

**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE NICARAGUA**

**UNAN-LEÓN**

**FACULTAD DE CIENCIAS Y TECNOLOGÍA**

**DEPARTAMENTO DE MATEMÁTICA Y ESTADÍSTICA**



**TRABAJO MONOGRÁFICO PARA OPTAR AL TÍTULO DE LICENCIADO EN  
CIENCIAS ACTUARIALES Y FINANCIERAS**

**TÍTULO:**

**TEORÍA ACTUARIAL APLICADA: “MODELOS DE PÉRDIDAS AGREGADAS (LDA)  
COMO ESTIMADOR DEL RIESGO OPERACIONAL A TRAVÉS DE SIMULACIÓN  
MONTECARLO”.**

**ELABORADO POR:**

**Br. MIGUEL ÁNGEL MUÑOZ LÓPEZ.**

**TUTOR:**

**LIC. ROBERTO NOVOA.**

**LEÓN, FEBRERO-2017.**

**¡A LA LIBERTAD POR LA UNIVERSIDAD!**



**TEMA:**

**TEORÍA ACTUARIAL APLICADA: “MODELOS DE PÉRDIDAS AGREGADAS (LDA) COMO ESTIMADOR DEL RIESGO OPERACIONAL A TRAVÉS DE SIMULACIÓN MONTECARLO”.**



### **DEDICATORIA:**

#### **A Dios:**

Por darme el don de la vida y la bendición de vivirla tal cual ha sido durante todos estos años. Por su infinita bondad y amor, porque es en él que todo adquiere sentido y se renueva. Por guiar mis pasos en los cambios que han ocurrido en mi vida en tan poco tiempo.

#### **A mi esposa, Esmeralda Rodríguez:**

Por ser fuente constante de motivación y superación, por su incondicional e infaltable amor, por sus consejos y su paciencia, por darme fuerzas en momentos difíciles. Con todo mi amor, le comparto esto y todo lo que vendrá en un futuro, pues ya no somos dos, sino uno solo.



## AGRADECIMIENTOS:

### **A Dios:**

Por darme vida y derramar bendiciones constantes sobre mí, por permitirme crecer y desarrollarme en distintos aspectos de mi vida, por darme hambre de conocimiento, fuerza y energía para culminar este trabajo monográfico sin importar que el camino ha sido duro y cansado, por manifestarse siempre en mi vida.

### **A mis padres, Isabel López y Francisco Javier Muñoz:**

Por su amor incondicional, por sus muestras de cariño, por ayudarme y apoyarme en la realización de mis metas y mi crecimiento personal. Por darme una educación profesional, por acompañarme en este camino con disposición y sacrificio, pero sobre todo con amor.

### **A mi esposa, Esmeralda Rodríguez:**

Porque sin su constante motivación no sería quien soy hoy, por su amor que excede mi imaginación, por su comprensión y paciencia, por ser un soporte y apoyo durante las largas jornadas de trabajo a lo largo de todo este tiempo.

### **A mi tutor, Lic. Roberto Novoa:**

Por su gentil disponibilidad y apoyo para culminar este trabajo monográfico, por sus aportes y recomendaciones, por su instrucción y formación durante mis años universitarios.

### **A mis maestros:**

Por contribuir de distintas maneras en mi formación profesional y personal, por su apoyo, amistad, consejos y por ser fuente de conocimiento y motivación para la continua educación profesional.

### **Al Lic. Roberto E. Núñez Castro:**

Por recomendarme la temática de este trabajo investigativo y persuadirme a contribuir de esta forma con nuestra Alma Máter.



## TABLA DE CONTENIDO

I.	INTRODUCCIÓN .....	5
II.	OBJETIVOS.....	8
III.	MARCO TEÓRICO .....	9
	CAPITULO I: RIESGO Y RIESGO OPERACIONAL.....	9
I.	Introducción Al Riesgo .....	9
II.	El Riesgo Operacional.....	10
III.	Control y Gerencia de Riesgos .....	16
IV.	Marco Normativo Nicaragüense .....	22
	CAPITULO II: MODELOS DE PÉRDIDAS AGREGADAS .....	26
I.	Modelos De Pérdidas.....	26
II.	Diseño de Modelos de Pérdidas: Criterios y Lineamientos.....	28
	CAPITULO III: MONTECARLO.....	31
I.	Montecarlo.....	31
II.	La Automatización De Procesos A Través De Software .....	31
III.	Funciones y Bucles en R.....	32
IV.	DISEÑO METODOLÓGICO.....	37
IV.1.	Tipo De Estudio .....	37
IV.2.	Operacionalización De Las Variables .....	37
IV.3.	Fuentes De Información .....	37
IV.4.	Diseño Del Modelo .....	37
IV.5.	Simulación .....	39
V.	RESULTADOS .....	40
V.1.	Estadísticos Descriptivos.....	40
V.2.	Comportamiento De Las Variables.....	40
V.3.	Parámetros Utilizados Para La Simulación .....	40
V.4.	Prueba de Normalidad.....	41
V.5.	Simulaciones .....	42
V.6.	Resultados de Cálculos de Riesgo Operacional.....	44
V.7.	Comportamiento del OpVaR.....	44
V.8.	Resumen del Costo por Riesgo Operacional y Tarifas de Riesgo.....	45
VI.	ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS .....	46
VII.	CONCLUSIONES .....	48
VIII.	RECOMENDACIONES .....	49
IX.	BIBLIOGRAFÍA .....	50
X.	ANEXOS.....	52



## I. INTRODUCCIÓN.

La ciencia actuarial es aquella que se encarga del estudio del comportamiento del riesgo y su cuantificación, de tal manera que se puede lograr estimar una provisión suficiente para encarar los posibles efectos de dicho riesgo y mitigarlos; todo esto a través de la aplicación de conocimiento estadístico, matemático, demográfico y financiero; una amalgama armónica que permite al profesional actuario llevar una correcta gestión y control de riesgo.

Distintos métodos, esquemas, fórmulas, sistemas y demás herramientas han sido diseñadas para la cuantificación y evaluación de riesgos, tal es el caso de los modelos de pérdidas agregadas (Loss Distribution Approach, LDA, por sus siglas en inglés). Según Bühlmann, el enfoque LDA es una técnica estadística, heredada del ámbito actuarial (Feria Domínguez, Jiménez Rodríguez, & Martín Marín, 2007). El modelo de pérdida agregada, es un método aplicado en el campo actuarial y combina la distribución de probabilidad de la severidad y la distribución de probabilidad de frecuencia de los eventos de pérdida.

El riesgo operacional, es inherente a todas las actividades, empresas, sistemas, procesos, etc. Y sus orígenes son muy variados. Por lo cual, recientemente ha cobrado un papel de gran importancia en el marco regulatorio para la gestión de riesgos a nivel internacional.

Este tipo de riesgo es intrínseco a todas las actividades de negocios y por lo tanto ha existido desde el origen de estas; aunque de una manera formal, el término “riesgo operacional” existe como concepto genérico al menos desde 1991, con la publicación del documento “*Internal Control Integrated Framework*” por el COSO (**Committee of Sponsoring Organizations of the Treadway Commission**).

A pesar de que a finales de la década de los 80 el comité de Basilea publicó al menos cinco documentos que incluyen aspectos de riesgo operacional, no se incluye una definición formal y explícita. En 1994, el Comité de Basilea publicó una guía para la gestión de riesgos de productos derivados, en el cual se encuentra contenida la primera definición formal y explícita para el riesgo operacional propuesta por el Comité.

Algunos años después, en septiembre de 1998, el Comité de Basilea publicó el artículo “Operational Risk Management”, en el cual se presentan los principales resultados y conclusiones de un estudio sobre la administración de riesgo operacional en las instituciones financieras. Dicho estudio deja en evidencia cinco problemas que debían abordarse: (1) una baja o nula frecuencia en la medición y reporte de este tipo riesgo; (2) pobre o vaga determinación de los factores que lo determinan; (3) vaga definición de este riesgo; (4) ausencia de las actividades de auditoría interna como uno de los precursores de la gestión del riesgo operacional; y (5) la necesidad de una definición y marco de buenas prácticas por parte de los supervisores.

A partir de Junio del año 2004 el Nuevo Acuerdo de Basilea, “**Basilea II**”, emitido por el Banco de Pagos Internacionales exige y demanda a las instituciones financieras identificar, cuantificar y controlar el riesgo operacional con el fin de controlar los procesos, estimar los requerimientos de capital para hacer frente a dicho riesgo, satisfacer las exigencias de las entidades regulatorias, disminuir las pérdidas potenciales y aumentar el valor de las empresas.



Desde este punto en adelante, se han aunado esfuerzos por parte de la comunidad internacional para tomar medidas que fomenten la recolección de información, prevención de eventos de riesgo, constitución de los requerimientos de capital y divulgación de guías y esquemas sistemáticos que permitan a las instituciones financieras y empresas en general, llevar un mejor control en cuanto al riesgo operacional y gestión de riesgo en general.

Este tema de investigación fue escogido dado los cambios experimentados en los Sistemas Financieros en la última década, producto de diferentes eventualidades que han afectado negativamente a las instituciones bancarias, crediticias, aseguradoras e incluso a la economía de algunos países desarrollados.

En Nicaragua, la gestión de riesgo no es algo nuevo. El Sistema Financiero Nacional (SFN), a través de la Superintendencia de Bancos y Otras Instituciones Financieras (SIBOIF) ha publicado una serie de normativas y documentos para la gestión y mitigación de riesgos. Sin embargo, a pesar de que dicha legislación se encuentra en vigor y las entidades financieras deben de estimar con precisión el riesgo operacional, las instituciones aun no aplican las medidas necesarias para el cumplimiento de lo dictado, siendo un punto en la agenda que sigue sin abordarse.

Este documento está estructurado con el objetivo de abordar los aspectos relevantes para comprender el impacto del riesgo operacional, métodos de cálculo de reservas de prevención y mitigación, y finalmente estudiar formas en las que puede ser automatizado los procesos a través de los sistemas de información, de tal forma que pueda ser utilizado como esquema por las instituciones bancarias, crediticias, aseguradoras y/o empresas en general.

El primer capítulo de este documento está diseñado para recopilar la información necesaria sobre aspectos técnicos sobre riesgo en general y riesgo operacional, así como también el enfoque de Basilea II, gestión de riesgo y finalmente el marco normativo Nicaragüense.

En el segundo capítulo se muestran las bases técnicas para el cálculo del requerimiento de capital de riesgo operacional a través de los modelos de pérdidas agregadas, cabe mencionar que el método a seguir es el modelo colectivo por razones que se detallan en la debida sección. Sin embargo, en este capítulo únicamente se abordará la teoría necesaria ya que los cálculos fueron realizados a través de software.

En el último capítulo se exponen la manera en que puede automatizarse los procesos de cálculos y análisis haciendo uso de los sistemas de información, es decir, la aplicación del método Montecarlo a través de procesos computarizados, para lo cual, se diseñó un código en R que pudiese determinar la carga de capital.

En síntesis, el estudio de los modelos de pérdidas agregadas es importante para los Bancos y demás instituciones financieras e incluso empresas en general, porque permite calcular con precisión la carga de capital asociada al riesgo operacional, siendo este riesgo cada vez más importante en el sector financiero debido a los inseguridades crecientes que se presentan cada día, como son las transacciones fraudulentas (Ej.: Irish Bank), desastres naturales (Ej.: Terremoto de Chile, año 2010), ataques terroristas (Ej.: World Trade Center, 11/09/2001), fallos en las operaciones o procesos (Ej.: Barings Bank), etc; estos mencionados riesgos son de tal importancia que han dejado pérdidas millonarias en la última década, y es a raíz de esto que se ha aplicado el



modelo de pérdidas agregadas al riesgo operacional, ya que los estimadores básicos no eran suficientes para hacer frente a las pérdidas acaecidas.

Con este estudio se pretende brindar una herramienta documentada sobre el uso de los modelos de pérdidas agregadas y así motivar a las instituciones financieras y a los profesionales a utilizar esta técnica para estimar cargas de capital que sean suficientes para encarar los riesgos latentes y fortalecer nuestro sector financiero y economía en general; ya que a como se explicará en secciones posteriores de este documento, estos modelos son de gran precisión y utilizan de manera eficiente los recursos financieros. Además, también se desea fortalecer el sector académico, facilitando material de estudio sobre esta materia.

Finalmente, es necesario puntualizar que las entidades a nivel internacional instan y dictan a las organizaciones del sector financiero a adaptarse a los cambios propuestos a raíz de Basilea II, creando comités de identificación y control de factores de riesgos; y midiendo y evaluando los diferentes riesgos que se hacen presentes día a día (entre ellos el riesgo operacional); con el fin de salvaguardar el patrimonio, proporcionar mayor estabilidad y solvencia a los sistemas financieros a nivel mundial, y obtener una mejor preparación ante las calamidades originadas por el hombre y/o la naturaleza; Por tal motivo, este tipo de investigación será trascendental para el desarrollo de nuestra economía.





## II. OBJETIVOS.

**Objetivo General:** Estimar y tarificar la carga de capital relacionada al riesgo operacional a través de un modelo de pérdidas agregadas por medio de la simulación Montecarlo.

**Objetivos Específicos:**

1. Determinar un modelo estadístico-actuarial para obtener la distribución de las pérdidas agregadas combinando la distribución de las frecuencias de eventos de riesgo y la distribución de la severidad de los mismos.
2. Ajustar el modelo determinado a un caso práctico a través de la metodología Montecarlo.
3. Calcular una tasa para el costo de las pérdidas agregadas por riesgo operativo en función del modelo establecido.



### III. MARCO TEÓRICO.

#### CAPITULO I: RIESGO Y RIESGO OPERACIONAL.

##### I. Introducción Al Riesgo.

El riesgo puede definirse como la combinación de la ocurrencia de un suceso y sus repercusiones o consecuencias. En la terminología aseguradora, se emplea este concepto para expresar indistintamente dos ideas diferentes: de un lado, riesgo como objeto asegurado; de otro, riesgo como posible ocurrencia por azar de un acontecimiento que produce una necesidad económica y cuya aparición real o existencia se previene y garantiza en la póliza y obliga al asegurador a efectuar la prestación (indemnización), que le corresponde. (Fundación MAPFRE, 2016)

##### **I.1. Características del riesgo:**

Los riesgos deben de reunir cierto número de características para considerarse como riesgos asegurables, entre estas características se tienen las siguientes:

- a. Incierto o aleatorio: Debe existir una relativa incertidumbre, ya que el conocimiento de su existencia real desaparecería la aleatoriedad del evento, el cual es principio básico del seguro.
- b. Posible: Los riesgos deben de ser posibles, es decir, debe existir al menos una probabilidad por mínima que sea de que se materialice el hecho. De otra manera no tiene sentido considerarlo un riesgo.
- c. Concreto: El riesgo tiene que poder ser analizado y valorado tanto en el aspecto cualitativo como cuantitativo. Este debe de ser claramente definido y caracterizado dejando atrás toda ambigüedad; debe de ser medible para que sea tasado.
- d. Lícito: El riesgo que se pretenda asegurar debe de ir de acuerdo a las reglas morales o de orden que se establecen en la legislación. Sin embargo esto tiene dos excepciones, el suicidio y responsabilidad civil por daños causados a terceros por actos cometidos por imprudencia.
- e. Fortuito: El riesgo debe provenir de un acto o acontecimiento ajeno a la voluntad humana de producirlo.
- f. Contenido económico: La realización del riesgo ha de producir una necesidad económica que se satisface con la indemnización correspondiente. (Fundación MAPFRE, 2016)

##### **I.2. Proceso de Transferencia del Riesgo.**

Los riesgos pueden ser clasificados en diferentes tipos, entre ellos consideremos los *riesgos asegurables* y los *riesgos asumibles*.

El riesgo asumible es aquel que por sus características y límites en cuanto a severidad, puede ser asumido y afrontado por la entidad; mientras que el riesgo asegurable es aquel riesgo que es susceptible de ser asegurado, es decir, reúne todas las características “deseables” para ser transferido a una aseguradora y que esta le dé cobertura. (Fundación MAPFRE, 2016)



Luego de que la empresa ha analizado sus riesgos (identificado, descrito, catalogado o inventariado, mapeado y estimado), el siguiente paso es decidir los cambios en los procesos y las medidas de prevención, protección y seguridad que deben ser adoptadas para eliminar, reducir o mitigar la intensidad y frecuencias de las pérdidas potenciales a las que se está expuesto. Sin embargo a pesar de la aplicación de diversos controles, existe todavía un riesgo latente, el cual es denominado riesgo residual.

En la práctica de gerencia de riesgos, los directivos y administradores deberán decidir si dicho riesgo residual será:

- ❖ **Evadido:** La empresa detiene o se abstiene de realizar cualquier operación o actividad que tenga algún vínculo al riesgo en cuestión.
- ❖ **Asumido:** Los administradores deciden hacer frente al riesgo y asumir de alguna manera las pérdidas potenciales que puedan surgir producto de la actividad desarrollada
- ❖ **Transferido:** La gerencia decide transferir el riesgo desviando recursos de manera eficiente para que en caso de una eventualidad, esta pueda recuperar su capacidad productiva en los niveles previos a la pérdida, minimizando de esta manera los costes totales.

La transferencia de riesgo puede darse de distintas maneras, no necesariamente tiene que involucrar a una Aseguradora. La transferencia puede darse a través del pasivo, del activo, de aseguradoras, en forma mixta, etc.

Enfocándonos en la transferencia a través de las Aseguradoras, la compañía de seguros deberá evaluar el riesgo y tarificarlo de tal forma que a través de métodos actuariales lo suficientemente robustos, se determine una prima que sea suficiente para asumir el riesgo.

Visto desde otro punto de vista, si la empresa o institución deseara asumir el riesgo, debería de incluir dentro de sus prácticas la medición y cuantificación del riesgo que está asumiendo, con el fin de determinar de manera eficiente la carga de capital que significa para la institución afrontar dicho riesgo, debiendo ser esta carga suficiente para dar respuesta ante un evento de pérdida probable.

Sea cual sea el elegido entre estos dos escenarios, se hace notoria la importancia de estimar con precisión el impacto o la severidad de los riesgos a asumir. En este escrito solo nos enfocaremos en la medición de riesgos a través del modelo de pérdidas agregadas dirigido al riesgo operacional, es decir el cálculo del Operational Value at Risk (OpVar).

## **II. El Riesgo Operacional.**

### ***II.1. El riesgo operacional en Basilea II.***

En todo momento y en todo lugar, existe algún riesgo latente. En la cotidianidad de nuestras vidas nos enfrentamos a distintos escenarios en los que debemos tomar alguna decisión, lo cual implica asumir algún tipo de riesgo. De igual manera sucede en la actividad operativa de las empresas, las cuales, según su tipo de negocio, estarán afectadas por distintos tipos de riesgo. Sin



embargo, sin importar cual fuese su giro comercial, con seguridad estará expuesta a un tipo de riesgo específico, el riesgo operacional.

Conforme al Acuerdo de **Basilea II** publicado en el año 2004, se ha definido el riesgo operacional como “*el riesgo de sufrir pérdidas debido a la inadecuación o a fallos en los procesos, personal y sistemas internos o bien por causa de eventos externos*”. Esta definición incluye el riesgo legal o jurídico, pero excluye el riesgo estratégico y el riesgo de reputación. (Pacheco López, 2009).

El riesgo legal comprende la pérdida posible por sanciones o indemnizaciones como consecuencia del incumplimiento de las normas, reglamentos, regulaciones u obligaciones contractuales o por fallas en los contratos o en las transacciones. Mientras que el riesgo de reputación se refiere a pérdidas posibles por desprestigio, mala imagen o publicidad negativa. (Feria Domínguez, Jiménez Rodríguez, & Martín Marín, 2007).

Para medir el riesgo operacional se pueden utilizar diferentes métodos, ya sea a través del ajuste de una función de probabilidad de las pérdidas agregadas y luego estimar el cuantil  $q_{1-\alpha}$  o los parámetros de la distribución como la desviación estándar. Sin embargo, existen medidas más modernas de riesgo, estas son cantidades estadísticas que describen las distribuciones de pérdidas condicionales o incondicionales sobre un horizonte de tiempo determinado.

En el documento publicado por el Comité de Basilea, conocido como “Basilea II”, se establecen diversos índices y técnicas avanzadas para poder medir el riesgo operacional de una entidad y resumirlo en una cantidad sencilla de interpretar y analizar.

Hasta la publicación de la nueva propuesta de requerimientos de capital por el Comité de Basilea, no existía una definición ampliamente consensuada de riesgo operacional. Por éste se entendía: “*Todo aquello que no era ni riesgo de crédito, ni riesgo de mercado*”.

En el 2006, el Comité de Basilea publicó los resultados del “Estudio de Impacto Cuantitativo 5 (QIS 5)”, el cual tenía por objetivo calibrar las propuestas del Nuevo Marco de Capital y, en función de este, estimar los requerimientos de capital regulatorio. A partir de los resultados obtenidos para las economías pertenecientes al G-10, el riesgo operacional significaba una carga de capital económico de mayor importancia que la asociada al riesgo de mercado.

Los riesgos mayormente cubiertos en el Nuevo Marco de Capital son: riesgo de crédito, de mercado y operacional; estos dos últimos no se encontraban cubiertos en el Marco de Capital de Basilea I de 1998.

Se puede abordar el Nuevo Marco de una manera muy breve pero práctica a través de los pilares que han propuesto y promovido para una adecuada gestión de riesgo, los cuales son los siguientes:

- 1- **Pilar I:** Requerimientos de capital a las entidades bancarias; categorización de los eventos de pérdidas asociados al riesgo operacional; y tres métodos de estimación para la carga de capital por dicho riesgo.



- 2- **Pilar II:** Este abarca principios de supervisión básicos, incluyendo recomendaciones específicas relacionadas con la estimación y gestión del riesgo operacional.
- 3- **Pilar III:** Aborda recomendaciones sobre la transparencia de mercado y divulgación de información relacionada a aspectos cualitativos y cuantitativos de riesgo operacional.

Uno de los logros que se consiguió al formalizar una definición consensuada para riesgo operacional, es que a partir de ella se puede establecer una clasificación y determinación de los principales factores y eventos de pérdida. Dicha clasificación se compone de tres niveles, que permiten complementar con mayor claridad la amplitud de este riesgo.

En el primer nivel se encuentran:

- Fraude Interno.
- Fraude Externo.
- Relaciones laborales y seguridad en el puesto de trabajo.
- Incidencias en los negocios y fallas en los sistemas.
- Daños a activos materiales.
- Clientes; productos y prácticas empresariales.
- Ejecución, entrega y gestión de procesos.

El segundo nivel proporciona una clasificación más detallada del nivel anterior, mediante Categorías. Finalmente, el tercer nivel ejemplifica las actividades principales y más comunes asociadas a cada categoría del segundo nivel. Estas actividades han sido nombradas como “Líneas de Negocio”, las cuales son:

1. Finanzas empresariales o corporativas.
2. Negociación y ventas.
3. Pagos y liquidación.
4. Servicios de Agencia.
5. Administración de activos.
6. Intermediación minorista.
7. Banca minorista.
8. Banca comercial.

Esta segmentación ha sido adoptada como primera aproximación para las segmentaciones de negocios dentro de los métodos avanzados de cálculo para capital regulatorio y de los métodos internos de estimación de carga de capital económico. Adicionalmente, esta segmentación ha proporcionado una guía para delimitar y homogeneizar la asignación de pérdidas operacionales y sus causas dentro de los registros de bases de datos de las instituciones financieras.

En este documento se abordará esencialmente los requerimientos de capital, los cuales se encuentran contenidos en el Pilar I del Nuevo Acuerdo de Capital.

## **II.2. *Pilar I: Requerimientos Mínimos de Capital.***

El Nuevo Marco de Capital propone tres enfoques para calcular el cargo de capital por riesgo operacional: a) Método de Indicador Básico (Basic Indicator Approach - BIA); b) Método Estándar



(Standar Approach - SA) y una extensión del mismo denominada Método Estándar Alternativo (Alternative Standar Approach - ASA); c) Métodos de Medición Avanzada (Advance Measurement Approaches - AMA).

### II.2.1. El método del indicador básico:

El método del indicador básico consiste en multiplicar un porcentaje fijo ( $\alpha$ ) por un indicador de la exposición al riesgo operacional (ingresos brutos). El porcentaje ha sido fijado en un 15%, que es la cifra que relaciona dicho indicador con el nivel deseado de recursos propios en el sistema financiero. El capital requerido, bajo el enfoque básico, es la media de los ingresos brutos anuales (positivos) de los tres últimos ejercicios.

Este enfoque funciona como un punto de partida para cuantificar riesgo operativo y puede ser utilizado por pequeñas Entidades Financieras. El ingreso bruto fue escogido entre reguladores y representantes del sector por varias razones, entre ellas se encuentran el hecho de que es verificable, tiene disponibilidad inmediata y es un indicador confiable del tamaño de actividades. Sin embargo, el cálculo del ingreso bruto se realiza con valores pasados cuando se estima una medida de riesgo a futuro; por tanto, no se considera como una medida de riesgo operativo (Mora Valencia, 2011).

### II.2.2. El método estándar:

Sigue el mismo sistema que el método básico, con la diferencia de que en este enfoque se exige a las entidades que dividan su actividad en ocho líneas de negocio. El método de cálculo consiste en multiplicar unos porcentajes fijos ( $\beta$ ) por un indicador de la exposición al riesgo operacional (ingresos brutos) en cada una de las líneas de negocio.

El método estándar no consiste en un mero cálculo de recursos propios, sino que pretende que las entidades que lo sigan realicen una gestión activa de su riesgo operacional. Por ello, para poder optar por este método se deberán cumplir unos requisitos cualitativos bastante exigentes. Se requiere la implicación activa de la alta dirección y el consejo de administración; que el sistema de evaluación del riesgo sea sólido y esté plenamente integrado en la gestión diaria de riesgos de la entidad y que la entidad cuente con recursos suficientes tanto en las líneas de negocio como en las áreas de control y auditoría.

Los requerimientos de capital calculados mediante los enfoques del indicador básico y el método estándar, aunque son fáciles de estimar y pueden servir como un primer indicador, asumen que a mayor ingreso bruto, mayor será el capital necesario para cubrir las potenciales pérdidas originadas por riesgo operativo. Esto no siempre es cierto, ya que pueden ocurrir eventos externos a un banco que ocasionen grandes pérdidas. Además, estos métodos utilizan promedios de valores históricos, por lo cual puede que un año haya sido excepcionalmente bueno o malo, en cuanto a ingresos, y la media se vea afectada por estos valores atípicos (Mora Valencia, 2011).

### II.2.3. Métodos de Medición Avanzada:

Es un enfoque más avanzado que el utilizado en riesgo de crédito, donde las entidades utilizan sus modelos internos para calcular ciertos parámetros, pero no para obtener el importe final de los requerimientos de capital. La novedad y el atractivo de la utilización de los modelos internos



en riesgo operacional radican, precisamente, en que la entidad puede utilizar a efectos regulatorios el resultado de su propio modelo (que ha diseñado según sus necesidades de gestión). (Giménez-Montesinos).

En efecto, el Nuevo Marco no establece recomendaciones explícitas sobre metodologías particulares para la estimación de las pérdidas esperadas/inesperadas, lo cual se debe en gran parte a: i) la idiosincrasia propia de cada institución y, por ende, a la mejor adecuación de ciertas técnicas, inclusive de desarrollo propio, por sobre otras; ii) la continua, incipiente y amplia investigación y desarrollo académico/práctico sobre métodos avanzados de cuantificación del riesgo operacional. (Pacheco López, 2009).

Dada la flexibilidad sobre la selección de modelos que mejor se adapten a la realidad de cada institución, el Comité ha sugerido una serie de rigurosos criterios tanto cualitativos como cuantitativos que las instituciones bancarias deben cumplir para que los supervisores locales autoricen la utilización de AMA.

El Nuevo Marco prevé que los métodos AMA sean utilizados, principalmente, por los bancos internacionalmente activos y por aquellos con una alta exposición al riesgo operacional, ya que pueden existir circunstancias y/o instituciones donde estos métodos resulten altamente costosos de implementar o sean administrativamente difícil de desarrollar; o bien, exista indisponibilidad de recursos técnicos, informáticos y/o del historial de pérdidas por riesgo operacional, entre otras.

Cabe mencionar que bajo el método AMA, las inversiones efectuadas por las instituciones bancarias en el mejoramiento de sus procesos y sistemas, así como en planes de contingencia para estos mismos (incluyendo aseguramiento externo), debieran resultar en requerimientos de capital más bajos. No obstante, también resultaría en avances en la comprensión y gestión de sus exposiciones a los riesgos operacionales, contribuyendo a la estabilidad y desempeño del negocio.

La utilización de métodos AMA para fines de cargos de capital, requiere satisfacer una serie de condiciones, lo que debe demostrarse a los supervisores. Esos requerimientos mínimos, que pueden ser complementados por los supervisores, han sido categorizados por el Comité en tres grupos: i) criterios generales o básicos; ii) criterios cualitativos; y iii) criterios cuantitativos.

En síntesis, el Nuevo Acuerdo requiere la implicación activa de la alta dirección y del consejo de administración en la gestión del riesgo operacional, que el modelo interno sea sólido y esté plenamente integrado en los sistemas de medición y gestión de riesgos de la entidad (*test de uso o "use test"*), y que la entidad cuente con recursos suficientes tanto en las líneas de negocio como en las áreas de control y auditoría.

Desde el punto de vista del supervisor, el denominado *use test* es un requisito primordial en la validación de los modelos internos a efectos de capital. Consiste en la comprobación de que el modelo de medición sirve para la gestión activa del riesgo y es utilizado diariamente por la organización. Este requisito implica que en ningún caso sería admisible un modelo cuya única finalidad fuera el cálculo de los requerimientos regulatorios de capital.





Los supervisores exigirán al banco que calcule su requerimiento de capital regulatorio como la suma de la pérdida esperada y la inesperada, a menos que el banco pueda demostrar que ya han efectuado una medición de la pérdida esperada y la está cubriendo de alguna forma.

Todos los modelos AMA deberán utilizar los cuatro elementos básicos de un sistema de medición de riesgo operacional, es decir: Datos internos, datos externos, escenarios, y factores de control y entorno de negocio.

Los datos internos de pérdidas son los más útiles, se pueden considerar como la piedra angular sobre la que se basa cualquier modelo interno, debido a que son los que mejor representan la estructura del negocio, de los sistemas de control y de la cultura de cada organización. El problema que existe con el uso de datos internos, es que estos datos son muchas veces escasos.

En una sola entidad, normalmente obtendremos una multitud de pérdidas de elevada frecuencia y de bajo impacto (por ejemplo, diferencias de caja o cheques falsos); pocos datos de medio impacto y frecuencia (por ejemplo, robos), y muy pocos datos de eventos de baja frecuencia y alto impacto (por ejemplo, una inundación, incendio total, grandes fraudes, ataques terroristas, etc.).

La información de este último tipo de eventos en una sola entidad será insuficiente para modelizar la pérdida por riesgo operacional. Es por tal razón que Basilea II ha propuesto que se complemente la información de los datos internos de pérdidas de cada entidad con datos externos de otras entidades. Estos datos añadirán información sobre eventos, principalmente de baja frecuencia y alta severidad, que probablemente la entidad no haya experimentado, pero a los que sí se encuentra expuesta.

Aun incorporando datos externos al modelo interno, esta información reflejaría únicamente datos del pasado. Debe de considerarse que el sector financiero opera en un entorno cada vez más cambiante, en el que no siempre los datos pasados son sumamente precisos prediciendo el futuro, sobre todo cuando se producen variaciones en la estructura de negocio. Por esto y otras razones, los bancos necesitan utilizar, adicionalmente, análisis de escenarios basados en las opiniones de directivos y expertos en gestión de riesgos, para obtener evaluaciones de pérdidas severas que podría sufrir la entidad.

Finalmente, cada entidad deberá identificar los factores básicos de su entorno de negocio y su control interno. Estos factores permitirán que las evaluaciones del riesgo que realice el banco estén más orientadas al futuro, y reflejen de forma más directa la calidad de los entornos operativos y de control propios de la institución.

La información de pérdidas experimentada por cada entidad es el mejor reflejo del perfil de riesgo operacional de cada institución. De hecho, en la gestión de este riesgo, la mayoría de las entidades está comenzando por la elaboración de bases de datos internas de pérdidas, pues es una información muy útil para la gestión, independientemente de que vayan a abordar o no la construcción de un modelo interno de medición del riesgo.





### III. Control y Gerencia de Riesgos.

Como se ha mencionado anteriormente, la implementación de un método de medición avanzada no solamente consiste en calcular los requerimientos de capital necesarios, sino más bien, en la instauración de un sistema integral de prevención, cuantificación y mitigación de riesgos.

Un evento de riesgo operacional, puede ser definido como un incidente que se presenta en un proceso y cuya consecuencia es, que el resultado final del mismo difiera de lo que se había planeado debido a una falta de adecuación o de un fallo de los procesos, el personal y los sistemas internos, o bien por acontecimientos externos.

Una pérdida por riesgo operacional es cualquier impacto negativo registrado en cuentas de resultados o en la situación patrimonial de la Entidad, y que haya sido provocado a consecuencia de cualquier evento de riesgo operacional. (García, 2011)

Algunos eventos típicos de riesgo operacional son:

- Errores operativos
- Fraudes (internos y externos)
- Actividad no autorizada
- Fugas de talento
- Incumplimiento normativo
- Caídas de sistemas
- Fallos de programación
- Sobrepasar atribuciones / Límites
- Accesos indebidos a sistemas
- Daños en edificios
- Incumplimiento de proveedores
- Pérdidas por Litigios

Sin embargo, puede que ocurran eventos muy poco frecuentes pero que tienen un gran impacto. A continuación se nombran algunos eventos de pérdidas importantes por riesgo operacional:

- Ataque terrorista al World Trade Center el 11 de Septiembre del 2001
- Barings Bank, 1995 (£827 millones de libras).
- Gescartera, 2001. (€120 millones de Euros)
- Allied Irish Bank, (múltiples casos)
- Madoff, 2008 (\$50,000 millones de dólares)
- Terremoto de Chile en el año 2010.(≈ \$30,000 millones de dólares)

El control de riesgos es sumamente importante para prevenir cualquier pérdida por un determinado riesgo, por lo cual se deben aplicar diversas actividades que estén orientadas a la identificación, prevención, cuantificación y mitigación de riesgos.

Pero a pesar de contar con un buen equipo de prevención de riesgos o con un sistema adecuado, no podemos evitar con seguridad que ocurra alguno que otro evento de pérdida, lo que puede observarse de acuerdo al siguiente esquema:



Figura-1: Riesgo Residual.

Los sistemas de medición avanzada como el Método de Pérdidas Agregadas son sumamente útiles para determinar con gran precisión la exposición al riesgo y las posibles pérdidas que podrían materializarse en un espacio de tiempo, pero para poder implementar este tipo de herramientas, es necesario que exista una base de datos que refleje la experiencia que ha tenido la Institución en cuanto a este tipo de riesgo.

Uno de los grandes inconvenientes al momento de realizar una base de datos, es la dificultad para categorizar una pérdida como riesgo operacional o inclusive, a veces, identificar una pérdida. En ocasiones, puede ocurrir que una pérdida de riesgo operacional este “cubierta” por alguna cuenta dentro de los estados contables, pero que sin embargo son pérdidas que están ligadas a la naturaleza de este riesgo y que dado lo anterior son de difícil identificación.

Las pérdidas por riesgo operacional pueden afectar, y por tanto identificarse, de la siguiente manera:

- ✓ Pérdidas directas: Impacto en utilidades, costes de reparación, identificables en cuentas “puras” (es decir, trivialmente asociadas con el RO. Ej.: Fraudes, diferencias de caja, multas, etc.); o bien pueden estar ocultas en otros gastos que afectan directamente (consultoría de sistemas, gastos legales, etc.)
- ✓ Pérdidas indirectas: como ineficiencias en los trabajadores (Errores en diseños de procesos, reposos, horas extras), o pueden ser por otras tipologías (Errores en precios, compensaciones).
- ✓ Lucro cesante: Estas pérdidas son difíciles de medir. Algunos ejemplos son: pérdidas de negocios/clientes, imposibilidad de cargar comisiones, clientes insatisfechos que reducen su actividad, pérdida de personal clave, etc.).



Algunos factores que pueden producir eventos de riesgo operacional son:

<b>Factores Internos</b>	<b>Recursos Humanos</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ Falta de recursos.</li> <li>○ Escasa formación.</li> <li>○ Alta rotación.</li> <li>○ Pérdida de talento.</li> </ul>	<b>Factores Externos</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>● Desastres</li> <li>● Fraudes</li> </ul>
	<b>Gestión de Procesos</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ Controles deficientes.</li> <li>○ Defectos en los sistemas.</li> <li>○ Falta de segregación funcional.</li> <li>○ Escasa seguridad informática.</li> <li>○ Falta de planes de contingencia</li> <li>○ Exceso de manualidad</li> </ul>		

**Tabla-1: Factores que pueden causar eventos de Riesgo Operacional**

Una buena gerencia de riesgos debe de combinar los enfoques cuantitativos y cualitativos a fin de aminorar la exposición al riesgo y sus consecuencias. El enfoque cualitativo permite identificar riesgos y controles antes de que suceda un evento, por lo que puede considerarse como una gestión proactiva; mientras que el enfoque cuantitativo nos permite utilizar la información recopilada a partir de la experiencia de la entidad, que nos permita edificar una base de datos que facilite la medición de la exposición al riesgo. Ambos modelos de gestión, el cualitativo y el cuantitativo, deben coexistir.

Como se ha mencionado, la tarea de levantar una base de datos de eventos de pérdida no es algo sencillo, razón por la cual a continuación se presentará diversas maneras en que se pueden catalogar los eventos de pérdida con el fin de facilitar la identificación y registro de las pérdidas.

En general, los eventos de pérdidas se pueden catalogar según el número de impactos que provoquen o del número de líneas de negocios que afecten.

Dependiendo del número de impactos:

- 1- **Eventos simples:** Son eventos simples aquellos que generan un solo impacto en la contabilidad. Ejemplo: Una multa por incumplimiento normativo.



- 2- **Eventos múltiples:** Aquellos que generan varios impactos en la contabilidad. Ejemplo: Un fraude de tarjetas de crédito que afecte a muchos clientes.

Dependiendo del número de líneas de negocio afectadas:

- 1- **Evento monolínea:** Es aquel que afecta a una sola línea de negocio. Ejemplo: Una multa por incumplimiento normativo.
- 2- **Evento multilínea:** Es aquel que afecta a varias líneas de negocio. Ejemplo: Un desastre en un edificio en el que están ubicadas dos líneas de negocio.

En el siguiente diagrama se puede apreciar mejor el impacto que pueden tener los eventos según la clasificación antes expuesta.

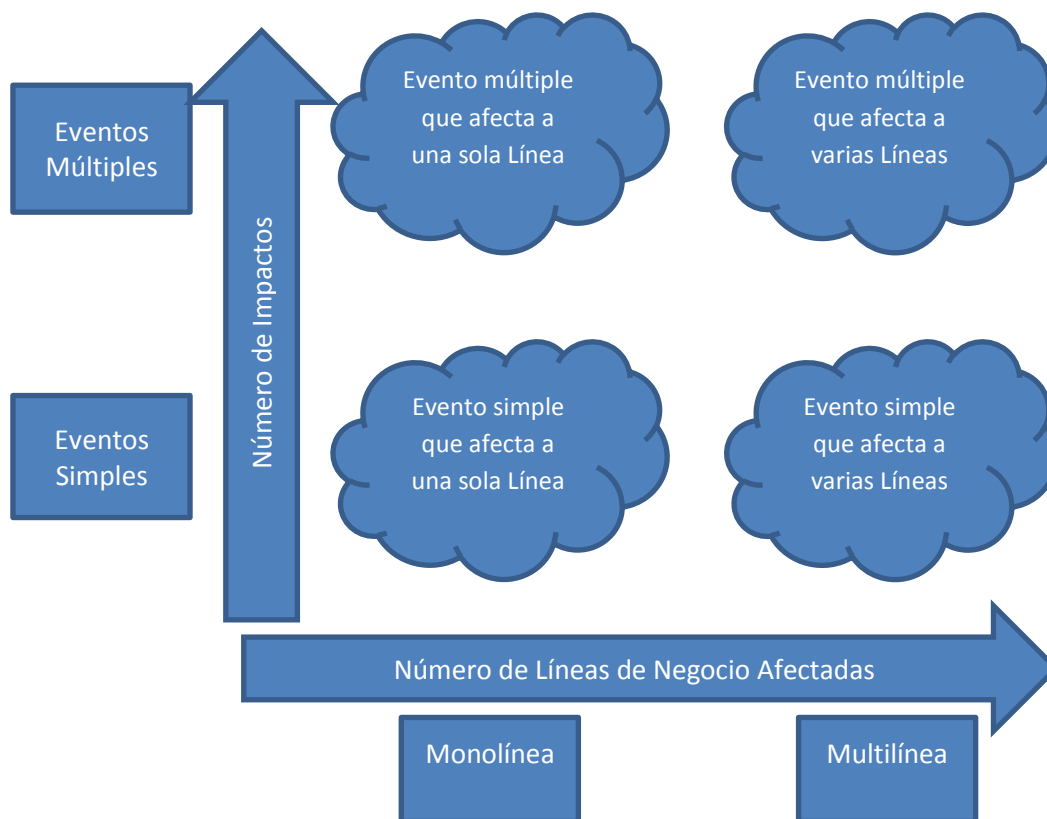


Figura-2: Clasificación de eventos de pérdidas según su impacto.

La cuantificación de los eventos se realiza consolidando en un solo importe el impacto económico de los diversos tipos de pérdidas, aunque se encuentren registradas en cuentas diferentes. Cada evento informado integra todos los componentes de la pérdida, independientemente de la cuenta donde estén registradas.



La valoración de la pérdida se basa en la información contenida en los registros contables. Incluirá costes de oportunidad (intereses y gastos financieros), pero no el lucro cesante derivado de eventuales pérdidas de negocio.

Cuando interviene alguna variable de mercado (tipo de cambio, tipo de interés, precio de activos financieros, etc.), la pérdida se calcula aplicando los precios existentes en el momento de la identificación del evento (momento en el que la operación debe ser anulada o regularizada).

Todos los eventos se deben reportar en moneda local, independientemente de la divisa en que se haya registrado el evento, al tipo de cambio existente en la fecha de registro contable.

En cuanto a activos fijos e inmateriales, con el fin de aplicar un único criterio, se ha considerado lo siguiente:

- Activos sustituidos. Se considera pérdida el precio de reposición del activo (importe de adquisición o el valor presente de las obligaciones contraídas).
- No se tienen en cuenta las mejoras tecnológicas que pueda incorporar el nuevo equipamiento.
- Activos no reemplazados. La pérdida se valora teniendo en cuenta el precio de mercado del activo en el momento de producirse el siniestro. En el supuesto de que no sea conocido, la pérdida se registra considerando el valor en libros del activo.

En determinadas circunstancias un evento de riesgo operacional puede tener un impacto definido y cuantificable, aun cuando no se encuentre reflejado en cuentas de resultados. Ejemplo: La omisión del cobro de comisiones y una vez descubierta no existe posibilidad práctica o legal de efectuarlo, se registrará el evento como si se tratase de una pérdida realmente contabilizada.

Habitualmente, el evento se registrará en el momento en que sea conocido su impacto definitivo, sin embargo, en ocasiones, el impacto de un evento de riesgo operacional puede registrarse mediante una provisión antes de que el importe exacto de la pérdida sea definitivamente conocido.

En la cuantificación de las pérdidas se incluyen los costos o gastos extraordinarios soportados por la ocurrencia del evento. En caso de existir, simultáneamente, efectos positivos y negativos, se calculará el importe neto de ambos. No forman parte de la base de datos eventos que no reflejen un impacto negativo.

Así mismo, se incluyen los costos de oportunidad en términos financieros (intereses y comisiones no percibidas).

El evento se computa por su importe bruto sin deducir la recuperación conseguida mediante gestiones realizadas una vez reconocido el evento y/o por los seguros contratados para la mitigación.

Se excluyen de la valoración de los eventos de riesgo operacional:

- Los costos internos resultados de la dedicación de miembros de la plantilla a la resolución del evento, así como el coste de eventuales horas extraordinarias.



- El importe de los contratos de mantenimiento formalizados previamente para evitar o mitigar determinados tipos de eventos, así como el importe de las primas de seguro satisfechas para la cobertura de siniestros.
- Coste de las mejoras realizadas para evitar futuros eventos de riesgo operacional.
- Coste del asesoramiento jurídico cuando la entidad renuncia a seguir adelante con un proceso legal.
- Errores en la contabilidad de gestión.
- Lucro cesante asociado al evento (operaciones no materializadas o pérdidas de negocio derivadas del mismo).

Cabe mencionar que por lo general, no constituyen pérdida los eventos temporales, los cuales, son aquellos que constituyen una distorsión temporal de la cuenta de resultados. Cuando se soluciona el problema, la cuenta de resultados se queda como si el evento no hubiera ocurrido; un caso común de este tipo de eventos puede ser cuando a un cliente se le cobra una tasa de interés que no está pactada en el contrato, lo cual es detectado por el cliente, que a su vez reclama a la institución. El Banco realiza un ajuste para compensar al cliente.

Muchas entidades registran los eventos que no generan pérdidas en otras bases de datos (centrales o departamentales) a fin de mejorar sus procesos de gestión.

Existe un algoritmo que ha sido diseñado para la facilitación de la clasificación de riesgos, el cual se presenta a continuación.



Figura-3: Algoritmo de clasificación de eventos de pérdida.



Como parte del proceso de gestión integral de riesgos que debe ser implementado si se quiere utilizar cualquier modelo de medición avanzada para la cuantificación de riesgos, es necesario definir e integrar una unidad de riesgo que este bajo la dirección de la gerencia de riesgo de la entidad, la cual suele estar estructurada como mínimo por unidades de gestión del riesgo de crédito, riesgo de mercado y riesgo operacional (aunque puede estar compuesta por más unidades, ejemplo: control interno, metodologías y planeación, etc.); la unidad de riesgo operacional tiene casi siempre dos sub-unidades, una de gestión cualitativa y otra de gestión cuantitativa.

El ciclo de gestión de riesgo operacional tiene cuatro etapas, que son:

- 1- Identificar: Es averiguar e inventariar los riesgos operacionales a los que está expuesta la entidad a través de sus procesos.
- 2- Medir: Es utilizar una métrica cualitativa y/o cuantitativa para dimensionar cada riesgo identificado.
- 3- Valorar: Es establecer un juicio absoluto o relativo sobre la magnitud de cada riesgo.
- 4- Controlar: Es poner en marcha medidas de mitigación y seguimiento con el objetivo de disminuir o anular la exposición al riesgo.

La sub-unidad de gestión cualitativa será la encargada de la implantación de una base de datos de factores de riesgo operacional de las distintas unidades. Así como de medir la gravedad de los factores de riesgo operacional con base en estimaciones de impacto y probabilidad o frecuencia; valorar la gravedad de los factores de riesgo a través de comités de riesgo operacional en las unidades; establecer planes de mitigación para los factores más graves; establecer un comité de riesgo operacional a nivel de Banco, donde se revisen los factores más importantes y se tomen decisiones de alto nivel de mitigación.

En cambio, a la sub-unidad de gestión cuantitativa le corresponde implantar una base de datos de pérdidas por riesgo operacional (los eventos se clasifican por Líneas de Negocio y Clases de Riesgo); disponer de una base de datos externa para complementar los datos internos (esto como se mencionó secciones atrás, es opcional, pero sumamente útil); trabajar en coordinación con las diferentes áreas analizando los eventos que se registran para determinar las causas que los provocan e implantar medidas de mitigación (los eventos más importantes deberán tratarse en el comité a nivel de Banco); y finalmente calcular el capital en riesgo mediante una herramienta específica.

Finalmente para que la implementación de un sistema de administración de riesgo proporcione buenos resultados se requiere de muchos esfuerzos que incluyen la construcción de una base de datos interna, adaptación de datos externos, capacitación constante de las unidades y sub-unidades, formulación de escenarios, mapeo de riesgos, identificación de factores de riesgo, adecuado sistema de reporte de eventos, gestión activa de la alta dirección y comités de riesgo; y otro gran número de actividades, pero que sin embargo significará cálculos más precisos y reducción de riesgos .

#### **IV. Marco Normativo Nicaragüense.**

Actualmente Nicaragua cuenta con un gran número de leyes y normativas que abarcan la temática de bancos, entidades crediticias, aseguradoras, fondos de inversión, títulos valores, grupos financieros, Instituciones financieras no bancarias, etc.; en muchas de ellas, se aborda la gestión de



riesgos. A pesar de lo anterior, es muy reciente la introducción del riesgo operacional en la legislación Nicaragüense.

Apenas a partir del año 2010 se incorpora el término de riesgo operacional en Nicaragua, esto es por medio de la “*Norma sobre Gestión de Riesgo Operacional*”, producto del gran impacto que ha tenido a nivel internacional, pues se ha comprobado que la gestión de riesgo es vital para los bancos y entidades de crédito.

La Superintendencia de Bancos y Otras Instituciones Financieras ha publicado esta norma considerando los artículos 38 y 40 de la Ley No. 561 “Ley General de Bancos, Instituciones Financieras no Bancarias y Grupos Financieros”, publicada en la Gaceta, Diario Oficial No. 232, del 30 de Noviembre del año 2005. En sus partes conducentes establece que los preceptos que regulan el gobierno corporativo de las instituciones financieras, deben incluir, entre otros, políticas sobre procesos integrales que incluyan la administración de los diversos riesgos a los que pueda estar expuesta la institución, el establecimiento de sistemas de información adecuados, así como políticas escritas sobre la administración de diferentes riesgos; en dichos artículos también se encuentra contenido que dentro de las obligaciones de la junta directiva de las instituciones financieras, esta tiene entre sus responsabilidades “velar porque se implementen e instruir para que se mantengan en adecuado funcionamiento y ejecución, las políticas, sistemas y procesos que sean necesarios para una correcta administración, evaluación y control de los riesgos inherentes al negocio”.

La norma sobre Gestión de Riesgo Operacional tiene por objeto establecer las responsabilidades y lineamientos generales a seguir por las instituciones financieras para una adecuada gestión de riesgo operacional, a fin de controlar o mitigar el posible impacto negativo de dicho riesgo. Así mismo, tiene por objeto establecer criterios especiales a tomar en cuenta para mantener en dichas instituciones un efectivo control de los principales factores de riesgo operacional a los que pueden estar expuestas.

A manera de resumen, se puede decir que tal documento se centra en la gestión de riesgos a través del establecimiento de Unidades de Administración Integral de Riesgos (UAIR) las cuales dispondrán un sistema de gestión de riesgos con el cual las instituciones financieras deberán contar para poder identificar, medir, controlar, mitigar y monitorear su exposición al riesgo operacional en el desarrollo de sus negocios y operaciones.

La junta directiva de la institución financiera será responsable de aprobar los objetivos, lineamientos y políticas que le permitan realizar una adecuada gestión del riesgo operacional al que está expuesta la institución, así mismo, será su responsabilidad, velar por el cumplimiento de dichos objetivos, lineamientos y políticas, los cuales deberán ser implementados por la alta gerencia de la institución.

Los objetivos, lineamientos y políticas antes indicadas deberán constar en manuales que servirán como soporte funcional y operativo al proceso de gestión del riesgo operacional. De manera general, estos manuales deberán ser documentos técnicos que contengan, entre otros, los diagramas de flujo de información, modelos y metodologías para la evaluación de este tipo de riesgo, así como, los requerimientos de los sistemas de procesamiento de información y análisis de





riesgos. Las juntas directivas deberá aprobar, al menos, los siguientes manuales: (1) Manual de Políticas y Procedimientos, (2) Manual de Organización y Descripción de Funciones y (3) Manual de Control de Riesgo Operacional.

Finalmente, esta norma explica sobre los lineamientos generales que deberán tomar en cuenta las instituciones financieras, como lo son la identificaciones de eventos generadores de riesgos (Fraude Interno o externo, prácticas relacionadas con clientes, productos, interrupción del negocio por fallas en TI, etc.), implementación de acciones una vez identificados los eventos y fallas (revisar estrategias / políticas, actualizar o modificar procesos, revisar términos de pólizas de seguros contratadas, contratar servicios provistos por terceros, etc.), la implementación de una Base de Datos y el control y monitoreo de factores de riesgo operacional (procesos internos, personas, eventos externos y Tecnología de la Información)

Cabe mencionar que a esto se le suma la *“Norma para la Gestión Integral de Riesgos”*, en la cual se aprecia la importancia y el interés de implementar unidades de administración de riesgos y cálculos de riesgo operacional en las entidades.

Las normas antes mencionadas ya entraron en vigor y de acuerdo a las disposiciones de ambas, los diferentes grupos financieros ya deberían de estar implementando lo dictado en ellas. Sin embargo en los Estados Financieros que presentaron los bancos nacionales en Marzo del año 2016 no se encuentra contemplado el cálculo del riesgo operacional, lo cual es exigido por la superintendencia.

Para los interesados en la materia, es muy importante mencionar que la SIBOIF define como Mejores Prácticas Aplicables a los marcos de referencia de control, estándares internacionales u otros estudios que ayuden a monitorear y mejorar las actividades críticas, aumentar el valor del negocio, y reducir riesgos, tales como: recomendaciones del Comité de Basilea, COSO, COBITM ITIL, ISO 17799, ISO 9001, CMM y PRINCE2, entre otros. Todas estas referencias contienen información muy útil sobre la gestión de riesgos, así como el continuo progreso en el gobierno corporativo a través de métodos dinámicos.

Dentro de esta sección, se considera conveniente exponer un poco sobre las directrices del Plan Nacional de Desarrollo Humano (PNDH) que ha trazado el Gobierno de Reconciliación y Unidad Nacional en cuanto a la Política Cambiaria, Monetaria, Crediticia y Financiera.

Según el PNDH, la política monetaria, junto a la política fiscal, son pilares fundamentales del Programa Económico Financiero (PEF) que ha elaborado el Gobierno, para proveer el marco macroeconómico necesario en la lucha contra la pobreza. La política monetaria seguirá enfocada en garantizar la confianza en la moneda y la estabilidad del sistema financiero, condiciones básicas para promover la asignación eficiente de recursos en la economía, incentivar el ahorro, la inversión y el crecimiento económico.

En cuanto a la política financiera, el PNDH indica que se continuará el fortalecimiento del marco de políticas macro prudenciales para resguardar la estabilidad del sistema financiero, si bien en el contexto de la crisis financiera internacional de 2008-2009 se comprobó la resistencia del sistema financiero nacional ante choques externos, se continuarán fortaleciendo aspectos prudenciales y la supervisión basada en riesgos, a fin de limitar riesgos financieros sistémicos. Dada



la integración regional, se fortalecerá y estandarizará la supervisión consolidada y transfronteriza mediante la adecuación del marco normativo. Así mismo, se fortalecerá la red de seguridad financiera mediante la modernización y armonización de esquemas de resolución bancaria y su coordinación con los mecanismos de seguros de depósito, de acuerdo a las mejores prácticas.

En síntesis, no solo a través del alcance de la dirección de la Superintendencia se realizan esfuerzos para desarrollar los aspectos técnicos y administrativos en cuanto a prevención y mitigación de riesgos, sino que la dirección gubernamental del país está integrada al proceso de aplicación de las Mejores Prácticas Aplicables.



## CAPITULO II: MODELOS DE PÉRDIDAS AGREGADAS.

### I. Modelos De Pérdidas.

En el estudio de las ciencias del riesgo, es común encontrar diferentes modelos y métodos estadísticos para la estimación de probabilidades de riesgo. Es habitual que los investigadores utilicen funciones específicas de distribución de probabilidad tanto para la frecuencia de los reclamos, como para la severidad de cada evento.

Para la frecuencia de los eventos se ha determinado que las distribuciones de Poisson, Binomial y Binomial Negativa se ajustan en buena medida a la frecuencia observada, mientras que para las pérdidas se utilizan usualmente distribuciones como la Normal, Log-Normal, Gamma, Beta, Weibull, Pareto, etc.

Sin embargo, más allá de hacer un estudio aislado de los eventos por separado, en ocasiones es necesario estudiar el agregado de las pérdidas de una cartera o portafolio, para lo cual, se utilizan los llamados Métodos de Medición Avanzada (AMA por sus siglas en Inglés).

En este capítulo, se explicará los modelos de pérdidas de reclamos. Los componentes de las pérdidas de reclamos son la frecuencia y la severidad de los reclamos; estos son modelados por separado y luego combinados para formar un modelo de pérdida agregada.

Este capítulo será dividido en varias secciones con el propósito de abordar individual y cabalmente los componentes de un modelo de pérdida agregada.

#### **I.1. Introducción a los modelos de pérdidas agregadas.**

Los modelos de pérdidas agregadas son modelos estadísticos creados a partir de dos distribuciones de probabilidad, que conforman una distribución compuesta.

La teoría sobre los modelos de pérdidas agregadas, a como se ha mencionado, ha sido tomada de la ciencia actuarial, la cual ha desarrollado la teoría de probabilidades con el fin de obtener estimaciones precisas sobre la probabilidad de los riesgos considerando su naturaleza y características, las cuales son sumamente diferentes a los variables comúnmente estudiadas.

Para introducir al lector sobre este tema, es necesario tener conocimiento sobre las distribuciones de probabilidad discretas y continuas, así como conocimiento elemental sobre distribuciones compuestas, distribuciones truncadas en cero, distribuciones mixtas y de ser posible, nociones sobre las recursiones de DePrill y Panjer con el fin de tener una completa asimilación de la temática y funcionamiento del modelo.

Partiremos de que “*el agregado de las pérdidas de una cartera de pólizas de seguro es la suma de todas las pérdidas ocurridas en el portafolio. Esto puede ser modelado por dos aproximaciones: el **modelo de riesgo individual** y el **modelo de riesgo colectivo**.” (Tse, 2009).*

En el modelo de riesgo individual, denotamos el número de pólizas (o en nuestro caso, aquellos prospectos que podrían causar pérdidas) en la cartera como  $n$ . También asumimos las pérdidas de cada póliza, denotadas por  $X_i$  para  $i = 1, \dots, n$ , siendo independientes e idénticamente



distribuidas como  $X$ . El agregado de las pérdidas del portafolio de pólizas, denotado por  $S$ , está dado como:  $S = X_1 + X_2 + \dots + X_n$ .

Entonces,  $S$  es la suma de  $n$  variables aleatorias iid, cada una distribuida como  $X$ , donde  $n$  es un número conocido. Nótese que comúnmente, la mayoría de las pólizas no tienen pérdidas (bien sea porque no se produce algún siniestro o por efectos del tipo de cobertura como deducibles u otros elementos de la cobertura. Lo cual no estará contemplado en este documento). Para esas pólizas que no tienen pérdidas  $X_i = 0$ . En otras palabras,  $X$  sigue una distribución mixta con una masa de probabilidad en el punto cero. Bajo esta consideración, el supuesto de que  $X_i$  se distribuye idénticamente no es necesario.

También, el agregado de las pérdidas puede ser obtenido a través del modelo de riesgo colectivo, en el cual, las pérdidas agregadas son determinadas siguiendo una distribución compuesta. Donde  $N$  es el número de **pérdidas** en la cartera, y  $X_i$  es el monto de la  $i$ -ésima pérdida, para  $i = 1, \dots, N$ . Entonces, la pérdida agregada se define como:  $S = X_1 + \dots + X_N$ .

El modelo de riesgo colectivo tiene como concepto básico el proceso aleatorio que genera reclamaciones para un portafolio o cartera de pólizas. Este proceso se caracteriza en términos de portafolio como un todo en lugar de pólizas individuales que componen en sí mismas el portafolio (modelo de riesgo individual). La formulación matemática es la siguiente: Sea  $N$  el número de reclamaciones producidas por una cartera de pólizas en un cierto periodo de tiempo. Sea  $X_1$  el monto del primer reclamo,  $X_2$  el monto del segundo reclamo y así sucesivamente. Entonces:

$$S = X_1 + X_2 + \dots + X_N$$

Representa las reclamaciones agregadas generadas por el portafolio para el periodo bajo estudio, generalmente de corto plazo (un año o incluso menos), por lo cual, el valor del dinero en el tiempo es poco relevante para el modelo en cuestión. El número  $N$  de reclamaciones, es una variable aleatoria y está asociada con la frecuencia de los reclamos. Además, los montos individuales de los reclamos  $X_1, X_2, \dots$  también son variables aleatorias y se dice que miden la severidad de los reclamos.

Para poder hacer manejable el modelo, haremos dos supuestos fundamentales:

- 1-  $X_1, X_2, \dots$  son variables aleatorias idénticamente distribuidas.
- 2- Las variables aleatorias  $N, X_1, X_2, \dots$  son mutuamente independientes.

Naturalmente, la frecuencia de la reclamación es modelada como una variable discreta no negativa, mientras que la severidad de la reclamación se distribuye continua.

Es necesario definir la diferencia entre el modelo de riesgo individual y el modelo de riesgo colectivo. En el modelo de riesgo individual consideramos un número de individuos  $n$  (llámese pólizas o como se estime conveniente) que podrían o no producir pérdidas, y la suma de estas, es la pérdida agregada. Mientras que en el modelo de riesgo colectivo, no se trata sobre las pérdidas individuales que se puedan producir en un cierto número de individuos, sino que considera las pérdidas globales que ocurran en una cartera. Hay que hacer hincapié en que el modelo de riesgo colectivo considera las pérdidas  $X_i$  de los eventos de pérdidas como **variables positivas**.



Como hemos analizado en secciones anteriores, el modelo de pérdida agregada que seguiremos tiene como característica que únicamente registra eventos de pérdida, es decir que para que se ingrese un registro, tiene que ocurrir una pérdida monetaria. Considerando lo anterior y otras características adicionales, obviamente el modelo a seguir es el modelo de riesgo colectivo.

La técnica general para computar la distribución exacta de la suma de las variables aleatorias independientes es por convolución.

Sean  $X_1, \dots, X_n$  variables aleatorias continuas no negativas independientemente distribuidas con función de densidad de probabilidad  $f_1(\cdot), \dots, f_n(\cdot)$ , respectivamente. Primero consideremos la distribución de  $X_1 + X_2$ , la función de densidad de probabilidad está dada por la segunda convolución.

$$f^{*2}(x) = f_{X_1+X_2}(x) = \int_0^x f_1(x-y)f_2(y)dy = \int_0^x f_2(x-y) f_1(y)dy.$$

La función de densidad de probabilidad (*f.d.p.*) de  $X_1 + \dots + X_n$  puede ser calculada de manera recursiva. Suponga que la *f.d.p.* de  $X_1 + \dots + X_{n-1}$  esta dada por la  $(n-1)$  convolución  $f^{*(n-1)}(x)$ , entonces la *f.d.p.* de  $X_1 + \dots + X_n$  es la  $n$ -ésima convolución dada por:

$$f^{*n}(x) = f_{X_1+\dots+X_n}(x) = \int_0^x f^{*(n-1)}(x-y)f_n(y)dy = \int_0^x f_n(x-y)f^{*(n-1)}(y)dy.$$

El modelo de riesgo colectivo sigue una distribución compuesta donde  $N$  marca la distribución primaria y  $X$  la distribución secundaria. Dado que para determinar la función de distribución de las pérdidas agregadas consideramos el agregado de pérdidas condicionado a que se produzca un cierto número de pérdidas, podemos definir que la función de densidad de las pérdidas agregadas como:

$$f_S(s) = f_{X_1+X_2+\dots+X_n|N}(s)f_N(n)$$

La computación de esto es altamente compleja, razón por la cual no ahondaremos más en el tema y realizaremos el planteamiento mediante la simulación de Montecarlo haciendo uso de software para el tratamiento de los datos.

**II. Diseño de Modelos de Pérdidas: Criterios y Lineamientos.**

El cálculo de las pérdidas agregadas se obtiene con base a la distribución de frecuencias de las pérdidas y función de probabilidad de la severidad económica de las pérdidas, entonces el objetivo central del método de pérdidas agregadas es determinar una función de las pérdidas agregadas, para cada línea de negocio y tipo de riesgo combinando dos modelos. En la literatura especializada de riesgos operativos se consideran diferentes distribuciones de frecuencia de fallas en sistemas y procedimientos como las distribuciones de Poisson, binomial, binomial negativa, hipergeométrica, geométrica, Poisson-Geométrica, etc.

Es necesario destacar que se pueden identificar las siguientes distribuciones discretas: Poisson, Binomial y Binomial Negativa con los siguientes criterios:



Si  $\mu = \sigma^2$  los datos se distribuyen como una Poisson.  
Si  $\mu > \sigma^2$  los datos se distribuyen como una Binomial.  
Si  $\mu < \sigma^2$  los datos se distribuyen como una Binomial Negativa.

La prueba de bondad de ajuste más común es la chi cuadrado.

En cambio, para la distribución de la severidad se puede hacer un ajuste haciendo uso de distribuciones como la Normal, Log-Normal, Normal Inversa, Exponencial, Weibull, Pareto, Gamma, Cauchy, Rayleigh, Logística, Log-logística, entre otras.

La distribución a escoger puede ser de colas pesadas o no, lo cual determina el tipo de distribución que se debe escoger. Las distribuciones más comunes de colas pesadas son: La distribución Generalizada de Valor Extremo y la Distribución Generalizada de Pareto.

Un método a seguir según sea el caso, es ajustar una distribución al cuerpo de la distribución y otra distribución a la cola y hallar el valor en riesgo (VaR) para el cuerpo y la cola de la distribución.

Las pruebas de bondad de ajustes más comunes son: Kolgomorov-Smirnov, Anderson-Darling, Cramer-Von Mises.

El Operational Value at Risk (OpVaR) representa un percentil de la distribución de pérdidas por lo que es, ante todo, una medición de tipo estadístico y por consiguiente, requiere el establecimiento, a priori, de una serie de parámetros, los cuales han sido establecidos por el Comité. Para el computo del requerimiento de capital por riesgo operacional ha sido establecido en 99.9%.

Sobre la hipótesis de la distribución de la variable analizada, el Comité en documentos anteriores a la publicación del Nuevo Acuerdo, proponía la distribución Log-normal para aproximar la severidad, mientras que para la frecuencia se decantaba por la de Poisson. No obstante, en última instancia, las distribuciones deben ser aquellas que mejor se ajusten al histórico de pérdidas observadas en una entidad, cuya naturaleza, obviamente, puede ser muy distinta a la de otras entidades.

Finalmente, se presenta a los lectores otras alternativas para la modelación de los elementos bases del Modelo de Pérdidas Agregadas.

Para la variable estocástica que representa el número de eventos de pérdidas, se ha mencionado que se pueden utilizar distribuciones de probabilidad como la Poisson, binomial, Binomial Negativa, etc.

Sin embargo, por efectos de naturaleza de riesgo, existen limitaciones que resultan restrictivas y poco representativas de la naturaleza e interacción de los eventos asociados al riesgo operacional, principalmente de aquellos con baja ocurrencia y alta severidad. Por esto, actualmente existen propuestas para abordar aquellas limitaciones; entre ellas:

- 1- Procesos de Poisson compuestos mixtos, los cuales utilizan tasas de ocurrencia de eventos de pérdidas con naturaleza aleatoria (no constante) pero independiente del tiempo (procesos homogéneos y estacionarios).



- 2- Procesos de Cox, donde la intensidad de la ocurrencia de eventos tienen naturaleza aleatoria y dependen del tiempo, por lo tanto, se levantan los supuestos de estacionariedad y homogeneidad.
- 3- Procesos de Cox con factores de riesgo exógenos, que permiten abordar la dependencia indirecta entre distintos tipos de eventos de pérdidas, afectos a un mismo factor de riesgo exógeno (potencialmente de múltiple dimensionalidad) y que a la vez, facilitan la ejecución de ejercicios de stress.
- 4- Modelos compuestos con tiempo entre eventos de pérdidas y severidades con distribuciones  $\alpha$ -estables. Aquellas distribuciones poseen propiedades interesantes en el ámbito de riesgo operacional, dentro de las cuales se encuentran: a) buen ajuste tanto para variables de severidad como de tiempo entre eventos; b) la suma de variables  $\alpha$ -estables, adecuadamente estandarizadas, distribuye  $\alpha$ -estable; y c) adecuada captura y representatividad de distribuciones empíricas con colas anchas y alto sesgo.

La distribución de severidad de las pérdidas especifica la magnitud de las mismas y por lo tanto, es el más importante componente en modelos cuantitativos de riesgo operacional. Quizás el mayor problema de la modelización del riesgo operacional es el comportamiento de las colas de la distribución de severidad, esto no solo en el contexto de la baja disponibilidad de observaciones con impactos de alta cuantía, sino que también, en los aspectos matemático-estadísticos que permitan establecer modelos robustos. Por lo demás, Basilea II establece que las pérdidas inesperadas deben ser calculadas en base al percentil 99.9%, lo que hace más importante aún modelar de manera correcta, sin sub-estimaciones, las colas anchas de las distribuciones de pérdidas por riesgo operacional.

Para modelar la severidad se recomiendan las siguientes opciones: **1)** Utilizar un único tipo de distribución de probabilidades, y entonces utilizar una distribución para todo el dominio de cada variable de severidad; preferiblemente una distribución que permita representar colas anchas y lo suficientemente plástica como para capturar un amplio rango de sesgo-kurtosis; **2)** Utilizar una mixtura de distribuciones, existiendo dos combinaciones de uso habitual. La primera, consiste en ajustar una distribución al cuerpo de la distribución empírica y desarrollar un ajuste independiente para la cola de la distribución empírica mediante distribuciones paramétricas de colas anchas, especialmente aquellas derivadas de la Teoría de Valor Extremo. La segunda versión comúnmente utilizada, se basa en una combinación de dos o más distribuciones, por lo general tradicionales, mediante una suma ponderada.

Para terminar esta sección, se proponen otras alternativas al método de convolución debido a las complicaciones que pueden resultar de él. Para la obtención de la función de pérdidas agregadas, se proponen cuatro posibles técnicas:

- 1- La transformada Rápida de Fourier.
- 2- El Algoritmo Recursivo de Panjer.
- 3- Enfoque de simulación por Montecarlo.
- 4- La aproximación de la pérdida simple.





### CAPITULO III: MONTECARLO.

#### **I. Montecarlo.**

Algunos problemas que se presentan en la modelización de pérdidas pueden ser intratables de forma analítica. Muchos de estos problemas pueden ser formulados en un esquema estocástico, con una solución que puede ser estimada empíricamente. Esta aproximación es llamada Simulación Montecarlo. Esta consiste en tomar muestras de observaciones aleatorias de acuerdo a una distribución requerida, en una forma determinada por el problema analítico. (Tse, 2009)

Para resolver el problema estocástico, las muestras de la distribución específicas tienen que ser generadas utilizando algoritmos computacionales. El generador básico de números aleatorios requerido en el método de Montecarlo es para generar observaciones a partir de la distribución uniforme. A partir de un generador de números aleatorios uniforme, podemos generar observaciones de otras distribuciones, para así construir un generador de números aleatorios apropiado.

Con la llegada del desarrollo tecnológico se han formulado diversas maneras de generar números aleatorios, hasta tal punto, que ahora podemos encontrar generadores para números aleatorios específicos.

Por la ley de grandes números, los parámetros estimados a través del muestreo realizado con la simulación, convergerá al parámetro real de la distribución cuando  $n \rightarrow \infty$ . Entonces, si obtenemos una muestra lo suficientemente grande, la solución estocástica puede encontrarse muy cerca de la solución determinística. (Tse, 2009)

Además de proveer una estimación a la solución determinística requerida, las muestras a través de Montecarlo pueden ser utilizadas para proporcionarnos una evaluación de lo estimado. Podemos utilizar estas muestras para estimar el error estándar de la solución estimada y a partir de esto obtener un intervalo de confianza para la solución. El error estándar puede también ser utilizado para estimar el tamaño de muestra requerido para producir una solución que este dentro de un nivel de precisión requerido dado un cierto nivel de probabilidad.

#### **II. La Automatización De Procesos A Través De Software.**

El ser humano a través de su desarrollo intelectual ha formulado diversas maneras de resolver los diferentes problemas que se presentan en la cotidianidad. Con la invención de la computadora y la explotación tecnológica se han creado diversas herramientas que facilitan la labor de investigadores y científicos, tal es el caso de los software estadísticos, los cuales permiten el rápido análisis de bases de datos, así como el diseño de planteamientos matemáticos-estadísticos que den solución a los problemas tratados.

En esta sección abordaremos el Software estadístico **R**, debido a que es el programa con el cual se realizó las simulaciones y cálculos de requerimiento de capital. Sin embargo, el lector puede informarse sobre otros ambientes o programas como Microsoft Excel, Matlab, SPSS, SAS, Python, STATDISK, Etc. Que también pueden proporcionarle respuestas a sus problemas.





“R es un sistema para análisis estadísticos y gráficos creado por Ross Ihaka y Robert Gentleman. R tiene una naturaleza doble de programa y lenguaje de programación y es considerado como un dialecto del lenguaje S creado por los Laboratorios AT&T Bell.” (Paradis, 2003).

R posee muchas funciones para análisis estadísticos y gráficos; estos últimos pueden ser visualizados de manera inmediata en su propia ventana y ser guardados en varios formatos (jpg, png, bmp, ps, pdf, emf, pictex, xfig; los formatos disponibles dependen del sistema operativo). Los resultados de análisis estadísticos se muestran en la pantalla y en algunos resultados intermedios (como valores P-, coeficientes de regresión, residuales, etc.) se pueden guardar, exportar a un archivo, o ser utilizados en análisis posteriores.

El lenguaje de R permite al usuario, por ejemplo, la creación de estructuras de control (como bucles) para analizar conjuntos sucesivos de datos. También es posible combinar en un solo programa diferentes funciones estadísticas para realizar análisis más complejos.

R es un lenguaje orientado a objetos, esto significa que las variables, datos, funciones, resultados, etc., se guardan en la memoria activa del computador en forma de objetos con un *nombre* específico. El usuario puede modificar o manipular estos objetos con *operadores* (aritméticos, lógicos, y comparativos) y *funciones*.

### III. Funciones y Bucles en R.

Como se ha mencionado R trabaja con objetos los cuales tienen nombre y contenido, pero también *atributos* que especifican el tipo de datos representados por el objeto. Todo objeto tiene dos atributos intrínsecos: *Tipo* y *Longitud*. El tipo se refiere a la clase básica de los elementos en el objeto: existen cuatro tipos principales (numérico, carácter, complejo, y lógico). La longitud es simplemente el número de elementos en el objeto.

Al momento de analizar los datos, es muy importante considerar el tipo, debido a que el análisis estadístico que se realizará sobre una variable de tipo carácter no es igual al análisis sobre una variable de tipo numérico. En términos generales, se puede decir que la acción de una función sobre un objeto depende de los atributos de este último.

R ofrece un gran número de funciones, no solo para análisis estadístico; sin embargo este apartado se centrará en mostrar las funciones necesarias para llevar a cabo este trabajo, por lo cual, se presentarán las funciones para generación de datos aleatorios, bucles y métodos para generar gráficos en el entorno de R.

#### III.1. Generación de números aleatorios.

Con R se pueden generar distintos tipos de secuencia de datos, ya sea desde una secuencia creciente simple, hasta una secuencia de datos por niveles, todo de una manera muy intuitiva para el lector; del mismo modo con la generación de datos aleatorios para distribuciones de probabilidad. A continuación se muestran las diferentes sintaxis que pueden ser utilizadas en R para generar números aleatorios para alguna Distribución de Probabilidad:



Distribución / Función	Función en R
Gausse (normal)	rnorm (n, mean=0, sd=1)
Exponencial	rexp (n, rate=1)
Gamma	rgamma (n, shape, scale=1)
Poisson	rpois (n, lambda)
Weibull	rweibull (n, shape, scale=1)
Cauchy	rcauchy (n, location=0, scale=1)
Beta	rbeta (n, shape1, shape2)
Student ( <i>t</i> )	rt (n, df)
Fisher-Snedecor (F)	rf (n, df1, df2)
Pearson ( $\chi^2$ )	rchisq (n, df)
Binomial	rbinom (n, size, prob)
Geométrica	rgeom (n, prob)
Hypergeometrica	rhyper (nn, m, n, k)
Logística	rlogis (n, location=0, scale =1)
Lognormal	rlnorm (n, meanlog=0, sdlog=1)
Binomial Negativa	rnbinom (n, size, prob)
Uniforme	runif (n, min=0, max=1)
Estadístico de Wilcoxon's	rwilcox (nn, m, n), rsignrank (nn, n)

Tabla-2: Funciones de Distribuciones de Probabilidad.

La posibilidad de generar datos aleatorios es bastante útil en estadística y R tiene la capacidad de hacer esto para un gran número de funciones y distribuciones. Estas funciones son de la forma  $rfunc(n, p1, p2, \dots)$ , donde  $rfunc$  indica la distribución,  $n$  es el número de datos a generar, y  $p1, p2, \dots$  son valores que toman los parámetros de la distribución.

Toda las funciones que se detallan en la Tabla-2 se pueden usar reemplazando la letra  $r$  con las letras  $d, p,$  o  $q$  para obtener, la densidad de probabilidad ( $dfunc(x, \dots)$ ), la densidad de probabilidad acumulada ( $pfunc(x, \dots)$ ), y el valor del cuantil ( $qfunc(p, \dots)$ ). Con  $0 < p < 1$  respectivamente.

Así por ejemplo, si se quisiera generar una serie de datos aleatorios de 1,000 observaciones que siguen una distribución Poisson,  $n \sim P(4)$ , el usuario solamente tendría que escribir  $rpois(1000,4)$  y así obtendría las 1,000 observaciones requeridas.

### III.2. Bucles.

Una ventaja de R comparado con otros programas estadísticos que no aplican la escritura de código, es la posibilidad de programar de una manera muy sencilla una serie de análisis que se puedan ejecutar de manera sucesiva. Esto es común para cualquier otro lenguaje de programación, pero R posee características muy particulares que hacen posible programar sin muchos conocimientos o experiencia previa en esta área.

En programación, un bucle es un tipo de estructura de control que permite repetir una o más sentencias múltiples veces. Como otros lenguajes, R posee estructuras de control que no son muy diferentes a las de un lenguaje de alto nivel como C. Los bucles más generales en los lenguajes de programación son *While, For, Repeat*.



Todos los bucles se ejecutan mientras se cumpla una determinada condición, es decir, que mientras dicha condición sea verdadera, el bucle seguirá ejecutándose. Si hay algún error en el código, el bucle podría ejecutarse una y otra vez, entrando en un bucle infinito. Un bucle infinito se considera un error de programación, a menos que ese sea el resultado esperado por el programador (generalmente usado en programas malignos, para que sea repita una acción una y otra vez).

A manera didáctica se presenta a continuación la estructura del bucle For y un ejemplo de este.

Sintaxis: *For(i in 1:k) {secuencia de comandos que se desean ejecutar}*

Donde *i* es el *i*-ésimo valor de un número establecido de repeticiones *k*.

Ejemplo: Determine la tasa por unidad monetaria de un seguro de vida con cobertura por un año para las edades entre 31 a 34.

```
> Q <-c(0.0180, 0.0192, 0.0195, 0.0210) #Probabilidades de
fallecimiento para las edades de 31 a 34 años

> int<-5% #Tasa de descuento

> For (i in 1:4) {A[i] <- Q[i]*((1+int)^-1)}
```

Lo anterior generará un vector **A** con los siguientes elementos: (0.0171429, 0.0182857, 0.0185714, 0.02000). Estos valores representan la tasa que debe cobrarse por asumir el riesgo de fallecimiento (sin recargos) por un plazo de un año, para cada edad respectivamente.

### III.3. Generación de Gráficos.

Las posibilidades gráficas son un componente de R muy importante y versátil. Es posible utilizarlas para mostrar una amplia variedad de gráficos estadísticos y también para construir nuevos tipos de gráficos.

Los gráficos pueden usarse tanto en modo interactivo como no interactivo, pero en la mayoría de los casos el modo interactivo es más productivo.

Las órdenes gráficas se dividen en tres grupos básicos:

- 1) Alto nivel: Son funciones que crean un nuevo gráfico, posiblemente con ejes, etiquetas, títulos, etc.
- 2) Bajo nivel: son funciones que añaden información a un gráfico existente, tales como puntos adicionales, líneas y etiquetas.
- 3) Interactivas: Son funciones que permiten interactuar con un gráfico, añadiendo o eliminando información, utilizando un dispositivo apuntador, como un ratón.

#### III.3.1. Funciones gráficas de nivel alto.

Las órdenes gráficas de nivel alto están diseñadas para generar un gráfico completo a partir de unos datos pasados a la función como argumento. Cuando es necesario, se generan



automáticamente ejes, etiquetas o títulos (salvo que se especifique lo contrario). Estas órdenes comienzan siempre un nuevo gráfico, borrando el actual si ello es necesario.

La función `Plot` es una de las funciones gráficas más utilizadas en R, la cual es una función genérica, esto quiere decir, el tipo de gráfico producido es dependiente de la clase del primer argumento.

Considere lo siguiente:

*Plot* ( $x, y$ ): si  $x$  e  $y$  son vectores, la función *plot* ( $x, y$ ) produce un diagrama de dispersión de  $y$  sobre  $x$ .

*Plot* ( $x$ ): Si  $x$  es una serie temporal, produce un gráfico temporal, si  $x$  es un vector numérico, produce un gráfico de sus elementos sobre el índice de los mismos, y si  $x$  es un vector complejo, produce un gráfico de la parte imaginaria sobre la real de los elementos del vector.

*Plot* ( $f$ ): Sea  $f$  un factor (variables categóricas), genera un diagrama de barras de  $f$ .

*Plot* ( $f, y$ ): Sean  $f$  un factor, e  $y$  un vector numérico, genera diagramas de cajas de  $y$  para cada nivel de  $f$ .

Existen otras funciones gráficas de nivel alto que producen otros tipos de gráficos. Algunas de ellas son las siguientes:

*qqnorm* ( $x$ ), *qqline* ( $x$ ), *qqplot*( $x$ ): Gráficos de comparación de distribuciones. El primero representa el vector  $x$  sobre los valores esperados normales. El segundo le añade una recta que pasa por los cuantiles de la distribución y de los datos. El tercero representa los cuantiles de  $x$  sobre los de  $y$  para comparar sus distribuciones.

*hist*( $x$ ), *hist* ( $x, nclass=n$ ), *hist* ( $x, breaks=b, \dots$ ): Produce un histograma del vector numérico  $x$ . En este tipo de gráfico, el eje  $y$  etiqueta los datos de  $x$  y el eje  $x$  da su valor. Por ejemplo, permite una selección visual sencilla de todos los elementos con valores dentro de un rango determinado.

Además de lo anterior, existen una serie de argumentos que pueden pasarse a las funciones gráficas de nivel alto con el fin de modificar los datos de referencia del gráfico o modificar la visualización del gráfico.

### **III.3.2. Funciones gráficas de nivel bajo.**

Las funciones gráficas de nivel bajo son utilizadas para complementar las funciones gráficas de nivel alto, ya que en ocasiones, las funciones gráficas de nivel alto no producen exactamente el tipo de gráfico deseado. En este caso puede añadirse funciones gráficas de nivel bajo para añadir información adicional, tal como puntos, líneas o texto al gráfico actual.

Las funciones gráficas de nivel bajo necesitan normalmente alguna información de posición, como las coordenadas  $x$  e  $y$ , para determinar dónde colocar los nuevos elementos.



### III.3.3. *Funciones gráficas interactivas.*

R dispone de funciones que permiten al usuario extraer o añadir información a un gráfico utilizando el ratón. La más sencilla es la función `locator()`. Esta función permite que el usuario seleccione posiciones del gráfico actual, fundamentalmente utilizando el botón primario del ratón, hasta que haya seleccionado  $n$  puntos (el valor predeterminado son 512) o pulse el botón secundario.



## IV. DISEÑO METODOLÓGICO.

### IV.1. Tipo De Estudio.

Descriptivo: El presente documento es una investigación de tipo descriptivo ya que con este se pretende formular una base técnica que funcione como guía para la aplicación de la metodología de cálculo de riesgo operacional a través de modelos de pérdidas agregadas. En este documento se recopila gran cantidad de información y se sintetiza a modo que sea de fácil entendimiento y aplicación, explicando los “¿cómo...?” que pueden surgir al momento de implementar dichos modelos.

De corte transversal: Por la extensión en el tiempo, es de corte trasversal ya que se lleva a cabo una sola vez en un mismo periodo de tiempo (Febrero-Octubre 2016), abarcando los distintos tópicos involucrados.

### IV.2. Operacionalización De Las Variables.

Las variables que se consideraron para realizar este estudio fueron:

$X$ : Monto de un evento de pérdida

$N$ : Numero de iteraciones por simulación

$n$ : Número de eventos de pérdidas por iteración.

$L$ : Conjunto de pérdidas  $X_k$  por cada iteración  $n_i$ .

$S$ : Monto de las pérdidas agregadas, es decir, la sumatoria de las pérdidas registradas en los  $N$  iteraciones generadas por cada simulación, es decir  $\sum L$ , o bien  $S_{j_i} = \sum_{k=1}^{n_i} X_k$ , donde  $S_j = \sum_{k=1}^N S_k$  ;  $S : \{S_1, S_2, S_3, S_4, \dots, S_j, \dots, S_h\}$ .

OpVaR: Estadístico que determina la carga de capital por riesgo operacional. (Operational Value at Risk).

### IV.3. Fuentes De Información.

Fuentes Primarias: No se cuentan con fuentes primarias.

Fuentes Secundarias: Entre las fuentes secundarias están las normativas locales emitidas por la SIBOIF y el Poder Legislativo, Tesis relacionadas al tema, publicaciones de entes reguladores del sistema financiero de otros países latinoamericanos, libros de texto sobre teoría actuarial y modelos estadísticos, manuales sobre R, publicaciones realizadas por el Comité de Basilea y el Loss Data Collection Exercise 2008.

### IV.4. Diseño Del Modelo.

Para realizar los cálculos requeridos y la simulación por Montecarlo, primeramente es necesario establecer el modelo que seguiremos.



Ya que este trabajo tiene un enfoque práctico que permita funcionar como esquema de referencia para los interesados en incursionar en este tópico, solamente se calculó la carga de capital de riesgo operacional para el tipo de evento de pérdida Fraude Interno que afectan la Línea de Negocio Banca Minorista. Dicho evento es uno de los más importantes ya que según los resultados de los estudios de impacto del Comité de Basilea, es el evento que mayor impacto tiene en cuanto a riesgo operacional, seguido de fallas de procesos.

Para la distribución del número de eventos de pérdidas supondremos que se distribuye poisson, siguiendo las indicaciones descritas en los documentos del comité de Basilea. Por lo tanto  $n \sim P(\lambda)$ .

En cuanto a los montos de las pérdidas de los eventos de riesgo operacional, se considera que sigan una distribución Log-Normal conforme las publicaciones del Comité. Entonces  $X \sim LN(\mu, \sigma)$ .

Es muy importante señalar que este documento se limitará únicamente a presentar como estimar el  $OpVaR_{99.9\%}$  para un tipo de evento y línea de negocio. Para calcular el Total del Requerimiento de Capital por Riesgo Operativo (RCO), es necesario calcular el  $OpVaR_{99.9\%}$  por cada tipo de evento y Línea de Negocio y Sumarlos. En otras palabras, la sumatoria de las 56 casillas de la matriz de riesgo operacional (Tipo de Evento X Línea de Negocio). Entonces, tenemos que:

$$RCO = \sum_{i=1}^8 \sum_{j=1}^7 OpVaR_{ij}(99.9\%).$$

En referencia a los parámetros que se utilizaron para las distribuciones escogidas, dado que no hay datos suficientes en las publicaciones realizadas por el Comité de Basilea, ni por los supervisores bancarios en los distintos países; tendremos que suponer, para continuar de esta manera con el esquema planteado, los datos que se presentan en la Tabla del Anexo-1. Estos datos fueron generados aleatoriamente, tomando como referencia los resultados plasmados en el Quantitative Impact Study 5, y serán utilizados para continuar el enfoque práctico deseado.

Los parámetros de las distribuciones escogidas se calculan de la siguiente manera

$$\lambda = \frac{\sum_{i=1}^N n_i}{N}$$

$$\sigma = \sqrt{\ln\left(\frac{S^2}{\bar{x}^2} + 1\right)}$$

$$\mu = \ln(\bar{x}) - \frac{\sigma^2}{2}$$

El Anexo-1 presenta una muestra de 100 pérdidas ocurridas en un año determinado para el Tipo de Evento de Fraude Interno, así como la cantidad de eventos que se presentaron en un año determinado para la Línea de Negocio Banca Minorista. Es decir, datos acerca de la severidad y la frecuencia. En base a estos datos se calculan los parámetros para las distribuciones planteadas y se



recurre a la simulación por Montecarlo para estimar la Máxima Pérdida Probable con un 99.9% de confianza, es decir el  $OpVaR_{99,9\%}$ .

#### IV.5. Simulación.

El procedimiento que se utilizará es el siguiente:

- 1- Se generarán un valor de  $N=1,000$  hasta  $10,000$  con incrementos de  $1,000$ , luego hasta  $100,000$  con incrementos de  $10,000$  y posteriormente hasta  $1,000,000$  con incrementos de  $100,000$  entre cada simulación, para un total de 28 simulaciones. Cada valor de cada iteración que se simule corresponde al número de eventos que producen pérdidas económicas en el horizonte de tiempo de un año. De tal forma que:  
 $N_{simulación(i)} \{n_1, n_2, \dots, n_k, \dots, n_j\}$
- 2- Según el número de eventos que se generen en cada iteración  $k$ , ( $n_k$ ), se generarán el número de pérdidas económicas para cada una. Cada una de las pérdidas se denotará por  $L_1, L_2, L_3, \dots, L_{n_k}$ .
- 3- Una vez que se obtienen las pérdidas se suman obteniéndose los valores  $S_1, S_2, S_3, \dots, S_n$ , que representan las pérdidas agregadas por período de cada simulación.
- 4- Se calcula el percentil 99.9% de la distribución de pérdidas agregadas ( $S$ ).
- 5- Se obtiene la media de los valores  $S$  para calcular las pérdidas esperadas.
- 6- La carga de capital se calculará de la siguiente manera: Si la empresa no hace reservas, la carga de capital será igual al  $OpVaR(99.9\%)$ , y si la empresa tiene reservas, al  $OpVaR(99.9\%)$  se le restarán las pérdidas esperadas.

En el Anexo-3 se muestran los algoritmos que se utilizaron para realizar los cálculos y las simulaciones en R.





V. RESULTADOS.

V.1. Estadísticos Descriptivos.

Estadísticos descriptivos de las variables a simular									
Variable / Estadístico	Max.	Min.	$\bar{x}$	$s$	$Me$	$Q_1$	$Q_3$	As	$\alpha$
Pérdidas	607.8477	41.3824	189.847	105.7003	156.0186	124.9893	227.2739	1.4689	5.4820
Log(Pérdidas)	6.4099	3.7229	5.1094	0.5258	5.0499	4.8282	5.4261	0.0191	2.9016
Frecuencias	812	640	719.45	26.6406	718	702	731	0.4090	4.4750

Tabla-3: Resumen de estadísticos descriptivos de las variables a utilizar.

V.2. Comportamiento De Las Variables.

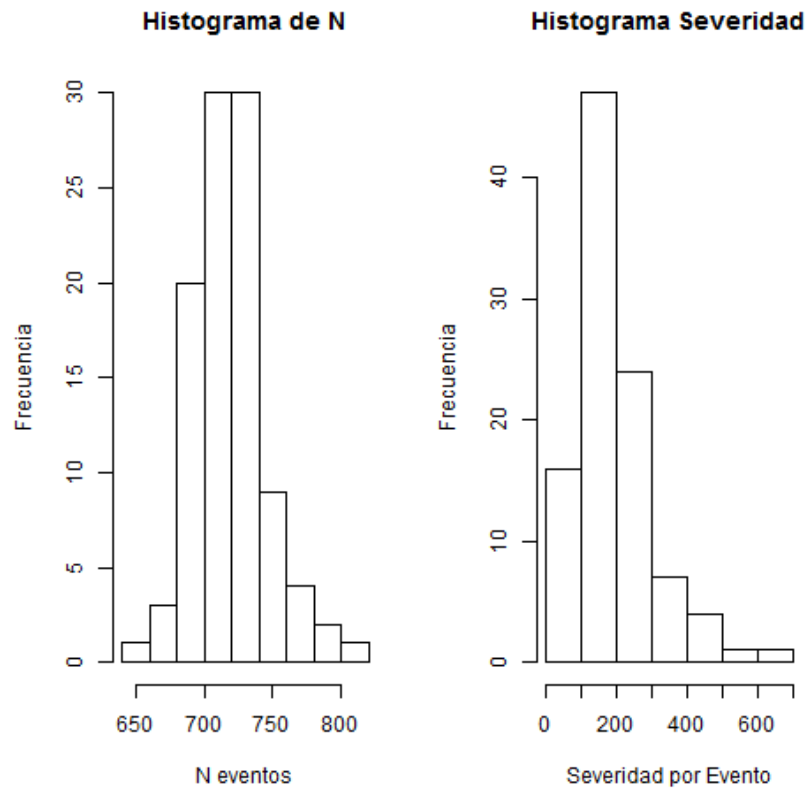


Figura-4: Histogramas de las pérdidas y frecuencias por fraude interno en la banca minorista.

V.3. Parámetros Utilizados Para La Simulación.

Distribución de Probabilidad	Parámetros Utilizados		
	$\lambda$	$\mu$	$\sigma$
Distribución Poisson	719	-	-
Distribución Log-Normal	-	5.11121	0.5196325

Tabla-4: Parámetros utilizados en las simulaciones.



#### V.4. Prueba de Normalidad.

$H_0: F(x) = \hat{F}(x)$  Las pérdidas observadas siguen una distribución Normal

$H_1: F(x) \neq \hat{F}(x)$  Las pérdidas observadas no siguen una distribución Normal

Anderson Darling Test		Shapiro-Wilk Test	
Estadístico (A)	P-value	Estadístico (W)	P-value
0.161	0.9458	0.9958	0.99

Tabla-5: Resultados de Prueba Anderson-Darling y Shapiro-Wilk.

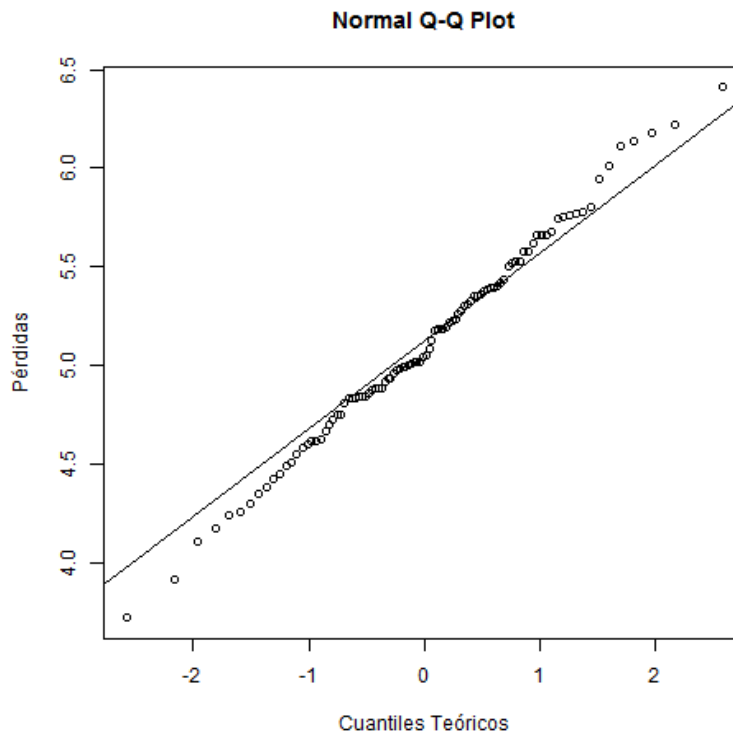


Figura-5: Gráfico de Probabilidad Normal de las pérdidas observadas.



V.5. Simulaciones.

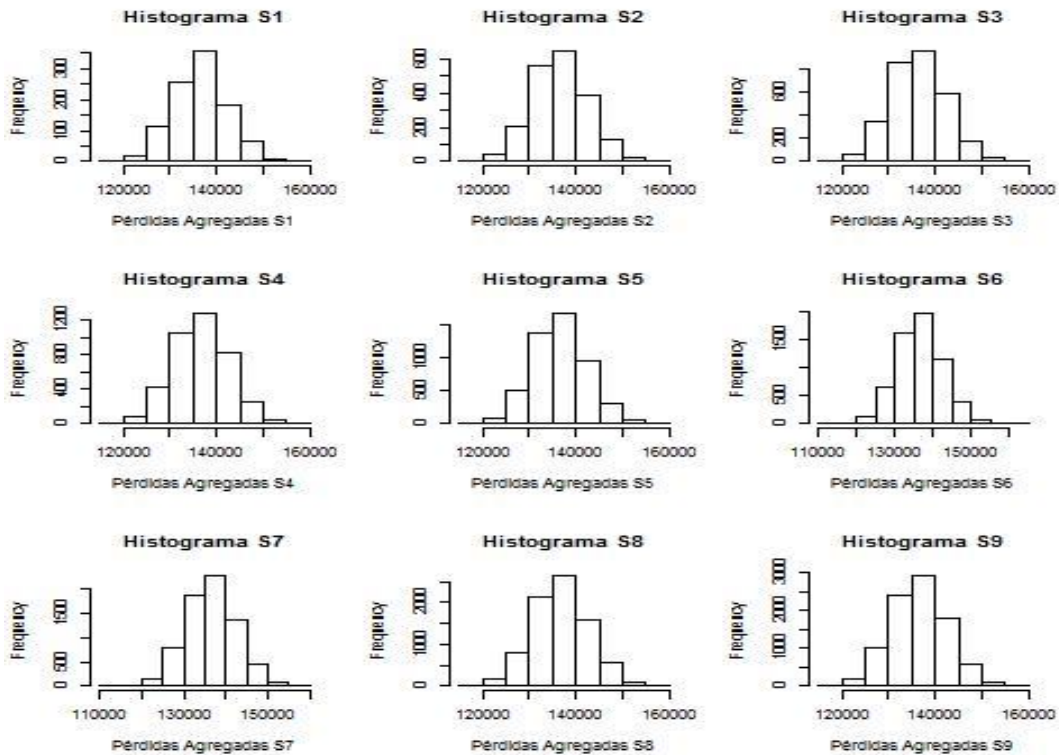


Figura-6: Histogramas de las Pérdidas Agregadas. N-1.

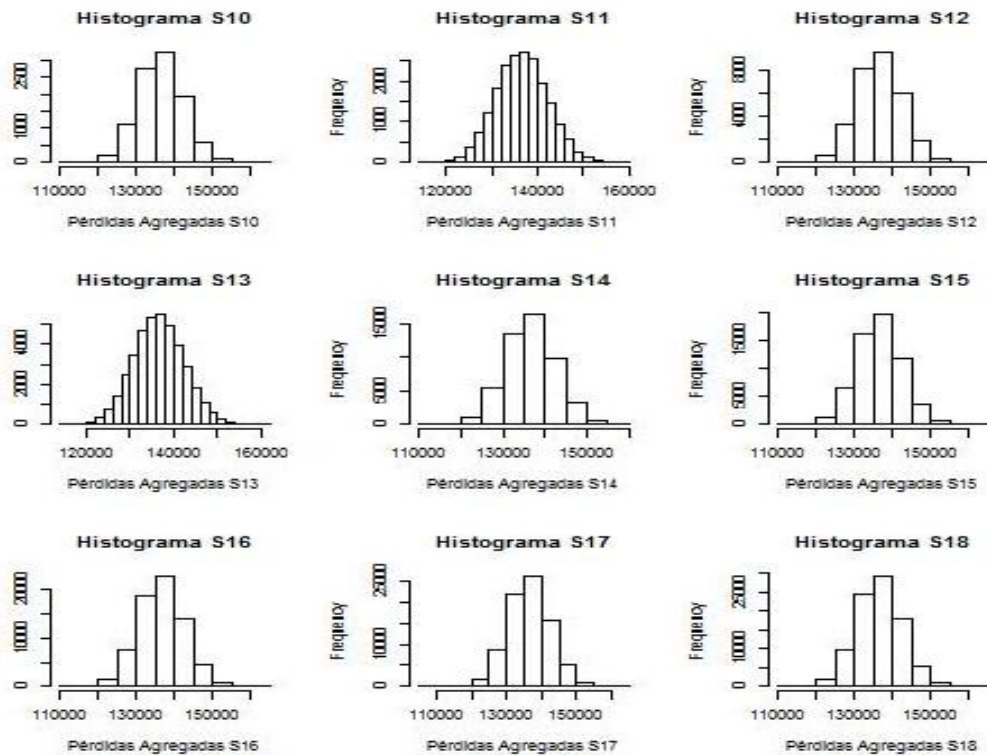


Figura-7: Histograma de las Pérdidas Agregadas. N-2.

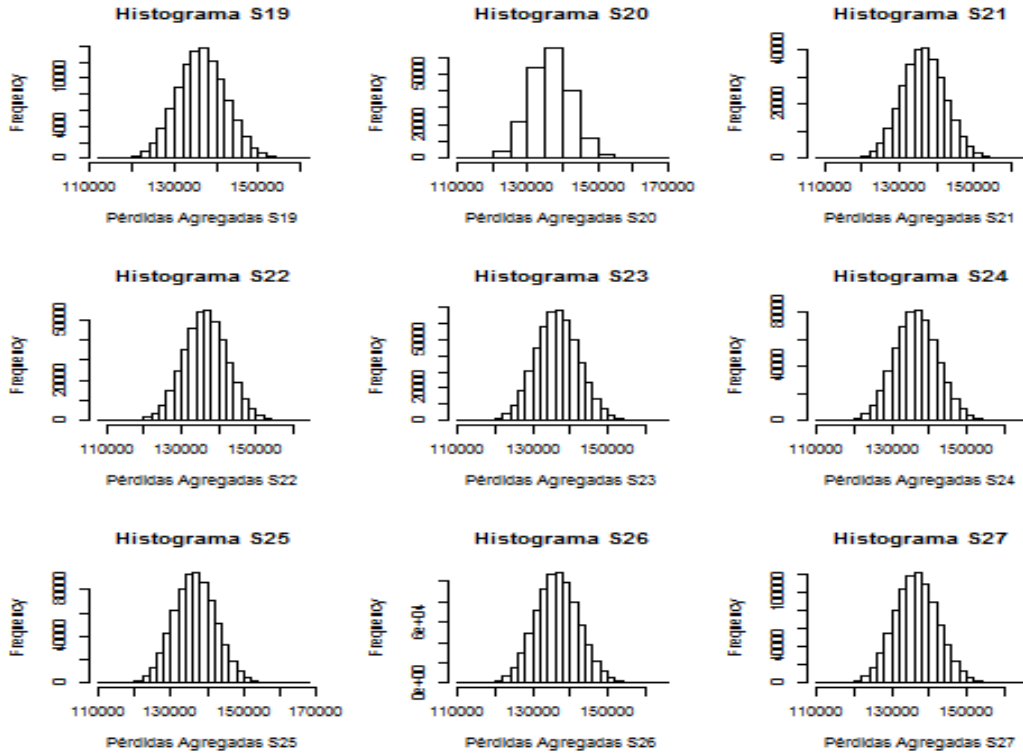


Figura 8: Histograma de las Pérdidas Agregadas. N-3.

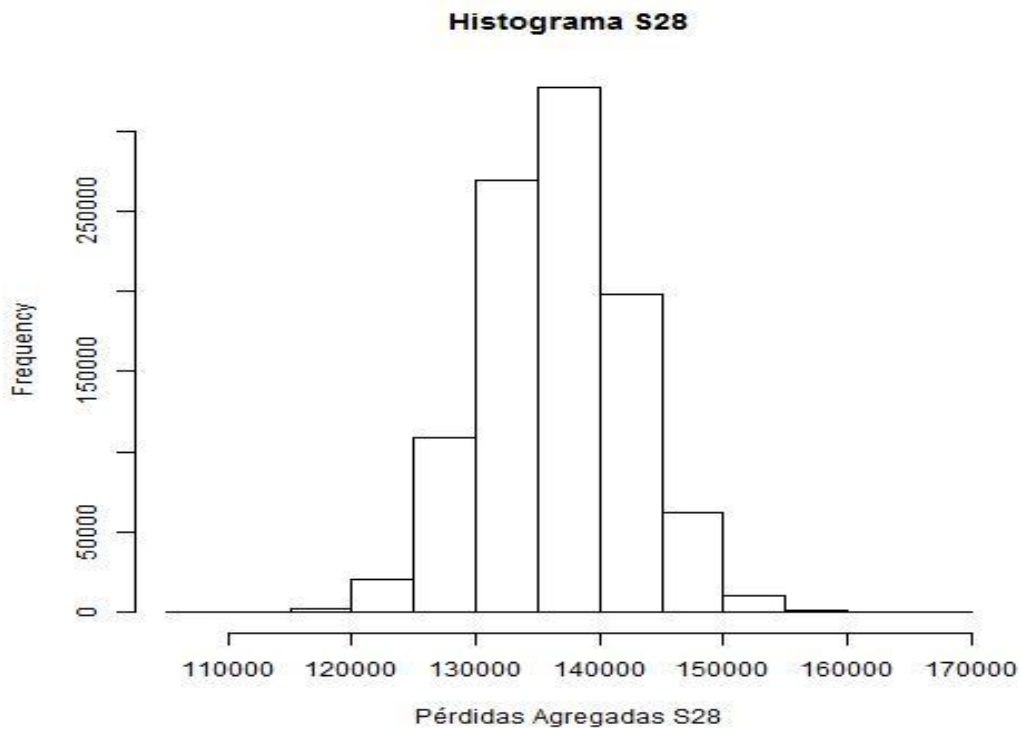


Figura-9: Histograma de las Pérdidas Agregadas. N-4.



**V.6. Resultados de Cálculos de Riesgo Operacional.**

No. Simulación	OpVaR (99.9%)	No. Simulación	OpVaR (99.9%)	No. Simulación	OpVaR (99.9%)	No. Simulación	OpVaR (99.9%)
1	154,454.05	8	154,349.55	15	154,716.31	22	154,960.03
2	154,569.51	9	155,430.11	16	154,743.48	23	154,981.51
3	154,315.67	10	155,329.70	17	154,941.68	24	155,084.75
4	155,739.78	11	154,310.59	18	155,259.10	25	154,933.32
5	156,640.99	12	154,866.06	19	154,727.46	26	154,971.61
6	155,746.27	13	154,794.57	20	154,975.48	27	154,943.56
7	155,498.52	14	154,689.49	21	155,062.34	28	154,952.00

Figura-10: Riesgo Operacional Calculado por simulación para el Fraude Interno en la Banca Minorista.

**V.7. Comportamiento del OpVaR.**

**Comportamiento del OpVaR**

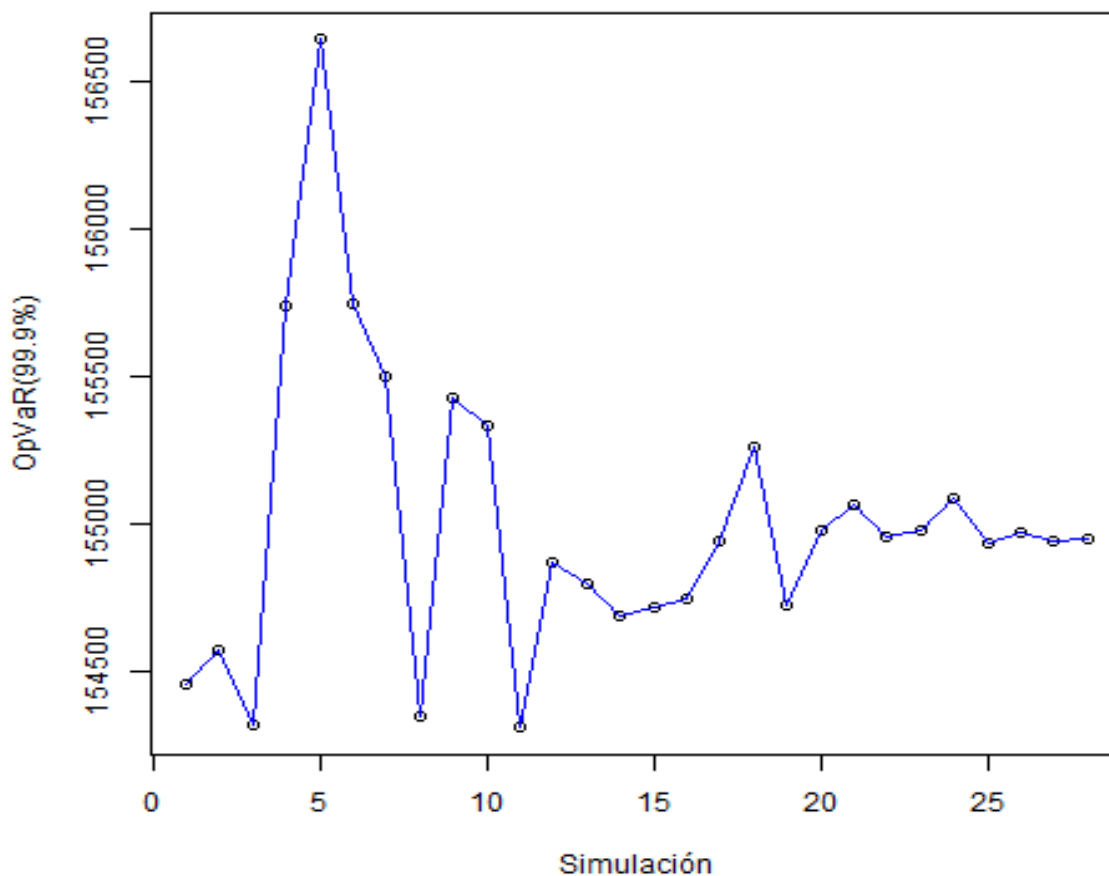


Figura-11: Comportamiento del OpVaR para Fraude Interno en la Banca Minorista.



**V.8. Resumen del Costo por Riesgo Operacional y Tarifas de Riesgo.**

No. De Simulación	n.iteraciones	OpVaR99.9%	EL (Expected Loss)	UEL (Unexpected Loss)	Tasas.por.millar
1	1,000	154,454.05	136,436.62	18,017.44	116.65
2	2,000	154,569.51	136,415.54	18,153.97	117.45
3	3,000	154,315.67	136,445.59	17,870.08	115.80
4	4,000	155,739.78	136,590.34	19,149.44	122.96
5	5,000	156,640.99	136,561.13	20,079.86	128.19
6	6,000	155,746.27	136,510.48	19,235.80	123.51
7	7,000	155,498.52	136,522.66	18,975.86	122.03
8	8,000	154,349.55	136,692.14	17,657.41	114.40
9	9,000	155,430.11	136,499.71	18,930.40	121.79
10	10,000	155,329.70	136,422.50	18,907.20	121.72
11	20,000	154,310.59	136,506.09	17,804.50	115.38
12	30,000	154,866.06	136,500.35	18,365.70	118.59
13	40,000	154,794.57	136,521.66	18,272.91	118.05
14	50,000	154,689.49	136,520.99	18,168.51	117.45
15	60,000	154,716.31	136,481.48	18,234.83	117.86
16	70,000	154,743.48	136,540.79	18,202.69	117.63
17	80,000	154,941.68	136,514.51	18,427.17	118.93
18	90,000	155,259.10	136,488.63	18,770.47	120.90
19	100,000	154,727.46	136,489.73	18,237.73	117.87
20	200,000	154,975.48	136,474.60	18,500.89	119.38
21	300,000	155,062.34	136,493.81	18,568.53	119.75
22	400,000	154,960.03	136,494.27	18,465.77	119.16
23	500,000	154,981.51	136,492.42	18,489.10	119.30
24	600,000	155,084.75	136,502.26	18,582.49	119.82
25	700,000	154,933.32	136,515.15	18,418.17	118.88
26	800,000	154,971.61	136,506.86	18,464.74	119.15
27	900,000	154,943.56	136,497.73	18,445.83	119.05
28	1,000,000	154,952.00	136,503.31	18,448.69	119.06

Tabla-6: Resultados del OpVaR, Pérdidas Esperadas, Pérdidas Inesperadas y Tarifas de Riesgo.



## VI. ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS.

Primeramente, fue necesario calcular los parámetros que debían ser ingresados a R para realizar la simulación siguiendo el esquema planteado. Considerando los datos que se muestran en el Anexo-1, en promedio se producen 719 eventos, este valor fue considerado como Lambda ( $\lambda$ ); mientras que para las pérdidas se tiene un promedio de 189.847 unidades monetarias con una desviación estándar de 105.7003 unidades monetarias.

La **Tabla-3**, presenta un resumen de algunos estadísticos que nos permiten apreciar el comportamiento de las variables frecuencia y severidad. Nótese que estas variables que no están distribuidas simétricamente, de acuerdo al coeficiente de asimetría, ya que estas tienen un sesgo hacia la izquierda, lo que nos indica que la mayor concentración de datos se encuentra en los valores pequeños. De igual forma, podemos observar que la forma de estas distribuciones es Leptocúrtica, esto significa que poseen colas más anchas que una distribución normal. Sin embargo, al aplicar la transformación logarítmica a la variable *pérdidas*, se obtiene una distribución muy cercana a una distribución normal, siendo esta, simétrica y mesocúrtica.

Los histogramas de la Figura-4, muestran gráficamente la forma en cómo se distribuyen los datos de frecuencia y pérdidas. Como se mencionó anteriormente, se utilizarán las distribuciones Poisson y Log-Normal para realizar las simulaciones, por lo cual, estas distribuciones serán ajustadas a los datos. Los parámetros resultantes para la distribución Log-Normal fueron  $\mu = 5.11121$  y  $\sigma = 0.5196325$ ; mientras que para la distribución Poisson se tiene que  $\lambda = 719$ . Estos resultados se resumen en la **Tabla-4**.

De acuerdo con las publicaciones del Comité de Basilea, para realizar estimaciones con los Métodos de Medición Avanzada deben de asumirse los supuestos de normalidad para los datos, de no distribuirse normalmente deberá emplearse una distribución que se ajuste correctamente a las observaciones.

Dado que los datos de pérdidas que conforman la base de datos a simple vista no parecen seguir una distribución normal, se utiliza la transformación de tipo logarítmica para aplicar la prueba de hipótesis de normalidad.

Los resultados del contraste de normalidad, reflejados en la **Tabla-5** y en la **Figura-5**, indican que no hay evidencias estadísticas significativas para suponer que la distribución de las pérdidas no sigue una distribución normal. Considerando lo anterior, se cumple satisfactoriamente el requisito de normalidad establecido por el comité.

Como se estableció en la sección anterior, se llevaron a cabo 28 simulaciones con distintos tamaños de muestra, sus histogramas están plasmados en las Figuras 6, 7, 8 y 9, en las cuales se muestran el comportamiento de las distribuciones de las pérdidas agregadas en las simulaciones realizadas. Es interesante mencionar que a pesar de que la frecuencia y la severidad no se distribuyen de manera normal, el resultado de las pérdidas agregadas sigue una distribución aproximadamente Gaussiana, esto es debido al efecto de la Ley de Grandes Números.

Se obtuvieron 5,955,000 iteraciones distribuidas en las 28 simulaciones realizadas. Para cada simulación realizada se calculó un  $OpVaR_{99.9\%}$ . La **Tabla-9** detalla los valores calculados para



cada simulación. Note que a medida que se incrementa el tamaño de la muestra, el  $OpVaR_{99,9\%}$  parece tender hacia un valor específico (véase la **Figura-10**).

Así mismo, se estimaron las pérdidas esperadas, no esperadas y las tasas de riesgo por millar que deberían de cobrarse en caso que se desee transferir el riesgo por pérdidas no esperadas. Estos resultados se muestran en la **Tabla-6**.

Para obtener los resultados anteriormente descritos, se analizó el comportamiento de los datos de severidades de las pérdidas por eventos de Fraude Interno en la Línea de Negocio Banca Minorista. Como puede apreciarse en la **Tabla-6** que se muestra en la sección de resultados, la *Máxima Pérdida Probable* o el  $OpVaR_{99,9\%}$  varía considerablemente en algunos escenarios, esto se debe al efecto de la desviación en la severidad y en el número de eventos que se presentaron en cada iteración.

Fácilmente observamos que a medida que se aumentaba el número de iteraciones en cada simulación, los resultados que se obtenían para el OpVaR tienden a ser cercanos a 154,952 unidades monetarias (um), es decir, que una Institución para hacer frente a las pérdidas ocasionadas por Riesgo Operacional con respecto al Fraude Interno en la Banca Minorista, deberá constituir una suma de 154,952 um, garantizando un capital que permita mitigar las consecuencias del peor de los escenarios posibles en los que se presenten pérdidas, en un determinado horizonte de tiempo, siendo en este caso de un año.

El Comité de Basilea ha propuesto a las Instituciones el uso de Métodos de Medición Avanzados a través de los Modelos de Pérdidas Agregadas para calcular su carga de capital por riesgo operacional, con un horizonte de un año; así mismo, presenta la opción de que en caso de que la Institución reserve una cantidad equivalente a la pérdida esperada, su carga de capital será el OpVar al 99.9% menos las pérdidas esperadas. En otras palabras, su carga de capital será las pérdidas no esperadas. Estas pérdidas inesperadas pueden ser objeto de aseguramiento, por lo cual, es necesario calcular una tasa que sea cobrada por la aseguradora para asumir el costo de pérdidas catastróficas para este tipo de riesgo.

Una manera de tarifcar este riesgo es considerar la tasa que resulta de dividir las pérdidas inesperadas entre el OpVaR al 99.9% de confianza, siendo esta la tasa de riesgo puro, a lo cual debe agregarse los debidos recargos.

En la Tabla-6 de la sección de resultados, se observa que el valor de asegurar las pérdidas no esperadas es de aproximadamente 119 um por cada 1,000 um por pérdidas en exceso del valor esperado.

Finalmente es necesario recordar que la carga de capital calculada es únicamente para un tipo de evento y línea de negocio. Realmente la carga de capital por riesgo operacional considera la carga que debe asumirse por cada línea de negocio y evento de pérdida. Pero como se ha mostrado a través de este documento, el objetivo es exponer la forma en cómo se lleva a cabo este proceso de cálculo.





## VII. CONCLUSIONES.

A lo largo de este documento, se ha presentado de manera sintetizada la teoría relacionada a los modelos de pérdidas agregadas, sin entrar en especificaciones matemáticas por razones de practicidad debido a las facilidades de computo de los datos, de tal manera que se ha formulado un esquema que posibilita la implementación de Modelos de Medición Avanzada para la determinación del requerimiento de capital por riesgo operativo, a través del uso de modelos de pérdidas agregadas y simulación Montecarlo en R. El uso de Métodos de Medición Avanzada ofrece como incentivo a las entidades administrar eficazmente su riesgo operacional.

La estadística utilizada fue el Valor en Riesgo Operacional (OpVaR). El cual indica la pérdida máxima probable a la cual habría de enfrentarse una Institución, con un nivel de probabilidad de 99.9%

Considerando las especificaciones de Basilea II, se diseñó un modelo Poisson-Lognormal, haciendo uso de los datos que se presentan en el **Anexo-1** (los cuales fueron generados de manera aleatoria tomando como referencia algunos de los resultados presentados en el Loss Data Collection Exercise - 2008 que se presenta en el **Anexo-2**), calculando los parámetros  $\lambda$ ,  $\mu$  y  $\sigma$  para llevar a cabo las 28 simulaciones, teniendo como resultado 5,955,000 iteraciones.

La simulación a través de Montecarlo aplicando el método de Pérdidas Agregadas, muestra que con un millón de iteraciones para el evento de Fraude Interno en la línea de negocio Banca Minorista, existe una probabilidad del 99.9% de que las pérdidas por riesgo operacional de un determinado año no excedan de 154,952.00 u.m., Y las pérdidas esperadas para un horizonte de tiempo de un año son de 136,503.31 um; valores a los cuales parecen converger.

En relación a la tarificación del riesgo operacional, se presentó la tasa resultante como la división entre las pérdidas no esperadas y el OpVaR como estimador de la tarifa de riesgo puro, a la cual pueda incluirse los debidos recargos por gastos y margen de utilidad. Para el caso que se ha expuesto en este documento, la tarifa de riesgo se aproxima a 119 u.m. por cada 1,000 u.m. por pérdidas en exceso del valor esperado.

El desarrollo de esta investigación tiene como resultado el avance hacia el cumplimiento de las disposiciones internacionales en cuanto al manejo y administración de riesgos ya que permite la asimilación rápida de técnicas de cálculo muy complejas, pero que sin embargo, si hacemos uso correcto de las herramientas tecnológicas, podemos lograr obtener resultados prácticos y precisos, muy beneficiosos para el sector financiero y para el desarrollo de nuestra economía.



### VIII. RECOMENDACIONES.

El Nuevo Marco de Capital establecido por el comité de Basilea propone tres formas de cálculo del requerimiento de capital, sin embargo el enfoque del Indicador Básico y el Método Estándar no son muy recomendables si se quiere disponer de una eficaz administración de riesgo, por lo cual se recomienda la implementación de métodos de medición avanzada como el modelo de pérdidas agregadas, en conjunto con los requisitos cualitativos establecidos por los supervisores a fin de desarrollar los sistemas de control de riesgo en las distintas entidades.

Si bien es cierto que el modelo de pérdidas agregadas ofrece una buena estimación, depende en gran medida de los datos que serán utilizados para construir el modelo. Por lo cual, las entidades deben desarrollar los debidos controles de reconocimiento de factores de riesgo y cuantificación de pérdidas por eventos de riesgos para contar con una base de datos real y eficiente, valiéndose además de datos externos que no se alejen del contexto de las instituciones ya que esto también puede tener un efecto negativo en el modelo.

Se recomienda además, considerar el efecto de las correlaciones en los tipos de evento de riesgo operacional o líneas de negocio. El efecto de las correlaciones en las pérdidas puede influir en gran medida en el requerimiento de capital, pudiendo resultar en cargas de capital menores o caso contrario, en cargas superiores a las esperadas. Vale mencionar que, de acuerdo a la literatura consultada, se indica que los resultados de estudios empíricos realizados al respecto, sitúan los valores de dicho coeficiente muy cercanos a cero; sin embargo, este tópico no debe ser un punto a despreciar en cuanto a consideraciones.

Es necesario reconocer que el VaR no provee información sobre cuán impactante puede llegar a ser la pérdida que logre a superar el umbral establecido, por lo cual, es necesario siempre considerar la esperanza condicional de las colas (Conditional Tail Expectation **CTE**), la cual se define como  $E(X | X > VaR)$ , del cual puede derivarse el estudio de la posibilidad de transferencia de riesgos a través de contratos de reaseguro por excesos de pérdidas.

Como recomendación final, emplear las Mejores Prácticas Aplicables en las entidades financieras para el desarrollo de los sistemas de control de riesgo, así como para el diligente cumplimiento de las normativas establecidas por la Superintendencia, las cuales están orientadas con el objetivo de homologar los estándares internacionales y ofrecer una herramienta de contingencia contra las posibles eventualidades.

**IX. BIBLIOGRAFÍA.**

- ASAMBLEA NACIONAL - NICARAGUA. (15 de Julio de 2010). Ley No. 733. *Ley General de Seguros, Reaseguros y Fianzas*. Managua, Nicaragua.
- ASAMBLEA NACIONAL - NICARAGUA. (12 de Junio de 2012). Ley No. 793. *Ley Creadora de la Unidad de Analisis Financiero*. Managua, Nicaragua: La Gaceta - Diario Oficial.
- Bank for International Settlements. (2004). *International Convergence of Capital Measurement and Capital Standards: A Revised Framework*. Basilea, Suiza: Basel Committee on Banking Supervision.
- Belaunzarán, P. (s.f.). Modelos de Pérdidas Agregadas No Vida. *XXVI Congreso Nacional de Actuarios*, (pág. 31).
- Bowers, N. L. (1997). *Actuarial Mathematics*. Schaumburg, Illinois, U.S.A: The Society of Actuaries.
- Comité de Solvencia II de Asociación Mexicana de Instituciones de Seguros. (s.f.). *Solvencia II*.
- Feria Domínguez, J. M., Jiménez Rodríguez, E. J., & Martín Marín, J. L. (2007). *El Modelo de Distribucion de Pérdidas Agregadas (LDA): Una Aplicación al Riesgo Operacional*. Andalucía, España: Concejería de Innovación, Ciencia y Empresa de la Junta de Andalucía.
- Fundación MAPFRE. (30 de Mayo de 2016). *Diccionario MAPFRE de Seguros: Fundacion MAPFRE*. Recuperado el 30 de Mayo de 2016, de Diccionario MAPFRE de Seguros de Fundacion MAPFRE:  
[https://www.fundacionmapfre.org/wdiccionario/general/resultadosGoogleDic.shtml?q=riesgo&entqr=3&sort=date%3AD%3A%3Ad1&output=xml\\_no\\_dtd&client=CAN\\_wdiccionario&hl=es&ie=ISO-8859-1&oe=ISO-8859-1&site=CAN\\_wdiccionario&site\\_actual=CAN\\_wdiccionario](https://www.fundacionmapfre.org/wdiccionario/general/resultadosGoogleDic.shtml?q=riesgo&entqr=3&sort=date%3AD%3A%3Ad1&output=xml_no_dtd&client=CAN_wdiccionario&hl=es&ie=ISO-8859-1&oe=ISO-8859-1&site=CAN_wdiccionario&site_actual=CAN_wdiccionario)
- García, J. (2011). Bases de Datos de Eventos de Pérdida por Riesgos Operacionales., (pág. 159). Lima.
- García, J. (6-15 de Septiembre de 2011). Taller: Bases de datos de eventos de pérdidas por riesgos operacionales. Lima, Perú.
- García-Ligero, M. J., & Román Román, P. (s.f.). *Simulación con R*.
- Giménez-Montesinos, M. A. (s.f.). El Tratamiento del Riesgo Operacional en Basilea II. En B. d. España, *Estabilidad Financiera*. Banco de España.
- Hernández Sampieri, R., Fernández Collado, C., & Baptista Lucio, P. (2010). *Metodología de la investigación*. México D.F.: McGRAW-HILL.
- Isla, G. F. (2007). La Transferencia de Riesgos. *Actuarios*.
- Londoño, D. A. (2009). *Propuesta para el Modelamiento del Riesgo Operativo en una Entidad Financiera*. Medellín: Universidad Nacional de Colombia.
- Mora Valencia, A. (2011). *Riesgo operativo I: Una revisión de la literatura*. Bogota: Colegio de Estudios Superiores de Administración.



- Pacheco López, D. (2009). *Riesgo Operacional: Conceptos y Mediciones*. Superintendencia de Bancos e Instituciones Financieras, Dirección de Estudios y Análisis Financieros. Chile: Superintendencia de Bancos e Instituciones Financieras.
- Paradis, E. (2003). *R para principiantes*. Francia: Universit Montpellier II.
- R Development Core Team. (16 de Mayo de 2000). Introducción a R. Notas sobre R: Un entorno de programación para Análisis de Datos y Gráficos. Versión 1.0.1. Recuperado el 18 de Febrero de 2016, de [www.r-project.org/](http://www.r-project.org/)
- SIBOIF. (23 de Noviembre de 2001). Resolución CD-SIB-188-1-NOV23-2001. *Norma sobre Constitución y Calculo de Reservas*. Managua, Nicaragua: SIBOIF.
- SIBOIF. (5 de Marzo de 2008). Resolución CD-SIBOIF-524-1-MAR5-2008. *Norma para la Gestión de Prevención de los Riesgos del Lavado de Dinero, Bienes o Activos; y del Financiamiento al Terrorismo*. Managua, Nicaragua: SIBOIF.
- SIBOIF. (18 de Marzo de 2009). Resolución CD-SIBOIF-577-1-MAR18-2009. *Norma Sobre Centrales de Riesgo Privadas*. Managua, Nicaragua: SIBOIF.
- SIBOIF. (22 de Enero de 2010). Resolución N° CD-SIBOIF-611-1-ENE22-2010. *Norma Sobre Gestion de Riesgo Operacional*. Managua, Managua, Nicaragua: SIBOIF.
- SIBOIF. (9 de Noviembre de 2011). Resolución CD-SIBOIF-701-1-NOV9-2011. *Norma sobre el Control y Auditoría Interna de Sociedades de Seguros, Reaseguros y Fianzas, y Sucursales de Sociedades de Seguros Extranjeras*. Managua, Nicaragua: SIBOIF.
- SIBOIF. (14 de Mayo de 2013). Resolución No. CD-SIBOIF-781-1-MAY14-2013. *Norma para la Gestión Integral de Riesgos*. Managua, Nicaragua: SIBOIF.
- Superintendencia de Banca, Seguros y Administradoras Privadas de Fondos de Pensiones. (Diciembre de 2006). *Operational Risk Capital and Insurance in Emerging Markets*. Lima, Perú: SBS.
- Superintendencia de Bancos - Guatemala. (18 de Mayo de 2011). Junta Monetaria. Resolución JM-56-2011. Guatemala: Superintendencia de Bancos.
- Triola, M. F. (2004). *Estadística* (Novena ed.). México: Pearson Educación de México, S.A. de C.V.
- Tse, Y.-K. (2009). *Nonlife Actuarial Models Theory, Methods and Evaluation*. New York, United States of America: Cambridge University Press.



X. ANEXOS.

Anexo-1: Datos utilizados para la simulación.

No.	Pérdidas (Severidad por Evento)	Numero de Eventos por año (Frecuencia)	No.	Pérdidas (Severidad por Evento)	Numero de Eventos por año (Frecuencia)
1	142.35	696	51	230.27	731
2	607.85	726	52	168.54	730
3	195.85	697	53	150.41	733
4	211.39	695	54	147.72	718
5	136.59	750	55	132.06	715
6	287.18	728	56	263.56	737
7	112.55	739	57	138.95	711
8	251.60	698	58	109.77	713
9	138.63	722	59	97.60	723
10	115.90	718	60	126.69	730
11	115.71	700	61	293.27	713
12	148.54	742	62	125.66	728
13	150.99	697	63	91.02	725
14	50.02	731	64	381.89	698
15	264.79	690	65	481.72	725
16	288.43	728	66	315.93	751
17	176.92	693	67	77.60	728
18	155.06	720	68	188.33	723
19	146.19	761	69	126.48	721
20	65.19	696	70	213.67	720
21	275.42	715	71	206.42	749
22	131.26	712	72	85.44	728
23	332.47	706	73	312.95	686
24	127.20	667	74	226.27	715
25	41.38	730	75	218.12	709
26	200.41	640	76	150.99	718
27	128.53	719	77	216.02	711
28	101.33	682	78	144.98	715
29	221.97	788	79	193.27	736
30	450.92	736	80	99.65	717
31	83.28	682	81	219.47	674
32	125.90	726	82	70.96	812
33	180.00	754	83	126.00	702
34	101.38	708	84	320.23	736
35	106.57	706	85	407.33	709



No.	Pérdidas (Severidad por Evento)	Numero de Eventos por año (Frecuencia)	No.	Pérdidas (Severidad por Evento)	Numero de Eventos por año (Frecuencia)
36	69.61	682	86	249.85	717
37	73.55	666	87	220.88	731
38	101.72	688	88	132.11	729
39	287.65	714	89	61.05	743
40	89.21	753	90	122.98	689
41	150.87	715	91	179.30	764
42	147.92	694	92	156.97	726
43	178.25	762	93	322.60	696
44	161.03	775	94	316.95	787
45	185.80	756	95	79.96	714
46	245.22	732	96	252.14	702
47	179.07	714	97	132.58	754
48	504.08	697	98	210.88	708
49	94.48	724	99	202.37	726
50	185.46	716	100	461.16	683

\*Fuente: Elaboración propia. Basados en datos presentados en el LDCE 2008.



**Anexo-2: Resultados QIS 2008.**

A continuación se presentan los resultados reflejados en el QIS del año 2008 por cada línea de negocios y tipo de evento de pérdidas, en el cual, el LDCE (Loss Data Collection Exercise) registró un total de 3,568 pérdidas registradas por los Bancos que utilizaban los modelos de medición avanzada.

	Fraude Interno	Fraude Externo	Prácticas de empleo y seguridad laboral	Clientes, productos y prácticas comerciales	Daños a activos físicos	Interrupción de operaciones y fallos de sistemas	Ejecución, entrega y gestión de procesos
Finanzas Corporativas	3.5	11.5	21.6	100.2	2.4	4.6	69.1
Negociación y ventas	6.6	3.2	16.2	2,565.1	0.1	0.6	146.7
Banca Minorista	32.2	31.7	96.9	398.6	12.2	157.6	2,400.6
Banca Comercial	145.8	4.5	30.3	384.7	2.7	23.8	732.6
Pagos y Liquidaciones	979.4	7,311.9	3,203.4	2,381.0	245.4	293.8	3,743.4
Servicios a Sucursales	198.5	607.9	305.6	1,263.6	34.0	48.0	670.6
Gestión de Activos	69.6	710.4	104.3	504.4	30.1	65.2	1,196.8
Intermediación Minorista	84.7	112.8	23.1	262.4	3.3	12.7	241.2
	20.5	185.3	23.3	50.7	21.7	37.5	386.0
	7.1	18.1	2.3	18.7	8.0	5.8	194.4
	11.3	94.5	12.8	44.9	5.9	26.8	698.9
	2.5	8.1	1.7	92.3	46.7	15.4	89.8
	10.7	19.1	30.3	96.5	1.9	22.9	522.8
	27.0	2.3	6.1	74.9	0.6	3.6	128.3
	196.5	75.9	149.4	2,247.0	2.4	16.1	672.7
	89.8	6.7	31.1	294.6	0.4	1.0	71.5

**\*Fuente:** Resultados del Ejercicio de recolección de datos para riesgo operacional del año 2008 – Comité de Basilea de Supervisión Bancaria.

\*\* La primera cifra indica la frecuencia de los eventos y la segunda representa las pérdidas anuales.



### Anexo-3: Códigos utilizados.

```
>datos<-read.csv(“datos.csv”, sep=”,”, dec=”.”) # Código para importar
datos a R desde una hoja de Excel delimitada por comas. Para más
información puede revisar el manual que se encuentra en la página web de
R (https://cran.r-project.org/)
```

```
>media.perdidas=mean(datos$perdidas)
```

```
>desviacion.perdidas=sqrt(var(datos$perdidas)) # también puede utilizarse
la función sd(datos$perdidas)
```

```
>media.frecuencias=round(mean(datos$frecuencias),0)
```

```
>Lambda<-media.frecuencias
```

```
>Sigma<-sqrt(log(((desviacion.perdidas^2)/(media.perdidas^2))+1))
```

```
>Miu=log(media.perdidas)-
+((log(((desviacion.perdidas^2)/(media.perdidas^2))+1)))/2)
```

```
> for(i in 1:28) {
+ if(i==1){n1<-rpois(1000,Lambda)
+ S1<-c(1:length(n1))
+ for(i in 1:length(n1)){
+ S1[i]= sum(L<-rlnorm(n1[i],Miu,Sigma))}} else {
+ if(i==2){n2<-rpois(2000,Lambda)
+ S2<-c(1:length(n2))
+ for(i in 1:length(n2)){
+ S2[i]= sum(L<-rlnorm(n2[i],Miu,Sigma))}} else {
+ if(i==3){n3<-rpois(3000,Lambda)
+ S3<-c(1:length(n3))
+ for(i in 1:length(n3)){
+ S3[i]= sum(L<-rlnorm(n3[i],Miu,Sigma))}} else {
+ if(i==4){n4<-rpois(4000,Lambda)
+ S4<-c(1:length(n4))
+ for(i in 1:length(n4)){
+ S4[i]= sum(L<-rlnorm(n4[i],Miu,Sigma))}} else {
+ if(i==5){n5<-rpois(5000,Lambda)
+ S5<-c(1:length(n5))
+ for(i in 1:length(n5)){
+ S5[i]= sum(L<-rlnorm(n5[i],Miu,Sigma))}} else {
+ if(i==6){n6<-rpois(6000,Lambda)
+ S6<-c(1:length(n6))
+ for(i in 1:length(n6)){
+ S6[i]= sum(L<-rlnorm(n6[i],Miu,Sigma))}} else {
+ if(i==7){n7<-rpois(7000,Lambda)
+ S7<-c(1:length(n7))
+ for(i in 1:length(n7)){
+ S7[i]= sum(L<-rlnorm(n7[i],Miu,Sigma))}} else {
```





```

+ if(i==8){n8<-rpois(8000,Lambda)
+ S8<-c(1:length(n8))
+ for(i in 1:length(n8)){
+ S8[i]= sum(L<-rlnorm(n8[i],Miu,Sigma))}} else {
+ if(i==9){n9<-rpois(9000,Lambda)
+ S9<-c(1:length(n9))
+ for(i in 1:length(n9)){
+ S9[i]= sum(L<-rlnorm(n9[i],Miu,Sigma))}} else {
+ if(i==10){n10<-rpois(10000,Lambda)
+ S10<-c(1:length(n10))
+ for(i in 1:length(n10)){
+ S10[i]= sum(L<-rlnorm(n10[i],Miu,Sigma))}} else {
+ if(i==11){n11<-rpois(20000,Lambda)
+ S11<-c(1:length(n11))
+ for(i in 1:length(n11)){
+ S11[i]= sum(L<-rlnorm(n11[i],Miu,Sigma))}} else {
+ if(i==12){n12<-rpois(30000,Lambda)
+ S12<-c(1:length(n12))
+ for(i in 1:length(n12)){
+ S12[i]= sum(L<-rlnorm(n12[i],Miu,Sigma))}} else {
+ if(i==13){n13<-rpois(40000,Lambda)
+ S13<-c(1:length(n13))
+ for(i in 1:length(n13)){
+ S13[i]= sum(L<-rlnorm(n13[i],Miu,Sigma))}} else {
+ if(i==14){n14<-rpois(50000,Lambda)
+ S14<-c(1:length(n14))
+ for(i in 1:length(n14)){
+ S14[i]= sum(L<-rlnorm(n14[i],Miu,Sigma))}} else {
+ if(i==15){n15<-rpois(60000,Lambda)
+ S15<-c(1:length(n15))
+ for(i in 1:length(n15)){
+ S15[i]= sum(L<-rlnorm(n15[i],Miu,Sigma))}} else {
+ if(i==16){n16<-rpois(70000,Lambda)
+ S16<-c(1:length(n16))
+ for(i in 1:length(n16)){
+ S16[i]= sum(L<-rlnorm(n16[i],Miu,Sigma))}} else {
+ if(i==17){n17<-rpois(80000,Lambda)
+ S17<-c(1:length(n17))
+ for(i in 1:length(n17)){
+ S17[i]= sum(L<-rlnorm(n17[i],Miu,Sigma))}} else {
+ if(i==18){n18<-rpois(90000,Lambda)
+ S18<-c(1:length(n18))
+ for(i in 1:length(n18)){
+ S18[i]= sum(L<-rlnorm(n18[i],Miu,Sigma))}} else {
+ if(i==19){n19<-rpois(100000,Lambda)
+ S19<-c(1:length(n19))
+ for(i in 1:length(n19)){
+ S19[i]= sum(L<-rlnorm(n19[i],Miu,Sigma))}} else {
+ if(i==20){n20<-rpois(200000,Lambda)
+ S20<-c(1:length(n20))

```





```
+ mean(S25), mean(S26), mean(S27), mean(S28))

> UEL<-Cuantiles-EL

> Tasas.por.millar <- (UEL/Cuantiles)*1000

> par(mfrow=c(1,3))
> hist(datos$frecuencias, main="Histograma de N", xlab="N eventos",
+ ylab="Frecuencia")
> hist(datos$perdidas,main="Histograma Severidad", xlab="Severidad por
Evento",
+ ylab="Frecuencia")
> hist(log(datos$perdidas),main="Histograma Log-Severidad",
+ xlab="Log-Severidad por Evento", ylab="Frecuencia")

> library(nortest) # carga paquete para realizar pruebas de normalidad
> ad.test(log(datos$perdidas)) # aplica test de normalidad Anderson-
Darling

> qqnorm(log(datos$perdidas), main="Normal Q-Q plot",
+ xlab="Cuantiles Teóricos", ylab="Pérdidas")
> qqline(log(datos$perdidas))

> png("histogramas1.png")
> par(mfrow=c(3,3))
> hist(S1, main="Histograma S1", xlab="Pérdidas Agregadas S1")
> hist(S2, main="Histograma S2", xlab="Pérdidas Agregadas S2")
> hist(S3, main="Histograma S3", xlab="Pérdidas Agregadas S3")
> hist(S4, main="Histograma S4", xlab="Pérdidas Agregadas S4")
> hist(S5, main="Histograma S5", xlab="Pérdidas Agregadas S5")
> hist(S6, main="Histograma S6", xlab="Pérdidas Agregadas S6")
> hist(S7, main="Histograma S7", xlab="Pérdidas Agregadas S7")
> hist(S8, main="Histograma S8", xlab="Pérdidas Agregadas S8")
> hist(S9, main="Histograma S9", xlab="Pérdidas Agregadas S9")
> dev.off()

> png("histogramas2.png")
> par(mfrow=c(3,3))
> hist(S10, main="Histograma S10", xlab="Pérdidas Agregadas S10")
> hist(S11, main="Histograma S11", xlab="Pérdidas Agregadas S11")
> hist(S12, main="Histograma S12", xlab="Pérdidas Agregadas S12")
> hist(S13, main="Histograma S13", xlab="Pérdidas Agregadas S13")
> hist(S14, main="Histograma S14", xlab="Pérdidas Agregadas S14")
> hist(S15, main="Histograma S15", xlab="Pérdidas Agregadas S15")
> hist(S16, main="Histograma S16", xlab="Pérdidas Agregadas S16")
> hist(S17, main="Histograma S17", xlab="Pérdidas Agregadas S17")
> hist(S18, main="Histograma S18", xlab="Pérdidas Agregadas S18")
> dev.off()
```



```
> png("histogramas3.png")
> par(mfrow=c(3,3))
> hist(S19, main="Histograma S19", xlab="Pérdidas Agregadas S19")
> hist(S20, main="Histograma S20", xlab="Pérdidas Agregadas S20")
> hist(S21, main="Histograma S21", xlab="Pérdidas Agregadas S21")
> hist(S22, main="Histograma S22", xlab="Pérdidas Agregadas S22")
> hist(S23, main="Histograma S23", xlab="Pérdidas Agregadas S23")
> hist(S24, main="Histograma S24", xlab="Pérdidas Agregadas S24")
> hist(S25, main="Histograma S25", xlab="Pérdidas Agregadas S25")
> hist(S26, main="Histograma S26", xlab="Pérdidas Agregadas S26")
> hist(S27, main="Histograma S27", xlab="Pérdidas Agregadas S27")
> dev.off()

> png("histogramas4.png")
> hist(S28, main="Histograma S28", xlab="Pérdidas Agregadas S28")
> dev.off()

> plot(Cuantiles, main="Comportamiento del OpVaR", xlab="Simulación",
+ ylab="OpVaR(99.9%)")
> lines(Cuantiles, col="blue")
```

### Reducción de Código.

Los códigos anteriormente presentados fueron elaborados de manera que fueran simples y claros para el lector aunque no fueran tan eficiente en relación a tiempos de cómputo, sin embargo, uno de los principales retos en programación es idear códigos que tengan un balance entre eficiencia y legibilidad, por lo cual, se presentan otras opciones que reducen considerablemente las líneas de código y que a su vez no se ven tan afectadas en cuanto a eficiencia.

### Para las simulaciones:

```
perdidas<-function(n,lambda,miu,sigma){
s<-rep(0,n)
for(i in 1:n){
rn<-rpois(1,lambda)
rx<-rlnorm(rn,miu,sigma)
s[i]<-sum(rx)}
return(s)} # Esta función crea las pérdidas agregadas con "n"
iteraciones a partir de esto podemos crear 28 objetos que serán las 28
simulaciones con "n" iteraciones cada una
```

```
S1<-perdidas(10000,lambda=Lambda,miu=Miu,sigma=Sigma) # Note la
diferencia en los nombres de los parámetros (lamda ≠ Lambda) por esta
razón igualamos los parámetros; si los nombres fueran iguales, no habría
necesidad de esto.
```

```
S2<-perdidas(20000,lambda=Lambda,miu=Miu,sigma=Sigma)
```

```
.
.
.
```

```
S28<-perdidas(1000000,lambda=Lambda,miu=Miu,sigma=Sigma)
```

**Para el cálculo de parámetros de las distribuciones.**

A través del uso de los paquetes que R tiene disponibles, podemos fácilmente calcular los parámetros de una distribución a través de diversos métodos, como por ejemplo *Máxima Verosimilitud*, *Método de los Momentos*, *Quantile Matching Estimation*, *Estimación por Máxima Bondad de Ajuste*, etc. Por lo cual, se propone al lector el uso de estos, y se expone un ejemplo de cómo utilizarlos.

```
library(MASS) # Carga el paquete MASS de la biblioteca de paquetes de R.
Este paquete viene incorporado por defecto en R. Utilizamos MASS ya que
dentro de este paquete se encuentra la función fitdistr, la cual puede
ser utilizada para el cálculo de parámetros de una distribución.
```

```
fitdistr(datos$perdidas,"lognormal")$estimate # el utilizar la extensión
"$estimate" nos permite tomar únicamente el valor del parámetro. Esta
función utiliza, por defecto, el método de Máxima Verosimilitud (al igual
que para las distribuciones Normal, Geométrica, Exponencial y Poisson).
```

Si se desea calcular los parámetros de una distribución a través de los métodos anteriormente descritos (momentos, cuantiles, bondad de ajuste, etc), puede utilizar el paquete **fitdistrplus**, por medio de la función **fitdist**.