usados para establecer valores contractuales, ajustándolos para mitigar riesgos. Los modelos determinan las primas de servicios y un mal cálculo podría afectar la operación, generando déficits presupuestarios. Se usarán estudios de suficiencia y ajustes de riesgo del Ministerio de Salud para calcular pagos por capitación en 2023. Las pruebas de estrés se aplicarán a los contratos, creando un referente para que las IPS minimicen riesgos operativos y de liquidez, cumpliendo los requisitos de Supersalud.

### Palabras Claves:

Backtesting, Stresstesting, Gestión de riesgos, Contratos en Salud, Test de Kupiec, Test de Christoffesen, Test de Engle y Manganelli.

## Abstract

In the Colombian health system, healthcare providers (IPS) are regulated by Supersalud. In 2021, they issued circular 2021170000004-5, instructing the creation of a comprehensive risk management system for IPS. Actuarial risk management is essential for valuing health contracts, as IPS face various risks in their operations. The circular urges IPS to perform stress tests and self-verification on actuarial models used to establish contractual values, adjusting them to mitigate risks. These models determine service premiums, and miscalculation could affect operations, generating budget deficits. Sufficiency studies and risk adjustments from the Ministry of Health will be used to calculate capitation payments in 2023. Stress tests will be applied to contracts, creating a reference for IPS to minimize operational and liquidity risks, complying with Supersalud requirements.

Keywords:

Backtesting, Stresstesting, Risk management, Health contracts, Test de Kupiec, Test of Christoffersen, Test de Engle y Manganelli.

## Contenido

|          |   |    |
|----------|---|----|
| 1.       | Introducción.....   | 8  |
| 2.       | Situación de estudio.....                                   | 10 |
| 2.1.     | Pregunta de investigación.....                              | 11 |
| 3.       | Objetivos .....   | 11 |
| 3.1.     | Objetivo general .....                                      | 11 |
| 3.2.     | Objetivos específicos.....                                  | 12 |
| 4.       | Marco de referencia conceptual.....                         | 12 |
| 5.       | Metodología.....  | 15 |
| 5.1.     | Definiciones.....   | 16 |
| 5.2.     | Backtesting .....   | 19 |
| 5.3.     | Metodologías para el cálculo del VaR .....                  | 22 |
| 5.3.1.   | Metodología Varianza-Covarianza o Delta normal .....        | 22 |
| 5.3.2.   | Delta - Normal EWMA .....                                   | 23 |
| 5.3.3.   | Simulación Histórica .....                                  | 24 |
| 5.3.4.   | Simulación Montecarlo .....                                 | 26 |
| 5.3.5.   | Prueba Estadística .....                                    | 28 |
| 5.3.5.1. | Test de Kupiec .....  | 28 |
| 5.3.5.2. | Test of Christoffersen(1998).....                           | 30 |
| 5.3.5.3. | Test de Engle y Manganelli.....                             | 32 |
| 5.4.     | Stresstesting.....  | 34 |
| 6.       | Método de solución .....                                    | 36 |
| 7.       | Proceso de generación de la data.....                       | 40 |
| 8.       | Análisis Descriptivo .....                                  | 42 |
| 8.1.     | Información del Contrato de la ciudad de Barranquilla ..... | 43 |
| 8.2.     | Información del Contrato de la ciudad de Bogotá .....       | 47 |
| 8.3.     | Información del Contrato de la ciudad de Cali .....         | 51 |
| 9.       | Resultados .....  | 55 |
| 9.1.     | Cálculo del Value at Risk (VaR) .....                       | 57 |
| 9.2.     | Cálculo del Backtesting.....                                | 59 |
| 9.3.     | Cálculo del Stresstesting.....                              | 64 |
| 10.      | Conclusiones .....  | 67 |

Referencias..... 70

## TABLA DE GRÁFICOS

|   |    |
|---|----|
| Gráfico 1 Pirámide utilización servicios sede Barranquilla. ....  | 43 |
| Gráfico 2 Utilización de los servicios de salud sede Barranquilla. ....   | 44 |
| Gráfico 3 Histograma de utilización servicios médicos Barranquilla. ....  | 45 |
| Gráfico 4 Pirámide utilización servicios de salud sede Bogotá.....  | 47 |
| Gráfico 5 Utilización de los servicios de salud sede Bogotá.....  | 48 |
| Gráfico 6 Histograma de utilización de servicios médicos sede Bogotá.....   | 49 |
| Gráfico 7 Pirámide utilización servicios de salud sede Cali. ....   | 51 |
| Gráfico 8 Utilización de los servicios de salud sede Cali.....  | 52 |
| Gráfico 9 Histograma de utilización de servicios médicos sede Cali.....   | 53 |
| Gráfico 10 Utilización de los servicios de salud en los contratos de las ciudades de Barranquilla, Bogotá y Cali. ....                        | 55 |
| Gráfico 11 Comportamiento de los contratos Barranquilla, Bogotá y Cali en la misma escala.....  | 56 |
| Gráfico 12 Comportamiento de las volatilidades para los contratos de Barranquilla, Bogotá y Cali por los cuatros métodos.....                 | 59 |
| Gráfico 13 Comportamiento del Var Per cápita diario ejecutado para los contratos de Barranquilla, Bogotá y Cali por los cuatros métodos. .... | 60 |
| Gráfico 14 Comportamiento del VaR diario ajustado para los contratos de Barranquilla, Bogotá y Cali. .  | 64 |

## LISTA DE TABLAS

|   |    |
|---|----|
| Tabla 1: Enfoque del BIS para interpretar el Backtesting.....                                     | 20 |
| Tabla 2. Distribución de la severidad por deciles sede Barranquilla.....                          | 46 |
| Tabla 3. Distribución de la severidad por deciles sede Bogotá. ....                               | 50 |
| Tabla 4. Distribución de la severidad por deciles sede Cali.....                                  | 54 |
| Tabla 5. Resultados del VaR en los diferentes métodos.....  | 57 |
| Tabla 6 Valor Per cápita Diario de referencia.....  | 58 |
| Tabla 7 Excepciones Bactesting enfoque BIS para los contratos de Barranquilla, Bogotá y Cali..... | 61 |
| Tabla 8 Resultados test de Kupiec, test de Christoffersen y test de Engle and Manganelli. ....    | 63 |
| Tabla 9 Resultados del CVaR para los contratos de Barranquilla, Bogotá y Cali.....                | 65 |

## LLISTA DE ILUSTRACIONES

|  |    |
|--|----|
| Ilustración 1. Valor en riesgo del riesgo operacional .....    | 35 |
| Ilustración 2. Anexo técnico Frecuencia y severidad CUPS ..... | 39 |

## 1. Introducción

Al año 2023, el sistema de salud en Colombia se caracteriza por contar con instituciones prestadoras de servicios de salud (IPS) que están sujetas a regulación por parte de la Superintendencia Nacional de Salud (Supersalud). Esta entidad desempeña un papel fundamental en la supervisión, control e inspección del sistema general de seguridad social en salud. Durante el año 2021, la Supersalud, en cumplimiento de sus responsabilidades, emite la circular externa 20211700000004-5, la cual establece directrices para la implementación de un sistema integral de gestión de riesgos, así como subsistemas de administración de riesgos destinados a las IPS.

En el desarrollo de la operación normal, las Instituciones Prestadoras de Servicios de Salud (IPS) celebran contratos de prestación de servicios médicos que incorporan técnicas actuariales para su valoración. El objetivo principal es garantizar la mejora de la salud de las personas y la reducción de los riesgos para el sistema de salud, ofreciendo mejores servicios y oportunidades. Esto hace que el valor acordado entre la Entidades Promotoras de Salud (EPS) y la IPS, cubra los costos asociados con la prestación de atención médica. No obstante, este escenario conlleva la aparición de diversos riesgos. En este contexto, el enfoque de esta tesis se concentrará en el riesgo actuarial y la comprobación de dichos modelos mediante técnicas de Backtesting y Stresstesting.

Los modelos de Backtesting y Stresstesting son una herramienta para la gestión de riesgos, actualmente su uso se aplica en mayor proporción para evaluación de riesgos financieros, Ramadiah, Fricke y Caccioli (2022) propusieron un marco de Backtesting para evaluar el rendimiento predictivo de diferentes modelos de prueba de estrés de liquidación forzada y para elegir el modelo más preciso de un conjunto de alternativas. Dado que no existe un referente en el sistema de salud en Colombia que regule la aplicación de estos modelos, se propone adoptar como

referencia la metodología indicada en los acuerdos del comité de Supervisión Bancaria de Basilea II (2004), donde incorpora en el enfoque de supervisión el seguimiento y validación de los modelos Backtesting y Stresstesting (Segundo Pilar de Basilea II), debido a esto el Banco Internacional de Pagos (BIS) por sus siglas en Ingles, en marzo 2009 emitió una guía , realizada por el comité de Basilea, llamada: Principios para la realización y supervisión de pruebas de tensión, la cual recoge las recomendaciones resultantes de la evaluación de las pruebas de tensión y las recomendaciones para implementar buenas particas.

La motivación detrás de esta Tesis es aplicar los modelos probados en el ámbito financiero en un contexto distinto, específicamente en el sector de la salud. El objetivo es transferir la experiencia adquirida en las metodologías de Backtesting y Stresstesting del ámbito financiero al sector real, buscando implementar herramientas para detectar y reducir riesgos en el sistema de salud.

## 2. Situación de estudio

Actualmente en el sistema de salud colombiano, existen instituciones prestadoras de servicios de salud (IPS) reguladas por la Superintendencia Nacional de Salud (Supersalud), la cual tiene funciones de dirigir el sistema de inspección, vigilancia y control del sistema general de seguridad social en salud. En el año 2021 la Supersalud en ejercicio de sus deberes emite la circular externa 20211700000004-5, en la cual se imparten instrucciones sobre la creación de un sistema integral de gestión de riesgos y subsistemas de administración de riesgo para las IPS.

La gestión del riesgo actuarial respecto a la valoración de los contratos en la prestación de servicios de salud es de vital importancia, ya que, en el desarrollo de la operación de las IPS, existe una exposición a diversos riesgos inherentes, que deben ser identificados, administrados y evaluados, promoviendo el autocontrol y la autorregulación.

La Supersalud a las IPS, por medio de la circular mencionada anteriormente, ordena realizar pruebas de estrés (Stresstesting) y ejercicios de autocomprobación (Backtesting) sobre los modelos actuariales utilizados para establecer los valores de los contratos, y de esta manera realizar los ajustes correspondientes para mitigar probabilidad de ocurrencia del riesgo de ejecución en los contratos. Los modelos actuariales se usan para construir el valor de las primas de servicios en salud, generando la valuación del nivel de ingresos requeridos para la ejecución de contratos, el mal cálculo podría afectar la operación generando déficit del presupuesto asignado, impactando la liquidez y resultados económicos de la IPS.

Se tomará la frecuencia y severidad del Estudio de suficiencia y de los mecanismos de ajustes de riesgos para el cálculo de la unidad de pago por capitación del año 2023, realizado por el Ministerio

de Salud y Protección Social (Minsalud). Con esta información se construirán las primas de los contratos de servicios de salud para el Nivel Básico de atención. A partir de esta información se creará un contrato Pago Global Prospectivo (PGP), al cual se le aplicarán las pruebas de estrés ((Stresstesting) y (Backtesting). Con la implementación de estas pruebas se busca crear un referente para que la IPS puedan replicar esta metodología y cumplir con el requerimiento de la Supersalud minimizando los riesgos de operación y liquidez.

## 2.1. Pregunta de investigación

¿Cómo aplicar las pruebas de Stresstesting y ejercicios de autocomprobación Backtesting al modelo actuarial utilizados para establecer el valor del contrato en una Institución Prestador de Servicios de Salud (IPS) de Colombia?

## 3. Objetivos

### 3.1. Objetivo general

Aplicar pruebas Backtesting y Stresstesting al modelo actuarial para establecer el valor del contrato en una Institución Prestador de Servicios de Salud (IPS) de Colombia bajo la Circular Externa 20211700000004-5 DE 2021, con el fin de medir la incidencia en el riesgo y garantizar una evaluación precisa y confiable del contrato.

### 3.2. Objetivos específicos

- Evaluar la precisión del modelo actuarial mediante una prueba de Backtesting, con el fin de medir la incidencia en el riesgo y garantizar una evaluación precisa del contrato.
- Medir la resistencia del modelo actuarial mediante una prueba de Stresstesting, con el fin de medir la incidencia en el riesgo y garantizar una evaluación precisa de la resistencia del contrato.
- Mitigar posibles sesgos en el modelo actuarial que establece el valor del contrato en una IPS.

## 4. Marco de referencia conceptual

Los modelos actuariales desempeñan un papel fundamental en la determinación de los valores de los contratos, tanto en el sector salud como en el sector financiero y asegurador. Estos modelos se fundamentan en la proyección a partir de datos históricos, utilizando supuestos que permiten estimar los flujos de efectivo asociados, sin embargo, los modelos de gestión de riesgos han sido una práctica con mayor investigación y desarrollo en el sector financiero y de seguros durante varios años, en contraste, su aplicación en el sector de la salud ha sido limitada. Aunque los modelos más avanzados suelen ser utilizados por grandes aseguradoras y reaseguradoras, su desarrollo está ayudando a elevar los estándares de gestión de riesgos en general, incluso en el ámbito de la salud.

Por otro lado, todo modelo es una representación de un fenómeno real, y al realizar una modelización matemática se busca facilitar el análisis y la toma de decisiones racionales en torno

a una situación. El ideal es que el modelo represente lo más fielmente posible el fenómeno real, pero hasta cierto límite, ya que la complejidad del modelo abarca aspectos como las condiciones, hipótesis o supuestos bajo los cuales es aplicable.

Es imperativo entonces el análisis de riesgos, cuyas técnicas modernas tienen sus raíces en investigaciones como la de Harry M. Markowitz en 1952 sobre los principios de la selección de carteras de valores. Markowitz, junto con otros investigadores como William F. Sharpe y John Lintner, realizaron investigaciones enfocadas en el ámbito de activos financieros, quienes desarrollaron modelos que recogen los rasgos fundamentales de la conducta racional del inversor, buscando maximizar la rentabilidad para un determinado nivel de riesgo o minimizar el riesgo para una rentabilidad dada.

La presente investigación busca adaptar los modelos de análisis de riesgos al contexto del sistema de salud en Colombia, dando una guía a la aplicación de las nuevas normativas para la valoración de contratos en el sector salud y las buenas prácticas en lo referente a la gestión de riesgos, dada la complejidad del seguimiento y cumplimiento de los contratos. La Superintendencia Nacional de Salud (Supersalud), por medio de la Circular Externa 20211700000004-5 DE 2021, bajo el modelo de Supervisión Basada en Riesgos (SBR), encabeza el Sistema de Inspección, Vigilancia y Control (IVC) del sector salud, de acuerdo con la Ley 1122 de 2007. Dentro de este contexto regulatorio, se solicita a las Instituciones Prestadoras de Servicios de Salud (IPS) a realizar pruebas de estrés (Stresstesting) y ejercicios de autocomprobación (Backtesting) sobre los modelos actuariales utilizados para establecer los valores de los contratos, y de esta manera realizar los ajustes correspondientes. La anterior solicitud se encuentra en la Circular Externa 20211700000004-5 DE 2021(Superintendencia de Salud de Colombia, 2021):

*“Artículo 3.1.3 sección C. Realizar pruebas de estrés (Stress-Testing) y ejercicios de autocomprobación (Back-Testing) sobre los modelos actuariales utilizados para establecer los valores de los contratos, y de esta manera realizar los ajustes” (Circular Externa 20211700000004-5,2021, p. 27)*

*“Artículo 5.1.3 Párrafo 6. Asimismo, las entidades deberán incluir mediciones de escenarios extremos (stresstesting) y de back testing, como medios para verificar la precisión de las proyecciones obtenidas a través de las pruebas de liquidez y hacerlas parte de estas para hacer ajustes posteriores.” (Circular Externa 20211700000004-5,2021, p. 37)*

El Backtesting y el Stresstesting son dos herramientas necesarias y ampliamente utilizadas para gestionar los riesgos en los mercados financieros. El Backtesting implica evaluar el desempeño de una estrategia o modelo de inversión utilizando datos históricos, mientras que las pruebas de estrés se centran en analizar el comportamiento de la cartera o el sentimiento de la posición financiera de la organización en situaciones hipotéticas de crisis.

En los últimos años, los métodos de Backtesting y Stresstesting han experimentado avances significativos. Este desarrollo está impulsado por la creciente complejidad de los mercados financieros, la necesidad de cumplir con los requisitos regulatorios y la búsqueda constante de métodos de evaluación de riesgos más precisos y realistas.

A partir de las conclusiones de expertos en la materia, Viollet (2023) destaca los desafíos que enfrentan las entidades de contrapartida central en términos de evaluación de riesgos y pruebas de estrés, especialmente en un entorno de mercado financiero dinámico, donde el riesgo puede desarrollarse rápidamente. Packham y Woebeking (2023) enfatizan la importancia de analizar

escenarios de correlación y su impacto en las pruebas de estrés, reconociendo que las correlaciones entre activos pueden tener un impacto significativo en los resultados de estas pruebas. Deng y Qiu (2021) proponen un enfoque innovador para examinar los déficits esperados, superando las limitaciones de los métodos tradicionales y teniendo en cuenta los riesgos extremos. Finalmente, Tsafack y Cataldo (2021) exploran el impacto del error de estimación en el Backtesting del valor en riesgo (VaR), resaltan cómo puede sesgar los resultados del Backtesting y sugieren estrategias para minimizar este sesgo.

En conjunto, estos artículos brindan una descripción general de los diferentes métodos de Backtesting y Stresstesting, además de discutir las ventajas y desventajas de cada método de gestión del riesgo en los mercados financieros.

## 5. Metodología

### **Cálculo de la Prima del Contrato (Modelo Actuarial)**

Para el Año 2023, Minsalud presentó el Estudio de suficiencia y de los mecanismos de ajuste de riesgo para el cálculo de la Unidad de Pago por Capitación 2023, en este documento aparece la metodología Actuarial que utilizan para el cálculo de la Prima otorgada a través de la Unidad de Pago por Capitación (UPC) a las EPS en Colombia, Esta metodología será el referente metodológico que se estudiará en esta tesis para realizar los cálculos actuariales para los valores de los contratos. A continuación, se presentan los conceptos actuariales utilizados en una nota técnica de contratación, con la cual se definirán los modelos, supuestos y demás estudios matemáticos, estadísticos y financieros.

## 5.1. Definiciones

**Riesgo:** Es la posibilidad futura o incierta de ocurrencia de la materialización del uso de los servicios por una contingencia (accidente o enfermedad) o por autonomía por acceso directo a determinados servicios por parte del afiliado (asegurado) y que por efectos de su materialización se genera el pago de los costos producidos por la prestación de los servicios médicos por parte del asegurador (EPS).

**Riesgo Amparado:** Son los costos de los servicios médicos que se originan por una contingencia o demanda del servicio de manera autónoma por parte del asegurado, y los cuales hacen parte de las coberturas del Plan de Beneficios en Salud (PBS), motivo por el cual, el asegurador al momento de originarse el suceso asume dicho monto con cargo a la prima pagada previamente por el asegurado. El riesgo amparado dentro del plan incluye servicios médicos, como: laboratorios clínicos y ayudas diagnósticas, tratamiento ambulatorio y hospitalario, consultas médicas y paramédicas. El detalle de las coberturas deberá estar consignado dentro del Anexo Técnico del Contrato.

**Riesgo No Amparado:** Son todos aquellos servicios, tratamientos o coberturas que no están descritas en el PBS, y no están contenidas en el Anexo Técnico del Contrato.

**Siniestro:** Es la materialización del riesgo que origina la utilización del plan de salud por parte de un afiliado y que a su vez implica que la EPS asuma sus obligaciones como asegurador de manera parcial o total.

**Número de atenciones en Salud:** Se refiere a la cantidad total de servicios de Salud utilizados por los afiliados en un período de tiempo determinado.

**Severidad:** Es el valor total de las reclamaciones, dividido sobre el número de reclamaciones, es conocido también como el costo medio evento.

**Población Expuesta:** Conjunto de población total de usuarios, susceptibles al riesgo por utilización de las coberturas de Salud PBS dentro del período en estudio.

**Per cápita:** El Valor per cápita en el sistema de salud representa el gasto promedio de atención médica por cada individuo dentro de una población determinada durante un período específico.

**Temporalidad:** Los montos económicos calculados dentro de la nota técnica de contratación regirán por un año, según la vigencia del contrato y/o su renovación.

**Moneda:** Las tarifas o costo en salud se encuentran denominadas en pesos colombianos (COP).

**Prima Pura de Riesgo (PPR):** ocupa un papel fundamental en la determinación de las tarifas de seguros. Representa una medida del gasto derivado de los eventos de siniestro por cada unidad de exposición. En esencia, refleja el monto necesario para cubrir el costo anticipado de las reclamaciones generadas por el riesgo amparado. Este valor se puede calcular dividiendo el monto total de reclamaciones entre el número de unidades de exposición al riesgo (o expuestas). Siguiendo la perspectiva de Feo (2013), este cálculo se expresa de la siguiente manera:

(1)

$$f_s(x) = \sum_{n=0}^{\infty} P(N = n) f^{*n}(x)$$

Otra manera de expresar la prima pura es la siguiente:

(2)

$$PPR = \frac{\text{Número de Reclamaciones}}{\text{Número de Población Expuesta}} * \frac{\text{Valor total de Reclamaciones}}{\text{Número de Reclamaciones}}$$

$$PPR = \text{Frecuencia} * \text{Severidad}$$

**Pago Global Prospectivo (PGP):** Esta modalidad de contratación, aunque no está definida en el Decreto 4747 de 2007, es utilizada en los modelos de contratación en salud en Colombia. El PGP se construye bajo la resolución 429 de 2016, la cual inicia con la segmentación de los prestadores en el territorio de acuerdo con la disponibilidad y esta a su vez se puede agrupar por el nivel de atención a ofertar, en estos modelos de contratación la asignación de la población juega un papel importante, ya que se debe evaluar la capacidad instalada del prestador de acuerdo con la demanda esperada. En este modelo no se calcula un precio per cápita, ni por un costo total de atención por evento, este se define por el costo de la prestación del servicio y las frecuencias esperadas. En este modelo hay transferencia parcial del riesgo, dado que existe un techo presupuestal frente a la demanda incierta.

Es importante precisar que para la construcción de un PGP, se requiere:

1. Definir una población objeto para traslado de riesgo, esta población se entregará a la entidad prestadora y se actualizará mensualmente.
2. Se proyectará un conjunto de servicios a ofertar a la población expuesta con un valor costo medio esperado (Severidad).
3. Al número de actividades calculadas o esperadas para la temporalidad contratada, se le aplicará un intervalo de ejecución del 5%, rango en el cual el prestador recibirá el mismo valor pactado en el PGP si realiza el 95% o el 105% de las actividades pactadas para el

periodo contratado. En caso de que la ejecución esté por debajo del 95%, la IPS deberá devolver la diferencia del dinero recibido por subejecución del contrato, en caso de que la IPS esté superando el 105% de ejecución, deberá solicitar a la EPS un ajuste del contrato.

## 5.2. Backtesting

Es una técnica que se utiliza principalmente para evaluar el rendimiento de una estrategia de inversión, se ha venido implementado para validar la calidad y precisión en los métodos Value at Risk (VaR) por sus siglas en inglés (Jorion, 2007), consiste en observar registros históricos, realizar ajustes a los modelos de estimación o predicción y poder validar la capacidad de ajuste de los modelos (Packham & Woebbeking, 2023).

Como método de evaluación al Modelo Actuarial de Prima Pura de Riesgo (PPR), se propone el método VaR para la volatilidad de los rendimientos del valor per cápita diario del Contrato PGP, esto con el fin de obtener el número de excepciones por cada metodología de cálculo del VaR, tal como lo sugieren autores como Jorion, P. (2007) y Packham y Woebbeking (2023).

De esta manera, según el número de excepciones encontradas con la metodología VaR utilizada, el modelo actuarial se ubicará en una zona verde de aceptación, una zona amarilla de incertidumbre donde puede ser necesario calibrar el modelo actuarial y finalmente la zona roja, indica que el modelo necesita ser calibrado debido a problemas de calidad y precisión, Rojas Ormaza (2023) presenta una tabla que muestra el número de excepciones por zona (ver Tabla 1):

Tabla 1: Enfoque del BIS para interpretar el Backtesting

| Zona  | N° Excepciones | Zona     | N° Excepciones | Zona | N° Excepciones |
|-------|----------------|----------|----------------|------|----------------|
| Verde | 0              | Amarillo | 5              | Rojo | 10 o más       |
|       | 1              |          | 6              |      |                |
|       | 2              |          | 7              |      |                |
|       | 3              |          | 8              |      |                |
|       | 4              |          | 9              |      |                |

Fuente: Rojas Ormaza, B. R. (2023). Modelo Backtesting. Universidad EAFIT

En el presente documento se utilizarán cuatro metodologías para el cálculo del VaR, teniendo en cuenta las siguientes definiciones, las cuales se establecen independientemente del método elegido.

Según Hargrave, M. (2023) estas definiciones son:

- **Periodo de tiempo:** Se define el periodo de tiempo que cubrirá el VaR. Este puede ser un día, una semana, un mes, etc. La elección del periodo depende del objetivo del análisis y de la frecuencia con la que se desea realizar la medición del riesgo.
- **Nivel de confianza:** Se establece el nivel de confianza que proporcionará el VaR. Este indica la probabilidad de que la pérdida real no supere el valor calculado. Los niveles de confianza más comunes son 95% y 99%. En este estudio utilizaremos un nivel de confianza del 99% para calcular el Valor en Riesgo (VaR), que indica la probabilidad de que la pérdida real no exceda el valor estimado. Este nivel más alto de confianza se elige para reducir el riesgo de tomar decisiones incorrectas, ofreciendo una mayor estabilidad ante la variabilidad de los datos y buscando cumplir con las exigencias regulatorias al proporcionar un mayor nivel de certeza en los cálculos del VaR.
- **Valor de la exposición:** Se determina el valor de la exposición actual.

- Es importante precisar que la aplicación del modelo VaR, le precede un supuesto de Normalidad.

Por lo anterior se define la siguiente formulación:

(3)

$$VaR = \sigma * Z * \sqrt{t}$$

donde:

$\sigma$ : Desviación estándar de los rendimientos del valor per cápita diario del contrato PGP

Z: Nivel de confianza de la Prueba

T: Periodo de tiempo, para el cálculo del VaR

Figlewski (1997), en su artículo “Forecasting Volatility”, define la volatilidad como un concepto multifacético, el cual no se limita a una única definición, sino que abarca distintos significados según el contexto (pp. 79-80). Es preciso aclarar que, para el estudio se tendrá en cuenta la volatilidad asociada al valor de ejecución diario de los contratos de prestación de servicios en salud, por consiguiente, entendemos la volatilidad como una medida del riesgo que se deriva del valor de ejecución, por encima o por debajo del valor esperado de ejecución diario del contrato de prestación de servicios.

### 5.3. Metodologías para el cálculo del VaR

En cuanto a las metodologías para el cálculo del VaR, a continuación, se describen las más utilizadas:

#### 5.3.1. Metodología Varianza-Covarianza o Delta normal

Jorion, P. (2007), define la metodología Delta normal como una herramienta para medir el VaR (Valor en Riesgo) de un activo o cartera.

Para el desarrollo de la presente investigación, este método se basa en la suposición de que los rendimientos de la inversión siguen una distribución normal. Por lo anterior se asume que los rendimientos del valor per cápita diario del contrato PGP siguen una distribución normal. Utiliza la media y la desviación estándar de los rendimientos para calcular el VaR.

$$Var\_DN_{\sigma\%} = \text{Riesgo Historico}(\sigma) * \sqrt{\text{Tiempo}} * Z \quad (4)$$

Así la volatilidad histórica será la desviación estándar de los rendimientos del valor Per cápita diario del Contrato PGP, que en este caso será el valor esperado de ejecución.

La desviación estándar se calcula:

$$\sigma_t = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (r_{i-\mu})^2} \quad (5)$$

donde:

$r_i$ : rendimientos del valor Per cápita.

$\mu$ : media de la distribución muestral de rendimientos.

n: periodo de observaciones.

### 5.3.2. Delta - Normal EWMA

Engle, R. (1982), la define como una medida de la volatilidad condicional de una serie temporal. Este método asume que los rendimientos del valor per cápita diario del Contrato PGP son una medida de la volatilidad condicional de una serie temporal. Utiliza un parámetro de suavizado para calcular el VaR.

$$Var\_EWNA_{\sigma\%} = Riesgo\ EWMA(\sigma) * \sqrt{Tiempo} * Z \quad (6)$$

Es una metodología que surge como una herramienta útil para estimar la volatilidad de forma más precisa. Esta se basa en el reconocimiento de que la volatilidad no es constante, sino que cambia con el tiempo.

A diferencia del cálculo tradicional del riesgo mediante la desviación estándar, la metodología EWMA toma en cuenta la heterocedasticidad presente en las series de datos financieros. Esto significa que la varianza no es homogénea a lo largo del tiempo, y que las observaciones recientes tienen mayor relevancia que las pasadas.

Shu, L., & Jiang, W. (2008), definen la EWMA como un método de pronóstico que permite calcular el promedio de una serie de tiempo, asignando mayor ponderación a las demandas o, en este caso,

a los retornos recientes. Su simplicidad y la cantidad reducida de datos que requiere la convierten en una herramienta atractiva para la gestión de riesgos.

(Exponentially Weighted Moving Average), Engle, R. (1982), en su artículo “Autoregressive Conditional Heteroskedasticity with Estimates of the Variance of United Kingdom Inflation”, la define como una medida de la volatilidad condicional de una serie temporal. La volatilidad condicional es la varianza del error de predicción de una variable en un instante dado, teniendo en cuenta el historial de información disponible hasta ese momento. En esta tesis se utilizará esta técnica para calcular una medida de dispersión o volatilidad en la serie de datos a lo largo del tiempo, dándole mayor peso a los datos más recientes.

(7)

$$\sigma_t^2 = \lambda\sigma_{t-1}^2 + (1 - \lambda)x_{t-1}^2$$

donde:

$x_t$ : es el valor de las series de tiempo en el tiempo.

$\lambda$ ; es el parámetro de suavizado (es decir, una constante no negativa entre 0 y 1).

### 5.3.3. Simulación Histórica

Según Johnson (2001), la Simulación Histórica toma el vector actual de ponderaciones de inversión y lo aplica a una serie de retornos históricos, generando una secuencia de valores de la cartera. Esta secuencia se representa mediante un histograma, que permite calcular el VaR. En otras palabras, el

método simula cómo habría reaccionado la cartera ante diferentes escenarios históricos, lo que ayuda a estimar la probabilidad de sufrir pérdidas mayores a un cierto valor (VaR) en un periodo determinado.

Para el desarrollo de la presente investigación, este método asume que los rendimientos del valor per cápita diario del Contrato PGP como el valor del percentil 1%. Utiliza el factor del periodo de tiempo.

$$Var\_Hist_{\sigma\%} = Riesgo\ Percentil(\sigma) * Tiempo \quad (8)$$

Diversos autores coinciden en que la simulación histórica y la simulación Montecarlo son dos de los métodos más eficientes para estimar el riesgo de mercado. Ambas técnicas comparten una estructura similar, con la diferencia principal de que la simulación histórica utiliza datos históricos reales de cambios en los precios, mientras que la simulación Montecarlo se basa en cambios simulados a partir de un modelo estocástico (Papageorgiou & Paskov, 1999). Su principal ventaja radica en su simplicidad y adaptabilidad a diferentes condiciones del mercado, lo que la convierte en una herramienta valiosa para la gestión de riesgos (Jorion, 2007).

El método se basa en la premisa de que los movimientos pasados del mercado pueden ser un indicador de su comportamiento futuro (McNeil, Frey, & Embrechts, 2015). Donde se simulan los cambios aleatorios en las variables financieras más relevantes, como lo pueden ser los cambios de precio o de las rentabilidades. La simulación histórica se implementa en cuatro pasos:

- Recopilación de datos históricos de precios de los activos en la cartera

- Generación de escenarios futuros utilizando la secuencia de retornos históricos
- Cálculo de la pérdida en cada escenario
- Estimación del Valor en Riesgo del Periodo (PVaR) a un nivel de confianza

Teniendo en cuenta lo anterior, para el cálculo de la desviación estándar se utiliza el percentil al 1% de los rendimientos del valor per cápita diario del Contrato PGP, que en este caso será el valor esperado de ejecución.

(9)

$$\sigma_t = P_{01} \left( \sum_{i=1}^n r_i \right)$$

donde:

$r_i$ : rendimientos del valor per cápita diario del Contrato PGP en el momento.

#### 5.3.4. Simulación Montecarlo

Este método asume que los rendimientos del valor per cápita diario del Contrato PGP siguen una distribución normal inversa. Utiliza la media y la desviación estándar de los rendimientos para calcular el VaR.

$$Var\_Sim\_Mont_{\sigma\%} = Riesgo\ SM(\sigma) * Tiempo \quad (10)$$

La simulación Montecarlo es capaz de capturar la complejidad del mercado y brindar una evaluación más precisa del riesgo, es una técnica estadística que modela y analiza el comportamiento de sistemas complejos y estocásticos mediante la generación de múltiples escenarios posibles, basados en la aleatoriedad y la incertidumbre (McNeil et al., 2015). Se basa en la utilización de números aleatorios para simular diferentes resultados y calcular estadísticas relevantes, lo que permite evaluar el impacto de la incertidumbre en las decisiones financieras.

En lugar de depender de distribuciones normales preestablecidas, la simulación Montecarlo reconstruye las distribuciones reales de precios y factores de mercado a partir de la historia. Esta reconstrucción permite crear una gran cantidad de escenarios futuros, cada uno con sus propias características y probabilidades.

Sobre estos escenarios, se simulan los cambios en precios y rendimientos de la cartera actual. Al analizar la distribución de resultados de estas simulaciones, se obtiene una estimación del VaR que refleja la complejidad del mercado real.

En resumen, la simulación Montecarlo es una herramienta poderosa para la medición del VaR. Su capacidad para capturar la complejidad del mercado y evaluar riesgos no lineales la convierte en una opción atractiva para la gestión del riesgo en un entorno financiero cada vez más desafiante.

Teniendo en cuenta lo anterior, para el cálculo de la desviación estándar se realizará mediante la generación de números aleatorios provenientes de una distribución normal inversa con media y desviación del rendimiento del activo subyacente para simular diferentes resultados del rendimiento con un nivel de confianza, lo que permite evaluar el impacto de la incertidumbre.

(11)

$$\sigma_t = \text{DIST NOR INV}(Z, \mu_t, \sigma_t)^1$$

donde:

Z: nivel de confianza o probabilidad.

$\mu_t$  es la media de rendimientos del valor per cápita diario del Contrato PGP hasta la observación t

$\sigma_t$  es la desviación estándar de rendimientos del valor per cápita diario del Contrato PGP hasta la observación t.

#### 5.3.5. Prueba Estadística

##### 5.3.5.1. Test de Kupiec.

El economista estadounidense Paul Kupiec, en 1995 publicó el artículo “Técnicas para validar modelos de VaR”, donde introduce el concepto de la Proporción de fallos (POF) y las bases para la prueba de backtesting que ahora se conoce como el Test de Kupiec.

El test de Kupiec es entonces una herramienta estadística ampliamente empleada en el sector financiero para evaluar la precisión del Valor en Riesgo (VaR). Su propósito principal radica en determinar si las pérdidas observadas se mantienen dentro de los límites esperados, conforme al nivel de confianza establecido durante la construcción del VaR.

---

<sup>1</sup> Expresión de la función de Excel 2019.

Esta prueba busca verificar si el modelo utilizado es capaz de predecir con precisión la ocurrencia de eventos externos, manteniendo un nivel de confianza predefinido. El estadístico asociado al Test de Kupiec se denomina LR (Likelihood Ratio) y está definido como:

(12)

$$LR = -2 \log \left( \frac{p^x (1-p)^{N-x}}{\hat{p}^x (1-\hat{p})^{N-x}} \right)$$

Donde:

x: Es el número de fallas o Excepciones

N: Es el número total de observaciones

$\hat{p}$ : Coeficiente empírico  $\hat{p} = \frac{x}{N}$

En el contexto del backtesting del Valor en Riesgo (VaR), se considera el número de excepciones o fallas, representado por x, en relación con el número total de observaciones, denotado como N. Se calcula una estimación puntual mediante la proporción de excepciones respecto al total de observaciones  $\hat{p} = x/N$ . El numerador de esta proporción representa el valor de la función de verosimilitud bajo la hipótesis nula, mientras que el denominador corresponde a la función de verosimilitud evaluada en el estimador de máxima verosimilitud no restringido de p, es decir,  $\hat{p}$ . La estadística de esta prueba sigue una distribución chi-cuadrado asintóticamente con un grado de libertad.

La Superintendencia de Bancos e Instituciones Financieras de Chile (SBIF), en su publicación de 2007 titulada “Backtesting para modelos internos de medición de riesgos: Determinación estadística de la Tabla de Permanencia”, propone que la prueba de backtesting evalúa la hipótesis nula de que la probabilidad de falla sea igual a un nivel de confianza específico, por ejemplo,  $\alpha =$

0.01 para un Valor en Riesgo (VaR) calculado con un nivel de confianza del 99%(pág. 20). En términos prácticos, la prueba de proporción de fallas de Kupiec determina si el nivel de significancia propuesto por el VaR es consistente con la proporción de fallas que presenta el modelo.

Este enfoque establece la base para la propuesta de los autores, donde se plantea que la Hipótesis Nula ( $H_0$ ) en el Test de Kupiec se establece de la siguiente manera: se postula que el modelo de riesgo no exhibe sesgos significativos en la predicción de eventos extremos. Por otro lado, la Hipótesis Alternativa ( $H_1$ ) sugiere que el modelo de riesgo puede subestimar o sobreestimar la frecuencia de dichos eventos.

Para evaluar estas hipótesis, se utiliza un Valor P, asociado al estadístico LR, que se contrasta con un nivel de significancia (alfa) del 0.01, lo que equivale a un nivel de confianza del 99%. El criterio para rechazar la Hipótesis Nula es cuando el Valor P es menor que 0.01. En tal caso, se considera que existe evidencia estadística suficiente para rechazar la hipótesis nula a favor de la hipótesis alternativa.

#### 5.3.5.2. Test of Christoffersen

Christoffersen, P. (1998) introduce la base teórica para evaluar pronósticos por intervalo, dentro de los cuales se encuentra el VaR, sugiriendo un enfoque más amplio en la evaluación de pronósticos que brindan un rango de resultados posibles (intervalos), en lugar de un solo punto de pronóstico, exponiendo así la técnica del test Christoffersen.

El Test de Christoffersen es una prueba estadística que permite evaluar la eficacia del modelo de Valor en Riesgo (VaR), al analizar si las frecuencias de fallos o excepciones observadas durante el Backtesting concuerdan con las predicciones del modelo VaR aplicado. Además de esto, la prueba

también se enfoca en verificar la independencia de las violaciones del VaR a lo largo de diferentes períodos de tiempo.

Esta evaluación se lleva a cabo mediante el cálculo de un estadístico de prueba que contrasta las frecuencias observadas de fallos o excepciones con aquellas esperadas bajo la suposición de independencia entre los períodos de tiempo. El Test de Christoffersen, al proporcionar una visión detallada sobre la adecuación del modelo VaR y la dependencia entre las violaciones del VaR y, al mismo tiempo, ofrece una valiosa evaluación estadística que respalda la gestión efectiva del riesgo financiero.

(13)

$$LR_{ind} = -2\ln[(1 - p)^{N-L}P^L] + 2\ln[(1 - \pi_{01})^{n_{00}}\pi_{01}^{n_{01}}(1 - \pi_{11})^{n_{10}}\pi_{11}^{n_{11}}]$$

Donde,

$I_{t+1}$  se define como una variable dicotómica para contabilizar los fallos o excepciones:

(14)

$$I_{t+1} = \begin{cases} 1, & \text{si } y_{t+1} < VaR_{t+1|N} \\ 0, & \text{si } y_{t+1} \geq VaR_{t+1|N} \end{cases}$$

L = es la sumatoria de los Fallos o excepciones obtenido dentro de la muestra

(15)

$$L = \sum_{t=1}^N l_t$$

$n_{ij}$  es el número de observaciones con valor  $i$  seguido de  $j$  con  $i, j = 0, 1$ . y la Probabilidad se define como:  $\pi_{ij} = \frac{n_{ij}}{\sum_j n_{ij}}$ . Y si la secuencia de  $l_t$  es independiente, se tiene que la probabilidad de obtener o no obtener un fallo o excepción es igual a  $\pi_{01} = \pi_{11} = p$ . Esta cadena de Markov postula la existencia de memoria de Orden uno en el proceso  $l_t$ .

Este estadístico se distribuye asintóticamente según una Distribución Chi Cuadrado, con un grado de libertad. Es fundamental destacar que este estadístico exhibe robustez frente a la elección de la distribución de probabilidad del VaR.

En cuanto al planteamiento de la Hipótesis Nula ( $H_0$ ) en el Test de Christoffersen, esta postula que los residuos estandarizados, que representan las discrepancias entre las pérdidas reales y las pérdidas esperadas, conforme al modelo de VaR, son independientes e idénticamente distribuidos (i.i.d.). Por otro lado, la Hipótesis Alternativa ( $H_1$ ) cuestiona la validez de la hipótesis nula, proponiendo que los residuos estandarizados no son (i.i.d.), lo que sugiere que el modelo de VaR no se ajusta adecuadamente a los datos.

El criterio para rechazar la Hipótesis Nula es cuando el valor  $p$  es menor que el nivel de significancia (alfa) de 0.01, que fue el valor utilizado en este proyecto de grado.

#### 5.3.5.3. Test de Engle y Manganelli.

Engle y Manganelli (2004), amplía el concepto original de CAViaR presentado en 1990. En esta nueva versión, se introduce el uso de cuantiles de regresión para estimar el VaR condicional, proporcionando una estimación más completa de la distribución de los errores, no solo de la varianza, permitiendo estimar el VaR a diferentes niveles de confianza.

El Test de Engle y Manganelli (2004) constituye una herramienta esencial para la evaluación de las violaciones del Valor en Riesgo (VaR), las cuales se definen como las instancias en que las pérdidas reales exceden las estimaciones del VaR. Este enfoque estadístico se fundamenta en el concepto de Máxima Verosimilitud, también conocido como Likelihood Ratio (LR) en inglés. A través de este concepto, el test compara dos modelos: uno que asume independencia entre las violaciones del VaR y otro que considera la existencia de dependencia entre ellas.

El objetivo principal del Test de Engle y Manganelli radica en determinar si las pérdidas extremas tienden a agruparse en ciertos períodos. Este agrupamiento podría señalar deficiencias en la capacidad predictiva del modelo VaR. En consecuencia, el test busca identificar problemas de ajuste del modelo y proporcionar una visión crítica sobre la efectividad de la gestión del riesgo financiero.

(16)

$$LR = N \left( \ln(1 - \hat{p}) - \hat{p} * \ln \left( \frac{\hat{p}}{1 - \hat{p}} \right) \right) + 2 \sum_{i=1}^N \ln(p_i)$$

donde:

x: Es el número de fallas o Excepciones

N: Es el número total de observaciones

$\hat{p}$ : Coeficiente empírico  $\hat{p} = \frac{x}{N}$

$p_i$ : Es la Probabilidad estimada de Var para la i-ésima observación

El estadístico LR sigue una distribución asintótica chi-cuadrado con un grado de libertad. La Hipótesis Nula ( $H_0$ ) plantea que la frecuencia de excepciones observada coincide con la frecuencia esperada bajo el modelo VaR, mientras que la Hipótesis Alternativa ( $H_1$ ) sugiere lo contrario.

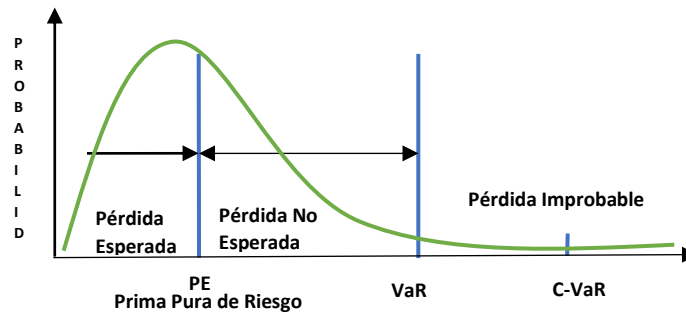
El Valor P se calcula como la probabilidad de obtener un valor de LR igual o mayor al observado bajo la Hipótesis Nula. Por lo tanto, el criterio para rechazar la Hipótesis Nula es cuando el Valor P es menor que el nivel de significancia (alfa) de 0.01.

#### 5.4. Stresstesting

Al igual que el Backtesting, en la literatura se encuentra que los análisis del Stresstesting están asociados a las medidas VaR, y debido a esto, se utiliza el Stresstesting como un análisis complementario para identificar pérdidas aún más extremas. En este análisis se utilizan la creación de escenarios que permiten evaluar diferentes tipos de resultados, donde se pueden considerar situaciones extremas que no estén reflejada en registros históricos, las cuales se pueden definir como poco probable que sucedan y en caso tal que sucedan, poder cuantificar el valor de la pérdida.

Como mecanismo de estrés al Modelo Actuarial de Prima Pura de Riesgo (PPR) se propone el método VaR condicional al valor per cápita del contrato PGP, esto con el fin de obtener el valor en riesgo promedio que corresponde a la cola de la distribución de la prima pura. Para ejemplificar esta medida se presenta, junto con otros indicadores de exposición, como son la pérdida esperada (PE), pérdida no esperada y C-VaR (VAR condicional).

### Ilustración 1. Valor en riesgo del riesgo operacional



Fuente: Feria y Jiménez (2007), p. 10. Adaptado por los autores

De esta manera la pérdida esperada hace referencia al promedio de la distribución de la prima pura de riesgos. El VaR responde a la pregunta ¿Cuál puede ser mi mayor prima pura?, mientras que el C-VaR hace la cuestión: si las cosas siguen mal, ¿cuál puede ser mi prima pura esperada?

Por lo anterior, se define la siguiente formulación para el VaR per cápita diario:

(17)

$$VaR = \pi * Z * \sigma * \sqrt{t}$$

donde:

$\pi$ : Es el valor per cápita diario del Contrato PGP

Z: nivel de Confianza de la Prueba

$\sigma$ : Desviación Estándar de los rendimientos del valor per cápita diario del Contrato PGP

T: Periodo de tiempo, para el cálculo del VaR

Mientras que el VaR condicional corresponde al valor en riesgo promedio de la cola de la distribución de la prima pura, mediante el manejo de los diferentes métodos de volatilidad mencionados en el backtesting. Sin embargo, en este punto la simulación Montecarlo se obtiene mediante la simulación de 10 escenarios, cada uno con 10.000 registros provenientes de una distribución normal, con media y varianza de los rendimientos del valor per cápita diario del Contrato PGP.

Sobre estos escenarios, se simulan los cambios a la volatilidad asociada al valor de ejecución diario de los contratos de prestación de servicios en salud. Al analizar la distribución de resultados de estas simulaciones, se obtiene una estimación del VaR que refleja la complejidad del mercado real.

## 6. Método de solución

La Circular Externa 00001 de 2023 de la Superintendencia Nacional de Salud (SNS) establece los lineamientos generales para la implementación del Sistema Integrado de Gestión de Riesgos (SIGR) en las instituciones prestadoras de servicios de salud (IPS) públicas, privadas y mixtas de Colombia. Estos lineamientos buscan mejorar los resultados en salud de la población, la satisfacción de los usuarios, la estabilidad financiera, fortalecer la confianza de la población en el Sistema General de Seguridad Social en Salud (SGSSS) y prevenir posibles impactos negativos.

La presente tesis se centra en la ejecución del requerimiento de la sección 3. GESTIÓN DEL RIESGO ACTUARIAL. Este requerimiento establece lineamientos detallados para identificar y

gestionar el riesgo actuarial, asegurando una aproximación integral y cuidadosa a la administración de este riesgo en el ámbito de contratos de servicios de salud.

La gestión del riesgo actuarial es esencial para evitar pérdidas económicas derivadas de estimaciones inadecuadas y asegurar una evaluación adecuada de los contratos. Este riesgo implica la posibilidad de que los ingresos generados no sean suficientes para cubrir las obligaciones futuras acordadas, y puede ser afectado por diversos eventos futuros e inciertos, como el desconocimiento de la demanda efectiva, eventos catastróficos y variaciones en costos. Para abordar estos desafíos, se requiere una gestión efectiva del riesgo actuarial que aplique lineamientos específicos para su manejo. Este enfoque se integra con el ciclo actuarial, que se centra en establecer políticas para mitigar el riesgo y garantizar una gestión financiera sólida. Ambos conceptos se entrelazan estrechamente, ya que el subsistema de administración de riesgo actuarial debe incluir directrices mínimas, desde la caracterización detallada de la población en los contratos hasta la evaluación de la variabilidad del ingreso y costo, considerando las modalidades de pago y el riesgo asumido por la institución prestadora de servicios de salud en cada contrato.

Aplicando los lineamientos generales de la circular, en el ciclo general de gestión del riesgo actuarial, no se establecen políticas específicas. El Subsistema de Administración de Riesgo Actuarial debe contener lineamientos mínimos, incluyendo la identificación del riesgo actuarial. Esto implica caracterizar y conocer la población incluida en los contratos, considerando aspectos geográficos, demográficos y de morbi-mortalidad. Además, se deben tener en cuenta las particularidades de diferentes modalidades de pago, identificar posibles incrementos en costos,

evaluar la variabilidad del ingreso y costo, y considerar el riesgo asumido por la institución prestadora de servicios de salud (IPS) en cada contrato.

El Subsistema debe permitir a la entidad tomar medidas adecuadas para controlar el riesgo actuarial. Esto incluye el establecimiento y actualización periódica de políticas y estimaciones actuariales para cada tipo de contrato, la traza de medidas tomadas en respuesta a problemas identificados, y la realización de pruebas de estrés y ejercicios de autocomprobación sobre los modelos actuariales utilizados.

Como parte de las medidas de control, se destaca la necesidad de aplicar pruebas de estrés (Stress-Testing) y ejercicios de autocomprobación (Back-Testing) sobre los modelos actuariales utilizados para establecer los valores de los contratos. Esto asegura la robustez y la capacidad de adaptación de los modelos ante situaciones críticas.

El enfoque integral propuesto por la SNS destaca la importancia de una gestión proactiva del riesgo actuarial en las IPS, donde la implementación de pruebas Backtesting y Stresstesting emerge como una herramienta esencial para evaluar y fortalecer la capacidad predictiva y de adaptación de los modelos actuariales. Este enfoque, alineado con los lineamientos establecidos, no solo busca prevenir pérdidas económicas, sino también garantizar la calidad y sostenibilidad en la prestación de servicios de salud en Colombia.

Para la construcción del modelo Prima Pura de Riesgo (PPR), la información que se tomará para la Frecuencia y Severidad será el anexo técnico del Estudio de suficiencia y de los mecanismos de

ajustes de riesgos para el cálculo de la unidad de pago por capitación del año 2023, realizado por el Minsalud.

## Ilustración 2. Anexo técnico Frecuencia y severidad CUPS



Salud



| ACTIVIDAD | DESCRIPCION  | CANTIDAD | VALOR          | SEVERIDAD    | FRECUENCIA * 100.000 |
|-----------|--|----------|----------------|--------------|----------------------|
| 602E01    | TRASLADO ASISTENCIAL MEDICALIZADO AEREO PRIMARIO                                       | 1.723    | 11,754,704,153 | 6,822,231.08 | 9.53                 |
| 010101    | PUNCION CISTERNAL, VIA LATERAL   | 30       | 47,170,521     | 1,572,350.70 | 0.17                 |
| 010102    | PUNCION CISTERNAL, VIA MEDIAL  | 12       | 4,395,145      | 366,262.08   | 0.07                 |
| 010103    | PUNCION CISTERNAL  | 29       | 108,742,234    | 3,749,732.21 | 0.16                 |
| 010201    | PUNCION (ASPIRACION DE LIQUIDO) VENTRICULAR A TRAVES DE CATETER PREVIAMENTE IMPLANTADO | 49       | 19,818,959     | 404,468.55   | 0.27                 |
| 010202    | PUNCION (ASPIRACION DE LIQUIDO) VENTRICULAR POR TREPANACION (SIN CATETER)              | 9        | 6,972,411      | 774,712.33   | 0.05                 |

**Fuente:** Estudio de suficiencia y de los mecanismos de ajustes de riesgos para el cálculo de la unidad de pago por capitación del año 2023 Minsalud (2023, p. 10).

En este anexo técnico presenta 19.185 actividades en Salud, las cuales cada una cuenta con la información de Frecuencia y Severidad, se realizará una clasificación para determinar los niveles de atención de cada servicio y posteriormente se definirán los servicios del Nivel Básico que se trabajará en esta tesis.

Posteriormente, se obtendrá la información del número de actividades de servicios de salud de Nivel Básico que se han prestado en un año para un contrato PGP de una IPS de Colombia y la Población Expuesta en el periodo de análisis, esta información será el insumo base para hacer un

ejercicio real sobre la ejecución del contrato. Es importante precisar que la información de Severidad que se tomará será la información suministrada por el Minsalud.

Ya teniendo esta información, se procederá a aplicar el método VaR, las pruebas de Stresstesting y Backtesting al modelo actuarial utilizados para la Construcción del Contrato PGP y así poder corroborar si el valor del contrato estimado requiere que se le realice algún tipo de ajuste de acuerdo con los resultados obtenidos en las pruebas realizadas.

## 7. Proceso de generación de la data

Tras la generación inicial de datos y el análisis de los resultados del primer contrato, se ha tomado la decisión de ampliar este estudio para incluir tres contratos adicionales ubicados en las principales ciudades de Colombia. El objetivo principal de esta ampliación es obtener una perspectiva más completa al estudiar el comportamiento de las pruebas en una variedad de contextos demográficos.

Los tres contratos seleccionados abarcan diferentes indicadores demográficos, como la zona geográfica, la diversidad étnica, los ciclos de vida y los grupos etarios. Al analizar estos contratos adicionales, podremos obtener una comprensión más profunda de cómo factores como la ubicación geográfica y las características demográficas influyen en los resultados de las pruebas.

A continuación, se indican los pasos para la construcción de la Información de la tesis:

#### 1. Consulta en SQL Server:

Se llevó a cabo una consulta en SQL Server con el fin de obtener datos de tres contratos activos en las ciudades de Bogotá, Cali y Barranquilla, específicamente bajo la modalidad de Pago Global Prospectivo (PGP). Esta consulta proporcionó información detallada sobre los servicios prestados en cada uno de estos contratos.

#### 2. Análisis en el software R:

Utilizando el software R, se incorporaron las tarifas establecidas por el Ministerio de Salud año 2023 para cada uno de los servicios. Además, se realizó la agrupación de estos servicios por días con el objetivo de determinar los valores cuantificados diariamente, incluyendo las cantidades asociadas.

#### 3. Cálculo del Costo Medio Evento (CME) o Severidad:

Se procedió al cálculo del Costo Medio Evento (CME) o severidad, el cual se obtiene dividiendo el Valor del Monto Diario entre la Cantidad de Servicios por Día.

#### 4. Cálculo del Valor Per cápita Diario Ejecutado:

Se llevó a cabo el cálculo del valor per cápita diario ejecutado para los tres contratos, considerando la población expuesta durante el período de estudio.

#### 5. Cálculo del Valor Per cápita Diario Contratado:

Del mismo modo, se calculó el valor per cápita diario contratado a partir de los contratos vigentes, proporcionando así un punto de referencia para la ejecución diaria.

#### 6. Cálculo de Rentabilidad:

Finalmente, se determinó la rentabilidad mediante la fórmula:  $(\text{Valor Per cápita Diario Ejecutado} / \text{Valor Per cápita Diario Contratado}) - 1$ . Este indicador ofrece una perspectiva clara sobre el rendimiento económico de los contratos, permitiendo una evaluación crítica de su eficiencia financiera.

### 8. Análisis Descriptivo

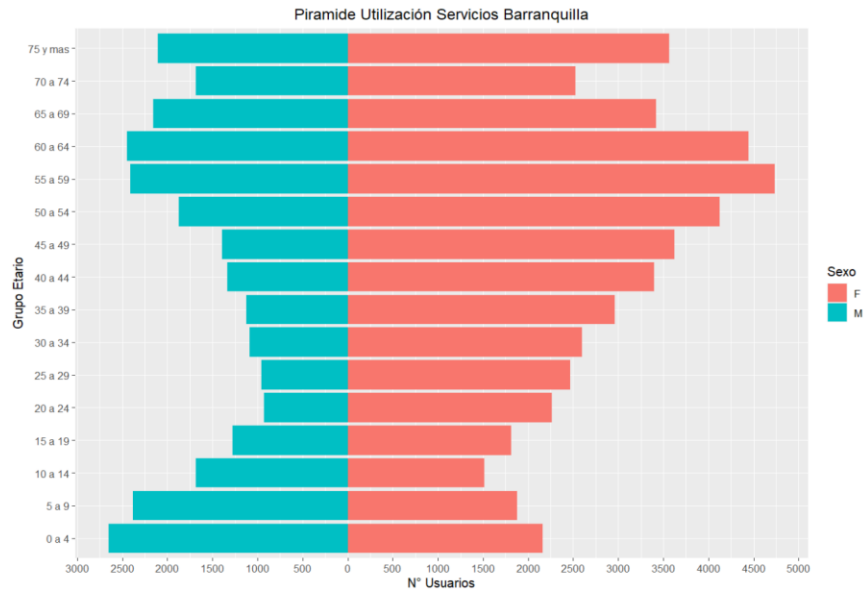
Para abordar los objetivos establecidos en este trabajo de grado, se examinaron tres contratos bajo la modalidad de contratación PGP para servicios de salud en el nivel básico de atención. El período de estudio comprendió desde el 1 de agosto de 2022 hasta el 31 de julio de 2023.

El contrato de la Ciudad de Barranquilla cuenta con una población expuesta promedio de 277,909 usuarios, con un valor per cápita diario calculado de \$116.02. Por otro lado, el contrato de la Ciudad de Bogotá muestra una población expuesta promedio de 39,914 usuarios, con un valor per cápita diario de \$806.97. En cuanto al contrato de la Ciudad de Cali, la población expuesta promedio es de 28,748 usuarios, con un valor per cápita diario calculado en \$986.49.

A continuación, se presentan el análisis descriptivo de los tres contratos.

## 8.1. Información del Contrato de la ciudad de Barranquilla

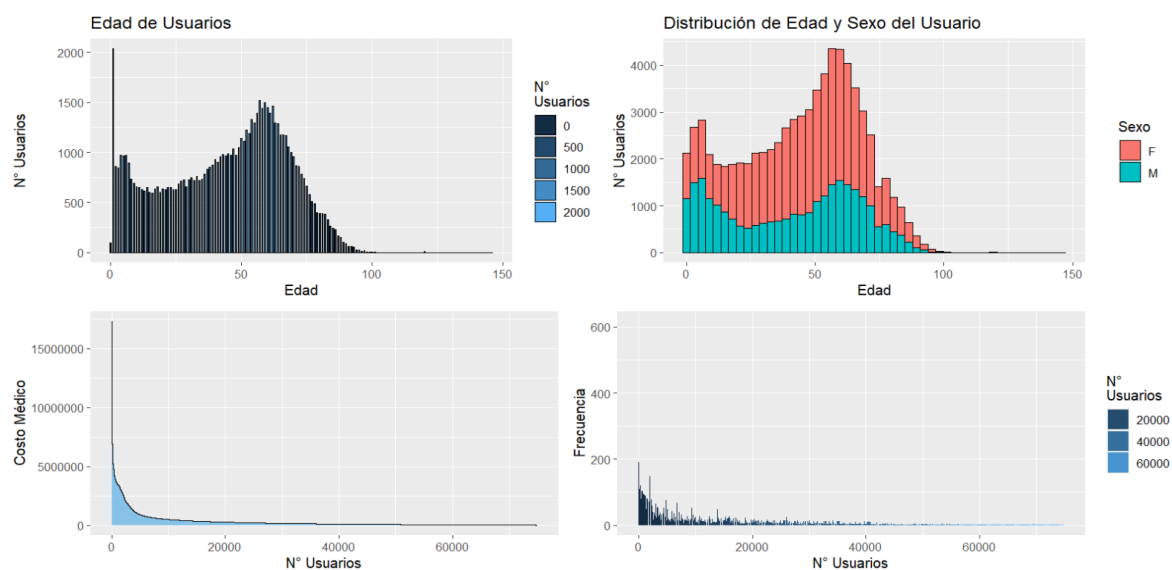
Gráfico 1 Pirámide utilización servicios sede Barranquilla.



Fuente: elaboración propia, desarrollada mediante Rstudio.

En el gráfico de la Pirámide de utilización de Servicios Médicos del contrato de Barranquilla, se evidencia que, durante el período de análisis, un total de 74,941 usuarios hicieron uso de los servicios médicos. Entre ellos, 47,472 fueron mujeres, representando el 63.3% del total de usuarios. Se destaca que las mujeres muestran una mayor utilización de los servicios médicos a partir de los 20 años, mientras que los hombres presentan una mayor utilización en el grupo de edad de 0 a 9 años, que corresponde a la población infantil.

## Gráfico 2 Utilización de los servicios de salud sede Barranquilla.



Fuente: elaboración propia, desarrollada mediante Rstudio.

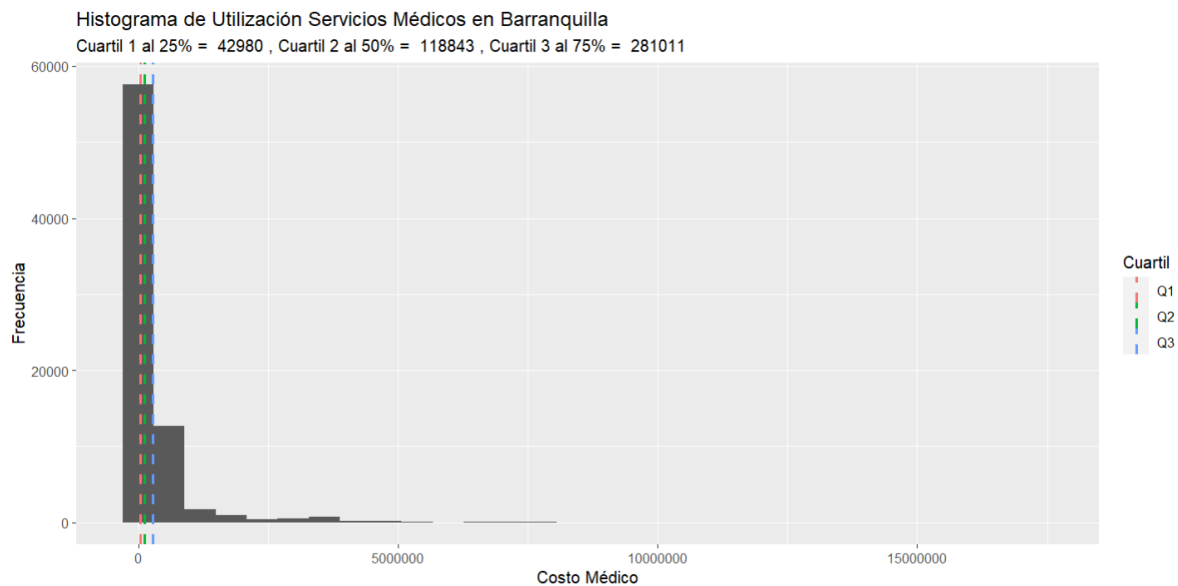
En el primer cuadrante del gráfico (superior izquierdo), se representa el comportamiento de las edades de los usuarios que consultaron servicios médicos durante el período de estudio. Se observa una alta utilización con 2,033 pacientes de un año de edad. Además, se nota un incremento en la utilización de servicios por parte de los usuarios a partir de los 30 años hasta los 62 años. Sin embargo, a partir de esta última edad, se observa una disminución en el número de personas que hacen uso de los servicios de salud.

En el segundo cuadrante (superior derecho), se muestra la distribución de edad y sexo de los usuarios. Este gráfico nos proporciona información sobre la proporción de utilización de los servicios médicos por parte de hombres y mujeres. Destaca que las edades con mayor utilización de servicios de salud son de 57 a 59 años.

En el tercer cuadrante (inferior izquierdo), se presenta el comportamiento de los costos médicos, que consisten en la suma del valor de cada uno de los servicios ofrecidos a cada usuario. En este gráfico, se puede observar una rápida disminución en los costos, y se aprecia que son pocos los usuarios con consumos elevados en los servicios de salud. Esto se debe a que los contratos que estamos estudiando mayoritariamente ofrecen servicios ambulatorios de baja severidad.

En el Cuarto cuadrante (inferior Derecho), se muestra la frecuencia de utilización por parte de cada usuario. Se destaca que el máximo número de registros de servicios prestados a un usuario fue de 616 actividades en salud. Además, se encontró que el 10% de los usuarios presentan más de 21 actividades al año. Este hallazgo puede plantear una alerta para validar si estas frecuentes utilizaciones corresponden a servicios de alto costo en salud.

Gráfico 3 Histograma de utilización servicios médicos Barranquilla.



Fuente: Elaboración propia, desarrollada mediante Rstudio.

Se elaboró un histograma de frecuencia de los costos médicos por cada usuario, al cual se le añadieron los cuartiles en el gráfico. Esto se hizo con el propósito de segmentar el comportamiento de estos costos y comprender la distribución de los mismos por usuario. Se observa que el 25% de los usuarios presentaron valores iguales o inferiores a \$42,980. El 50% de los usuarios tiene costos superiores a \$42,980, pero inferiores o iguales a \$118,843. Finalmente, el 25% restante de los usuarios presenta valores iguales o superiores a \$281,011.

Tabla 2. Distribución de la severidad por deciles sede Barranquilla.

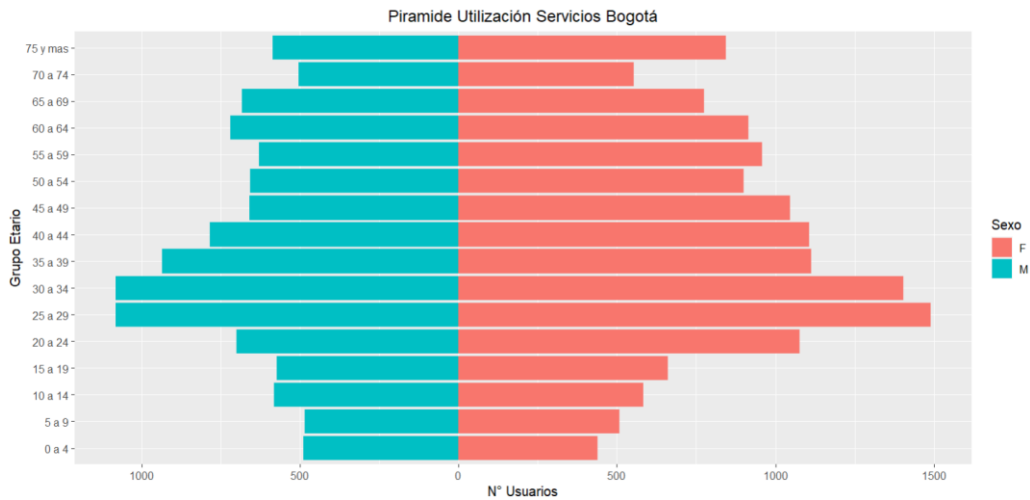
| Deciles | Severidad Año  | Severidad Día | Cantidad Año |
|---------|----------------|---------------|--------------|
| 0%      | \$ 595.7       | \$ 1.7        | 1            |
| 10%     | \$ 15,031.9    | \$ 41.8       | 1            |
| 20%     | \$ 19,672.2    | \$ 54.6       | 1            |
| 30%     | \$ 24,584.6    | \$ 68.3       | 2            |
| 40%     | \$ 28,093.1    | \$ 78.0       | 3            |
| 50%     | \$ 33,801.8    | \$ 93.9       | 4            |
| 60%     | \$ 37,300.8    | \$ 103.6      | 6            |
| 70%     | \$ 39,829.9    | \$ 110.6      | 9            |
| 80%     | \$ 40,812.1    | \$ 113.4      | 12           |
| 90%     | \$ 48,657.1    | \$ 135.2      | 21           |
| 100%    | \$ 3,784,657.6 | \$ 10,512.9   | 616          |

Fuente: elaboración propia.

En la tabla anterior se muestra la distribución de la severidad por deciles, donde se calculó la utilización por año y diario para cada usuario. Destaca que el 10% de los usuarios presenta un promedio de utilización de servicios mayor a \$48,657, lo que equivale a un costo promedio de \$135.2. Además, estos usuarios realizan más de 21 actividades al año.

## 8.2. Información del Contrato de la ciudad de Bogotá

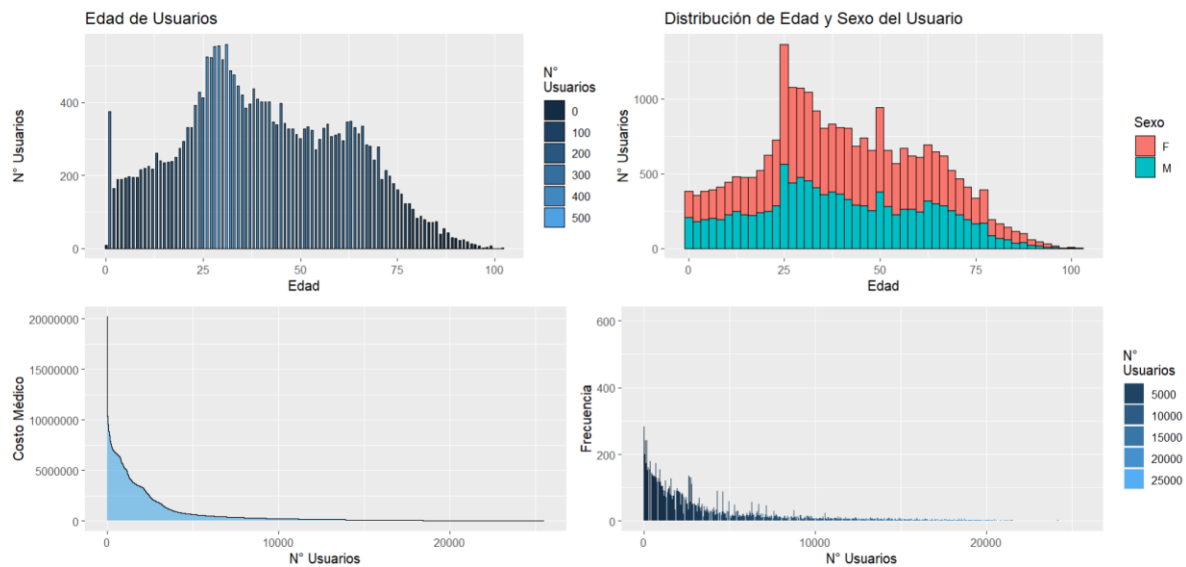
Gráfico 4 Pirámide utilización servicios de salud sede Bogotá



Fuente: elaboración propia, desarrollada mediante Rstudio.

En el gráfico previo se muestra la pirámide de utilización de los usuarios asociados al contrato de la ciudad de Bogotá. Se observa que la mayor proporción de utilización de servicios se concentra en la población comprendida entre los 25 y 44 años, tanto en hombres como en mujeres. Esta franja etaria representa el 35.2% del total de usuarios que accedieron a los servicios médicos, lo cual equivale a 25,533 personas.

Gráfico 5 Utilización de los servicios de salud sede Bogotá.



Fuente: elaboración propia, desarrollada mediante Rstudio.

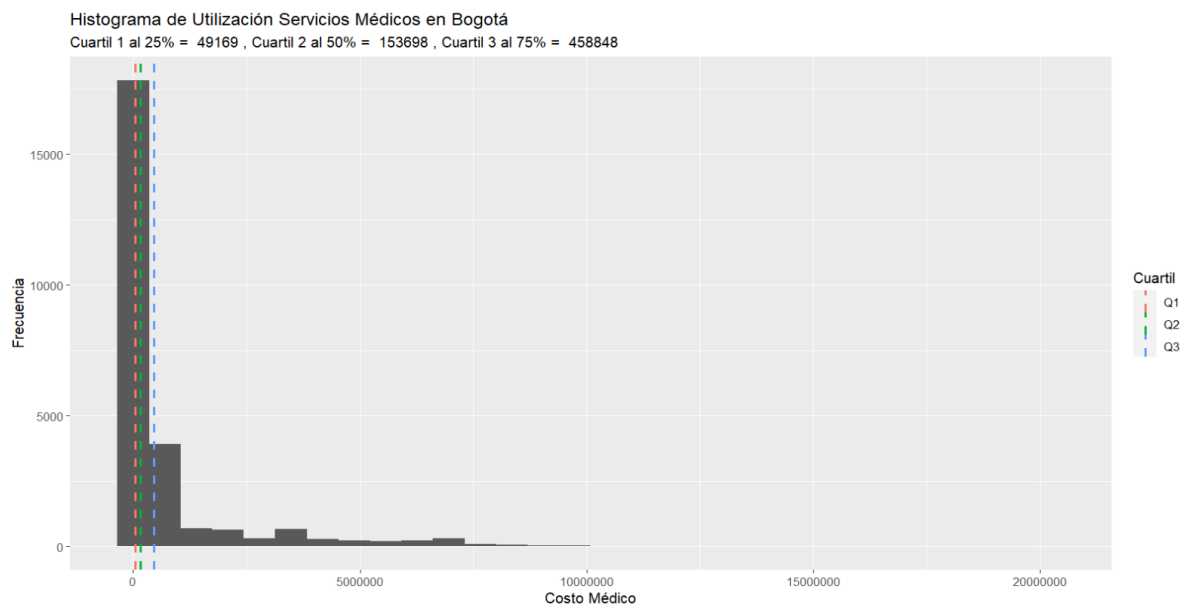
En el gráfico ubicado en la esquina superior izquierda, se presenta la distribución de las edades de los usuarios que han realizado al menos una utilización de un servicio médico durante un año. Es notable que la mayor frecuencia de utilización de servicios se encuentra en los usuarios de 25 y 32 años de edad.

Por otro lado, en el gráfico situado en la esquina superior derecha, se muestra la distribución de edad y sexo de los usuarios del contrato en la ciudad de Bogotá. Este gráfico proporciona información sobre la proporción de utilización de servicios médicos por parte de hombres y mujeres. Se destaca una mayor utilización por parte de las mujeres, con un 56.2% en comparación con el 43.7% de los hombres. Además, se observa una mayor utilización en las edades de 25 y 50 años, tanto para hombres como para mujeres, en relación con las demás edades.

En el gráfico inferior izquierdo, se expone la distribución del costo médico por cada usuario. Se observa una concentración hacia la izquierda, lo que indica que hay un mayor número de usuarios con costos médicos bajos. También se aprecia que hay pocos usuarios con costos muy altos en la utilización de servicios de salud, lo cual podría estar relacionado con la frecuencia de uso de los servicios de salud.

En el gráfico inferior derecho, se representa la frecuencia de utilización de los servicios por parte de los usuarios del contrato en la ciudad de Bogotá. Es notable el caso de un usuario que recibió 612 atenciones durante el año, mientras que se observó que solo el 10% de los usuarios tuvieron una única atención o consulta en el servicio de salud. Este gráfico, al igual que el de la severidad, muestra una distribución de cola larga, evidencia que la disminución en la frecuencia de utilización se produce gradualmente hacia la derecha del gráfico.

Gráfico 6 Histograma de utilización de servicios médicos sede Bogotá.



Fuente: elaboración propia, desarrollada mediante Rstudio.

Al igual que en el contrato de la Ciudad de Barranquilla, se ha generado un histograma que representa la frecuencia de los costos médicos por cada usuario en la Ciudad de Bogotá. Este histograma nos permite examinar el comportamiento de los costos y segmentar los patrones de consumo. Se destaca que el 25% de los usuarios registraron costos iguales o inferiores a \$49,169, mientras que otro 25% de los usuarios mostraron consumos mayores o iguales a \$458,848. Además, se evidenció un consumo medio (mediana) es de \$153,698.

Tabla 3. Distribución de la severidad por deciles sede Bogotá.

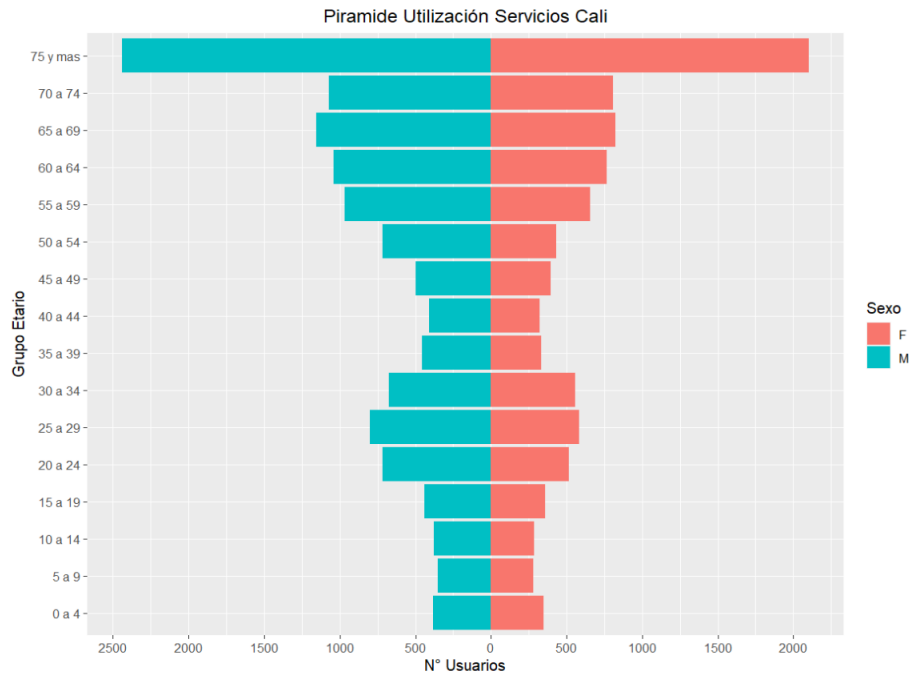
| Deciles | Severidad Año  | Severidad Día | Cantidad Año |
|---------|----------------|---------------|--------------|
| 0%      | \$ 1,652.0     | \$ 4.6        | 1            |
| 10%     | \$ 15,769.8    | \$ 43.8       | 1            |
| 20%     | \$ 19,156.1    | \$ 53.2       | 2            |
| 30%     | \$ 21,921.1    | \$ 60.9       | 3            |
| 40%     | \$ 24,584.6    | \$ 68.3       | 4            |
| 50%     | \$ 24,584.6    | \$ 68.3       | 6            |
| 60%     | \$ 28,705.8    | \$ 79.7       | 9            |
| 70%     | \$ 33,379.5    | \$ 92.7       | 13           |
| 80%     | \$ 38,294.4    | \$ 106.4      | 22           |
| 90%     | \$ 46,805.9    | \$ 130.0      | 68           |
| 100%    | \$ 3,321,095.9 | \$ 9,225.3    | 612          |

Fuente: elaboración propia.

En la tabla anterior se detalla la distribución de la severidad o costo medio por deciles, que refleja las utilizaciones realizadas por cada usuario en términos anuales y diarios. Se destaca que el 10% de los usuarios en este contrato registran costos medios superiores a \$130 diarios. Este fenómeno se atribuye a que estos usuarios han tenido 68 actividades de atención al año o más.

### 8.3. Información del Contrato de la ciudad de Cali

Gráfico 7 Pirámide utilización servicios de salud sede Cali.



Fuente: elaboración propia, desarrollada mediante Rstudio.

En el gráfico de la pirámide de utilización de servicios médicos del contrato de Cali, se evidencia un comportamiento notablemente diferente en comparación con los presentados en Barranquilla y Bogotá. Esto se atribuye a la población más longeva de este contrato, destacándose una mayor utilización en las edades superiores a los 75 años. Además, se observa que el mayor consumo comienza a partir de los 45 años, incrementándose gradualmente hasta alcanzar su punto máximo alrededor de los 74 años.

Gráfico 8 Utilización de los servicios de salud sede Cali.



Fuente: elaboración propia, desarrollada mediante Rstudio.

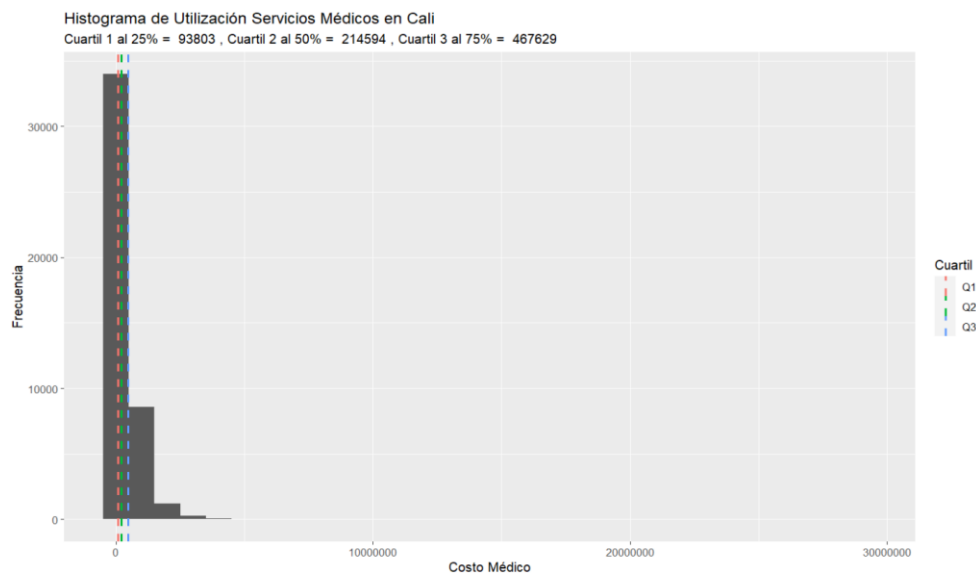
En el gráfico situado en la esquina superior izquierda, se presenta la distribución de edades de los usuarios que han utilizado servicios médicos en la ciudad de Cali. En este gráfico se observan dos picos, correspondientes a los grupos de edades de 23 a 30 años y de 60 a 79 años.

En el gráfico ubicado en la esquina superior derecha, se muestra la distribución de edad y sexo de los usuarios que consultan el contrato en la ciudad de Cali. Se destacan picos en la utilización por parte de usuarios de 59 y 70 años.

En el gráfico inferior izquierdo, se exhibe la distribución del costo médico por usuario. En comparación con los contratos de Barranquilla y Bogotá, se evidencia una mayor parsimonia en este gráfico, es decir, hay más usuarios con costos medios más altos. Sin embargo, la concentración hacia la derecha es menor que en los otros contratos.

En el gráfico inferior derecho, se representa la frecuencia de utilización de los servicios por parte de los usuarios del contrato en la ciudad de Cali. Las utilidades de los servicios médicos no disminuyen rápidamente a cero, lo que sugiere una coherencia con los costos médicos presentados en el gráfico inferior izquierdo.

Gráfico 9 Histograma de utilización de servicios médicos sede Cali.



Fuente: elaboración propia, desarrollada mediante Rstudio.

El gráfico anterior muestra el histograma de frecuencia de los costos médicos por la utilización de cada usuario en la Ciudad de Cali. Podemos observar que el 25% de los usuarios registraron costos iguales o inferiores a \$93,803, mientras que el 25% de estos usuarios presentaron consumos mayores a \$467,629. Además, se obtuvo que el consumo medio, representado por la mediana, es de \$214,594.

Estos datos revelan que los usuarios de Cali muestran un mayor costo en la utilización de los servicios médicos en comparación con Barranquilla, donde el consumo medio fue de \$118,843, y Bogotá, donde fue de \$153,698. Es importante destacar que la utilización del contrato en Cali fue un 80.6% y un 39.6% mayor, respectivamente, en comparación con Barranquilla y Bogotá.

Tabla 4. Distribución de la severidad por deciles sede Cali.

| Deciles | Severidad Año  | Severidad Día | Cantidad Año |
|---------|----------------|---------------|--------------|
| 0%      | \$ 3,503.2     | \$ 9.7        | 1            |
| 10%     | \$ 13,995.8    | \$ 38.9       | 2            |
| 20%     | \$ 17,042.2    | \$ 47.3       | 3            |
| 30%     | \$ 19,264.1    | \$ 53.5       | 5            |
| 40%     | \$ 21,550.6    | \$ 59.9       | 7            |
| 50%     | \$ 23,869.9    | \$ 66.3       | 10           |
| 60%     | \$ 25,112.6    | \$ 69.8       | 13           |
| 70%     | \$ 28,793.5    | \$ 80.0       | 16           |
| 80%     | \$ 34,039.4    | \$ 94.6       | 22           |
| 90%     | \$ 43,220.6    | \$ 120.1      | 30           |
| 100%    | \$ 1,354,934.9 | \$ 3,763.7    | 132          |

Fuente: elaboración propia.

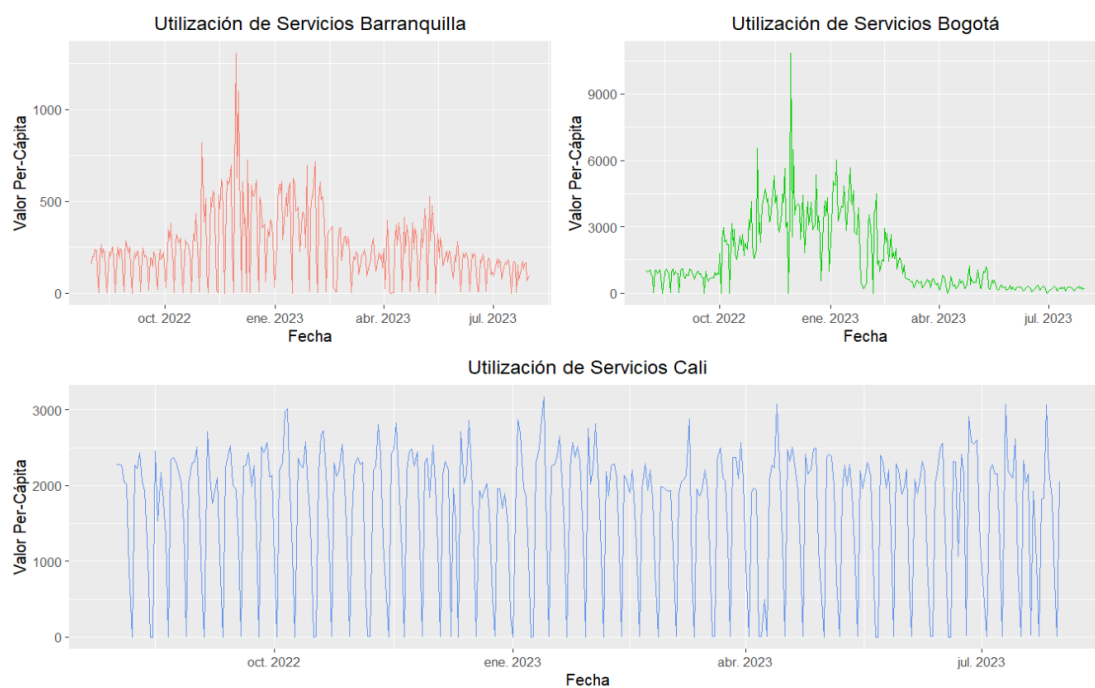
En la tabla anterior se muestra la severidad anual y diaria para el contrato de Cali. Al examinar el costo medio diario o anual de los servicios de salud, se observa que el contrato de Cali exhibe la menor severidad. Esta conclusión se basa en la comparación del consumo medio, representado por la mediana. En Cali, la severidad diaria es de \$66.3, mientras que en Bogotá es de \$68.3 y en Barranquilla es de \$93.9%.

Este fenómeno se atribuye a la mayor utilización de servicios en promedio anual, representada por la mediana de 10 en Cali, en contraste con 6 en Bogotá y 4 en Barranquilla. A pesar de que se ha indicado que los usuarios de Cali presentan un mayor consumo, el contrato de la Ciudad de Barranquilla es el que tiene un mayor impacto en el consumo medio del contrato.

## 9. Resultados

A continuación, se presenta el análisis de la utilización de los servicios de salud en los contratos de las ciudades de Barranquilla, Bogotá y Cali. El período de estudio abarcó desde el 1 de agosto de 2022 hasta el 31 de julio de 2023.

Gráfico 10 Utilización de los servicios de salud en los contratos de las ciudades de Barranquilla, Bogotá y Cali.



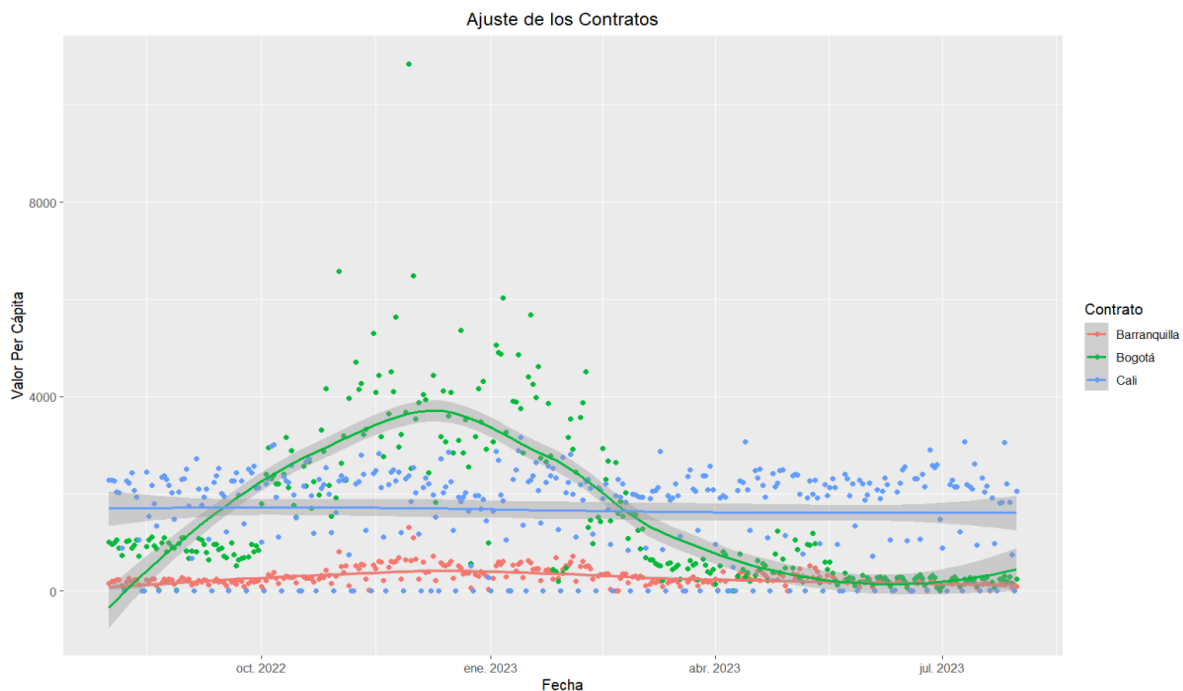
Fuente: elaboración propia, desarrollada mediante Rstudio.

En el gráfico anterior, se evidencia que los tres contratos muestran comportamientos muy distintos, lo cual puede atribuirse a factores sociodemográficos. Es importante considerar que estos contratos se encuentran en diferentes ciudades de Colombia, las cuales difieren en clima, población,

accidentes geográficos, entre otros aspectos. Por consiguiente, es probable que presenten perfiles epidemiológicos diversos, propios de cada región del país.

Además, es importante destacar que los tres gráficos están en escalas diferentes en cuanto a su valor per cápita, y que representan el comportamiento diario de la ejecución de los contratos. Tras el análisis descriptivo realizado, se puede concluir que estos contratos poseen características distintas, lo cual nos permitirá evaluar la aplicación de pruebas de Backtesting y Stresstesting al modelo actuarial. Este análisis nos ayudará a observar qué resultados obtenemos de estos tres contratos y a comprender mejor su comportamiento.

Gráfico 11 Comportamiento de los contratos Barranquilla, Bogotá y Cali en la misma escala.



Fuente: elaboración propia, desarrollada mediante Rstudio.

En el gráfico anterior, se presenta el comportamiento de los tres contratos en una misma escala y se ajustó un modelo libre utilizando el software R para analizar su comportamiento y observar el ancho de banda o nivel de confianza al 95%. El propósito principal de este gráfico es analizar en conjunto el comportamiento de los tres contratos. Dado que estamos trabajando con información que se presenta como una serie de tiempo, donde las observaciones están espaciadas en el mismo, al estar los datos ordenados cronológicamente por la variable fecha, buscamos identificar si existe un patrón o una tendencia en la utilización de servicios médicos, en caso de que se requiera poder realizar pronósticos con respecto al valor Per cápita para cada contrato.

#### 9.1. Cálculo del Value at Risk (VaR)

Tabla 5. Resultados del VaR en los diferentes métodos.

| <b>VaR Diario</b>               | <b>Contrato Barranquilla</b> | <b>Contrato Bogotá</b> | <b>Contrato Cali</b> |
|---------------------------------|------------------------------|------------------------|----------------------|
| <b>Delta - Normal</b>           | -\$ 437                      | -\$ 3,725              | -\$ 2,109            |
| <b>Delta - Normal EWMA</b>      | -\$ 148                      | -\$ 1,360              | -\$ 2,585            |
| <b>Simulación Histórica</b>     | -\$ 115                      | -\$ 803                | -\$ 985              |
| <b>Simulación de Montecarlo</b> | -\$ 280                      | -\$ 2,996              | -\$ 1,451            |

Fuente: elaboración propia.

En la tabla anterior se presentan los resultados del VaR diario obtenidos mediante cuatro métodos para los Contratos de Barranquilla, Bogotá y Cali. Es importante destacar que el valor de referencia, o valor de mercado en el caso de estar trabajando con acciones, es en nuestro caso el valor per cápita diario de cada contrato. A continuación, se presentan los valores por contrato:

Tabla 6 Valor Per cápita Diario de referencia

| <b>Valor Per Cápita Diario de Referencia</b> |           |
|--|-----------|
| Contrato Barranquilla                        | \$ 116.02 |
| Contrato Bogotá                              | \$ 806.97 |
| Contrato Cali                                | \$ 986.49 |

Fuente: elaboración propia.

La interpretación del VaR para el contrato de Barranquilla sería la siguiente: La pérdida máxima esperada ante una posición de \$116.02, en un horizonte de 1 día con un nivel de confianza del 99%, es de -\$437 COP según el método VaR Delta Normal. Este VaR mayor a la exposición se debe a la desviación estándar del 91.88% de las rentabilidades, lo que indica movimientos significativos en los valores per cápita en relación con su valor esperado. Además, al calcular el VaR con un nivel de confianza del 99%, se considera un escenario de pérdida extremadamente bajo, representando el 1% de probabilidad de que la pérdida sea mayor al VaR calculado.

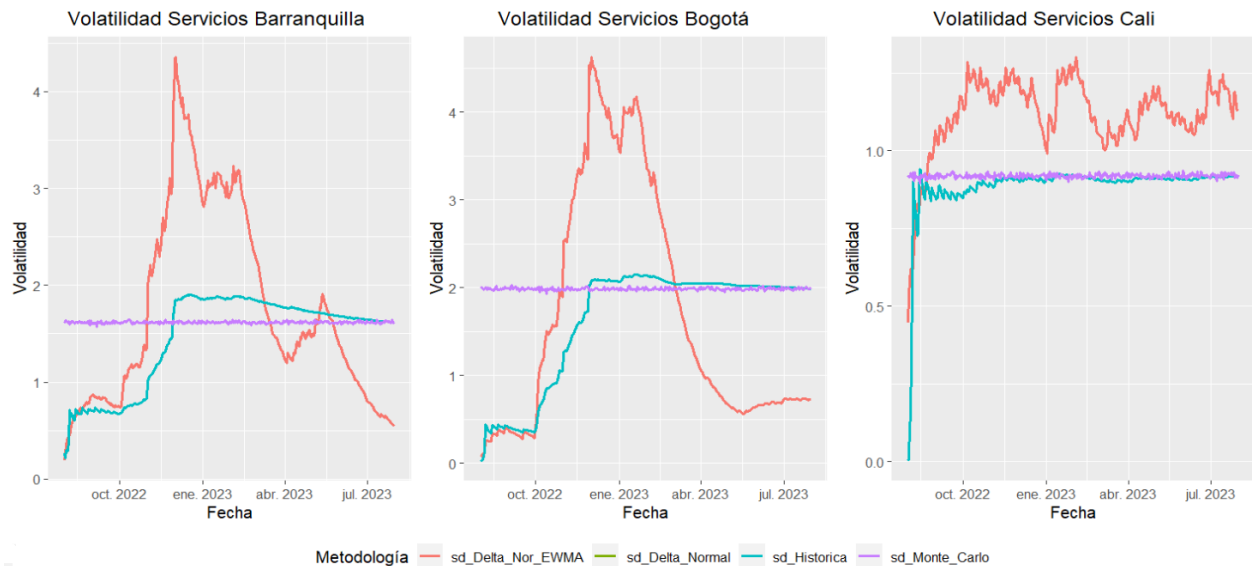
El horizonte de tiempo también influye; al ser un periodo corto de un día, pueden ocurrir variaciones significativas en los valores per cápita. Esto lleva a que el VaR sea relativamente grande para cubrir posibles movimientos extremos en un corto período de tiempo.

Esta interpretación se generaliza para los contratos de Bogotá y Cali. Para el método VaR Delta Normal EWMA, la pérdida esperada es de -\$148 COP. En la Simulación Histórica, la pérdida esperada es de -\$115 COP, y mediante la Simulación de Montecarlo, obtuvimos una pérdida esperada de -\$280 COP.

## 9.2. Cálculo del Backtesting

A continuación, se presenta el comportamiento de las volatilidades para los tres contratos por los cuatro métodos:

Gráfico 12 Comportamiento de las volatilidades para los contratos de Barranquilla, Bogotá y Cali por los cuatro métodos



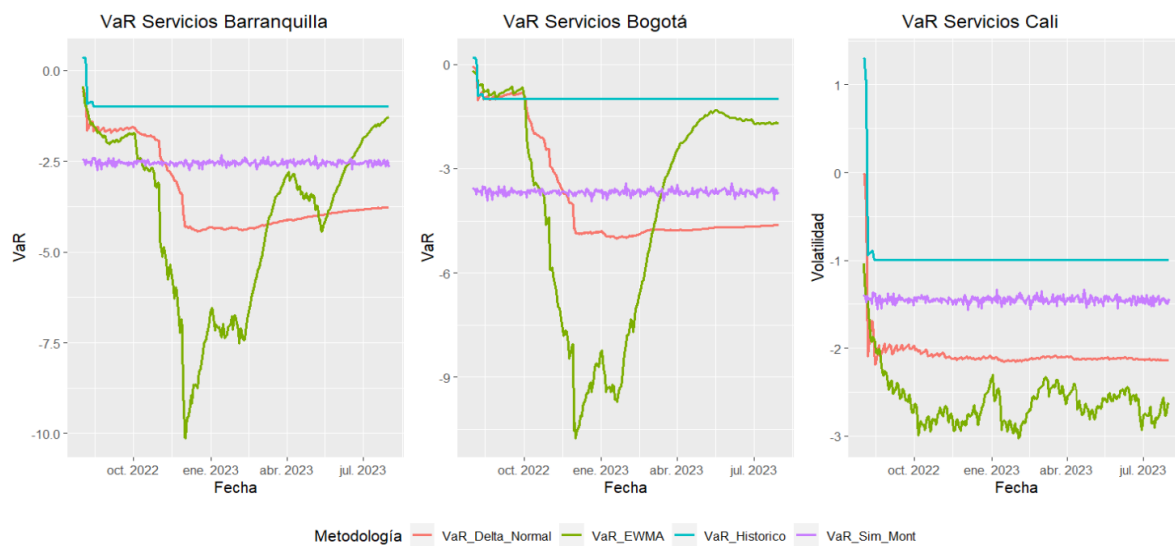
Fuente: elaboración propia, desarrollada mediante Rstudio.

Se observa que el método de desviación Delta Normal EWMA exhibe fluctuaciones en las desviaciones, mostrando un aumento en estas hasta alcanzar un pico, seguido de una disminución gradual en el tiempo. Este patrón se observa en los contratos de Barranquilla y Bogotá. En contraste, el contrato de Cali muestra un crecimiento en las desviaciones, seguido por oscilaciones entre 1 y 1.5.

El análisis mediante el método de simulación de Montecarlo revela un comportamiento lineal en las desviaciones, donde no se identifica un patrón claro, ya que fluctúan alrededor de un valor constante. Esta tendencia se observa consistentemente en los tres contratos.

Además, se observa que tanto el método Delta Normal como la Simulación Histórica, muestran un comportamiento similar en las desviaciones estándar, lo que sugiere una concordancia en los resultados obtenidos mediante ambos métodos.

Gráfico 13 Comportamiento del Var Per cápita diario ejecutado para los contratos de Barranquilla, Bogotá y Cali por los cuatros métodos.



Fuente: elaboración propia, desarrollada mediante Rstudio.

El gráfico anterior muestra que, en el método de simulación histórica, el VaR se mantiene constante a lo largo del período de observación y no refleja adecuadamente el comportamiento de la rentabilidad del valor per cápita diario. En contraste, los otros tres métodos muestran cambios en su comportamiento, lo que sugiere una mayor sensibilidad a las variaciones en la rentabilidad del contrato.

A través de estos VaR diarios, se calcularon las excepciones, lo que permite obtener el cálculo del Backtesting para los cuatro métodos planteados.

Tabla 7 Excepciones Bactesting enfoque BIS para los contratos de Barranquilla, Bogotá y Cali

| Back testing             | Excepciones           |                 |               | Enfoque del BIS para Interpretar el Back testing |                |          |                |      |                |
|--------------------------|-----------------------|-----------------|---------------|--|----------------|----------|----------------|------|----------------|
|                          | Contrato Barranquilla | Contrato Bogotá | Contrato Cali | Zona   | N° Excepciones | Zona     | N° Excepciones | Zona | N° Excepciones |
| Delta - Normal           | 0                     | 1               | 0             | Verde  | 0              | Amarillo | 5              | Rojo | 10 o más       |
| Delta - Normal EWMA      | 0                     | 1               | 0             |  | 1              |          | 6              |      |                |
| Simulación Histórica     | 5                     | 1               | 4             |  | 2              |          | 7              |      |                |
| Simulación de Montecarlo | 0                     | 1               | 0             |  | 3              |          | 8              |      |                |
|                          |                       |                 |               |  | 4              |          | 9              |      |                |

Fuente: elaboración propia.

En la tabla izquierda se presentan las excepciones obtenidas por cada uno de los métodos abordados en este proyecto de grado, para los contratos de Barranquilla, Bogotá y Cali. Por otro lado, la tabla derecha “Enfoque del BIS para interpretar Backtesting” desarrollada por Lara Haro, A. de. (2005) muestra los resultados del enfoque de clasificación desarrollado por el Banco Internacional de Pagos (BIS), el cual ha categorizado o segmentado los resultados en tres clasificaciones. La Zona en color verde indica que el modelo no presenta problemas de calidad si tiene entre 0 y 4 excepciones, por lo tanto, no requiere ajustes adicionales. La Zona Amarilla señala una situación de incertidumbre, donde puede ser necesario calibrar el modelo. Finalmente, la Zona Roja indica que el modelo necesita ser calibrado debido a problemas de calidad y precisión.

Es crucial destacar que los modelos de contratación PGP utilizados en las ciudades mencionadas no presentan problemas de calidad y precisión cuando el número de excepciones es igual o menor a 4, como se establece en la Zona de Verdad. Sin embargo, es relevante señalar que, entre las metodologías empleadas, la simulación histórica registró 4 excepciones para el contrato de Cali y

5 excepciones para el contrato de Barranquilla, colocándolos en la Zona Amarilla. Esto sugiere la necesidad de calibrar el modelo de contratación en estos casos. En cuanto al contrato de Bogotá, al presentar solo 1 excepción, según los cuatro métodos, se encuentra en la Zona Verde, indicando una evaluación más favorable.

Es importante destacar que los resultados obtenidos para los tres contratos estudiados en este trabajo de grado muestran que las cuatro metodologías evaluadas están correctamente calibradas. Esto contrasta con las expectativas iniciales, especialmente en el caso del método de Simulación Histórica. Aunque se anticipaba un resultado similar debido a su volatilidad lineal en el tiempo, se observó una discrepancia en el contrato de Bogotá. Este hallazgo resalta la importancia de una evaluación detallada y específica para cada contrato y método utilizado.

A continuación, se exponen los resultados de la evaluación de las cuatro metodologías empleadas para calcular el VaR. Esta evaluación se lleva a cabo mediante un enfoque estadístico diseñado para analizar la eficacia de los modelos de valoración del riesgo en la gestión financiera. Estos resultados permiten determinar si los modelos están adecuadamente calibrados para predecir eventos extremos o inesperados en los mercados financieros. Se presentan, además, los resultados de pruebas como el test de Kupiec, el test de Christoffersen y el test de Engle and Manganelli.

Tabla 8 Resultados test de Kupiec, test de Christoffersen y test de Engle and Manganelli.

| Contrato de la ciudad de Barranquilla |           |             |                    |                           |
|---------------------------------------|-----------|-------------|--------------------|---------------------------|
| Metodología                           | VaR       | Valor P     |                    |                           |
|                                       |           | Test Kupiec | Test Christoffesen | Test Engle and Manganelli |
| VaR Delta Normal                      | -3.763439 | 0.9999      | 0.9999             | 0.9999                    |
| VaR Delta Normal EWMA                 | -1.272032 | 0.9999      | 0.9999             | 0.9999                    |
| VaR Histórico                         | -0.995517 | 0.9999      | 0.6960             | 2E-134                    |
| VaR Sim Montecarlo                    | -2.511998 | 0.9999      | 0.9999             | 0.9999                    |

| Contrato de la ciudad de Bogotá |          |             |                    |                           |
|---------------------------------|----------|-------------|--------------------|---------------------------|
| Metodología                     | VaR      | Valor P     |                    |                           |
|                                 |          | Test Kupiec | Test Christoffesen | Test Engle and Manganelli |
| VaR Delta Normal                | -4.61666 | 0.9999      | 0.7422             | 0.9999                    |
| VaR Delta Normal EWMA           | -1.68484 | 0.9999      | 0.7084             | 0.9999                    |
| VaR Histórico                   | -0.99500 | 0.9999      | 0.7000             | 1E-155                    |
| VaR Sim Montecarlo              | -3.63819 | 0.9999      | 0.9999             | 0.9999                    |

| Contrato de la ciudad de Cali |          |             |                    |                           |
|-------------------------------|----------|-------------|--------------------|---------------------------|
| Metodología                   | VaR      | Valor P     |                    |                           |
|                               |          | Test Kupiec | Test Christoffesen | Test Engle and Manganelli |
| VaR Delta Normal              | -2.13748 | 0.9999      | 0.9999             | 0.9999                    |
| VaR Delta Normal EWMA         | -2.62049 | 0.9999      | 0.9999             | 0.9999                    |
| VaR Histórico                 | -0.99826 | 0.9999      | 0.6962             | 2.3E-05                   |
| VaR Sim Montecarlo            | -1.43090 | 0.9999      | 0.9999             | 0.9999                    |

Fuente: elaboración propia.

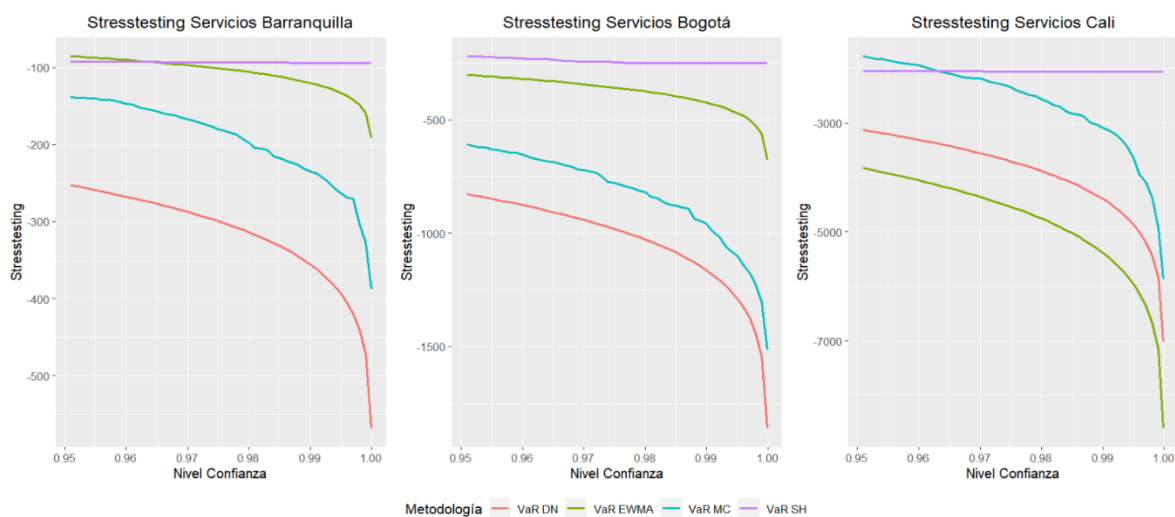
La tabla Anterior contiene el Valor P para cada uno de los test de Kupiec, Christoffersen y Engle and Manganelli, el planteamiento de la Hipótesis Nula ( $H_0$ ) es que los modelos de valoración del riesgo son adecuados y correctamente calibrados para predecir eventos extremos o inesperados en los mercados financieros. El criterio de Rechazo es que si el Valor P <  $H_0$ , como se puede observar al aplicar el test de Kupiec, y el test de Christoffersen se obtuvo que el Valor P >  $H_0$ , No existe suficiente evidencia para rechazar la  $H_0$ , lo que no permite indicar que las metodologías evaluadas están correctamente calibradas, se encontró que el test of Engle and Manganelli rechaza la Hipotesis Nula para la metodología VaR Histórico, por lo cual estaría indicando que esta

metodología del VaR no se ajusta adecuadamente a los datos y requiere ajustes o mejoras. Para las otras metodologías No se rechaza la Ho.

### 9.3. Cálculo del Stresstesting

A continuación, se muestra el comportamiento del Valor en Riesgo (VaR) diario para cada uno de los métodos utilizados. Este gráfico ilustra cómo varía el VaR al ajustar el nivel de confianza, comenzando en un nivel del 95.1% y llegando hasta el 99.99%. Se observa que a medida que aumenta el nivel de confianza, también lo hace la máxima pérdida esperada. De esta manera, podemos señalar que el método de Simulación Histórica presenta los niveles más bajos de máxima pérdida esperada. Además, para los contratos de las ciudades de Barranquilla y Bogotá, el valor más alto de pérdida se obtiene con VaR Delta Normal, mientras que para el contrato de la Ciudad de Cali es VaR EWMA.

Gráfico 14 Comportamiento del VaR diario ajustado para los contratos de Barranquilla, Bogotá y Cali.



Fuente: elaboración propia, desarrollada mediante Rstudio.

En la siguiente tabla se presentan los resultados del CVaR (Expected Shortfall), que es el promedio de los resultados obtenidos a diferentes niveles de confianza. Este resultado no solo permite cuantificar las situaciones más riesgosas que podrían materializarse durante la ejecución de los contratos en Salud, sino que también evidencia que el CVaR supera la estimación obtenida con el VaR.

Tabla 9 Resultados del CVaR para los contratos de Barranquilla, Bogotá y Cali.

| <b>Stresstesting</b>                 |                       |         |                                |                                 |                                     |       |     |         |
|--------------------------------------|-----------------------|---------|--------------------------------|---------------------------------|-------------------------------------|-------|-----|---------|
| <b>CVaR<br/>(Expected Shortfall)</b> | <b>Delta - Normal</b> |         | <b>Delta - Normal<br/>EWMA</b> | <b>Simulación<br/>Histórica</b> | <b>Simulación de<br/>Montecarlo</b> |       |     |         |
| Contrato Barranquilla                | -\$                   | 391.3   | -\$                            | 132.2                           | -\$                                 | 114.8 | -\$ | 241.2   |
| Contrato Bogotá                      | -\$                   | 3,338.5 | -\$                            | 1,218.4                         | -\$                                 | 774.4 | -\$ | 2,662.3 |
| Contrato Cali                        | -\$                   | 1,889.6 | -\$                            | 2,316.5                         | -\$                                 | 984.5 | -\$ | 1,264.0 |

Fuente: elaboración propia.

En la Tabla 8, los resultados de los tests de Kupiec, Christoffersen y Engle y Manganelli indican que todos los métodos de cálculo del VaR muestran valores de valor P cercanos a 1. Este resultado sugiere que no se rechaza la Hipótesis Nula de que los métodos capturan adecuadamente el riesgo real. Sin embargo, el test de Engle y Manganelli rechaza la Hipótesis Nula para el VaR Histórico en los tres Contratos. Esto sugiere que este método podría subestimar el riesgo en este caso particular, lo cual no sería adecuado para este análisis.

En base a los resultados del VaR obtenidos (ver Tabla 5), se puede observar que, para los Contratos de Barranquilla y Bogotá, la metodología que muestra un buen desempeño es el VaR Delta Normal EWMA. En contraste, para el contrato de Cali, el mejor desempeño se logra con el VaR Simulación de Montecarlo. Dado que el objetivo de este trabajo es aplicar pruebas de Backtesting y Stresstesting al modelo actuarial para establecer el valor del contrato en una Institución Prestadora de Servicios de Salud (IPS) de Colombia, bajo la Circular Externa 20211700000004-5 DE 2021, con el fin de medir la incidencia en el riesgo y garantizar una evaluación precisa y confiable del contrato, se recomendaría aplicar la metodología VaR Delta Normal EWMA.

Comparado con el VaR Delta Normal, el VaR Delta Normal EWMA tiende a generar valores de VaR más altos, especialmente en períodos de alta volatilidad. Esto se debe a que el VaR Delta Normal EWMA da mayor peso a las observaciones recientes, lo que puede capturar mejor los cambios repentinos en el mercado.

No se ha recomendado la metodología del VaR Simulación de Montecarlo debido a que se basa en simulaciones para generar escenarios hipotéticos de mercado y hace el supuesto de que los rendimientos se distribuyen Normal Inversa. Este supuesto podría no ajustarse correctamente en situaciones de alta volatilidad o eventos extremos, lo que podría llevar a resultados inexactos o poco confiables.

## 10. Conclusiones

Tras un análisis exhaustivo, se determina que la aplicación de las pruebas de Stresstesting y Backtesting al modelo actuarial en las IPS de Colombia resulta esencial para evaluar la precisión y robustez los modelos actuariales aplicados a el valor del contrato en una Institución Prestadora de Servicios de Salud (IPS) de Colombia

La presente investigación se realizó conforme al requerimiento de la Circular Externa 20211700000004-5 DE 2021. Dichas pruebas, elaboradas mediante una evaluación minuciosa de los datos históricos y la simulación de escenarios extremos, permiten identificar posibles debilidades en el modelo y asegurar una estimación precisa del valor del contrato. Los resultados derivados de estas pruebas proporcionan una evaluación integral del modelo actuarial utilizado en las IPS de Colombia, permitiendo medir la incidencia del riesgo y garantizar una evaluación precisa y confiable del contrato, lo cual contribuye a una gestión efectiva del riesgo y a la toma de decisiones fundamentadas. Con base en lo expuesto, se presentan las siguientes conclusiones:

Este estudio presenta un análisis minucioso de los tres contratos de prestación de servicios de salud (PGP) en las ciudades de Barranquilla, Bogotá y Cali, durante un período de un año (1 de agosto de 2022 a 31 de julio de 2023). Con un enfoque innovador, se implementaron pruebas de Backtesting y Stresstesting al modelo actuarial que define el valor del contrato, con el objetivo de:

- Evaluar la precisión y confiabilidad del modelo actuarial.
- Medir la incidencia del riesgo en la ejecución de los contratos.

Hallazgos relevantes:

1. Diferencias significativas en la utilización de servicios de salud:

Se observan diferencias significativas en la utilización de los servicios de salud entre las ciudades de Barranquilla, Bogotá y Cali. Barranquilla sobresale por su mayor población expuesta y costos per cápita diarios más bajos; a diferencia de Bogotá, que presenta una población expuesta menor, pero costos diarios más altos. Mientras tanto, Cali exhibe una mayor utilización de servicios y costos medios diarios más bajos en comparación con las otras dos ciudades. Estas disparidades reflejan la variabilidad en la prestación de servicios de salud en distintas regiones.

## 2. Cálculo del VaR:

- Se observan resultados dispares entre los cuatro métodos empleados.
- La Simulación Histórica presenta la menor volatilidad.
- El VaR Delta Normal y el VaR EWMA muestran mayor sensibilidad a las variaciones en la rentabilidad del contrato.

## 3. Backtesting:

- La mayoría de los métodos se encuentran en la Zona de Verdad o Zona Amarilla, lo que indica una adecuada calidad del modelo en general.
- La Simulación Histórica presenta algunas excepciones en Cali y Barranquilla, sugiriendo la necesidad de calibración.

## 4. Pruebas de Kupiec, Christoffersen y Engle-Manganelli:

- La mayoría de las metodologías están correctamente calibradas.
- El VaR Histórico presenta problemas de calibración.

## 5. Stresstesting:

- El CVaR se revela como una medida más completa del riesgo que el VaR.
- El CVaR supera la estimación del VaR, evidenciando un promedio de pérdidas potenciales mayor a la máxima pérdida esperada.

Este estudio pionero ofrece una evaluación exhaustiva de las pruebas de Backtesting y Stresstesting en el contexto de los contratos de salud en Colombia. Sugiere metodologías aplicables, reconociendo la diversidad de las entidades y la necesidad de adaptación a sus realidades históricas. Su importancia radica en su capacidad para guiar a las IPS hacia la toma de medidas adecuadas para controlar el Riesgo Actuarial en sus contratos. Aunque el ente regulador establece normas, carece de directrices claras sobre su implementación y las metodologías específicas a utilizar. Por tanto, este estudio se erige como un referente, proponiendo modelos de contratación que se desglosan en una serie temporal con valores per cápita, facilitando el cálculo de la rentabilidad diaria en la prestación del servicio y la aplicación de las metodologías sugeridas.

Se recomienda a las IPS comenzar a monitorear sus ejecuciones contractuales a diario, especialmente en contratos PGP, para ajustar su comportamiento y evitar posibles pérdidas económicas, así como validar la estimación del valor de los contratos. Además, se sugiere al ente regulador seguir el ejemplo de la resolución 412 del 2015, que ofrece libertad de elección en la implementación de Reservas Técnicas por parte de las EPS. Se propone la creación de una resolución que establezca una metodología para la aplicación de las pruebas de Backtesting y Stresstesting en los contratos, o considerar la propuesta metodológica presentada para dar respuesta a las exigencias de la circular 20211700000004-5.

Este estudio no solo allana el camino para futuras investigaciones sobre el análisis de riesgos en el sector de la salud, sino que también busca mejorar la calidad de la atención y garantizar la protección de los usuarios mediante la aplicación de diversas metodologías.

## Referencias

- Banco Internacional de Pagos (BIS). (2009). Principios para la realización y supervisión de pruebas de tensión. Banco de Pagos Internacionales.
- Christoffersen, P. F. (1998). Evaluating Interval Forecasts. *International Economic Review*, 39(4), 841–862. <https://doi-org.ezproxy.eafit.edu.co/10.2307/2527341>.
- Comité de Supervisión Bancaria de Basilea II. (2004). Informe sobre los nuevos acuerdos de capital: Una revisión comprensiva. Banco de Pagos Internacionales.
- Engle, R. F. (1982). Autoregressive Conditional Heteroscedasticity with Estimates of the Variance of United Kingdom Inflation. *Econometrica*, 50(4), 987–1007. <https://doi.org/10.2307/1912773>
- Engle, R. F. & Manganelli, S. (2004). CAViaR: Conditional Autoregressive Value at Risk by Regression Quantiles. *Journal of Business & Economic Statistics*, 22(4), 367–381. <https://doi.org/10.1198/073500104000000370>
- Feo, Y. (2013). Metodología para calcular la prima pura de riesgo proyectada del SOAT. *Revista Fasecolda*, (152), 25–28. Recuperado a partir de <https://revista.fasecolda.com/index.php/revfasecolda/article/view/28>
- Figlewski, S. (1997), Forecasting Volatility. *Financial Markets, Institutions & Instruments*, 6: 1-88. <https://doi-org.ezproxy.eafit.edu.co/10.1111/1468-0416.00009>
- Hargrave, M. (2023). Fórmula de desviación estándar y usos frente a varianza. Investopedia. Revisado por Brown, J. R. Verificado por Bellucco-Chatham, A. Recuperado de <https://www.investopedia.com/terms/s/standarddeviation.asp>

- Johnson, C. (2001). Value At Risk: Teoría y Aplicaciones. *Estudios de Economía*, 28(2), 217–247. <http://econ.uchile.cl/uploads/publicacion/d21e154f-3899-428d-9a68-255c3a876963.pdf>.
- Jorion, P. (2007). *Value at Risk: The New Benchmark for Managing Financial Risk*, MCGRAW-HILL.
- Kupiec, P. H. (1995). Techniques for Verifying the Accuracy of Risk Measurement Models. *The Journal of Derivatives*, 3(2), 73-84. doi:10.3905/jod.1995.407942
- Markowitz, H.M. (1952). Portfolio Selection, *The Journal of Finance*, VII, pp. 77-91. [https://www.researchgate.net/publication/228051028\\_Portfolio\\_Selection](https://www.researchgate.net/publication/228051028_Portfolio_Selection).
- McNeil, A. J., Frey, R. & Embrechts, P. (2015). *Quantitative risk management: Concepts, techniques and tools*. Revised edition. Princeton University Press.
- Ministerio de Salud y Protección Social. (2023). Estudio de suficiencia y ajustes de riesgo. Recuperado de [<https://www.minsalud.gov.co/salud/POS/Paginas/unidad-de-pago-por-capitacion-upc.aspx>].
- Papageorgiou, A., & Paskov, S. (1999). Deterministic simulation for risk management: Quasi-Monte Carlo beats Monte Carlo for value at risk. *Journal of Portfolio Management*, 25(SUPPL.), 122–127. <https://doi-org.ezproxy.eafit.edu.co/10.3905/jpm.1999.319698>.
- Lara Haro, A. de. (2005). *Medición y control de riesgos financieros* (Edición reimpressa). Editorial Limusa.
- Lintner, J. (1965). Security Prices, Risk, and Maximal Gains From Diversification. *The Journal of Finance*, 20(4), 587–615. <https://doi-org.ezproxy.eafit.edu.co/10.2307/2977249>

- Ramadiah, A., Fricke, D., & Caccioli, F. (2022). Backtesting macroprudential stress tests. *Journal of Economic Dynamics and Control*, 137. <https://doi-org.ezproxy.eafit.edu.co/10.1016/j.jedc.2022.104333>
- Sarabia, J. M., & Gomez, A. (2006). *Estadística actuarial: teoría y aplicaciones*. Pearson Educación.
- Superintendencia Nacional de Salud. (2021). Circular Externa 20211700000004-5 DE 2021.
- Deng, K., & Qiu, J. (2021). Backtesting expected shortfall and beyond. *Quantitative Finance*, 21(7), 1109–1125. <https://doi-org.ezproxy.eafit.edu.co/10.1080/14697688.2020.1834120>
- Packham, N. & Woebeking, F. (2023). Correlation scenarios and correlation Stresstesting. *Journal of Economic Behavior and Organization*, 205, 55–67. <https://doi-org.ezproxy.eafit.edu.co/10.1016/j.jebo.2022.11.002>
- Sharpe, W. F. (1964). Capital Asset Prices: A Theory of Market Equilibrium under Conditions of Risk. *The Journal of Finance*, 19(3), 425–442. <https://doi-org.ezproxy.eafit.edu.co/10.2307/2977928>
- Shu, L., & Jiang, W. (2008). A new EWMA chart for monitoring process dispersion. *Journal of Quality Technology*, 40(3), 319–331. <https://doi-org.ezproxy.eafit.edu.co/10.1080/00224065.2008.11917737>
- Superintendencia de Bancos e Instituciones Financieras. SBIF. (2007). Backtesting para modelos internos de medición de riesgos: Determinación estadística de la Tabla Permanencia. Recuperado de [https://www.cmfchile.cl/portal/estadisticas/617/articles-40018\\_doc\\_pdf.pdf](https://www.cmfchile.cl/portal/estadisticas/617/articles-40018_doc_pdf.pdf)

- Rojas Ormaza, B. R. (2023). Modelo Backtesting. Universidad EAFIT
- Tsafack, G. & Cataldo, J. (2021). Backtesting and estimation error: value-at-risk overviolation rate. *Empirical Economics*, 61(3), 1351–1396. <https://doi-org.ezproxy.eafit.edu.co/10.1007/s00181-020-01905-4>
- Viollet, F. (2023). Evaluating risk and stress-testing challenges for central counterparties. *Journal of Securities Operations & Custody*, 15(2), 123–133.
- Zhou, C. (2017). Book review: quantitative risk management: concepts, techniques and tools, revised edition, by A.F. McNeil, R. Frey and P. Embrechts. Princeton University Press, 2015, ISBN 978-0-691-16627-8, xix + 700 pp. *Extremes*, 20(2), 489–491. <https://doi-org.ezproxy.eafit.edu.co/10.1007/s10687-017-0286-4>