

**UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA MOLINA**

**FACULTAD DE ECONOMÍA Y PLANIFICACIÓN**



**“ESTIMACIÓN DEL CAPITAL ECONÓMICO POR RIESGO  
OPERACIONAL FINANCIERO USANDO EL MÉTODO DE  
DISTRIBUCIÓN DE PÉRDIDAS CON CONVOLUCIÓN POISSON Y  
LOG-NORMAL”**

**TRABAJO DE SUFICIENCIA PROFESIONAL PARA OPTAR EL TÍTULO  
DE INGENIERA ESTADÍSTICA E INFORMÁTICA**

**SILVIA PATRICIA POLO SÁNCHEZ**

**LIMA – PERÚ**

**2021**

---

**La UNALM es titular de los derechos patrimoniales de la presente investigación  
(Artículo 24 – Reglamento de Propiedad Intelectual)**

**UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA  
LA MOLINA**

**FACULTAD DE ECONOMÍA Y PLANIFICACIÓN**

**“ESTIMACIÓN DEL CAPITAL ECONÓMICO POR RIESGO  
OPERACIONAL FINANCIERO USANDO EL MÉTODO DE  
DISTRIBUCIÓN DE PÉRDIDAS CON CONVOLUCIÓN POISSON  
Y LOG-NORMAL”**

**TRABAJO DE SUFICIENCIA PROFESIONAL PARA OPTAR EL TÍTULO  
DE INGENIERA ESTADÍSTICA E INFORMÁTICA**

**Presentado por:**

**SILVIA PATRICIA POLO SÁNCHEZ**

**Sustentado y aprobado ante el siguiente jurado:**

**M.A. Fernando René Rosas Villena**

**PRESIDENTE**

**Dr. César Higinio Menacho Chiok**

**ASESOR**

**Dr. Raphael Félix Valencia Chacón**

**MIEMBRO**

**Mg. Sc. Diana del Rocío Rebaza Fernández**

**MIEMBRO**

**LIMA – PERÚ**

**2021**

## **DEDICATORIA**

Dedicado a mis padres por todo el apoyo incondicional que siempre me brindan, son mi ejemplo de empeño, constancia y dedicación tanto en lo profesional como en lo personal, gracias a mis padres por estar a mi lado en esta etapa de mi vida, por darme ánimos para perseguir mis metas y sueños.

## **AGRADECIMIENTO**

Un agradecimiento especial para Dios y la Virgen María que me dio la oportunidad en el tiempo adecuado lograr este objetivo. Además, agradecer a todas las personas que me dieron consejos, palabras de ánimo y a los que colaboraron con su granito de arena para poder culminar mi objetivo.

## ÍNDICE GENERAL

<b>I. INTRODUCCIÓN</b>	1
1.1 Problemática .....	2
1.2 Objetivos.....	3
<b>II. MARCO TEÓRICO</b>	4
2.1 Formulación del riesgo operacional financiero .....	4
2.2 El método de medición avanzada (AMA) .....	5
<b>III. MARCO METODOLÓGICO</b>	7
3.1 Formulación del modelo de distribución de pérdidas (LDA).....	7
3.2 Estimación de los parámetros .....	9
3.3 Prueba de bondad de ajuste .....	10
3.4 Estimación del capital económico por riesgo operacional .....	13
<b>IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN</b>	17
4.1 La empresa bancaria .....	17
4.2 Pre procesamiento de datos .....	20
4.3 Determinación de las distribuciones de frecuencia y severidad .....	30
4.4 Estimación del capital económico por riesgo operacional .....	35
4.5 Comparación con el método estándar alternativo (ASA).....	39
<b>V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES</b>	41
5.1 Conclusiones.....	41
5.2 Recomendaciones .....	42
<b>VI. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b>	43

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Líneas de Negocio.....	18
Tabla 2: Tipo de evento de riesgo .....	19
Tabla 3: Medidas descriptivas de los montos de pérdida (soles) por Banca Minorista y por tipo de riesgo .....	22
Tabla 4: Medidas descriptivas de los montos de pérdida (soles) por Banca Comercial y por tipo de riesgo .....	23
Tabla 5: Medidas descriptivas de los montos de pérdida (soles) por Finanzas Corporativas y por tipo de riesgo.....	24
Tabla 6: Medidas descriptivas de los montos de pérdida (soles) por Negociación y Ventas y por tipo de riesgo.....	25
Tabla 7: Medidas descriptivas de los montos de pérdida (soles) por Liquidación y Pagos y por tipo de riesgo.....	26
Tabla 8: Medidas descriptivas de los montos de pérdida (soles) por Servicios a Sucursales y por tipo de riesgo.....	27
Tabla 9: Medidas descriptivas de los montos de pérdida (soles) por Administración de Activos y por tipo de riesgo .....	28
Tabla 10: Medidas descriptivas de los montos de pérdida (soles) por Intermediación Minorista y por tipo de riesgo .....	29
Tabla 11: Estimación de la media ( $\lambda_{ij}$ ) para la distribución Poisson de las frecuencias de pérdidas por línea de negocio y por tipo de riesgo.....	31
Tabla 12: Valores del Chi-cuadrado calculado (p-valor) por línea de negocio y por tipo de riesgo .....	32
Tabla 13: Estimación de la media y desviación estándar de la distribución Log-Normal para los montos (soles) de las pérdidas por línea de negocio y por tipo de riesgo.....	33
Tabla 14: Valores A calculado y su respectivo p-valor de la prueba de va-Darling .....	34
Tabla 15: Valores D calculado y su respectivo p-valor de la prueba de Kolmogorov Smirnov calculado por línea de negocio y por tipo de riesgo .....	35
Tabla 16: Factores Beta para cada línea de negocio .....	40
Tabla 17: Resultados por método de medición del capital económico .....	40

## RESUMEN

En una institución bancaria el área de Administración de Riesgo Operacional es la encargada de gestionar, evaluar, medir y supervisar los riesgos operacionales en todas las áreas de la financiera en base al cumplimiento de la normativa regulatoria, en el Perú el ente regulador bancario es la SBS (comité de superintendencia de banca y seguros), el cual hace el requerimiento del capital económico por riesgo operacional a las instituciones bancarias, este capital permite a la empresa provisionar un dinero adecuado para cubrir las existencias de pérdidas generadas por riesgos operacionales (fallas en procesos, errores humanos, fallas en sistemas, etc). Se aplicó para estimar el capital económico por riesgo operacional el método de medición avanzada (AMA) usando el modelo de distribución de pérdidas (LDA) con convolución Poisson y Log-Normal. Los resultados obtuvieron una estimación de la pérdida esperada de 154,000,000 soles, pérdida no esperada de 27,000,000 soles y un capital económico de 181,000,000 soles; obteniendo la empresa bancaria un ahorro de capital de 54,000,000 soles.

**Palabras claves:** Capital económico, OpVaR, Riesgo operacional, Método de medición avanzada (AMA), Modelo de distribución de pérdidas (LDA).

## **ABSTRACT**

In a banking institution, the Operational Risk Management area is in charge of managing, evaluating, measuring, and supervising operational risks in all areas of the financial institution based on compliance with regulatory standards, in Perú, the banking regulator is the SBS (banking and insurance superintendence committee), which makes the requirement of economic capital for operational risk to banking institutions, this capital allows the company to provide adequate money to cover the stock of losses generated by operational risks (process failures, human errors, system failures, etc). The advanced measurement method (AMA) was applied to estimate the economic capital for operational risk using the loss distribution approach (LDA) with Poisson and log-normal convolution. The results showed an estimate of the expected loss of 154,000,000 soles, unexpected loss of 27,000,000 soles, and economic capital of 181,000,000 soles; the banking company obtained a capital saving of 54,000,000 soles.

**Keywords:** Economic capital, OpVaR , Operational risk, Advanced measurement approach (AMA), Loss distribution approach (LDA).

## I. INTRODUCCIÓN

El Comité de Supervisión Bancaria de Basilea (BCBS), es una organización que a nivel mundial reúne a las autoridades que supervisan al sector financiero, se encarga de proponer normas y recomendar metodologías como buenas prácticas utilizadas en la gestión financiera. En el año 2003, el BCBS, en su segundo acuerdo llamado Basilea II incorporó nuevas solicitudes de capital por riesgo operacional, la solicitud se originó debido a que el negocio bancario se volvió más complejo al tener altas posibilidades de que existan fallas por errores humanos o en sistemas informáticos, se necesita estar respaldados económicamente ante importantes pérdidas monetarias por acontecimientos producidos por riesgos operacionales, por ello los supervisores solicitan a las instituciones poner bastante atención a su gestión y sistemas internos. En el año 2009, el Comité de Superintendencia de Banca y Seguros (SBS) autorizó en el Perú la implementación del capital por riesgo operacional utilizando los estándares propuestos por el BCBS. Por lo tanto, las empresas bancarias están implementando estas nuevas normativas.

La BCBS, ha propuesto el uso del Método de Medición Avanzada (AMA), que permite el uso de técnicas estadísticas a diferencia del Método Estándar Alternativo (ASA). El AMA, estima con mayor precisión el valor del capital económico apoyando la gestión interna, este método presenta tres tipos de metodologías como son los Modelos de Medición Interna, Cuadros de Mando y Modelo de Distribución de Pérdidas (LDA); por benchmarks se sabe que el LDA es el enfoque más aplicado por varias instituciones financieras y es la que se utiliza en este estudio.

En la presente monografía se presenta la metodología del Método de Medición Avanzada (AMA) usando el enfoque Modelo de Distribución de Pérdidas (LDA) para la estimación del capital económico por riesgo operacional. Se aplica el modelo de la distribución de pérdida para la organización, realizando la estimación de parámetros, utilizando pruebas de bondad de ajuste y posteriormente elaborar un proceso de convolución con la distribución Poisson y Log-Normal para lo cual se aplica la simulación de Monte-Carlo. La metodología propuesta AMA utilizando LDA logró estimar el capital económico de la institución bancaria el cual fue 181,000,000 soles,

además se obtuvo un ahorro de capital económico de 54,000,000 soles en comparación con el Método Estándar Alternativo (ASA).

## **1.1 Problemática**

Las empresas bancarias una de sus preocupaciones dentro de sus procesos financieros, son los diversos tipos de riesgos operacionales asociados a eventos fortuitos; tales como, errores humanos, procesos internos inadecuados o defectuosos, fallos en sistemas y por aspectos externos. Por los cuales deben estimar con mucha precisión la provisión del capital adecuado para cubrir sobre todo las existencias de pérdidas generadas por estos tipos de riesgos, además esta estimación del capital puede apoyar mejor la gestión interna y la supervisión de los riesgos operacionales de la institución.

La presente empresa bancaria, dentro de su organización tiene un área de Administración de Riesgos Operacionales, encargada de la gestión y la medición de estos riesgos operacionales. La empresa para apalear estas pérdidas financieras producto de los riesgos operacionales que se suscitan, debe provisionar dinero contra estos posibles eventos de pérdida. La empresa usa el Método Estándar Alternativo (ASA), que permite medir el capital económico el cual se basa en la información contable considerando las líneas de negocio de la financiera y sus ingresos multiplicado por un factor fijo (porcentaje). El inconveniente de la medición de este método ASA, está en que no apoya la gestión interna de los riesgos operacionales para lograr una reducción de las pérdidas por estos riesgos, estimando con un margen de error alto el valor real y con una sobreestimación del capital económico para estos riesgos operacionales. En cuanto al desempeño profesional para ayudar a resolver el problema de la empresa fue tener los conocimientos de modelamiento y programación además del autoaprendizaje a la hora revisar distintas bibliografías para entender la técnica adecuada a ser aplicada en la solución al problema de estimación del capital económico por riesgo operacional.

## **1.2 Objetivos**

### **Objetivo general**

Estimar el monto del capital económico por riesgo operacional para un banco con la finalidad de provisionar dinero para futuros eventos de pérdida fortuitos provocados por estos riesgos usando el Método de Medición Avanzada (AMA) con el enfoque de Modelo de Distribución de Pérdida (LDA).

### **Objetivos específicos**

1. Probar la bondad de ajuste de la frecuencia (número de eventos de pérdida) a una distribución Poisson y la severidad (montos de pérdida) a una distribución Log-Normal para obtener la estimación del capital económico por riesgo operacional.
2. Comparar los resultados del capital económico por riesgo operacional de los dos métodos de estimación, el Método de Medición Avanzada (AMA) con el enfoque del Modelo de Distribución de Pérdidas (LDA) y el Método Estándar Alternativo (ASA).

## II. MARCO TEÓRICO

### 2.1 Formulación del riesgo operacional financiero

El riesgo operacional financiero según la SBS debe entenderse como la posibilidad de pérdida financiera por defectos o mal funcionamiento de procesos internos, eventos externos, errores humanos y para provisionar las pérdidas ocurridas por este riesgo se estima el capital económico donde el método utilizado para la estimación usa algunos conceptos para su construcción, siendo los más importantes de conocer:

**Capital económico:** Es la mejor estimación de capital utilizado por las instituciones financieras para administrar sus propios riesgos, asignar y mantener el costo del capital regulatorio entre los distintos departamentos de la financiera.

**Evento de pérdida por riesgo operacional:** Es un evento o suceso que lleva a que surja una pérdida monetaria. Se podría originar por una falla del personal, fallas de los procesos, fallas en los sistemas internos (informáticos) o por sucesos externos.

**OpVaR:** Es el valor en riesgo operacional, establece la estimación de la pérdida máxima que puede experimentar una institución dentro de un periodo específico. Se utiliza para calcular la provisión del capital y así cubrir las pérdidas económicas causadas por eventos fortuitos que puede tener una entidad financiera. Se calcula en términos de percentiles.

**Frecuencia de pérdida:** Se usa en cualquier tipo de riesgo operacional para definir el número eventos que en particular conducen a una pérdida monetaria en un periodo en específico.

**Severidad:** Es la pérdida monetaria de un evento de riesgo. Es el impacto económico que se produce por un evento de riesgo materializado en una empresa.

## **2.2 El método de medición avanzada (AMA)**

Uno de los métodos para la estimación del capital económico por riesgo operacional es el conocido método de medición avanzada (AMA). En (Jiménez Rodríguez, 2013), se aplica el método de medición avanzada (AMA) utilizando el modelo de distribución de pérdidas (LDA) para estimar el capital económico por riesgo operacional usando la distribución Poisson para modelar la frecuencia (cantidad de eventos de pérdida) y la distribución Log-Normal para modelar la severidad (datos las pérdidas monetarias de los eventos de pérdidas) y para el proceso de convolución utiliza el método de simulación de Montecarlo.

Según (Carrillo Menéndez & Suárez, 2012) se debe establecer un límite superior a las pérdidas para obtener un modelo de distribución de pérdidas agregadas más robusto y sensible a los cambios que se podrían tener con las pérdidas futuras, además utiliza la distribución Poisson para modelar la frecuencia (número de eventos de pérdida) y la distribución Log-Normal para modelar la severidad (pérdidas monetarias) por ser sensibles a la variaciones de las pérdidas de la institución y porque explica la leptocurtosis de los datos, además en el proceso de convolución utiliza la simulación de Montecarlo para estimar el capital económico.

En (Franco Arbeláez & Murillo Gómez, 2008), se presenta un estudio sobre la gestión integral del riesgo operacional donde presentaron la aplicación del modelo (LDA) y los datos utilizados fueron pérdidas históricas de cinco años de antigüedad recopiladas por la entidad, además las pérdidas las clasificaron en líneas de negocio de la organización y por los tipos de riesgo operacional, a partir de la clasificación se realizó la medición del capital. Según (Feria Domínguez, Jiménez Rodríguez, & Martín Marín, 2007), el proceso metodológico para la estimación del capital económico se basa en el modelo de distribución de pérdidas (LDA).

Según (Franco Arbeláez, 2009) aplica el método de medición avanzada (AMA) con la técnica más utilizada que es el modelo de distribución de pérdidas (LDA) y hace una comparación de tres métodos para el proceso de convolución (Montecarlo, Panjer, Bocker y Kluppelberg), donde llega a la conclusión de que cualquiera de los métodos para el proceso de convolución se puede utilizar, sin embargo uno se debe centrar en modelar adecuadamente la frecuencia y severidad para tener una mejor estimación del capital económico. De acuerdo con (Garrido

Domínguez, 2014) se utiliza el método de medición avanzada (AMA) con el enfoque LDA para la estimación del capital económico dado que esta metodología es muy utilizada en el sector financiero, además habla de los pasos a seguir para poder estimar el capital económico.

### III. MARCO METODOLÓGICO

Para calcular el capital económico por riesgo operacional se utiliza el método de medición avanzada (AMA) que es propuesto por Basilea II. A su vez, el AMA para la estimación del capital tiene tres tipos de modelos: “cuadros de mando (Scorecards), el modelo de medición interna (IMA), y el modelo de distribución de pérdidas (Loss Distribution Approach, LDA)” (Franco Arbelaéz & Murillo Gómez, 2008). Siendo este último modelo aplicado en el presente estudio.

#### 3.1 Formulación del modelo de distribución de pérdidas (LDA)

El modelo LDA es una técnica estadística enfocado en el método de medición avanzada (AMA), la distribución de pérdidas es originado por un proceso de convolución entre la distribución de frecuencia y distribución de severidad, este modelo utiliza datos históricos de pérdidas registradas por la organización las cuales están clasificadas en ocho líneas de negocio de la financiera y por siete tipos de riesgo operacional. El modelo LDA es explicado como:

$$M = \sum_{i=1}^7 \sum_{j=1}^8 S_{ij} \quad , \quad S_{ij} = \sum_{N=1} X_N \quad (1)$$

Donde:

$i$  : línea de negocio, entonces  $i = 1, 2, \dots, 8$ .

$j$  : tipo de riesgo, entonces  $j = 1, 2, \dots, 7$ .

$N$ : número de eventos de pérdida ocurridos en una línea de negocio  $i$  debido a un tipo de riesgo  $j$ .

$S_{ij}$ : pérdida monetaria total para una línea de negocio  $i$  debido a un tipo de riesgo  $j$ .

$X_N$ : monto de pérdida para una línea de negocio  $i$  debido a un tipo de riesgo  $j$ .

$M$ : pérdida monetaria anual total.

En el modelo LDA, se genera aplicando un proceso de convolución que se da entre la distribución de frecuencia (cantidad de eventos de pérdidas) y distribución de severidad (pérdidas monetarias).

### **Distribución de Frecuencia**

La frecuencia es la cantidad de eventos que generan pérdidas monetarias en una institución y se dan en un determinado periodo, para poder modelar la frecuencia (cantidad de eventos de pérdida) se utiliza una variable aleatoria discreta y la distribución de Poisson, a priori, es la función más utilizada para modelar la frecuencia de los eventos de pérdida, entonces la frecuencia (cantidad de eventos de pérdida) sigue una distribución de Poisson:

$$N_{(i,j)} \sim \text{Poisson}(\lambda) \rightarrow P(N_{(i,j)} = g) = \frac{\lambda^g e^{-\lambda}}{g!} \quad (2)$$

dónde el parámetro de la distribución Poisson es lambda ( $\lambda$ ), además sea la variable aleatoria  $N_{(i,j)}$  la cantidad de eventos que generan pérdida monetarias y que sucede en una línea  $i$  originado por un tipo de riesgo  $j$  en un horizonte de un año.

### **Distribución de Severidad**

La severidad representa a las pérdidas monetarias que la institución pierde por riesgo operacional en un determinado periodo, para poder estimar la probabilidad de la pérdida monetaria se usa una distribución continua. La función Log-normal es la función más utilizada para modelar la severidad, la distribución Log-Normal tiene la siguiente función de densidad:

$$X_{(i,j)} \sim \text{LN}(\mu, \sigma) \rightarrow f_{(i,j)}(x) = \frac{1}{x\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(\ln x - \mu)^2}{2\sigma^2}} \quad (3)$$

dónde los parámetros de la distribución Log-Normal son  $\mu$  y  $\sigma$ , además la severidad es la variable aleatoria  $X$  que indica las pérdidas monetarias ocurridas en un horizonte de un año.

En el caso que los datos de pérdida monetaria para la severidad no se ajusten a esta distribución Log-normal, se puede probar el ajuste de la severidad con otras distribuciones continuas (Weibull, Exponencial, etc). Los modelos de riesgo operacional para estimar el capital económico basado en la distribución Log-Normal pueden explicar la leptocurtosis de los datos para identificar sensibles variaciones del perfil del riesgo operacional en una organización.

### 3.2 Estimación de los parámetros

Con la finalidad de estimar el parámetro de la distribución Poisson y los parámetros de la distribución Log-Normal se utiliza la estimación de máxima verosimilitud (EMV), el cual es un método general para estimar los parámetros de una distribución de probabilidad que se basa en maximizar la función de log verosimilitud en base a las observaciones de la muestra. Sea  $x_1, \dots, x_n$  una muestra aleatoria idénticamente distribuidas así como independientes con función de densidad  $p(x, \theta)$ , la función de verosimilitud se define como:

$$f(\theta) = \prod_{i=1}^n p(x_i, \theta) \quad (4)$$

El estimador de máxima verosimilitud para el parámetro  $\theta$ , se obtiene tal que se maximice  $f(\theta)$ .

Para el caso de la función Poisson se estima el valor  $\lambda$  que maximice la función de verosimilitud, definida como:

$$\max P(\lambda) = \prod_{i=1}^n P(x_i, \lambda) \quad (5)$$

Donde  $n$  es el número de eventos de pérdida,  $P(x_i, \lambda)$  es el log verosimilitud de la  $i$ -ésima pérdida. Entonces el estimador de máxima verosimilitud para  $\lambda$  es:

$$\lambda = \frac{\sum_{i=1}^n x_i}{n} = \bar{x} \quad (6)$$

Con referencia a la función Log-Normal se estiman los valores de  $\mu$  y  $\sigma$  que maximicen la función de verosimilitud, definida como:

$$\max Pn (\mu, \sigma) = \sum_{i=1}^n P(x_i, \mu, \sigma | H_i) \quad (7)$$

Donde  $n$  es el número de eventos de pérdida,  $P(x_i, \mu, \sigma | H_i)$  es el log verosimilitud de la  $i$ -ésima pérdida y  $H_i$  es un umbral establecido para modelizar. Entonces el estimador de máxima verosimilitud para  $\mu$  y  $\sigma$  es:

$$\hat{\mu} = \frac{\sum_{i=1}^n \log(x_i)}{n} \quad \text{y} \quad \hat{\sigma} = \left[ \frac{\sum_{i=1}^n n(\log(x_i) - \hat{\mu})^2}{n} \right]^{1/2} \quad (8)$$

### 3.3 Prueba de bondad de ajuste

Se realizó la prueba de bondad de ajuste con la finalidad de probar si los datos de frecuencia y severidad se ajustan a una distribución de Poisson y distribución de Log-Normal respectivamente.

#### Pruebas de Bondad de Ajuste para la Frecuencia y Severidad

En riesgo operacional para la distribución de frecuencia que es representada por la distribución Poisson se utiliza la prueba de Chi-cuadrado  $\chi^2$  para conocer el ajuste de los datos con esta distribución. La distribución de severidad es representada por la distribución Log-normal, se utiliza las pruebas de Anderson-Darling (A-D) y Kolmogórov-Smirnov (K-S) para saber si existe un ajuste de los datos con esta distribución.

## Prueba de Chi-cuadrado $\chi^2$

Esta prueba se usa para concluir si una distribución en especial se ajusta a los datos de la variable en estudio. La variable aleatoria discreta que se usa para realizar esta prueba es la frecuencia, esto es aplicable para riesgo operacional.

- Formulación de las hipótesis

$H_0$ : Los datos provienen de una distribución específica.

$H_1$ : Los datos no provienen de una distribución específica.

- Prueba estadística

$$\chi^2_{calculada} = \sum_{i=1}^n \frac{(n_i - e_i)^2}{e_i} \sim \chi^2_{tab}(1 - \alpha, m - k - 1) \quad (9)$$

Donde:

$n_i$ : frecuencia observada.

$e_i$ : frecuencia esperada.

$k$ : número de parámetros estimados en la distribución teórica.

$m$ : número de categorías en que se agrupan los datos.

- Decisión estadística. Se rechaza  $H_0$  si el p – valor  $< \alpha$  , entonces si se cumple que  $H_0$  se rechaza. Por lo tanto, los datos no vienen de una distribución específica.

## Test Anderson - Darling (A-D)

Este test se usa para concluir si una distribución en especial se ajusta a los datos de la variable en estudio. La variable aleatoria continua que se usa para realizar esta prueba es la severidad, esto es aplicable para riesgo operacional.

- Formulación de las hipótesis

$H_0$ : Los datos provienen de una distribución específica.

$H_1$ : Los datos no provienen de una distribución específica.

- Prueba estadística.

$$A^2 = -N - S, \text{ donde: } S = \sum_{i=1}^N \frac{2i-1}{N} [\ln F(X_i) + \ln (1 - F(X_{N+1-i}))] \quad (10)$$

$N$ : número de observaciones.

- Decisión estadística. Se rechaza  $H_0$  si el  $p$  – valor  $< \alpha$  , entonces si se cumple que  $H_0$  se rechaza. Por lo tanto, los datos no vienen de una distribución específica.

### **Test de Kolmogorov – Smirnov:**

Este test se justifica en comparar las funciones de distribución acumulativa las cuales se examinan en la muestra y la distribución específica puesta en  $H_0$  (hipótesis nula).

- Formulación de las hipótesis

$H_0$ : Los datos provienen de una distribución específica.

$H_1$ : Los datos no provienen de una distribución específica.

- Prueba estadística.

$$D = \max_x |F_1(x) - F_2(x)| \quad (11)$$

Donde:

$F_1(x)$ : función de distribución empírica.

$F_2(x)$ : función de distribución teórica.

El operador “max” se emplea para encontrar la diferencia mayor o máxima para ver cómo de diferentes pueden llegar a ser ambas distribuciones. El valor absoluto se emplea para que el orden de los operadores no altere el resultado.

- Decisión estadística. Se rechaza  $H_0$  sí el  $p$  – valor  $< \alpha$  , entonces si se cumple que  $H_0$  se rechaza. Por lo tanto, los datos no vienen de una distribución específica.

### **3.4 Estimación del capital económico por riesgo operacional**

El modelo de distribución de pérdidas (LDA) es generada por la convolución entre la distribución de frecuencia (distribución Poisson) y la distribución de severidad (distribución Log-Normal), para el proceso de convolución se aplica la simulación de Monte-Carlo, donde se genera aleatoriamente una cantidad idónea de escenarios hipotéticos utilizando las distribución de frecuencia y la distribución de severidad. Para hallar la estimación del capital económico por riesgo operacional se calcula el OpVaR, para complementar la estimación se calcula la pérdida esperada (EL) y pérdida no esperada (UL).

A nivel de instrucción se estima el capital realizando un proceso de simulación ( $m=100,000$ ) con todos los datos de pérdidas que ya se encuentran clasificados por línea de negocio y tipo de riesgo, los pasos para el proceso de simulación (Monte-Carlo) son los siguientes:

1. Se estiman los parámetros  $\lambda_{ij}$  para definir las respectivas distribuciones Poisson (distribución de frecuencia), con la expresión número 6.
2. Realizar las pruebas de bondad de ajuste con los datos de pérdidas y con las respectivas distribución Poisson y distribución Log-Normal.



7. Se regresa al paso 3 y se repite  $m$  veces los pasos antes descritos, donde  $m$  representa el número de simulaciones generadas,  $m = 100,000$ .
8. Se termina obteniendo el vector  $D$  que contiene los valores simulados de pérdidas totales de un horizonte de un año ( $D = M_1, M_2, . . . , M_m$ ) . El vector  $D$ , es definido como una distribución de pérdidas.

Finalmente, se calcula el OpVaR, la pérdida esperada y la pérdida no esperada, de la siguiente manera:

**a. Cálculo del OpVaR.**

Con los valores del vector  $D$  ( $M_1, M_2, . . . , M_m$ ), que corresponden a los montos obtenidos pérdida total anual en soles, se calcula el percentil 99.9 (OpVaR), este valor representa el monto en soles del capital económico por riesgo operacional a nivel institución.

$$\text{OpVaR}(99.9\%) = \text{Percentil } 99.9 (D) \quad (12)$$

Este procedimiento de cálculo del capital económico se da cuando la institución no maneja provisiones para las pérdidas esperadas (pérdida promedio anual) y este es el caso de esta institución bancaria.

De manera interna la organización debe de calcular a nivel de institución la pérdida esperada (EL) y pérdida no esperada (UL).

**b. Cálculo de la Pérdida Esperada (EL)**

La pérdida esperada (EL) es la pérdida económica que se espera obtener en promedio en un horizonte de un año, se expresa como:

$$EL = E[D] = \frac{\sum_{i=1}^m S_i}{m} \quad (13)$$

Donde:

$m$ : Número de simulaciones de los montos totales de pérdidas anuales.

$S_i$ : Montos totales de pérdidas anuales,  $i = 1, 2, \dots, m$ .

La institución usa la pérdida esperada (EL) como un indicador, donde el valor de la pérdida esperada es un umbral, si las pérdidas acumuladas actuales se acercan o sobrepasan este umbral se generan alertas y se procede a realizar un análisis de eventos fortuitos con pérdidas extremas.

### c. Cálculo de la pérdida no esperada (UL)

La pérdida no esperada (UL) es la pérdida que no se tiene mapeado perder, se calcula restando el valor de OpVaR y la pérdida esperada.

$$UL = OpVaR(99.9\%) - EL \quad (14)$$

Finalmente, el valor del monto en soles de la pérdida no esperada (UL) es usada por la institución para determinar en cuanto sobrepasa el capital económico  $OpVaR(99.9\%)$  a la pérdida esperada (EL).

## **IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN**

### **4.1 La empresa bancaria**

En una institución bancaria el área de Administración de Riesgo Operacional se encarga de la gestión, control, medición de la exposición de los riesgos operacionales y de provisionar el capital adecuado para cubrir las pérdidas generadas por eventos fortuitos provocados por estos tipos de riesgos operacionales. Para asegurar la estabilidad y viabilidad de la institución es importante provisionar un capital y además por regulación se debe de cumplir con dicha provisión de capital contra posibles eventos de pérdida.

Para poder estimar el capital se debe tomar en consideración las líneas de negocio de la institución mostradas en la tabla 1, se observa las líneas de negocio de la organización y tienen que ser identificadas puesto que cada línea de negocio tiene un comportamiento de pérdida distinto y además estas líneas de negocio son usadas por separado para la elaboración de la frecuencia y severidad en el enfoque LDA.

**Tabla 1: Líneas de Negocio**

<b>Línea de negocio</b>	<b>Descripción</b>
Finanzas Corporativas	“Incluye la realización de operaciones de financiamiento estructurado y participación en procesos de titulización, underwriting, asesoramiento financiero a empresas corporativas, grandes y medianas empresas, así como al gobierno central y entidades del sector público; entre otras actividades de naturaleza similar” (Superintendencia de Banca, Seguros y AFP, 2018).
Negociación y Ventas	“Se encuentran las operaciones de tesorería; compra y venta de títulos, monedas y commodities por cuenta propia; entre otras actividades de naturaleza similar. Las operaciones incluyen la emisión de instrumentos representativos de deuda, instrumentos representativos de capital, posiciones en monedas extranjeras, posiciones en commodities, productos financieros derivados, entre otros” (Superintendencia de Banca, Seguros y AFP, 2018).
Banca Minorista	“Incluye principalmente productos de créditos y depósitos dirigidos a clientes minoristas. Productos como crédito hipotecario, crédito de consumo, crédito a microempresas y a pequeñas empresas, depósitos en cuentas de ahorro, depósitos en cuenta corriente, tarjetas de crédito, cuentas a plazo, depósitos para planes progresivos, CTS” (Superintendencia de Banca, Seguros y AFP, 2018).
Banca Comercial	“Incluye principalmente productos de créditos y depósitos dirigidos a clientes no minoristas, incluyendo: factoring, descuento, arrendamiento financiero, entre otros. Los productos a considerar son crédito a medianas empresas, crédito a grandes empresas y crédito corporativo, crédito a clientes institucionales, depósitos en cuentas de ahorro, depósitos en cuenta corriente, cuantas a plazo” (Superintendencia de Banca, Seguros y AFP, 2018).
Liquidación y Pagos	“Se refiere a actividades relacionadas con pagos y cobranzas; transferencias interbancarias de fondos; compensación y liquidación; entre otras actividades de naturaleza similar relacionadas a servicios donde el beneficiario es un cliente externo. Los productos a considerar son los relacionados a recaudación de fondos, pagos y liquidaciones asociados a cuentas personales o empresariales, pagos electrónicos, pagos manuales, compensación, liquidaciones, remesas, servicio de compra/venta de moneda extranjera” (Superintendencia de Banca, Seguros y AFP, 2018).
Servicios a Sucursales	“Se refiere a actividades relacionadas con custodia (caja de seguridad y certificados de valores), agencias de empresas (agentes de emisiones y pagos) y fideicomisos” (Superintendencia de Banca, Seguros y AFP, 2018).
Administración de Activos	“Se refiere a la administración discrecional de fondos como agrupados, Agrupados, segregados, minoristas, institucionales, participaciones accionariales y la administración no discrecional de fondos como agrupados, segregados, minoristas, institucionales, de capital fijo, de capital variable” (Superintendencia de Banca, Seguros y AFP, 2018).
Intermediación Minorista	“Se encuentran las intermediación minorista con la ejecución y servicio completo” (Superintendencia de Banca, Seguros y AFP, 2018).

Así mismo, para hallar la estimación del capital económico se necesita conocer cuáles son los tipos de riesgo operacional que presenta la institución. En la tabla 2, se muestra los siete tipos

de riesgo con su respectiva descripción, estos tipos de riesgos tienen que ser identificados puesto que cada riesgo tiene un comportamiento de pérdida distinto y además estos tipos de riesgos son usados por separado para la construcción de la frecuencia y severidad del modelo LDA.

**Tabla 2: Tipo de evento de riesgo**

<b>Tipo de riesgo</b>	<b>Descripción</b>
Fraude interno	“Pérdidas derivadas de algún tipo de actuación encaminada a defraudar, apropiarse de bienes indebidamente o a soslayar regulaciones, leyes o políticas empresariales (excluidos los eventos de diversidad/discriminación en las que se encuentra implicada, al menos, una parte interno a la empresa)” (Jiménez Rodríguez, 2013).
Fraude externo	“Pérdidas derivadas de algún tipo de actuación encaminada a defraudar, apropiarse de bienes indebidamente o a soslayar legislación por parte de un tercero” (Jiménez Rodríguez, 2013).
Relaciones laborales y seguridad en el trabajo	“Pérdidas derivadas de actuaciones incompatibles con la legislación o acuerdos laborales, de higiene o seguridad en el empleo, del pago de reclamaciones por daños a las personas, o de eventos de diversidad o discriminación” (Jiménez Rodríguez, 2013).
Prácticas con clientes	“Pérdidas derivadas del incumplimiento involuntario o negligente de una obligación profesional frente a clientes concretos (incluidos requisitos fiduciarios y de adecuación), o de la naturaleza o diseño de un producto” (Jiménez Rodríguez, 2013).
Daños en activos materiales	“Pérdidas derivadas de daños o perjuicios a activos materiales como consecuencia de desastres naturales u otros acontecimientos” (Jiménez Rodríguez, 2013).
Fallas en sistemas	“Pérdidas derivadas de incidencias en el negocio y de fallos en los sistemas” (Jiménez Rodríguez, 2013).
Fallas en procesos	“Pérdidas derivadas de errores en el procesamiento de operaciones o en la gestión de procesos, así como de relaciones con contrapartes comerciales y proveedores” (Jiménez Rodríguez, 2013).

Una vez teniendo bien identificado las líneas de negocio y los tipos de riesgo operacional se procede a estimar el capital económico por riesgo operacional a nivel institución, es decir cuanto tiene que provisionar la institución contra probables eventos originados por riesgos operacionales que causan pérdidas monetarias.

## 4.2 Pre procesamiento de datos

El propósito del pre procesamiento es hacer una limpieza e inspección de los datos para llegar a tener datos de calidad que permita realizar una correcta modelación de los datos.

**Preparación de datos.** Los datos se extraen de la base de datos de pérdida de la financiera, donde la información a utilizar son datos de las pérdidas historias de cinco años (2013-2017). Estos datos son actualizados mensualmente por los analistas de información de cada línea de negocio de la organización y validados por el analista de información del área de Administración de Riesgo Operacional del banco. En este estudio se estima el capital económico para el año 2018. La preparación de los datos empieza clasificando las pérdidas por líneas de negocio de la organización y por tipos de riesgo operacional de los últimos cinco años (2013-2017). Las variables consideradas en este estudio para la estimación del capital son: el periodo de los eventos de pérdidas utilizadas para poder modelar la distribución de frecuencia y los montos de los eventos de pérdidas para modelar la distribución de severidad, estos datos se encuentran clasificados por línea de negocio y por tipo de riesgo.

**Loss<sub>ij</sub>:** Pérdida monetaria del evento de pérdida por línea de negocio  $i$  (se muestra en la tabla 1) y por tipo de evento  $j$  (se muestra en la tabla 2).

**FechaContable<sub>ij</sub>:** Fecha en que se realizó el evento de pérdida por línea de negocio  $i$  (se muestra en la tabla 1) y por tipo de evento  $j$  (se muestra en la tabla 2).

**Period<sub>ij</sub>:** Clasificación de eventos de pérdida por periodo anual (si son 5 años, se clasificarían en 5 periodos). La variable “Period” se construye con información de la variable “FechaContable”, se utiliza información de datos de pérdidas de los últimos 5 años, es decir cada año se considerada como un periodo (Period: 1, 2 ,3 ,4, 5).

**Manejo de datos faltantes.** Se aplicó procedimientos de detección de datos faltantes en la base de datos, sin embargo no se encontraron datos faltantes.

**Análisis con medidas estadísticas.** Se realiza un análisis descriptivo la cual ayuda a visualizar, a priori, que distribución probabilística se ajusta a los datos de una mejor manera. El propósito de analizar la conducta de las pérdida monetarias(soles), se presenta a continuación las tablas de medidas estadísticas clasificada por cada línea de negocio y por tipo de riesgo.

En la tabla 3, en los montos de pérdida para la línea de negocio Banca Minorista se observa que el riesgo por fraude externo es el que más pérdidas económicas presenta con una media de 77,201.73 soles, seguido por el riesgo por fallas en procesos con una media de 38,936.26 soles. En las medidas de tendencia central se aprecia que la media es mayor a la mediana de los datos de pérdida (soles) en todos los riesgos, esto da indicio de la asimetría positiva de las distribuciones de los montos de pérdida, además, las medidas de forma como el coeficiente de asimetría son mayores que cero y esto confirma la existencia de una asimetría positiva, siendo el riesgo por fraude externo el que tiene mayor valor de coeficiente de asimetría de 25.96, seguido del riesgo por fallas en procesos con un coeficiente de asimetría de 16.67, asimismo los valores de curtosis son altos, es decir es una señal de la posible existencia de leptocurtosis de las distribuciones de los datos de pérdida (soles), donde el riesgo por falla en procesos presenta el mayor valor de curtosis con 162.24, seguido del riesgo por daños en activos materiales con un valor de curtosis con 157.17, por último la medida de dispersión como el coeficiente de variación nos da indicios de la existencia de dispersión de los datos de pérdida, donde el riesgo por fraude externo tiene el mayor valor de coeficiente de variación de 10.46, seguido del riesgo por prácticas con clientes con un valor de coeficiente de variación de 8.43. Por los resultados del análisis descriptivo visto se puede decir que los datos de los montos de las pérdidas se podrían distribuir como una Log-Normal.

**Tabla 3: Medidas descriptivas de los montos de pérdida (soles) por Banca Minorista y por tipo de riesgo**

Tipo de riesgo	Media	Mediana	Asimetría	Curtosis	CV
<b>Fraude externo</b>	77,202.73	24,691.19	25.96	147.09	10.46
<b>Fallas en procesos</b>	38,936.26	16,062.67	16.67	162.24	7.41
<b>Fallas en sistemas</b>	6,147.36	3,513.38	13.58	116.40	6.17
<b>Daños en activos materiales</b>	10,326.15	5,436.35	15.66	157.17	5.18
<b>Fraude interno</b>	41,421.48	16,500.85	14.99	134.16	6.87
<b>Prácticas con clientes</b>	8,367.55	4,085.86	15.13	138.90	8.43
<b>Relaciones laborales y seguridad en el trabajo</b>	12,827.12	6,696.11	14.01	119.10	6.21

En la tabla 4, en los montos de pérdida para la línea de negocio Banca Comercial se observa que el riesgo por fraude externo es el que más pérdidas económicas presenta con una media de 24,927.75 soles. En las medidas de tendencia central se aprecia que la media es mayor a la mediana de los datos de pérdida (soles) en todos los riesgos, esto da indicio de la asimetría positiva de las distribuciones de los montos de pérdida, además, las medidas de forma como el coeficiente de asimetría son mayores que cero y esto confirma la existencia de una asimetría positiva, siendo el riesgo por fraude externo el que tiene mayor valor de coeficiente de asimetría de 17.04, seguido del riesgo por fallas en sistemas con un coeficiente de asimetría de 15.34, asimismo los valores de curtosis son altos, es decir es una señal de la posible existencia de leptocurtosis de las distribuciones de los datos de pérdida (soles), donde el riesgo por fraude externo presenta el mayor valor de curtosis con 175.54, seguido del riesgo por fallas en procesos con un valor de curtosis con 144.28, por último la medida de dispersión como coeficiente de variación nos da indicios de la existencia de dispersión de los datos de pérdida, donde el riesgo por fraude externo tiene el mayor valor de coeficiente de variación de 9.42, seguido del riesgo por fallas en procesos con un valor de coeficiente de variación de 8.14. Por los resultados del análisis descriptivo visto se puede decir que los datos de los montos de las pérdidas se podrían distribuir como una Log-Normal.

**Tabla 4: Medidas descriptivas de los montos de pérdida (soles) por Banca Comercial y por tipo de riesgo**

<b>Tipo de riesgo</b>	<b>Media</b>	<b>Mediana</b>	<b>Asimetría</b>	<b>Curtosis</b>	<b>CV</b>
<b>Fraude externo</b>	24,927.75	9,790.55	17.04	175.54	9.42
<b>Fallas en procesos</b>	5,602.33	3,374.55	15.22	144.28	8.14
<b>Fallas en sistemas</b>	4,612.85	1,711.49	15.34	137.30	5.26
<b>Daños en activos materiales</b>	2,885.16	1,741.87	13.23	114.21	7.19
<b>Fraude interno</b>	3,716.61	1,884.27	14.56	132.46	6.57
<b>Prácticas con clientes</b>	5,815.46	3,081.34	12.91	110.87	5.33
<b>Relaciones laborales y seguridad en el trabajo</b>	9,241.34	5,209.44	14.14	123.92	6.21

En la tabla 5, en los montos de pérdida para la línea de negocio Finanzas Corporativas se observa que el riesgo por prácticas con clientes es el que más pérdidas económicas presenta con una media de 6,606.89 soles. En las medidas de tendencia central se aprecia que la media es mayor a la mediana de los datos de pérdida (soles) en todos los riesgos, esto da indicio de la asimetría positiva de las distribuciones de los montos de pérdida, además, las medidas de forma como el coeficiente de asimetría son mayores que cero y esto confirma la existencia de una asimetría positiva, siendo el riesgo por fallas en procesos el que tiene mayor valor de coeficiente de asimetría con 15.91, seguido del riesgo por fallas en sistemas con un coeficiente de asimetría de 15.71, asimismo los valores de curtosis son altos, es decir es una señal de la posible existencia de leptocurtosis de las distribuciones de los datos de pérdida (soles), donde el riesgo por fallas en procesos presenta el mayor valor de curtosis con 150.48, seguido del riesgo por fallas en sistemas con un valor de curtosis con 146.02, por último la medida de dispersión como el coeficiente de variación nos da indicios de la existencia de dispersión de los datos de pérdida, donde el riesgo por prácticas con clientes tiene el mayor valor de coeficiente de variación de 7.12, seguido del riesgo por fallas en sistemas con un valor de coeficiente de variación de 6.72. Por los resultados del análisis descriptivo visto se puede decir que los datos de los montos de las pérdidas se podrían distribuir como una Log-Normal.

**Tabla 5: Medidas descriptivas de los montos de pérdida (soles) por Finanzas Corporativas y por tipo de riesgo**

<b>Tipo de riesgo</b>	<b>Media</b>	<b>Mediana</b>	<b>Asimetría</b>	<b>Curtosis</b>	<b>CV</b>
<b>Fraude externo</b>	2,943.68	1,651.98	13.62	119.38	5.51
<b>Fallas en procesos</b>	3,021.70	1,596.49	15.91	150.48	6.21
<b>Fallas en sistemas</b>	3,083.14	1,600.19	15.71	146.02	6.72
<b>Daños en activos materiales</b>	3,817.32	1,994.94	13.93	121.90	5.68
<b>Fraude interno</b>	3,396.60	1,999.30	13.76	120.60	4.25
<b>Prácticas con clientes</b>	6,606.89	3,506.90	14.93	133.93	7.12
<b>Relaciones laborales y seguridad en el trabajo</b>	4,346.73	2,158.98	15.12	135.27	5.58

En la tabla 6, en los montos de pérdida para la línea de negocio Negociación y Ventas se observa que el riesgo por fraude externo es el que más pérdidas económicas presenta con una media de 9,356.74 soles, seguido por el riesgo por fallas en procesos con una media de 8,733.64 soles. En las medidas de tendencia central se aprecia que la media es mayor a la mediana de los datos de pérdida (soles) en todos los riesgos, esto da indicio de la asimetría positiva de las distribuciones de los montos de pérdida, además, las medidas de forma como el coeficiente de asimetría son mayores que cero y esto confirma la existencia de una asimetría positiva, siendo el riesgo por daños en activos materiales el que tiene mayor valor de coeficiente de asimetría con 15.87, seguido del riesgo por regulaciones laborales y seguridad en el trabajo con un coeficiente de asimetría de 15.22, asimismo los valores de curtosis son altos, es decir es una señal de la posible existencia de leptocurtosis de las distribuciones de los datos de pérdida (soles), donde el riesgo por daños en activos materiales presenta el mayor valor de curtosis con 151.02, seguido del riesgo por regulaciones laborales y seguridad en el trabajo con un valor de curtosis con 146.82, por último la medida de dispersión como el coeficiente de variación nos da indicios de la existencia de dispersión de los datos de pérdida, donde el riesgo por fraude externo tiene el mayor valor de coeficiente de variación de 7.43, seguido del riesgo por fraude interno con un valor de coeficiente de variación de 6.15. Por los resultados del análisis

descriptivo visto se puede decir que los datos de los montos de las pérdidas se podrían distribuir como una Log-Normal.

**Tabla 6: Medidas descriptivas de los montos de pérdida (soles) por Negociación y Ventas y por tipo de riesgo**

<b>Tipo de riesgo</b>	<b>Media</b>	<b>Mediana</b>	<b>Asimetría</b>	<b>Curtosis</b>	<b>CV</b>
<b>Fraude externo</b>	9,356.74	4,271.02	13.62	119.38	7.43
<b>Fallas en procesos</b>	8,733.64	4,317.56	13.43	115.85	5.18
<b>Fallas en sistemas</b>	3,104.30	1,667.93	15.12	142.18	5.64
<b>Daños en activos materiales</b>	3,102.27	1,713.47	15.87	151.02	4.12
<b>Fraude interno</b>	4,359.80	1,124.21	12.43	16.82	6.15
<b>Prácticas con clientes</b>	4,352.91	2,433.58	14.94	138.92	5.28
<b>Relaciones laborales y seguridad en el trabajo</b>	3,586.05	1,920.98	15.22	146.82	5.31

En la tabla 7, en los montos de pérdida para la línea de negocio Liquidación y se observa que el riesgo por fraude externo es el que más pérdidas económicas presenta con una media de 10,218.77 soles. En las medidas de tendencia central se aprecia que la media es mayor a la mediana de los datos de pérdida (soles) en todos los riesgos, esto da indicio de la asimetría positiva de las distribuciones de los montos de pérdida, además, las medidas de forma como el coeficiente de asimetría son mayores que cero y esto confirma la existencia de una asimetría positiva, siendo el riesgo por fallas en procesos el que tiene mayor valor de coeficiente de asimetría de 18.36, seguido del riesgo por fraude interno con un coeficiente de asimetría de 18.22, asimismo los valores de curtosis son altos, es decir es una señal de la posible existencia de leptocurtosis de las distribuciones de los datos de pérdida (soles), donde el riesgo por falla en procesos presenta el mayor valor de curtosis con 372.95, seguido del riesgo por regulaciones laborales y seguridad en el trabajo con un valor de curtosis con 241.9, por último la medida de dispersión como el coeficiente de variación nos da indicios de la existencia de dispersión de los datos de pérdida, donde el riesgo por fraude externo tiene el mayor valor de coeficiente de

variación de 8.45, seguido del riesgo por fallas en procesos con un valor de coeficiente de variación de 6.28. Por los resultados del análisis descriptivo visto se puede decir que los datos de los montos de las pérdidas se podrían distribuir como una Log-Normal.

**Tabla 7: Medidas descriptivas de los montos de pérdida (soles) por Liquidación y Pagos y por tipo de riesgo**

<b>Tipo de riesgo</b>	<b>Media</b>	<b>Mediana</b>	<b>Asimetría</b>	<b>Curtosis</b>	<b>CV</b>
<b>Fraude externo</b>	10,218.77	5,608.40	17.04	113.30	8.45
<b>Fallas en procesos</b>	3,967.62	1,778.51	18.36	91.27	6.28
<b>Fallas en sistemas</b>	4,026.54	2,071.15	16.17	157.04	5.23
<b>Daños en activos materiales</b>	3,692.14	1,988.68	14.63	127.78	6.01
<b>Fraude interno</b>	4,130.37	1,831.36	18.22	372.95	5.41
<b>Prácticas con clientes</b>	4,629.58	2,483.69	14.22	125.94	6.15
<b>Relaciones laborales y seguridad en el trabajo</b>	3,864.28	2,041.43	14.93	241.09	5.61

En la tabla 8, en los montos de pérdida para la línea de negocio Servicios a Sucursales se observa que el riesgo por prácticas con clientes es el que más pérdidas económicas presenta con una media de 4,792.03, soles seguido por el riesgo por fallas en procesos con una media de 4,535.98 soles.. En las medidas de tendencia central se aprecia que la media es mayor a la mediana de los datos de pérdida (soles) en todos los riesgos, esto da indicio de la asimetría positiva de las distribuciones de los montos de pérdida, además, las medidas de forma como el coeficiente de asimetría son mayores que cero y esto confirma la existencia de una asimetría positiva, siendo el riesgo por fraude interno el que tiene mayor valor de coeficiente de asimetría de 14.66, seguido del riesgo por fallas en sistemas con un coeficiente de asimetría de 13.70, asimismo los valores de curtosis son altos, es decir es una señal de la posible existencia de leptocurtosis de las distribuciones de los datos de pérdida (soles), donde el riesgo por fallas en sistemas presenta el mayor valor de curtosis con 132.98, seguido del riesgo por fallas en sistemas con un valor de curtosis con 120.30, por último la medida de dispersión como el coeficiente de variación nos

da indicios de la existencia de dispersión de los datos de pérdida, donde el riesgo por prácticas con clientes tiene el mayor valor de coeficiente de variación de 5.57, seguido del riesgo por fraude interno con un valor de coeficiente de variación de 5.48. Por los resultados del análisis descriptivo visto se puede decir que los datos de los montos de las pérdidas se podrían distribuir como una Log-Normal.

**Tabla 8: Medidas descriptivas de los montos de pérdida (soles) por Servicios a Sucursales y por tipo de riesgo**

<b>Tipo de riesgo</b>	<b>Media</b>	<b>Mediana</b>	<b>Asimetría</b>	<b>Curtosis</b>	<b>CV</b>
<b>Fraude externo</b>	3,211.13	2,072.01	12.66	110.54	5.42
<b>Fallas en procesos</b>	4,535.98	2,543.06	13.43	114.55	5.12
<b>Fallas en sistemas</b>	4,299.21	2,360.47	13.70	120.30	5.01
<b>Daños en activos materiales</b>	4,364.06	2,737.04	13.29	115.88	5.23
<b>Fraude interno</b>	3,735.39	2,026.51	14.66	132.98	5.48
<b>Prácticas con clientes</b>	4,792.03	2,925.46	12.61	18.75	5.57
<b>Relaciones laborales y seguridad en el trabajo</b>	3,958.82	2,316.77	13.69	119.75	5.36

En la tabla 9, en los montos de pérdida para la línea de negocio Administración de Activos se observa que el riesgo por fraude externo es el que más pérdidas económicas presenta con una media de 10,578.31 soles. En las medidas de tendencia central se aprecia que la media es mayor a la mediana de los datos de pérdida (soles) en todos los riesgos, esto da indicio de la asimetría positiva de las distribuciones de los montos de pérdida, además, las medidas de forma como el coeficiente de asimetría son mayores que cero y esto confirma la existencia de una asimetría positiva, siendo el riesgo por regulaciones laborales y seguridad en el trabajo el que tiene mayor valor de coeficiente de asimetría de 16.89, seguido del riesgo por prácticas con clientes con un coeficiente de asimetría de 16.44, asimismo los valores de curtosis son altos, es decir es una señal de la posible existencia de leptocurtosis de las distribuciones de los datos de pérdida (soles), donde el riesgo por regulaciones laborales y seguridad en el trabajo presenta el mayor

valor de curtosis con 399.49, seguido del riesgo por fraude interno con un valor de curtosis con 191.25, por último el coeficiente de variación nos da indicios de la existencia de dispersión de los datos de pérdida, donde el riesgo por fraude externo tiene el mayor valor de coeficiente de variación de 8.42, seguido del riesgo por fraude interno con un valor de coeficiente de variación de 6.21. Por los resultados del análisis descriptivo visto se puede decir que los datos de los montos de las pérdidas se podrían distribuir como una Log-Normal.

**Tabla 9: Medidas descriptivas de los montos de pérdida (soles) por Administración de Activos y por tipo de riesgo**

<b>Tipo de riesgo</b>	<b>Media</b>	<b>Mediana</b>	<b>Asimetría</b>	<b>Curtosis</b>	<b>CV</b>
<b>Fraude externo</b>	10,578.31	5,572.92	14.32	28.90	8.42
<b>Fallas en procesos</b>	4,204.71	2,267.63	14.39	27.38	5.14
<b>Fallas en sistemas</b>	3,079.73	1,566.89	14.35	27.44	5.25
<b>Daños en activos materiales</b>	4,420.11	1,463.13	13.34	14.41	5.47
<b>Fraude interno</b>	5,067.88	2,665.07	12.01	191.25	6.21
<b>Prácticas con clientes</b>	4,690.56	2,979.71	16.44	64.50	5.65
<b>Relaciones laborales y seguridad en el trabajo</b>	5,257.90	2,809.63	16.89	399.49	5.48

En la tabla 10, en los montos de pérdida para la línea de negocio Intermediación Minorista se observa que el riesgo por fraude externo es el que más pérdidas económicas presenta con una media de 8,865.23 soles, seguido por el riesgo por daños en activos materiales con una media de 5,689.49 soles. En las medidas de tendencia central se aprecia que la media es mayor a la mediana de los datos de pérdida (soles) en todos los riesgos, esto da indicio de la asimetría positiva de las distribuciones de los montos de pérdida, además, las medidas de forma como el coeficiente de asimetría son mayores que cero y esto confirma la existencia de una asimetría positiva, siendo el riesgo por relaciones laborales y seguridad en el trabajo el que tiene mayor valor de coeficiente de asimetría de 19.07, seguido del riesgo por prácticas con los clientes con un coeficiente de asimetría de 17.50, asimismo los valores de curtosis son altos, es decir es una

señal de la posible existencia de leptocurtosis de las distribuciones de los datos de pérdida (soles), donde el riesgo por prácticas con clientes presenta el mayor valor de curtosis con 176.89, seguido del riesgo por relaciones laborales y seguridad en el trabajo con un valor de curtosis con 141.03, por último la medida de dispersión como el coeficiente de variación nos da indicios de la existencia de dispersión de los datos de pérdida, donde el riesgo por fraude externo tiene el mayor valor de coeficiente de variación de 7.41, seguido del riesgo por fallas en procesos con un valor de coeficiente de variación de 6.61. Por los resultados del análisis descriptivo visto se puede decir que los datos de los montos de las pérdidas se podrían distribuir como una Log-Normal.

**Tabla 10: Medidas descriptivas de los montos de pérdida (soles) por Intermediación Minorista y por tipo de riesgo**

<b>Tipo de riesgo</b>	<b>Media</b>	<b>Mediana</b>	<b>Asimetría</b>	<b>Curtosis</b>	<b>CV</b>
<b>Fraude externo</b>	8,865.23	5,466.69	13.40	117.51	7.41
<b>Fallas en procesos</b>	5,210.57	2,577.60	14.48	128.55	6.61
<b>Fallas en sistemas</b>	4,357.91	2,271.65	13.51	117.05	6.13
<b>Daños en activos materiales</b>	5,689.49	3,319.28	14.40	122.70	6.24
<b>Fraude interno</b>	5,671.87	3,258.44	14.53	127.05	5.48
<b>Prácticas con clientes</b>	5,227.72	2,646.84	17.50	176.89	5.35
<b>Relaciones laborales y seguridad en el trabajo</b>	4,803.66	2,968.44	19.07	141.03	6.28

**Análisis de datos atípicos.** Se aplicó la técnica de diagrama de cajas para identificar datos atípicos (no eliminarlos), se detectó gran cantidad de valores atípicos en la variable “Loss” (monto de pérdida) por lo que se entiende que la distribución de los datos de pérdidas presenta una cola pesada al lado izquierdo, siendo la cola compuesta de montos de pérdidas altos y poco frecuentes. Cabe mencionar, que los montos de las pérdidas atípicas en líneas de negocio de la organización por tipo de riesgo operacional ayuda a establecer un límite superior para las pérdidas, este límite superior es la cantidad máxima monetaria que se puede perder en un solo

evento, este valor se termina por definir llegando aún consenso con cada línea de negocio de la organización.

### **4.3 Determinación de las distribuciones de frecuencia y severidad**

Con la variable *Period<sub>ij</sub>* se estiman los parámetros usando la distribución Poisson y para cada variable *Loss<sub>ij</sub>* se usa la distribución Log-Normal, esta fase se utilizará en el proceso de simulación de Monte-Carlo para la estimación del capital económico para generar variables aleatorias cuya distribución será Poisson y Log-Normal con los parámetros estimados respectivamente.

#### **a. La distribución de frecuencia**

La variable *Period<sub>ij</sub>* (cantidad de eventos de pérdida en un horizonte de un año) presenta una distribución Poisson y se realiza la estimación de los parámetros  $\lambda_{ij}$  por cada línea de negocio y por tipo de riesgo, la estimación se realiza bajo el método de máxima verosimilitud con la expresión número 6.

En la tabla 11, se observa los valores calculados de la estimación de los parámetros de la distribución Poisson para la frecuencia de pérdidas que corresponden a la media, estos valores sirven para generar escenarios hipotéticos de pérdida junto con los valores de la estimación de los parámetros de la distribución Log-Normal que serán posteriormente estimados.

**Tabla 11: Estimación de la media ( $\lambda_{ij}$ ) para la distribución Poisson de las frecuencias de pérdidas por línea de negocio y por tipo de riesgo**

Tipo de riesgo \ Línea de negocio	Banca minorista	Banca comercial	Finanzas corporativas	Negociación y ventas	Liquidación y pagos	Servicios a sucursales	Adm. de activos	Inter. minorista
Fraude externo	743.00	433.40	201.80	260.00	221.60	213.00	195.40	214.60
Fallas en procesos	659.20	226.60	304.80	199.60	207.40	174.20	185.20	193.60
Fallas en sistemas	176.60	102.80	197.20	174.20	169.40	201.80	250.60	188.20
Daños en activos materiales	210.80	200.80	188.40	165.60	198.60	180.60	179.60	170.60
Fraude interno	203.20	203.40	152.20	148.40	173.80	187.20	174.80	180.00
Prácticas con clientes	209.20	193.80	142.60	182.60	189.60	171.60	181.60	170.40
Relaciones lab. y seg. en el trabajo	148.40	145.60	197.80	203.80	179.00	171.40	192.20	185.00

### Prueba de Bondad de Ajuste de la distribución de frecuencia

Para probar que los datos de frecuencia se ajustan a una distribución de Poisson se realiza la prueba de Chi-cuadrado  $\chi^2$ .

- Formulación de las hipótesis

$H_0$ : Los eventos de pérdidas provienen de una distribución Poisson.

$H_1$ : Los eventos de pérdidas no provienen de una distribución Poisson.

- Prueba estadística

$$\chi^2_{calculada} = \sum_{i=1}^n \frac{(n_i - e_i)^2}{e_i} \sim \chi^2_{tab}(1 - \alpha, m - k - 1)$$

En la tabla 12, se encuentra los valores de la prueba Chi-cuadrado calculado y el p-valor de la prueba. Los valores son utilizados para probar si los datos de pérdidas (soles) se ajustan a una distribución Poisson.

**Tabla 12: Valores del Chi-cuadrado calculado (p-valor) por línea de negocio y por tipo de riesgo**

Tipo de riesgo \ Línea de negocio	Banca minorista	Banca comercial	Finanzas corporativas	Negociación y ventas	Liquidación y pagos	Servicios a sucursales	Adm. de activos	Inter. Minorista
Fraude externo	66.10	52.80	41.58	70.87	38.17	38.02	42.02	37.60
	(0.43)	(0.26)	(0.08)	(0.17)	(0.11)	(0.31)	(0.40)	(0.15)
Fallas en procesos	73.30	49.96	45.70	39.77	39.41	50.06	36.84	49.15
	(0.51)	(0.34)	(0.09)	(0.25)	(0.11)	(0.27)	(0.16)	(0.30)
Fallas en sistemas	52.88	30.43	42.36	74.22	55.13	36.05	38.15	41.16
	(0.24)	(0.10)	(0.32)	(0.0.8)	(0.14)	(0.28)	(0.07)	(0.11)
Daños en activos materiales	41.46	35.37	85.01	40.44	37.38	33.02	61.66	50.35
	(0.21)	(0.45)	(0.11)	(0.08)	(0.24)	(0.16)	(0.27)	(0.13)
Fraude interno	42.59	39.34	100.54	166.58	264.39	36.91	33.25	53.44
	(0.09)	(0.26)	(0.28)	(0.14)	(0.11)	(0.19)	(0.23)	(0.16)
Prácticas con clientes	87.83	47.23	28.54	51.62	37.08	32.36	34.52	47.05
	(0.18)	(0.09)	(0.13)	(0.28)	(0.51)	(0.25)	(0.11)	(0.08)
Relaciones lab. y seg. en el trabajo	27.55	64.89	45.30	63.62	171.81	40.52	32.62	32.91
	(0.42)	(0.24)	(0.19)	(0.31)	(0.07)	(0.16)	(0.21)	(0.27)

- Decisión estadística. Para todos los casos, con un p-valor mayor a 0.05, se acepta  $H_0$ . Por lo tanto, los datos de las frecuencias de pérdidas se ajustan a una distribución Poisson para cada línea de negocio y por tipo de riesgo.

#### **b. La distribución de severidad**

Para la variable  $Loss_{ij}$  (montos de pérdida en soles) se usa la distribución Log-Normal para lo cual se deben de estimar los parámetros de media y desviación estándar de la distribución Log-Normal por cada línea de negocio y por tipo de riesgo se estiman bajo el método de máxima verosimilitud con la expresión número 8.

En la tabla 13, se visualiza los datos de los parámetros de la distribución Log-Normal para los montos de pérdidas, estos valores sirven para generar escenarios hipotéticos de pérdida junto con los datos de la estimación de los parámetros de la distribución Poisson estimados anteriormente.

**Tabla 13: Estimación de la media y desviación estándar de la distribución Log-Normal para los montos (soles) de las pérdidas por línea de negocio y por tipo de riesgo**

Tipo de riesgo \ Línea de negocio	Banca minorista	Banca comercial	Finanzas corporativas	Negociación y ventas	Liquidación y pagos	Servicios a sucursales	Adm. de activos	Inter. Minorista
Fraude externo	10.15	9.18	7.41	8.38	8.63	7.60	8.67	8.54
	1.52	1.40	1.09	1.20	1.10	1.03	1.10	1.09
Fallas en procesos	9.70	8.13	7.35	8.40	7.52	7.85	7.75	7.87
	1.31	1.00	1.15	1.20	1.20	1.07	1.10	1.19
Fallas en sistemas	8.12	7.51	7.33	7.41	7.74	7.76	7.37	7.79
	1.13	1.35	1.18	1.12	1.12	1.12	1.16	1.08
Daños en activos materiales	8.58	7.41	7.60	7.68	7.63	7.88	7.90	8.10
	1.18	1.08	1.16	1.11	1.05	1.04	0.98	0.99
Fraude interno	9.71	7.54	7.82	7.81	7.55	7.65	7.91	8.10
	1.39	1.17	1.07	1.10	1.14	1.07	1.06	1.01
Prácticas con clientes	8.32	8.06	8.17	7.76	7.83	7.96	7.97	7.94
	1.20	1.11	1.13	1.14	1.12	1.06	0.98	1.07
Relaciones lab. y seg. en el trabajo	8.72	8.57	7.71	7.59	7.59	7.74	7.93	7.94
	1.22	1.04	1.12	1.10	1.04	1.07	1.08	1.05

### Prueba de Bondad de Ajuste de la distribución de severidad

Para probar que los montos de pérdidas (S/.) de la severidad se ajustan a una distribución de Log-Normal se realiza la prueba de Anderson - Darling.

- Formulación de las hipótesis

*H<sub>0</sub>: Las pérdidas (S/.) provienen de una distribución Log – Normal.*

*H<sub>1</sub>: Las pérdidas (S/.) no provienen de una distribución Log – Normal.*

- Prueba estadística

$$A^2 = -N - S, \text{ donde: } S = \sum_{i=1}^N \frac{2i-1}{N} [\ln F(X_i) + \ln (1 - F(X_{N+1-i}))]$$

En la tabla 14, se encuentran los valores de la prueba Anderson – Darling calculado y el p-valor de la prueba. Los valores son utilizados para probar si los datos de pérdidas (soles) se ajustan a una distribución Log-Normal.

**Tabla 14: Valores A calculado y su respectivo p-valor de la prueba de Anderson-Darling**

Tipo de riesgo \ Línea de negocio	Banca minorista	Banca comercial	Finanzas corporativas	Negociación y ventas	Liquidación y pagos	Servicios a sucursales	Adm. de activos	Inter. Minorista
Fraude externo	1.18	0.24	0.15	0.31	0.18	2.01	0.36	1.15
	(0.28)	(0.97)	(0.99)	(0.93)	(0.99)	(0.09)	(0.89)	(0.29)
Fallas en procesos	0.46	0.17	0.39	0.42	0.61	0.33	0.55	0.46
	(0.79)	(0.99)	(0.85)	(0.82)	(0.64)	(0.92)	(0.70)	(0.79)
Fallas en sistemas	0.80	0.22	0.24	0.28	0.80	0.33	0.22	0.83
	(0.48)	(0.98)	(0.97)	(0.95)	(0.48)	(0.91)	(0.98)	(0.46)
Daños en activos materiales	0.31	0.85	0.44	0.88	0.75	0.89	0.68	1.18
	(0.93)	(0.45)	(0.81)	(0.43)	(0.52)	(0.42)	(0.57)	(0.27)
Fraude interno	0.36	0.42	0.28	0.68	0.52	0.55	1.41	1.54
	(0.88)	(0.83)	(0.95)	(0.57)	(0.72)	(0.69)	(0.19)	(0.17)
Prácticas con clientes	0.35	1.22	0.45	0.60	0.29	0.60	1.04	1.38
	(0.89)	(0.26)	(0.80)	(0.65)	(0.94)	(0.65)	(0.34)	(0.21)
Relaciones lab. y seg. en el trabajo	1.02	0.39	0.85	0.36	1.00	0.32	0.91	1.57
	(0.34)	(0.86)	(0.44)	(0.88)	(0.36)	(0.92)	(0.41)	(0.16)

- Decisión estadística. Para todos los casos, con un p-valor mayor a 0.05, se acepta  $H_0$ . Por lo tanto, los datos de los montos de pérdidas (S/.) se ajustan a una distribución Log-Normal para de los tipos de riesgos y tipo de riesgo.

Además de realizar la prueba de Anderson – Darling para probar que los datos de pérdidas (S/.) de la severidad se ajustan a una distribución de Log-Normal se realiza también el test de Kolmogorov Smirnov para el mismo fin.

- Formulación de las hipótesis

$H_0$ : Las pérdidas (S/.) provienen de una distribución Log – Normal.

$H_1$ : Las pérdidas (S/.) no provienen de una distribución Log – Normal.

- Prueba estadística

$$D = \max_x |F_1(x) - F_2(x)|$$

En la tabla 15, se encuentra los valores de la prueba Kolmogorov Smirnov calculado y el p-valor de la prueba, los valores son utilizados para probar si los montos de pérdidas (soles) se ajustan a una distribución Log-Normal.

**Tabla 15: Valores D calculado y su respectivo p-valor de la prueba de Kolmogorov Smirnov calculado por línea de negocio y por tipo de riesgo**

Tipo de riesgo \ Línea de negocio	Banca minorista	Banca comercial	Finanzas corporativas	Negociación y ventas	Liquidación y pagos	Servicios a sucursales	Adm. de activos	Inter. Minorista
Fraude externo	0.02	0.01	0.01	0.01	0.01	0.04	0.02	0.03
	(0.11)	(0.95)	(0.99)	(0.98)	(0.99)	(0.09)	(0.85)	(0.27)
Fallas en procesos	0.01	0.01	0.02	0.02	0.02	0.02	0.04	0.03
	(0.89)	(0.97)	(0.72)	(0.78)	(0.55)	(0.88)	(0.14)	(0.37)
Fallas en sistemas	0.03	0.03	0.02	0.02	0.03	0.02	0.01	0.03
	(0.38)	(0.79)	(0.93)	(0.92)	(0.35)	(0.67)	(0.97)	(0.21)
Daños en activos materiales	0.02	0.03	0.02	0.03	0.03	0.34	0.03	0.03
	(0.87)	(0.18)	(0.80)	(0.40)	(0.44)	(0.23)	(0.51)	(0.28)
Fraude interno	0.02	0.02	0.02	0.03	0.02	0.03	0.04	0.21
	(0.79)	(0.78)	(0.83)	(0.50)	(0.62)	(0.52)	(0.11)	(0.24)
Prácticas con clientes	0.02	0.03	0.03	0.03	0.02	0.02	0.04	0.04
	(0.81)	(0.24)	(0.71)	(0.46)	(0.89)	(0.77)	(0.16)	(0.07)
Relaciones lab. y seg. en el trabajo	0.05	0.02	0.02	0.02	0.03	0.02	0.03	0.04
	(0.08)	(0.80)	(0.58)	(0.70)	(0.22)	(0.84)	(0.44)	(0.13)

- Decisión estadística. Para todos los casos, con un p-valor mayor a 0.05, se acepta  $H_0$ . Por lo tanto, los datos de los montos de pérdidas (S/.) se ajustan a una distribución Log-Normal para de los tipos de riesgos y tipo de negocios.

#### 4.4 Estimación del capital económico por riesgo operacional

Para estimar el capital económico por riesgo operacional a nivel institución se realiza el siguiente proceso de simulación de Monte-Carlo:

1. Se estiman los parámetros  $\lambda_{ij}$  para definir las respectivas distribuciones Poisson (distribución de frecuencia) (Ver Tabla 11).
2. Realizar las pruebas de bondad de ajuste con los datos de pérdidas y con las respectivas distribución Poisson y distribución Log-Normal (Ver Tabla 12, tabla 14 y tabla 15).
3. Por cada parámetro  $\lambda_{ij}$  de la distribución Poisson, se genera un valor  $n_{ij}$  ( $n_{ij} = n_{11}, n_{12}, \dots, n_{87}$ ,  $i$ : línea de negocio, entonces  $i = 1, 2, \dots, 8$  y  $j$ : tipo de riesgo, entonces  $j = 1, 2, \dots, 7$ ) donde cada valor  $n_{ij}$  representa la cantidad de eventos de pérdida anual por cada línea de negocio y por tipo de riesgo, obteniéndose un total de 56 valores.

$\lambda_{11} = 743$	$\longrightarrow$	$n_{11} = 702$	Cantidad de eventos de la línea de negocio Banca Minorista por el tipo de riesgo fraude externo
$\lambda_{12} = 659.2$	$\longrightarrow$	$n_{12} = 694$	Cantidad de eventos de la línea de negocio Banca Minorista por el tipo de riesgo fallas en procesos
$\vdots$			
$\lambda_{87} = 185$	$\longrightarrow$	$n_{87} = 189$	Cantidad de eventos de la línea de negocio Intermediación Minorista por el tipo de riesgo Relaciones laborales y seguridad en el trabajo

4. Se estiman los parámetros  $\mu_{ij}, \sigma_{ij}$  de la distribución Log-Normal para generar los respectivos valores aleatorios a partir de la distribuciones Log-Normal.(distribución de severidad) (Ver Tabla 13).
5. Con distribución Log-Normal (distribución de severidad) y los parámetros  $\mu_{ij}, \sigma_{ij}$ , por cada uno de los 56 valores  $n_{ij}$  generados en el paso 3 se obtienen  $n_{ij}$  montos de pérdidas de cada línea de negocio por tipo de riesgo ( $L_{n_{ij}}$ ), estos valores representan los montos (S/.) en función a la cantidad de eventos de pérdida ( $n_{ij}$ ).

$L_1 = 220,510.27, L_2 = 40,014.47, \dots, L_{n_{11}=702} = 37,892.51$  : Montos de pérdida (S/.) de la línea de negocio Banca Minorista por el tipo de riesgo fraude externo

$L_1 = 30,132.68, L_2 = 20,717.33, \dots, L_{n_{12}=694} = 6,952.68$  : Montos de pérdida (S/.) de la línea de negocio Banca Minorista por el tipo de riesgo fallas en procesos

⋮                      ⋮                      ⋮

$L_1 = 661.48, L_2 = 9,745.76, \dots, L_{n_{87}=189} = 1,686.67$  : Montos de pérdida (S/.) de la línea de negocio Intermediación Minorista por el tipo de riesgo Relaciones laborales y seguridad en el trabajo

6. Se suman los montos de pérdida por cada línea de negocio y por tipo de riesgo ( $S_{ij}$ ), obteniendo una pérdida total anual ( $M_k; k = 1, \dots, m$ ).

$$M_1 = \underbrace{(L_1 + L_2, \dots, +L_{702})}_{S_{11} = 48,432,457} + \underbrace{(L_1 + L_2, \dots, +L_{694})}_{S_{12} = 25,508,093} + \dots + \underbrace{(L_1 + L_2, \dots, +L_{189})}_{S_{87} = 938,448.7}$$

Monto total de pérdida (S/.) de la línea de negocio Banca Minorista por el tipo de riesgo fraude externo     
 Monto total de pérdida (S/.) de la línea de negocio Banca Minorista por el tipo de riesgo fallas en procesos     
 Monto total de pérdida (S/.) de la línea de negocio Intermediación Minorista por el tipo de riesgo

$M_1 = 150,780,765$  soles

7. Se regresa al paso 3 y se repite  $m$  veces los pasos antes descritos, donde  $m$  representa el número de simulaciones generadas,  $m = 100,000$ .

8. Se termina obteniendo el vector  $D$  que contiene los valores simulados de pérdidas totales de un horizonte de un año ( $D = M_1, M_2, \dots, M_m$ ). El vector  $D$ , es definido como una distribución de pérdidas.

$$D: M_1 = \underbrace{150,780,765}_{\text{Monto total anual (S/.) de pérdida por todo riesgo operacional}} , M_2 = \underbrace{144,434,215}_{\text{Monto total anual (S/.) de pérdida por todo riesgo operacional}} , \dots , M_{100,000} = \underbrace{141,654,469}_{\text{Monto total anual (S/.) de pérdida por todo riesgo operacional}}$$

### Cálculo del OpVaR.

Con los valores del vector  $D (M_1, M_2, . . . , M_m)$ , que corresponden a los montos obtenidos por pérdida total anual en soles, se calcula el percentil 99.9 (OpVaR), este valor representará el valor del capital económico por riesgo operacional a nivel institución.

$$\begin{aligned} \text{OpVaR}(99.9\%) &= \text{Percentil } 99.9 (D) \\ \text{Percentil } 99.9 (D) &= 180,940,800 \text{ soles} \end{aligned}$$

Redondeando a unidades de millón el valor de OpVaR(99.9%) es 181,000,000 soles.

**Interpretación.** La pérdida monetaria máxima es de 181,000,000 soles, esto nos indica que no se puede perder más de esa cantidad de dinero. Entonces el capital económico por riesgo operacional es de 181,000,000 soles.

### Cálculo de la pérdida esperada (EL)

Para calcular la pérdida esperada (EL) es la pérdida económica que se espera obtener en promedio en un horizonte de un año, se expresa como:

$$EL = E[D] = \frac{\sum_{i=1}^m S_i}{m} = 153,732,193 \text{ soles}$$

Redondeando a unidades de millón el valor de EL es 154,000,000 soles.

**Interpretación.** La pérdida promedio anual es 154,000,000 soles, es decir, la institución puede perder en un periodo anual una promedio de 154,000,000 soles por eventos de pérdidas de riesgo operacional.

### Cálculo de la pérdida no esperada (UL)

Para calcular la pérdida no esperada (UL) se resta el  $OpVaR(99.9\%)$  con la pérdida esperada (EL).

$$UL = OpVaR(99.9\%) - EL$$

$$UL = 181,000,000 - 154,000,000$$

$$UL = 27,000,000 \text{ soles}$$

**Interpretación.** La pérdida no esperada anual es 27,000,000 soles, es decir, la institución puede tener un excedente al promedio de pérdidas de 27,000,000 soles por eventos de pérdida de riesgo operacional.

### 4.5 Comparación con el método estándar alternativo (ASA)

El método estándar alternativo (ASA) es uno de los varios métodos que se utiliza para calcular el capital económico, para este cálculo se utiliza el promedio de los tres últimos años del cargo de capital por cada línea de negocio, se calcula de la siguiente manera:

$$K_{ME} = \frac{\sum_{t=1}^3 \max[\sum_{j=1}^8 (IB_{j,t} \times \beta_j); 0]}{3}$$

Donde:

$K_{ME}$ : requerimientos de capital por riesgo operacional por ASA.

$\beta_j$ : factor beta fijo para la línea de negocio j-ésima.

$IB_{j,t}$ : ingreso bruto anual de la línea de negocio j-ésima en el año  $t$ .

A continuación en la tabla 16, se observa los valores de los factores beta por cada línea de negocio, los factores beta se utilizan para hallar el capital por el método ASA:

**Tabla 16: Factores Beta para cada línea de negocio**

<b>Líneas de negocio</b>	<b>Factores Beta</b>
Finanzas Corporativas ( $\beta_1$ )	18%
Negociación y Ventas ( $\beta_2$ )	18%
Banca Minorista ( $\beta_3$ )	12%
Banca Comercial ( $\beta_4$ )	15%
Liquidación y Pagos ( $\beta_5$ )	18%
Servicios Sucursales ( $\beta_6$ )	15%
Administración de Activos ( $\beta_7$ )	12%
Intermediación Minorista ( $\beta_8$ )	12%

El área de gestión global del riesgo de la institución del estudio calcula el valor del capital económico usando el método estándar alternativo (ASA) y el resultado es entregado al área de administración de riesgo operacional para realizar una comparación entre la estimación del capital económico utilizando el método estándar alternativo (ASA) y la estimación del capital económico utilizando el método de medición avanzada (AMA), la comparación se realiza para conocer cuánto se ahorra en capital al utilizar el nuevo método AMA, además por teoría se sabe que el valor del capital utilizando el método AMA es menor que el valor del capital utilizando el método ASA y además da un valor más real al perfil de la institución.

En la tabla 17, se muestran los resultados conforme el método de estimación utilizado para hallar el capital, sirve para realizar una comparación económica de los resultados para el año 2018.

**Tabla 17: Resultados por método de medición del capital económico**

<b>Métodos de estimación</b>	<b>Resultados</b>
Método estándar alternativo (ASA)	S/235,000,000
Método de medición avanzada (AMA)	S/181,000,000

## V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

### 5.1 Conclusiones

Se presentan las siguientes conclusiones:

1. La provisión del capital económico por riesgo operacional respecto a la frecuencia de pérdidas y severidad que son montos de pérdida mostraron una bondad de ajuste significativa a la distribución de Poisson y Log-Normal respectivamente.
2. El método de medición avanzada (AMA) con enfoque modelo de distribución de pérdidas (LDA), proporcionó una estimación de la pérdida esperada de 154,000,000 soles, no esperada de 27,000,000 soles y un capital económico de 181,000,000 soles.
3. La comparación de las estimaciones del capital económico con el método de medición avanzada (AMA) usando el enfoque modelo de distribución de pérdidas (LDA) fue de 181,000,000 soles mientras que con el método estándar alternativo (ASA) 235,000,00 soles; por lo que se obtiene un ahorro de capital de 54,000,000 soles con el método AMA.

## 5.2 Recomendaciones

1. Si los datos de frecuencia de pérdida no se ajustan a una distribución Poisson, se recomienda probar el ajuste con otra distribución discreta como la distribución Binomial Negativa.
2. Si los datos de severidad no se ajustan a una distribución Log-Normal, se recomienda probar el ajuste con otra distribución continua como la distribución Gamma, distribución Exponencial, distribución Pareto, entre otras distribuciones. Si no se logra conseguir que los montos de pérdida (soles) se ajusten a una distribución continua simple, se puede utilizar dos distribuciones continuas, donde se partiría la data de los montos de pérdida (soles) en dos partes, la primera parte (llamada cuerpo) se tendría que ajustar una distribución continua conocida y la otra parte (llamada cola) también se tendría que ajustar una distribución continua conocida que podría ser igual o diferente de la distribución utilizada en el cuerpo.
3. Hacer uso de datos externos (pérdidas de otros bancos) para delimitar las pérdidas superiores, esto ayuda a delimitar mejor las pérdidas máximas y que la institución este preparada económicamente a un evento de pérdida extremo que ya pasó a otra entidad bancaria pero existe una posibilidad que pueda ocurrir a esta institución bancaria.

## VI. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Carrillo Menéndez, S., & Suárez, A. (2012). Robust quantification of the exposure to operational risk Bringing economic sense to economic capital. *Computers & Operations Research*, 792-804.
- Feria Domínguez, J. M., Jiménez Rodríguez, J. E., & Martín Marín, J. L. (Julio de 2007). *El modelo de distribución de pérdidas agregadas (LDA): Una aplicación al riesgo operacional*. Sevilla: Consejería de innovación ciencia y empresa de la junta de Andalucía. Obtenido de <http://www.scielo.org.co/pdf/pege/n31/n31a08.pdf>
- Franco Albeláez, L. C., & Murillo Gómez, J. G. (2008). Loss Distribution Approach (LDA): Metodología Actuarial Aplicada al Riesgo Operacional. *Ingenierías Universidad de Medellín*, 144-156.
- Franco Arbeláez, L. C. (2009). *Análisis y comparación de alternativas para cuantificar el riesgo operacional*. Medellín: Universidad EAFIT.
- Franco Arbelaéz, L. C., & Murillo Gómez, J. G. (31 de 10 de 2008). Loss Distribution Approach (LDA): metodología actuarial aplicada al riesgo operacional. *Revista Ingenierías Universidad de Medellín*, 2248-4094. Obtenido de Scielo: [http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1692-33242008000200011](http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1692-33242008000200011)
- Garrido Domínguez, Ó. (2014). *La Importancia de los Datos de Riesgo Operacional en las Entidades Financieras*. Madrid: Universidad Pontificia Comillas.
- Jiménez Rodríguez, E. (2013). *El Capital Regulatorio Por Riesgo Operacional*. Santander: Universidad de Cantabria.

Superintendencia de Banca, Seguros y AFP. (23 de 10 de 2018). *Superintendencia de Banca, Seguros y AFP*. Obtenido de Superintendencia de Banca, Seguros y AFP:  
<https://www.sbs.gob.pe/Portals/0/jer/Lineamientos/LINEAMIENTOS.pdf>