

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
FACULTAD DE CIENCIAS NATURALES Y MATEMÁTICA
ESCUELA DE MATEMÁTICA



TRABAJO DE GRADO TITULADO:

**ESTUDIO DE LAS TÉCNICAS DEL CÁLCULO DEL RIESGO
OPERACIONAL Y SU IMPLEMENTACIÓN COMPARATIVA
DE UN CASO REAL**

PRESENTADO POR:

BR.GILMA LIZETH ZEPEDA GIL

PARA OPTAR AL TITULO DE:

LICENCIADA EN MATEMÁTICA

Ciudad Universitaria, 30 de mayo de 2023

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
FACULTAD DE CIENCIAS NATURALES Y MATEMÁTICA
ESCUELA DE MATEMÁTICA



TRABAJO DE GRADO TITULADO:

**ESTUDIO DE LAS TÉCNICAS DEL CÁLCULO DEL RIESGO
OPERACIONAL Y SU IMPLEMENTACIÓN COMPARATIVA
DE UN CASO REAL**

PRESENTADO POR:

BR.GILMA LIZETH ZEPEDA GIL

PARA OPTAR AL TITULO DE:

LICENCIADA EN MATEMÁTICA

ASESOR INTERNO:

MSC. WALTER OTONIEL CAMPOS GRANADOS

ASESOR EXTERNO:

MSC. WELMAN DEL CARMEN ROSA

Ciudad Universitaria, 30 de mayo de 2023

AUTORIDADES

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR

MSc. Roger Armando Arias Alvarado

Rector

PhD. Raúl Ernesto Azcúnaga López

Vicerrector Académico

Ing. Juan Rosa Quintanilla

Vicerrector Administrativo

Ing. Francisco Antonio Alarcón Sandoval

Secretario General

Lic. Rafael Humberto Peña Marín

Fiscal General

Lic. Luis Antonio Mejía Lipe

Defensor de los Derechos Universitarios

FACULTAD DE CIENCIAS NATURALES
Y MATEMÁTICA.
AUTORIDADES.

Lic. Mauricio Hernán Lovo Córdoba
Decano

Msc. Zolia Virginia Guerrero Mendoza
Vicedecano

Lic. Jaime Humberto Salinas Espinoza
Secretario de la Facultad

ESCUELA DE MATEMÁTICA

MSc. Dimas Noé Tejada Tejada
Director

MSc. Carlos Ernesto Gámez Rodríguez
Secretario

TRIBUNAL CALIFICADOR.

Asesor: M.Sc. Walter Otoniel Campos Granados



Asesor externo: M.Sc. Welman del Carmen Rosa



Miembros docentes: M.Sc. Carlos Ernesto Gámez Rodríguez



Miembros docentes: M.Sc. Porfirio Armando Rodríguez Rodríguez



0.1. Agradecimiento

Agradezco a Dios principalmente, por su compañía en este viaje de la vida, del aprendizaje adquirido y su fortaleza a lo largo de esta carrera.

0.2. Dedicatoria

El presente trabajo de grado lo dedico a mis padres y en especial que desde el cielo me acompaña mi amada madre: Carmelina Gil Arévalo y Andrés de Jesús Zepeda quien siempre apoyo mi formación académica.

A mis maestros especialmente a mis asesores: MSC. Walter Otoniel Campos Granados y MSC. Welman Del Carmen Rosa por su formación matemática y les deseo éxitos en el futuro.

A mis compañeros y amigos a mi adorada familia y a quienes aman las matemáticas.

0.3. Índice General.

Índice

0.1. Agradecimiento	I
0.2. Dedicatoria	II
0.3. Índice General.	III
0.4. Tabla de símbolos y abreviaturas	V
0.5. Introducción:	VI
1. Fundamento teórico	1
1.1. Comité de Supervisión Bancaria de Basilea	1
1.2. Normativas del riesgo operativo en El Salvador.	2
1.3. Normativa NPB4-50 para la gestión del riesgo operacional en El Salvador	4
1.4. Métodos según el regulador internacional.	9
1.5. Principales modelos AMA aplicados en la industria.	22
2. Medición del riesgo operativo con enfoque actuarial	25
2.1. Modelos de medición de riesgo operativo.	26
2.2. Métodos de Medición Avanzados (AMA-LDA.)	27
2.3. Distribución de frecuencia	29
2.4. Distribución de severidad	30
2.5. Enfoque para la construcción de la pérdida agregada.	34
2.6. Estimación del OpVaR:	41
3. Aplicación	45
3.1. Análisis de los datos	45
3.2. Aplicación de Simulación Montecarlo	53
4. Conclusiones	55

5. Anexos	57
5.1. Tablas	57
5.2. Tabla de datos	64
5.3. Bibliografía	71

0.4. Tabla de símbolos y abreviaturas

Abreviatura	Significado
BIA	Método de Indicador Básico
TSA	Método Estándar
AMA	Método de Medición Avanzada
LDA	Método de Distribución de Perdida
IMA	Modelo de medición interna
SCP	Modelo Compuesto Poisson Subexponencial

Símbolo	Nombre
$\inf(A)$	Ínfimo de A
F^{n*}	La n -ésima convolución de la distribución.
N_0	Conjunto de los enteros no negativos
Φ	Función de distribución normal estándar.
$(X_k)_{k \in N}$	Proceso de severidad
$N(t)$	Proceso de frecuencia
$S(t)$	Pérdida agregada
(S)	Distribuciones de severidad subexponenciales
$G_t(x)$	Distribución de la pérdida agregada
$E(N(t))$	El valor esperado de la frecuencia de pérdidas.
$\bar{F}(x)$	Distribución de la cola de la severidad
$\bar{G}(x)$	Distribución de la cola de la pérdida agregada
$OpVaR(\alpha)$	Valor en riesgo operativo
$G_t^*(\alpha)$	Inversa generalizada de G_t

0.5. Introducción:

La importancia de identificar, cuantificar, controlar, y que se haga un monitoreo continuo de los diversos tipos de riesgo a los que están expuestas las entidades en el día a día de sus actividades, se debe a la posibilidad de pérdidas causadas tanto por factores internos como externos. Con el fin de mitigar dicha exposición se crearon las normativas emitidas por las entidades reguladoras nacionales e internacionales dadas por el Comité de Supervisión Bancaria de Basilea. Donde El riesgo operacional se define como: “La posibilidad de sufrir pérdidas financieras por fallos en los procesos de las personas, en la tecnología de información o por sobrevenir eventos externos desfavorables”.

Este riesgo se origina debido a fallos en el núcleo operacional, errores humanos o de capacidad de procesamiento, el cual se vuelve una tarea difícil de resolver tanto para los investigadores como para los operadores de las finanzas y con el surgimiento de los nuevos acuerdos de Basilea, se propone primordialmente el mejorar continuamente los procesos de toma de decisiones, por tanto, plantea dentro del enfoque de los modelos AMA (Advanced Measurement Approach) los siguientes modelos:

Los cuadros de mando (Scorecards), El modelo de medición interna (IMA), y el modelo de distribución de pérdidas (Loss Distribution Approach, LDA).

Este trabajo se centrará en los modelos LDA ya que este provee un estimado del riesgo operacional y sus unidades de negocio, basado en una distribución que refleja los datos de pérdidas subyacentes. Se presenta una aplicación del LDA desarrollada para una entidad financiera de la siguiente forma:

La primera parte es introductorio al tema, principalmente se tratan asuntos legales tanto nacionales como internacionales en cuanto a la ampliación del riesgo financiero en El Salvador, en la segunda parte se presenta formalmente el modelo LDA, como parte del desarrollo de los modelos de medición del riesgo operativo y la teoría fundamental para su implementación, en la tercera parte se desarrolla formalmente una de las alternativas de modelación y cuantificación asociadas a los modelos LDA: El método de Simulación Montecarlo, mediante el uso

del software estadístico Risk simulator, el cual se aplica a una base de datos de riesgo operacional, como se menciona anteriormente es una recopilación de datos de pérdidas históricas (frecuencia y severidad), que se registran internamente en las organizaciones. Dichos datos pueden ser complementados con datos externos y finalmente se analizan los resultados, para hacer comparaciones con la técnica de estimación fractal implementado con anterioridad en otra tesis obteniendo así conclusiones sobre el método de Simulación Montecarlo.

Capítulo 1

1. Fundamento teórico

1.1. Comité de Supervisión Bancaria de Basilea

En 1974 se estableció un regulador internacional que provee acuerdos o recomendaciones internacionales de supervisión bancaria. Conocido como el comité de Basilea. Siendo un facilitador para todos sus países asociados, el cuál de manera permanente intercambia información sobre disposiciones supervisoras nacionales, el mejoramiento de la efectividad de las técnicas para supervisar los negocios bancarios internacionales y el establecimiento de estándares mínimos para la suficiencia de capital.

El Comité de Basilea plantea los Principios Básicos que inician siendo emitidos en el año 1988 donde entra en vigor el **Acuerdo de Basilea I**: Que es un convenio sobre el enfoque de la medición del riesgo, al aprobar un sistema de medición de capital, que incluía la implementación de un marco de trabajo y un requerimiento de capital estándar mínimo del 8% sobre los activos ponderados de acuerdo a su riesgo. Luego en el año 2004 El Comité de Basilea publicó el **Acuerdo de Basilea II**: el cual recomienda establecer un capital mínimo que debe tener una entidad bancaria en función de los riesgos que afronta. Con el cual se deben de cubrir los diferentes tipos de riesgo. Y en el año 2010 se dispone el **Acuerdo de Basilea III**: Es una agrupación que integra reformas con la finalidad de robustecer la regulación, supervisión y gestión de riesgos para el sector bancario. (*Ver figura 1.1*)

BASILEA I		REVICIÓN BASILEA II					BASILEA III
Riesgo de crédito		Riesgo de mercado					Riesgo de liquidez
1988	1992	1996	1998	2004	2008	2009	2010
Entra en vigencia Basilea I			↑ Preámbulo para el Riesgo operacional	Basilea II Riesgo operacional		Riesgo de mercado Aumento de capital	

Figura 1.1 línea de tiempo. Elaboración propia

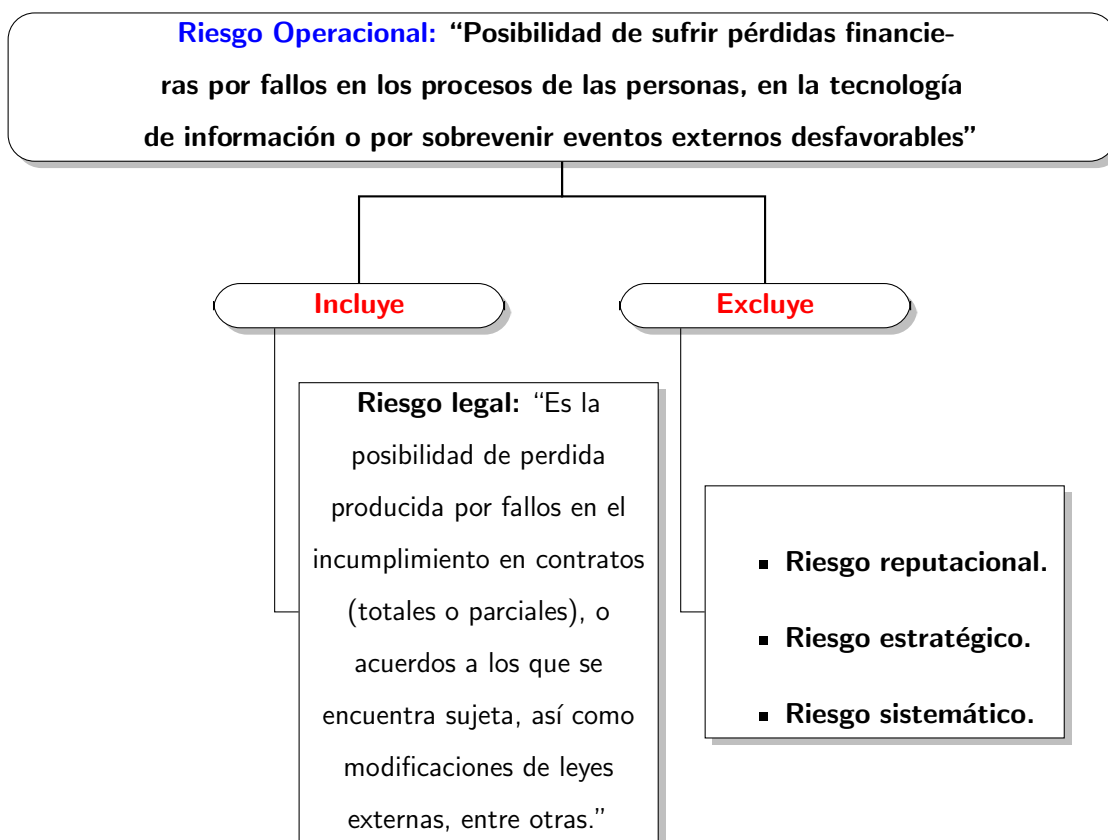


Figura 1.2 Riesgo operacional y otros riesgos comúnmente asociados. Fuente elaboración propia

Los diferentes tipos de riesgo de acuerdo con el comité de supervisión Bancaria de Basilea II (2004) son: Riesgo de crédito, riesgo de mercado, riesgo de seguro y dentro de los cuales se incorpora el riesgo operacional, el cual a su vez incluye el riesgo legal pero excluye tanto el riesgo reputacional, estratégico y sistemático. (Ver figura 1.2).

1.2. Normativas del riesgo operativo en El Salvador.

En el sector financiero de El Salvador se ha desarrollado la gestión de riesgos de manera formal bajo criterios y metodologías organizadas, siguiendo estándares internacionales establecidos por el Comité de Basilea. En este apartado nos enfocaremos en **Basilea II**: El cual está basado en tres pilares, cuyo objetivo principal es promover la estabilidad financiera los cuales se completan y refuerzan mutuamente.

En el 2004 **El Pilar I** plantea tres enfoques que se verán a continuación del documento con más detalle, para calcular el cargo de capital por riesgo operacional. **El Pilar II** se centraliza en la buena gestión del riesgo, así también de la transparencia y responsabili-

dad por parte de las entidades supervisoras. Bajo este pilar, los supervisores deben estimar y priorizar si las instituciones han cuantificado y materializado correctamente sus requerimientos de capital, en función de su perfil de riesgo, así como la gestión y mitigación del riesgo operacional e intervenir si es necesario.

El documento consultivo (BCBS, 2003a)¹, expone dos principios básicos sobre el funcionamiento de la supervisión, denotando las buenas practicas:

- Los supervisores deberán exigir a los bancos que mantengan un buen marco capaz de identificar, evaluar, seguir, controlar y mitigar sus riesgos operativos.
- Los supervisores deberán realizar evaluaciones de las políticas, buenos procedimientos y mecanismos con los que se cuenta para gestionar sus riesgos operativos.

El Pilar III: Es un refuerzo para los bancos hacia la mejora de la gestión del riesgo, mediante la propagación de información que permita a los agentes de mercado la evaluación de aspectos de la entidad, como su capitalización, exposición a los diversos tipos de riesgo y sobre sus procesos de control y mitigación de éstos.

El Comité ha acordado que las entidades deben divulgar la siguiente información, precisamente dentro del entorno del riesgo operacional:

- Los métodos utilizados deben estar dentro de los especificados en el Pilar I, para la estimación de carga de capital por riesgo operacional.
- Requerimiento de capital por riesgo operacional.
- Objetivos y políticas de gestión de riesgo operacional.
- La estructura y organización de la unidad encargada de la gestión de riesgo operacional.
- El alcance y la naturaleza de los sistemas de información y/o medición de riesgo operacional.

¹Comité de Supervisión Bancaria de Basilea (BCBS, por sus siglas en inglés)

- Las políticas de cobertura y/o de protección frente al riesgo operacional.
- Descripción del AMA (en caso que se utilice), así como el análisis de los factores internos y externos considerados en el método utilizado.
- La cobertura y alcance de los distintos métodos utilizados, ante el uso parcial de AMA.
- Especificar el uso de seguros asociados a coberturas de riesgo operativo.

1.3. Normativa NPB4-50 para la gestión del riesgo operacional en El Salvador

En la actualidad El Salvador se encuentra regulado de acuerdo a las normativas del Banco central de Reserva (BCR). Por lo tanto, las instituciones financieras nacionales abordan los riesgos (incluido Riesgo Operacional) de acuerdo a la normatividad nacional NPB4-47 ² y extranjera NPB4-49. ³ Las cuales, tienen lineamientos normativos para una conveniente gestión de riesgos, guiándose a través del regulador internacional de Basilea. Así para los diferentes tipos de riesgos, se han emitido normativas prudenciales poseyendo mecanismos para la mitigación y administración de riesgos por parte de la Superintendencia del Sistema Financiero, entre las principales se pueden mencionar la NPB4-50 que son un conjunto de normas para la gestión del riesgo operacional en las entidades financieras que se dan a continuación:

Toda entidad debe gestionar las diferentes causas generadoras del riesgo operacional, siendo estos los siguientes según Art. 3 normativa NPB4-50:

- **Procesos:** Al respaldar la optimización de los recursos y la estandarización de las

²NPB4-47 Norma sobre la Gestión Integral de Riesgos en Entidades Financieras en la cual se establecen elementos mínimos para la gestión integral de riesgos de acuerdo a la naturaleza y escala de las actividades del Banco

³NPB4-49 Normas para la Gestión del Riesgo Operacional de las Entidades Financieras cuyo objetivo es el de proporcionar lineamientos mínimos para una adecuada gestión del riesgo operacional y criterios para la adopción de políticas y procedimientos relacionados con el desarrollo de metodologías para la gestión del riesgo, acordes con la naturaleza, tamaño, perfil de riesgo de las entidades y volumen de sus operaciones.

actividades, las entidades deben incluir procesos de documentación de información actualizadas permanentemente.

- **Personas:** Las entidades deben establecer políticas, procesos y procedimientos para una adecuada planificación y administración del capital humano, que incorpore el proceso de contratación, permanencia y desvinculación del personal.
- **Tecnología de información:** Todos los riesgos asociados a la tecnología de información deben gestionarse, los relacionados a fallas en la seguridad y continuidad operativa de los sistemas informáticos, los errores en el desarrollo e implementación de dichos sistemas y la compatibilidad e integración de los mismos, así como la calidad de la información y una adecuada financiación en tecnología.
- **Acontecimientos externos:** Las entidades deben gestionar los riesgos asociados a acontecimientos externos que escapan al control de la compañía que pudiesen alterar el desarrollo normal de sus actividades, relacionados a fallas en los servicios críticos provistos por terceros, contingencias legales, desastres naturales y atentados, entre otros.

Según Art. 5 normativa NPB4-50. Las entidades deben establecer una estructura organizacional o funcional adecuada a su modelo de negocios y apropiada, que especifique funciones y responsabilidades, así como los niveles de dependencia e interrelación que le corresponden a cada una de las áreas involucradas en la realización de actividades referentes al riesgo operacional.

Junta Directiva aprobará todos estos aspectos que deben considerarse en el manual respectivo.

Art. 6 Junta Directiva: Es el órgano directamente responsable de la gestión del riesgo operacional, por lo que debe:

- Asegurarse que la Alta Gerencia cumpla con los manuales, políticas y estrategias para gestionar el riesgo operacional.

- Velar por el buen mantenimiento y funcionamiento efectivo del riesgo operacional, asignando y aprobando recursos necesarios para su implementación.
- Asegurarse de la existencia y el cumplimiento del esquema de gestión del riesgo operacional verificado por medio de Auditoría Interna.

Art. 7 Comité de Riesgos: Es el encargado de velar por una sana gestión del riesgo operacional de la entidad, por lo que debe:

- Evaluar, revisar y proponer las estrategias, políticas, manuales y planes de continuidad del negocio de gestión del riesgo operacional para aprobación de Junta Directiva.
- Vigilar la gestión del riesgo operacional y que los eventos de riesgos sean identificados, evaluados, mitigados y monitoreados de manera correcta.
- En caso de que existan desviaciones con respecto al nivel de tolerancia al riesgo operacional debe proponer los mecanismos para llevar a cabo las acciones correctivas demandadas. .
- Aprobar las metodologías de gestión del riesgo operacional.
- Respalda la labor de la Unidad de Gestión de Riesgos en la ejecución de la gestión de riesgo operacional.

Según el Art. 8 de la normativa NPB4-50 la Alta Gerencia: Es responsable de que la gestión del riesgo operacional se aplique, sus estrategias, políticas, manuales y planes de continuidad del negocio, autorizados por la Junta Directiva.

Art. 9 Unidad de Riesgos: Designada para implementar la metodología de gestión de riesgo operacional, por lo que deberá:

- Diseñar y someter a la aprobación de la Junta Directiva, a través del Comité de Riesgos, las estrategias, políticas, manuales y planes de continuidad del negocio para la gestión del riesgo operacional.
- Diseñar y someter a la aprobación del Comité de Riesgos la metodología para la gestión del riesgo operacional.

- Apoyar y asistir a las demás unidades de gestión para la implementación de la metodología del riesgo operacional.
- Proporciona información u opinión sobre posibles riesgos a los que se exponen con nuevos productos o servicios previo a lanzamiento.
- El Comité de Riesgos informa de manera detallada las faltas en los diferentes factores de riesgo operacional a la Junta Directiva.

Art. 10.- Auditoría Interna: Debe evaluar el cumplimiento de los procedimientos utilizados para la gestión del riesgo operacional y dar seguimiento al cumplimiento del plan de trabajo de la Unidad de Riesgo, lo que involucra todo lo dispuesto en las presentes Normas.

Art. 11-Etapas de la gestión: Para gestionar el riesgo operacional la entidad debe contar con un proceso continuo de documentación para:

- **Identificación:** Establecer procesos de identificación de todos sus eventos de riesgos operacionales, apoyándose en la Tabla 2-A del Anexo, de tal forma que les permita establecer su mapa de riesgo operacional.
- **Medición:** Las entidades deben estimar o cuantificar el riesgo operacional considerando la probabilidad de ocurrencia y el impacto económico en los resultados de la entidad.
- **Control y mitigación:** Cuando se materializan los eventos adversos de riesgo operacional, la institución deberá aplicar mecanismos de cobertura
- **Monitoreo y comunicación:** Las entidades deben dar seguimiento sistemático y oportuno a los eventos de riesgo operacional, así como a los resultados de las acciones adoptadas.

Todo seguimiento deberá tener una revisión periódica y suficiente información para apoyar los procesos de toma de decisiones y realizar monitoreos permanentes de su mapa de riesgos y exposición a pérdidas por riesgo operacional, debiendo cumplir como mínimo con los siguientes aspectos:

- Todo proceso a Desarrollar debe ser efectivo y permanente que permita la rápida detección y corrección de las deficiencias.
- Cada control interno establecido debe de funcionar de forma efectiva y eficiente.
- Garantizar que los riesgos residuales se encuentren bajo el nivel de tolerancia establecido por cada entidad.

Toda institución financiera requiere de información según el Capítulo 5 de la normativa NPB4-50, que menciona lo siguiente:

Art. 18 Bases de datos: Las entidades deben conformar una base de datos centralizada que permita registrar, ordenar, clasificar y disponer de información sobre los eventos de riesgo operacional; que se detallan en la Tabla 6-A del anexo.

Art. 19. Informe anual: Las entidades deben presentar a la Superintendencia, un informe relativo a las acciones realizadas para el control y la evaluación del riesgo operacional. El informe deberá contener como mínimo lo siguiente:

- La definición de la estrategia utilizada para la gestión del riesgo operacional.
- El detalle de la metodología empleada para la gestión del riesgo operacional.
- Identificación y evaluación de los riesgos operacionales de eventos críticos ocurridos durante el año, por proceso y/o unidad de negocio y de apoyo; y el detalle de las medidas adoptadas para administrarlos.
- Detalle de los ejecutivos responsables de las actividades de control de riesgo de los eventos críticos ocurridos durante el año
- Plan de Actividades a desarrollar por la Unidad de Riesgos, relacionado con la gestión del riesgo operacional.

Art. 20. Remisión de base de datos: Las entidades deben enviar a la Superintendencia, de forma anual los eventos contenidos en las “Bases de datos” a que hacen mención las presentes Normas.

Art. 21. Remisión de Manual de Gestión de Riesgo Operacional: Las entidades deberán remitir en forma electrónica a la Superintendencia, el Manual y sus cambios

si es que existen sobre la Gestión del Riesgo Operacional.

Según el Banco Central de Reserva de El Salvador Los sujetos obligados al cumplimiento de las presentes normas para la gestión del riesgo operacional para las entidades financieras son las siguientes:

- Los bancos constituidos en El Salvador, sus oficinas en el extranjero y sus subsidiarias.
- Las sucursales y oficinas de bancos extranjeros establecidos en el país en lo pertinente.
- Las sociedades de seguros, sus sucursales en el extranjero
- Las sucursales de sociedades de seguros extranjeras establecidas en el país en lo pertinente.
- Los bancos cooperativos, las sociedades de ahorro y crédito y las federaciones reguladas por la Ley de Bancos Cooperativos y Sociedades de Ahorro y Crédito.
- El Banco Hipotecario de El Salvador, S.A.
- El Fondo Social para la Vivienda y el Fondo Nacional de Vivienda Popular, en lo que no contradiga a sus leyes de creación ni a lo dispuesto por la Corte de Cuentas.
- El Banco de Fomento Agropecuario, en lo que no contradiga a su ley de creación ni a lo dispuesto por la Corte de Cuentas.
- El Banco de Desarrollo de El Salvador, en lo que no contradiga a su ley de creación ni a lo dispuesto por la Corte de Cuentas.

1.4. Métodos según el regulador internacional.

Se presenta de forma detallada los tres enfoques para calcular el cargo de capital por riesgo operacional conforme el Pilar II:

- **Método del Indicador Básico (BIA) y los ingresos brutos.**

Es una de las técnicas menos complejas para medir el riesgo operacional propuesto por el comité, el cual se recomienda para entidades financieras pequeñas con operaciones no muy dificultosas.

En el método BIA, la variable representativa de la exposición a riesgo operacional es el monto de los denominados “ingresos brutos”;

- **Los ingresos brutos:**

El Nuevo Marco de Capital⁴ dice que, los ingresos brutos son los ingresos netos por concepto de intereses más otros ingresos, donde:

- Los ingresos netos de intereses corresponden a la diferencia entre los ingresos por intereses (por ejemplo, los que se obtienen de préstamos y créditos) y los gastos por intereses (por ejemplo, el interés que se paga por los depósitos).
- Esta medida debe ser bruta de cualquier provisión (por ejemplo, por impago de intereses) ya que éstas aluden al concepto de riesgo de crédito. También excluye gastos de explotación, Se deberá excluir las partidas extraordinarias o excepcionales (por ejemplo, venta de filiales y pagos por pleitos), así como los ingresos derivados de las actividades de seguro.

- **Cálculo del cargo de capital:**

Se basa en utilizar un factor, α y fijado actualmente en 15 %, sobre el promedio de los ingresos brutos anuales positivos de los tres últimos años. Donde, se elimina los ingresos brutos que presentan valores menores o igual a cero, tanto del numerador como del denominador. Su expresión matemática es:

⁴Ver BCBS(2006a).

$$K_{OR-BIA} = \alpha \cdot \frac{\sum_{t=1}^3 \max[IB_t ; 0]}{n} \quad (1)$$

Donde:

K_{OR-BIA} : Requerimientos de capital por riesgo operacional, según BIA.

α : Factor fijo de 15 %

IB_t : Ingreso bruto anual del año t anterior

n = Número de años, dentro de los tres últimos, con ingresos brutos anuales positivos.

El método BIA según el comité es más bien un punto de partida para la estimación del riesgo operacional. Por lo cual, se recomienda utilizar métodos más avanzados si presentan una importante exposición al riesgo.

■ Método Estándar (TSA)

Cada una de las ocho líneas de negocios indicadas en la Tabla N° 1, son las que TSA debe calcular. Las definiciones propuestas por el Comité se presentan en La Tabla 4-A del Anexo donde se muestra la relación que poseen las ocho líneas de negocio con el segundo y tercer nivel.

Cálculo del cargo de capital por TSA:

Estructuralmente el método Estándar es muy parecido a la del BIA, usa una segmentación de los ingresos brutos en función de las ocho líneas de negocio (detalladas en la tabla 4-A del Anexo). El TSA utiliza el promedio simple de los requerimientos de capital por riesgo operacional en cada uno de los tres últimos años; donde el requerimiento en cada año corresponde a la suma ponderada de los ingresos brutos de cada una de las ocho líneas de negocio, multiplicada por un factor fijo asociado a cada una de ellas (denominado β_j). Si la carga de capital en un año resulta negativa, se considera igual a cero. En términos matemáticos se tiene:

$$K_{OR-TSA} = \frac{\sum_{t=1}^3 \max \left[\sum_{j=1}^8 (IB_{j,t} ; \cdot \beta_j) ; 0 \right]}{3} \quad (2)$$

Donde:

K_{OR-TSA} : Requerimientos de capital por riesgo operacional, según TSA.

β_j : Factor fijo para la línea de negocio j-ésima.

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

En la tabla 1.1 se presentan los factores β_j propuestos por el Comité.

tabla 1.1 Factor fijo β_j del TSA

Línea de Negocio		Factor fijo
j	Nombre	
1	Finanzas empresariales o corporativas	18 %
2	Negociación y ventas	18 %
3	Pagos y liquidación	18 %
4	Servicios de agencia	15 %
5	Administración de activos	12 %
6	Intermediación minorista	12 %
7	Banca minorista	12 %
8	Banca comercial	15 %

Fuente: Elaboración propia en base a (BCBS 2006a)

Conjunto de requerimientos mínimos y opcionales que los bancos deben cumplir; los principales son los siguientes⁵:

Criterios Mínimos:

- El monitoreo del marco de gestión de riesgo operacional será llevado a cabo por la alta administración y director de la institución.
- El marco de administración del riesgo operacional deberá ser conceptualmente sólido e integral.

⁵ver BCBS (2006a).

- Suficiente asignación de recursos para utilizar el método en las líneas de negocio más importantes, de la misma manera que en los ámbitos de control, y auditoría.
- Las políticas y criterios utilizados para la estimación de los ingresos brutos por línea de negocio y actividad concernientes deben ser documentadas.

Criterios Opcionales:(Indicado principalmente a bancos internacionalmente activos):

- Poner en práctica los sistemas de medición del riesgo operacional a través de una unidad independiente que lo gestionen de manera completa, así como del diseño y desarrollo del mismo.
 - El riesgo operacional deberá tener un sistema de evaluación interno, el cual analice detalladamente la información disponible por línea de negocio, e integrándolo de manera precisa a cada uno de los procesos que se utilizan para administrar el riesgo.
 - La exposición al riesgo operacional deberá ser reportado de manera periódica, a la administración correspondiente y a la unidad responsable de cada línea de negocio.
 - La auditoría interna y externa deberá hacer, evaluaciones y validaciones detalladas de los procesos de gestión del riesgo operacional, de manera periódica.
- **Método Estándar Alternativo (ASA)**

De manera formal, el cargo de capital por riesgo operacional según ASA, puede presentarse como ⁶:

$$K_{OR-ASA} = \frac{\sum_{t=1}^3 \max \left[\sum_{j=1}^8 (IR_{j,t} \cdot F_j); 0 \right]}{3} \quad (3)$$

$$IR_{j,t} = \begin{cases} IB_{j,t}; & \text{para } j = 1, \dots, 6 \\ LA_{j,t}; & \text{para } j = 7 \text{ y } 8 \end{cases}$$

⁶Utilización de la nomenclatura presentada en la tabla 4-A del anexo para la enumeración de las líneas de negocio

$$F_j = \begin{cases} \beta_j; & \text{para } j = 1, \dots, 6 \\ (\beta_j \cdot m); & \text{para } j = 7 \text{ y } 8 \end{cases}$$

Donde:

K_{OR-ASA} : Requerimientos de capital por riesgo operacional.

$IR_{j,t}$: Indicador relevante anual de la línea de negocio j-ésima en el año t

$IB_{j,t}$: Ingreso bruto anual de la línea de negocio j-ésima en el año t (banca no tradicional)

$LA_{j,t}$: Préstamos y anticipos pendientes sin ponderación de riesgo de crédito y brutos de provisiones de la línea de negocio j-ésima en el año t.(banca tradicional).

F_j : Factor fijo para la línea de negocio j-ésima

β_j : Factor fijo para la línea de negocio j-ésima (banca tradicional y no tradicional), igual al TSA

m : Factor de ajuste fijo igual a 3,5%, para las líneas de negocio de banca comercial y minorista (banca tradicional).

Surgen dos diferencias en el método ASA en relación al TSA, que se manifiestan por la variable representativa de la exposición al riesgo operacional en las líneas de negocio de la Banca Comercial y de la Banca Minorista que constituyen lo que se denomina como banca tradicional.

Opciones de cálculo en ASA:

Las tres opciones existentes del cálculo para el método ASA, es dejada a discreción nacional su utilización según el comité:

- **Primera opción:** Se emplea un factor β de 15% para las líneas de negocio tradicionales y de los factores beta originales para las líneas restantes. Se recomienda esta alternativa de cálculo cuando no se mantiene una metodología lo suficientemente depurada para la distribución correcta de sus préstamos y anticipos entre las líneas de negocio tradicionales en la institución financiera.
- **Segunda opción:** Se emplea un factor β de 15% para la banca comercial; de 12% para la banca minorista; y del 18% para las restantes seis líneas de negocio. Esta alternativa de cálculo es recomendable para las instituciones financieras que su fuerte

está en el negocio de la banca tradicional y que pueden manejar la distribución correcta de sus préstamos entre las dos líneas de banca tradicional.

- **Tercera opción:** Se emplea un factor beta de 15 % para las líneas de negocio tradicionales y de un 18 % para las no tradicionales. Esta alternativa resulta apropiada cuando solo se puede estimar los ingresos brutos de manera conjunta para la banca no tradicional y, a la vez, no son capaces de distribuir correctamente los préstamos entre la banca comercial y la minorista.

- **Método de medición avanzada (AMA)**

Toda entidad financiera que tenga como objetivo implementar un modelo AMA, está obligada a seguir los siguientes requisitos según el Comité de Basilea:

1. *Según el funcionamiento de junta directiva o la gerencia, estarán implicadas en el sistema de administración de riesgo operativo*
2. *Las entidades financieras, deben tener un sistema de administración, el cual es conceptualmente implementado con integridad.*
3. *Debe contar con los recursos necesarios para el uso del enfoque en las líneas de negocio, así como los procedimientos de control y auditoría.*

Se especifican tres metodologías que se encuentran dentro de los modelos AMA: enfoque de medición interna (Internal Measurement Approach [IMA]), enfoque de distribución de pérdidas (Loss Distribution Approach [LDA]) y cuadros de mando (scorecards). Nuestra necesidad fundamental es calcular medidas de riesgo para estimar un capital regulatorio basado en un valor en riesgo (VaR) al 99,9 % para un período de un año. Basilea II reconoce siete tipos de riesgos que se compone de tres niveles.

En el primer nivel se encuentran:

1. Fraude interno.

2. Fraude externo.
3. Relaciones laborales y seguridad en el puesto de trabajo.
4. Incidencias en el negocio y fallos en los sistemas.
5. Daños a activos materiales.
6. Clientes, productos y prácticas empresariales.
7. Ejecución, entrega y gestión de procesos.

Se puede consultar en las Tablas 2-A y 3-A del Anexo las definiciones y descripciones publicadas por el Comité para cada categoría y por cada nivel.

Primera segmentación para las líneas de negocios:

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.

La Tabla 4-A del Anexo presenta una descripción general de cada uno de los niveles que se consideraron en el Nuevo Marco de Capital.

El fundamento de los modelos AMA en una entidad financiera es el cálculo interno de la frecuencia y la severidad (monto de pérdida) por un evento de riesgo operativo. Existe

una serie de condiciones para la aplicación del cargo de capital para los modelos AMA, los cuales pueden complementarse por los supervisores, a continuación la categorización según el Comité:

1. *Criterios Generales:* Semejante a los cinco criterios mínimos proporcionados en TSA.
2. *Criterios Cualitativos:* Semejante a todos los criterios opcionales proporcionados en TSA.
3. *Criterios Cuantitativos:*
 - a) *Solidez.* Todo método a utilizar en una institución bancaria debe demostrarse que permite identificar y representar adecuadamente los eventos extremos de pérdidas por riesgo operacional, tanto en severidad como en frecuencia.
 - b) *Fuentes relevantes de información de pérdida.* Bajo el enfoque AMA existen potenciales pérdidas por riesgo operativo. Dichas estimaciones están sujetas a las siguientes condiciones:
 - 1) Datos internos.
 - 2) Datos externos.
 - 3) Análisis de escenarios.
 - 4) Entorno del negocio y factores de control interno.

En la Tabla 5-A del Anexo se especifican criterios mínimos para AMA que los bancos deben cumplir para estimar sus requerimientos de capital por riesgo operacional según Basilea II.

Fuentes de datos de pérdidas para AMA y algunas prácticas de la industria:

Descripción breve de las fuentes de datos y algunas prácticas recomendadas.

■ Datos internos.

Fundamento para gestionar y cuantificar el riesgo operacional basado en AMA. No obstante, presentan cuatro problemas fundamentales.

1. Lo primero, y más importante, es lo costoso y la complejidad de la implantación y poblamiento de una base de datos que sea lo suficientemente representativa y con una cantidad necesaria de observaciones.

2. Impedimento o dificultad de obtención de estimaciones adecuadas debido a los pocos frecuentes y baja disponibilidad de observaciones de eventos extremos y; que conducen a problema de carácter estadístico, debido a la utilidad de la información utilizada para las distribuciones de probabilidad de pérdidas, especialmente en las colas de éstas.
3. La representación de los factores de riesgos actuales y futuros y el perfil de riesgo de una entidad, es dada en función de la capacidad de los datos internos.
4. Por último, para que la determinación metódica de montos mínimos no resulte compleja, el supervisor tiene que explicitar el umbral mínimo para cada línea de negocio sobre el cual se consideran relevantes las pérdidas por riesgo operacional.

Por lo tanto, los datos internos tienen la capacidad de representar integralmente el historial de pérdidas de la institución, además las bases de datos tiene que ser construidas de tal forma que permitan siempre plasmar la mayor cantidad de información (tanto cuantitativa como cualitativa), haciendo uso de estándares que estén dentro de modelos (ante todo estadísticos) adecuados para AMA.

- Los datos externos

Debido a que resultan insuficientes los datos de pérdidas para modelar, severidad y frecuencia de dichos datos, al que se encuentra propensa una entidad bancaria. El simple hecho que no aparezca en el historial, no significa que ésta no se encuentre expuesta a ellas. Por esto, el Comité establece que los datos de pérdidas internos de cada entidad se terminen de completar con datos de pérdidas externos asociados a entidades financieras análogas, cuya finalidad es el de obtener información relevante, esencialmente, de pérdidas de alta severidad y baja frecuencia.

Reconociendo que al adoptar datos de pérdidas de bases externas, estas nunca estarán libres de problemas y desafíos importantes. El primero de ellos es la relación con el método de selección de pérdidas externas relevantes, en dimensiones como:

- Los datos de pérdidas provenientes de entidades externas deben ser seleccionados

de manera conveniente, con relativa homogeneidad en el perfil de riesgos y en el tipo de negocio.

- Es importante establecer fechas adecuadas para considerar la toma de datos externos, ya que datos externos muy antiguos pueden resultar poco significativos para la entidad
 - así como la ponderación de los datos externos en relación a los datos internos; entre otros.
- Análisis de escenarios

Según opinión de expertos⁷, las instituciones tienen la posibilidad de estar expuestas o exponerse en un futuro cercano a los factores de riesgo, por tanto el análisis de escenarios resulta ser una manera metódica de obtener una aproximación de los mismos.

Una de sus utilidades consiste en complementar la información de datos externos e internos, ante todo, en eventos de alta severidad y baja ocurrencia. Permitiendo la corrección en parte, de la poca representatividad de los datos internos en el actual y futuro perfil de riesgo operacional del banco, así mismo el completar los datos de eventos extremos obtenidos a través de fuentes externas.

Según el “Scenario-based AMA Working Group”⁸ (2003), existen seis etapas en la construcción de escenarios relevantes para AMA:

1. Generación de escenarios plausibles y apropiados para riesgo operacional.
2. Cálculo de frecuencias y severidades de los escenarios generados.

⁷Tales como: administradores de las líneas de negocios, encargados en riesgos financieros y operacionales, encargados de estudios, consultores externos etc.

⁸Grupo de trabajo focalizado en modelos de escenarios para AMA, constituido por bancos internacionales (entre ellos: Barclays Bank, Credit Suisse First Boston, Dresdner Bank, The Royal Bank, entre otros).

3. Validación de los escenarios en relación a eventos históricos, estado actual y proyecciones del perfil de riesgo de la entidad.
4. Determinación de los parámetros de los modelos (por ejemplo: parámetros de distribuciones de probabilidad)
5. Aplicación integrada de los escenarios y modelos.
6. Estimación de los impactos de capital.

Como toda fuente de información, pese a sus utilidades, tiene obstáculos y debilidades entre los cuales se tienen: subjetividad de los criterios expertos y de sus resultados; la difusa valoración de aspectos cualitativos; y la validación de los resultados de posibles eventos futuros⁹.

- Factores del entorno y de control interno (FECI)

Una institución bancaria puede evaluar potenciales riesgos operacionales futuros y la vinculación que tiene con el medio externo (económico, político, geográfico, etc.) e interno (especialmente en el ámbito de su control de procesos) por medio del análisis de escenarios, la incorporación del análisis de factores del entorno y de control interno dentro de la metodología de AMA. Generalmente el análisis FECI con frecuencia se fundamenta en juicios expertos y en muchas ocasiones forma parte del análisis de escenarios, debido a lo cual, sus beneficios y desafíos resultan semejantes.

Según el documento (BCBS, 2006b) expuesto por el Comité sobre prácticas y elementos claves contemplados en AMA, todo proceso debiera ser flexible para poder aplicar nuevas actividades futuras del banco, así como cambios en los sistemas de control e incrementos en los volúmenes de información. En ese documento sostiene que, generalmente los bancos, incluyen análisis de FECI en menor medida que las otras tres fuentes de datos, ya que lo consideran como el más desafiante pues, a pesar del desa-

⁹Completas revisiones sobre el análisis de escenarios para AMA, pueden ser consultadas en Scenario-based AMA working Group (2003), ITWG (2003), McConnell y Davies (2006), Aue y Kalkbrener (2007) y Watchorn (2007).

rollo de metodologías internas para capturar los FECl, éstas son limitadas y recientes.

Criterios y reconocimiento de seguros externos en AMA

Los bancos que utilicen AMA según el Nuevo Marco y mantengan seguros externos sobre pérdidas asociadas a riesgo operacional determina que, podrán reconocer su efecto mitigador sobre los requerimientos de capital por riesgo operacional. No obstante, en Basilea II el reconocimiento de la cobertura por seguros se limita a un máximo del 20 % del requerimiento total por riesgo operacional¹⁰

Basilea II exige fundamentalmente, para el reconocimiento de los seguros en AMA, lo siguiente:

- El proveedor del seguro debe poseer una clasificación internacional mínima de A y ser independiente del consorcio bancario. Existe la posibilidad de que una sociedad del consorcio bancario efectúe la intermediación del aseguramiento, el asegurador o reasegurador final siempre deberá ser un tercero.
- La póliza del seguro ¹¹ deberá tener una caducidad residual mayor o igual a un año. No obstante, los bancos podrán considerar seguros con plazos residuales menores a un año pero sobre 90 días, sólo si efectúan descuentos a la cobertura en función del vencimiento residual.

¹⁰Nieto (2005) expone que el conservadurismo en los límites de mitigación en AMA ante la aplicación de seguros por pérdidas asociadas al riesgo operacional; el no reconocimiento de otros instrumentos de mitigación distintos de seguros (tales como: derivados u otro tipo de instrumentos que puedan surgir en el futuro) y el impedimento de computar seguros provistos por sociedades del grupo bancario en el extranjero, constituyen una de las mayores críticas a AMA y al tratamiento del riesgo operacional en Basilea II.

¹¹Aparicio y Keskiner (2004) exponen algunos problemas con las pólizas de seguros, que pueden validar el conservadurismo de Basilea II en este ámbito. El principal inconveniente con los seguros por riesgo operacional, consiste en que este riesgo abarca un gran número de eventos y su concepto puede resultar amplio, mientras que los aseguradores evitan o excluyen de las pólizas riesgos que no se encuentren bien definidos y/o delimitados; aspectos que pueden llevar a una baja cobertura de los riesgos operacionales mediante seguros

- Por ultimo, la póliza no podrá contener exclusiones ni limitaciones por acciones reguladoras.

Utilización parcial de AMA

Según Basilea II es posible implementar AMA de manera parcial en algunos ámbitos del negocio del banco, y los métodos BIA, TSA o ASA en el resto de actividades. El Comité ha propuesto los siguientes requisitos, Para el uso parcial de AMA:

- Los métodos de cuantificación de riesgo operacional deben tener la capacidad de cubrir toda actividad bancaria o línea de negocio clasificada, cumpliendo cada una de ellas con sus requisitos mínimos.
- Las actividades que son importantes para el banco deberán ser cubiertas por AMA, así mismo tiene que ser planificado con fecha la adopción completa de MA.
- Detalle completo de las operaciones cubiertas por AMA, en bases a líneas de negocio, estructuras jurídicas, ubicaciones geográficas, entre otras cosas.

1.5. Principales modelos AMA aplicados en la industria.

El Comité hizo las primeras propuestas hacia modelos internos de estimación de capital por riesgo operacional a través de un enfoque denominado IMA (abreviación de “internal measurement approach”) . El que no avanzó debido a la estandarización y factores cuantitativos que debían ser definidos por cada supervisor

Finalmente, el Comité decidió por conceptualizar el método AMA, lo que ha permitido la adopción del mismo utilizando metodologías más avanzadas, complejas y flexibles; siendo IMA un importante punto de partida. Una breve revisión de los métodos más comúnmente utilizados para AMA, se visualizarán a continuación.

Métodos de distribución de pérdidas (LDA)

Según estudios, ¹² el método de distribución de pérdidas (LDA) se considera como uno de los enfoques más promisorios y más utilizados por la industria y la academia. Que básicamente, consiste en estimar la distribución de pérdidas por riesgo operacional, haciendo uso de técnicas estadísticas sobre los datos internos y externos. Los pasos a seguir de manera general para desarrollar un modelo LDA ¹³ son:

- Las distribuciones de frecuencia y de severidad de los eventos de pérdidas, para cada combinación línea de negocio/tipo de pérdida (LN/TP) del banco deberán realizarse de manera separada.
- Las distribuciones de severidad y de frecuencia en cada combinación LN/TP tienen que ajustarse.
- La distribución de pérdidas por riesgo operacional de la institución, tendrá que establecerse de manera global.

El modelamiento bajo el enfoque LDA, presenta diversos retos cuando se trata de la dependencia y correlación entre los distintos elementos constitutivos. Existen al menos dos categorías de dependencia, según (Aue y Kalkbrener, 2007):

1. La dependencia dentro de una combinación LN /TP, bajo la cual existen al menos las siguientes dimensiones: i) la dependencia entre los eventos de pérdida en una misma combinación LN/TP, ii) la dependencia entre la distribución de frecuencias p_{ij} y la distribución de severidad F_{ij} en una misma LN/TP, y iii) la dependencia entre las severidades de distintos eventos de pérdida asociados a una misma LN/TP.
2. La dependencia entre combinaciones distintas de LN/TP, principalmente en aspectos como: dependencia entre distribuciones de frecuencia de distintas LN/TP; dependencia entre distribuciones de severidad entre distintas LN/TP; y la dependencia entre las

¹²Entre ellos: Frachot, Georges y Roncalli (2001); Nyström y Skoglund (2002); ITWG (2003); Aparicio y Keskiner (2004); BCRA (2006); Menéndez y Suárez (2006); Kalyvas et.al (2006); Aue y Kalkbrener (2007); y Jobst (2007a y 2007b).

¹³Basado en los trabajos de: BCBS (2001b); Frachot, Georges y Roncalli (2001); Nyström y Skoglund (2002); ITWG (2003); Aparicio y Keskiner (2004); BCRA (2006); Menéndez y Suárez (2006); Navarrete (2006); Fofa (2006); Kalyvas et.al (2006) y Aue y Kalkbrener (2007).

distribuciones de pérdidas totales entre las distintas LN/TP, especialmente al efectuar la agregación de las pérdidas a nivel de toda la institución.

Se ha expuesto según El Comité (BCBS, 2001c) que la carga de capital total por riesgo operacional bajo AMA puede ser fundamentada en la suma simple del “Valor en riesgo” (OpVaR) al 99,9% de cada combinación LN/TP (figurando la existencia de una perfecta correlación entre éstas), es decir:

$$K_{AMA-LDA} = \sum_{j=1}^8 \sum_{i=1}^7 VaR_{99,9\%}(L_{ij}) \quad (4)$$

Donde:

$K_{AMA-LDA}$: carga de capital por riesgo operacional bajo AMA y el enfoque LDA.

$VaR_{99,9\%}(L_{ij})$: Valor en Riesgo en el percentil 99.9 para la combinación línea de negocio j / tipo de evento i.

Sin embargo, se determina de acuerdo al Comité que puedan utilizarse métodos que permitan computar la correlación entre las combinaciones LN/TP de forma eficiente.

Capítulo 2

2. Medición del riesgo operativo con enfoque actuarial

Los modelos de mediciones avanzados se originan en la teoría de seguros. Son llamados “Métodos actuariales” o también referidos como “Métodos estadísticos”. En su gran mayoría estiman una función de probabilidad para el riesgo operacional y, a partir de ella, deducen una medida de la carga de capital.

Los modelos de medición avanzada (AMA). Utilizada procedimientos estándar aplicados en dicho campo, que se basan en, estimar una función de probabilidad para el riesgo operacional y, en función de ella, deducen una medida de la carga de capital. Variando en complejidad. Algunos se restringen a ajustar una curva para agregar las pérdidas experimentadas y esa curva es usada para la estimación de percentiles ; En cambio, otros utilizan la frecuencia y severidad de los eventos de pérdidas, ajustándolas a distribuciones de probabilidad separadas, que más tarde son modeladas estocásticamente para producir una función de probabilidad combinada que se usa para deducir medidas de capital.

Dentro de los modelos AMA se describen tres metodologías: Enfoque de medición interna (Internal Measurement Approach [IMA]), cuadros de mando y enfoque de distribución de pérdida (Loss Distribution Approach [LDA]). Este capítulo se centra en los modelos LDA para calcular riesgo operativo y la teoría que sustenta a dicho método.

Algunos conceptos significativos y de utilidad para el desarrollo del contenido son:

- **Ínfimo de un conjunto:**

Se dice que un conjunto A está acotado inferiormente si y sólo si existe un número real c que es menor o igual que cualquier elemento de A . La mayor de las cotas inferiores se denomina ínfimo de A , y se denota $\inf(A)$.

- **Cola de una distribución:**

Sea X una variable aleatoria no negativa con función de distribución F . La cola de la distribución F se define como: $\bar{F}(x) = 1 - F(x)$, para $x > 0$.

- **Convolución:**

Si X_1, X_2, \dots, X_n son variables aleatorias idénticamente distribuidas, con función de distribución F , la n -ésima convolución de la distribución F , se denota por F^{*n} , o por F^{n*} y está dada por:

$$F^{*n}(x) = Pr(X_1 + X_2 + \dots + X_n < x).$$

■ **Distribución sub-exponencial:**

Una función de distribución F con soporte $(0, \infty)$ es sub-exponencial, si para todo

$$n \geq 2 \text{ se cumple que } \lim_{x \rightarrow \infty} \frac{F^{*n}(x)}{F(x)} = 0$$

o en forma equivalente se cumple que:

$$\lim_{x \rightarrow \infty} \frac{Pr(X_1 + \dots + X_n > x)}{Pr(\max(X_1, \dots, X_n) > x)} = 1,$$

Definición 2.1. Fractales:

- “Los Fractales son los objetos matemáticos que conforman la Teoría del Caos.”
- “Un fractal es un objeto que su dimensión de Hausdorff-Besicovich es mayor que su dimensión topológica.”
- “Un objeto fractal es aquel que tiene autosemejanza y su dimensión es racional.”
- “ Los Fractales son objetos cuya dimensión es un número racional.”

Definición 2.2. Dimensión Fractal:

“En un sentido genérico es un número que sirve para cuantificar el grado de irregularidad y fragmentación de un conjunto geométrico o de un objeto natural. La dimensión fractal no es necesariamente entera”

2.1. Modelos de medición de riesgo operativo.

De acuerdo con la Superintendencia Financiera en su Circular 041 del 2007. En el punto 3.2.4.3 de la misma se exige que la unidad de riesgo operativo de las entidades desarrolle los modelos de medición del riesgo operativo; para los cuales se les exigen bases de datos de pérdida en un intervalo de 3 a 5 años como mínimo (debido a su poca frecuencia, los períodos cortos de dichos registros no generarían una estimación confiable del riesgo).

2.2. Métodos de Medición Avanzados (AMA-LDA.)

Los métodos que se presentan a continuación hacen uso de bases de datos, donde se capturan los eventos de riesgo.

- *Modelo Poisson-LDA*: Es una estándar LDA, donde $(N(t))_{t \geq 0}$ es un proceso de Poisson homogéneo con intensidad $\lambda > 0$, en particular:

$$P(N(t) = n) = p_t(n) = e^{-\lambda t} \frac{(\lambda t)^n}{n!}, \quad n \in N_0^{14}$$

enfoque de distribución de pérdida

- *La binomial-negativa-LDA*: es una estándar LDA, donde $(N(t))_{t \geq 0}$ está dado por un proceso binomial negativo que para $\beta, \gamma > 0$, satisface:

$$P(N(t) = n) = p_t(n) = \binom{\gamma + n - 1}{n} \left(\frac{\beta}{\beta + t} \right)^\gamma \left(\frac{t}{\beta + t} \right)^n, \quad n \in N_0$$

La distribución binomial negativa es una mezcla gamma de una distribución de Poisson, es decir, esta puede verse como una distribución de Poisson donde el parámetro de intensidad λ es una variable aleatoria que se distribuye gamma.

- *Modelo compuesto Poisson-subexponencial [SCP]*: Este es un modelo de pérdida agregada donde la distribución de la severidad es subexponencial y la distribución de las frecuencias sigue un proceso homogéneo de Poisson. Esto es:
 - *El proceso de severidad*: las severidades $(X_k)_{k \in N}$ son variables aleatorias positivas (iid) con función de distribución subexponencial que describen la magnitud de cada evento de pérdida.
 - *proceso de frecuencia*: el número $N(t)$ de eventos de pérdida en el intervalo de tiempo $[0, t]$ para $t \geq 0$ es aleatorio, donde $(N(t))_{t \geq 0}$ es un proceso homogéneo de Poisson con intensidad $\lambda > 0$:

$$P(N(t) = n) = p_t(n) = e^{-\lambda t} \frac{(\lambda t)^n}{n!}, \quad n \in N_0$$

¹⁴ N_0 denota el conjunto de los enteros no negativos.

- El proceso de severidad y el proceso de frecuencia se asumen independientes.
- *El proceso de pérdida agregada:* la pérdida agregada $S(t)$ al tiempo t constituye un proceso:

$$S(t) = \sum_{i=1}^{N(t)} X_i, \quad t \geq 0$$

- *Modelo Pareto-LDA:* Es un modelo estándar LDA dado en la Definición 3.1 con severidades $(X_k)_{k \in N}$ distribuidas según el modelo de Pareto, es decir, para parámetros $\xi, \theta > 0$:

$$F(x) = \left(1 + \frac{x}{\theta}\right)^{-\frac{1}{\xi}} \quad x > 0.$$

Como resultado del Teorema 3.2:

$$VaR_t(\alpha) \sim \theta \left(\frac{E(N(t))}{1 - \alpha} \right)^\xi, \quad \alpha \rightarrow 1 \quad (5)$$

En realidad, cualquier distribución de severidad que satisface $F(x) \sim \left(\frac{x}{\theta}\right)^{-\frac{1}{\xi}}$ cuando $x \rightarrow \infty$ se obtiene de la aproximación dada en (5).

FRACTALES Y FINANZAS:

La geometría fractal es una de las cosas más vistosas de la matemática muchas ramas de la ciencia se apoyan en ella por su ayuda a la comprensión de multitud de fenómenos y situaciones inexplicables según la geometría clásica.

Algunas de las muchas aplicaciones de la geometría fractal son las siguientes:

- *Movimiento de las finanzas.*
- *Vinculación existente entre finanzas y vulcanología.*
- *Análisis estructural y morfológicos en polímeros, etc.*

A continuación se presenta el siguiente método y para mayor profundización Ver: (Rivas Morales, Milton Arnoldo (2017) Estudio de la Geometría fractal con aplicaciones a finanzas y Vulcanología. Capítulo 2, Universidad de El Salvador.)

- *Estimación fractal dentro del enfoque de distribución de pérdida*

La estimación fractal, es un modelo que se basa en sistemas de funciones iteradas. Que nos permitirá conocer el valor de la Función de distribución en valores desconocidos y a partir de los datos, nos reflejará el comportamiento de éstos.

El objetivo principal en este método consiste, en encontrar la función de distribución que realice el mejor ajuste a los datos proporcionados y poder así encontrar Var-Operacional. La función de distribución se obtiene por medio del operador:

$$\hat{T}_N \mu(x) = \sum_{i=1}^N \frac{1}{N} \mu \left(\frac{x - \hat{q}_i}{\hat{q}_{i+1} - \hat{q}_i} \right)$$

Donde: La función $\mu \in F([0, 1])$

\hat{q}_i : cuantiles del conjunto de datos a aproximar

2.3. Distribución de frecuencia

El modelamiento de la frecuencia, implica la selección de una variable aleatoria $N(t)$ que representa el número de eventos de riesgo operacional por período, y que sigue una distribución de probabilidad $p_t(n) = P(N(t) = n)$

Implica que, dicha variable representa el número de eventos observados durante un período de tiempo establecido. Así, muchos autores muestran que la distribución de Poisson se ajusta a situaciones reales de riesgo operacional. Dentro de los cuales se pueden mencionar: Mariano Gonzalez (2004), Marcelo Cruz (2002), Pavel Shevchenko (2006) y Christopher Lee Marshall (2001). También se sugiere el uso de otras alternativas tales como la Binomial o la Binomial Negativa.

Los datos a utilizar serán los internos de pérdidas, debido a que reflejan más adecuadamente el perfil de riesgo de la institución. Asimismo, los requisitos para calibrar las distribuciones frecuencias, suelen ser más bajos que para calibrar las distribuciones de severidad, en particular si se utiliza la distribución de Poisson.

Para los modelos LDA, las distribuciones más utilizadas han sido la Poisson, y la binomial

negativa (Johnson et al. 1993), Klugman et al. (2004). Una opción para decidir, consiste en analizar la dispersión de la serie de tiempo empírica, a través de la comparación de la media y la varianza. Una distribución de Poisson se ajustará mejor, si la serie de tiempo es equidispersa (tiene media igual a la varianza). Si se presenta sobredispersión (media menor que varianza), se modela la frecuencia con una distribución binomial negativa; y en el caso de subdispersión (media mayor que varianza) se ajusta mediante una distribución binomial. Las pruebas de bondad de ajuste como la chi-cuadrado, son utilizadas debido a que los análisis de dispersión no suelen ser claros en relación a cuáles combinaciones media/varianza deben estimarse equidispersas.

En resumen, empleando las bases de datos de las cuales se disponen, el objetivo primordial es hallar la distribución que mejor describa las ocurrencias aleatorias de los eventos de pérdida, determinando la frecuencia de los eventos, y haciendo uso de métodos estadísticos para ajustar varias distribuciones sobre los datos de los eventos de pérdida.

2.4. Distribución de severidad

En esta etapa, se intenta hallar la distribución de probabilidad que mejor se ajuste a los datos observados y la estimación de sus parámetros. De manera que escritores como: Carrillo (2006), Christopher Lee Marshall (2001), etc. sugieren alternativas dentro de las cuales se postula, la distribución Lognormal o la de Weibull para modelar la severidad, aunque en la práctica no necesariamente se ajustan los datos de manera apropiada, de igual modo se puede recurrir a una combinación de distribuciones para variables aleatorias continuas.

Sea la variable aleatoria $(X_k)_{K \in N}$. Esta variable tendrá una función de distribución dada por: $F(x) = Pr(X_k \leq x)$

La distribución de severidad de pérdidas denota el tamaño de los montos de pérdidas producido por un evento dado. Modelar la severidad se vuelve más complejo que modelar la frecuencia, esto se debe a que los altos eventos de severidad suelen ser impredecibles. En relación con eso, se tienen tres clases de severidades operacionales que se deben tener en

cuenta:

- Baja severidad, alta frecuencia
- Alta severidad, baja frecuencia
- Severidad catastrófica, con ocurrencia casi nula.

Se deben tener en cuenta lo anterior, para la realización del ajuste de los datos de severidad operacional. Por consiguiente, el objetivo principal en esta etapa es optar por una distribución que sea capaz de representar todas las pérdidas que puedan ocurrir en un determinado período. Pueda que no baste un buen ajuste de los datos históricos, debido a la cantidad de pérdidas por riesgo operacional que no son reportadas, de ahí que no son registradas en la base de datos. Produciendo zozobra acerca de la severidad estimada por pérdidas operacionales. Por lo anterior, la selección de distribuciones que mejor se ajuste a la severidad de las pérdidas, puede ser el de elegir una distribución de cola pesada para representar esos posibles montos de pérdida, esperando que también considere pérdidas reales no tomados en cuenta en la base de datos.

Para las distribuciones de severidad, las familias de colas pesadas generalmente utilizadas en modelación de riesgo operacional se describen en la siguiente tabla:

Tabla N°2.1: Distribuciones de severidad más populares

Nombre	Función de distribución	Parámetros
Lognormal	$F(x) = \Phi\left(\frac{\ln x - \mu}{\sigma}\right)$	$\mu \in R, \sigma > 0$
Weibull	$F(x) = 1 - \exp\left(-\left(\frac{x}{\theta}\right)^{-r}\right)$	$\theta > 0, 0 < r < 1$
Pareto	$F(x) = 1 - \left(1 + \frac{x}{\theta}\right)^{-\xi}$	$\xi, \theta > 0$

Φ es la función de distribución normal estándar. Fuente: Elaboración propia tomado de Klüppelberg y Böcker (2005).

Para ajustar la severidad de las pérdidas, uno de los criterios para la selección de la mejor distribución, podría ser el sobrestimar los eventos de riesgos extremos, optando por la distribución que mejor se ajuste a la cola superior.

Estudios demuestran que las distribuciones Lognormal y Weibull se ajustan razonablemente a datos de pérdidas operacionales sobre una gran parte de los datos de riesgo operacional, pero tienen un desempeño relativamente débil en la cola, dado que las pérdidas operacionales tienden a tener colas más pesadas que esas distribuciones, por lo cual se pueden producir subestimaciones de grandes pérdidas. En tanto que, la distribución de Pareto elabora un buen ajuste en la cola, cuando los datos son suficientes, permitiendo este análisis, pero genera un ajuste débil en el cuerpo de la distribución.

Dado que la parametrización de distribuciones apropiadas para la frecuencia y la severidad, es parte primordial de cualquier modelo AMA, y el encontrar una distribución de severidad que describa debidamente los datos empíricos de pérdidas se vuelve no trivial, autores como: Klugman, Panjer and Willmot (2004), elaboran un análisis minucioso de aspectos estadísticos, pruebas de hipótesis y estimación de parámetros en el contexto de modelos de pérdidas.

Medición de la Severidad.

La severidad hace alusión a la pérdida monetaria incurrida por la ocurrencia de un fallo operacional. Se trata entonces de variables de naturaleza continua.

Distribuciones de severidad subexponenciales (S). Normalmente, las distribuciones de pérdida en riesgo operativo exhiben colas largas.

Algunas de estas distribuciones se muestran en la tabla N°3 y pertenecen a la clase llamada distribuciones subexponenciales y se denota como $F \in S$

La propiedad de las distribuciones subexponenciales es que la cola de la suma de n variables aleatorias subexponenciales tiene el mismo orden de magnitud de la cola de la variable máxima entre ellas.

Más formalmente:

$$\lim_{x \rightarrow \infty} \frac{Pr(X_1 + \dots + X_n > x)}{Pr(\max(X_1, \dots, X_n) > x)} = 1, \text{ para algún } n \geq 2.$$

Según esto, la suma de n severidades iid es probablemente más grande, debido a que uno de los términos de la suma es grande o, en otras palabras, en riesgo operativo, grandes pérdidas se deben principalmente a una gran pérdida individual, más que a la consecuencia de pérdidas independientes pequeñas acumuladas.

Mientras *La distribución de la pérdida agregada está dada por:*

$$\begin{aligned} G_t(x) &= Pr(S_t \leq x) \\ &= \sum_{n=0}^{\infty} p_t(n) Pr(S_t \leq x \mid N(t) = n) \\ &= \sum_{n=0}^{\infty} p_t(n) F^{n*}(x) \end{aligned}$$

Donde:

$F(x) = Pr(X_k \leq x)$ es la función de distribución de X_k .

$$F^{n*}(x) = Pr\left(\sum_{i=1}^n X_i \leq x\right) \text{ es la convolución de } F.$$

Para la mayoría de las distribuciones de severidades y frecuencia, G_t no puede ser calculada de manera analítica. Existen métodos de aproximación para solucionar este problema, como el algoritmo recursivo de Panjer, simulación Montecarlo y la transformada rápida de Fourier. Para profundización del tema ver: Franco, L. C. y Velazquez, Ermilson (2010). Análisis Y Comparación De Alternativas Para Cuantificar El Riesgo Operacional. Tesis de grado. Maestría en Matemáticas Aplicadas. Medellín. Universidad EAFIT. Capítulo 2.

Una opción para estimar el OpVaR, que está dado por cuantiles altos de la distribución de pérdida agregada G_t , es concentrarse en la cola derecha de esta distribución en lugar de la distribución entera. Un resultado importante en actuaría es que para un modelo estándar

LDA con severidades subexponenciales bajo condiciones débiles de regularidad y para un valor de $t > 0$ fijo (véase teorema 1.3.9 Embrechts et al. 1997) se tiene que:

$$\bar{G}_t(x) \sim E(N(t)) \bar{F}(x), \quad x \rightarrow \infty \quad (6)$$

Donde:

$E(N(t))$ = El valor esperado de la frecuencia de pérdidas.

$$\bar{F}(x) = 1 - F(x) \quad y$$

$\bar{G}(x) = 1 - G(x)$: Son las distribuciones de las colas de las severidades y de la pérdida agregada respectivamente.

El símbolo \sim significa que el cociente entre el lado derecho y el lado izquierdo de la ecuación (6) tiende a uno cuando x tiende a valores muy grandes.

2.5. Enfoque para la construcción de la pérdida agregada.

En ésta sección se proporciona una opción para cuantificar las pérdidas agregadas en una celda específica (i, j) de la matriz de pérdidas.

El método de Aproximación Analítica de Böcker y Klüppelberg(2005).

Es un modelo de distribución de pérdidas simple para el riesgo operacional, que muestra la posibilidad de tener una aproximación para el $OpVaR(\alpha)$, en forma cerrada, cuando los datos de pérdida son de cola pesada, tal cual ocurren en la realidad. Ellos aplican esta distribución en particular al modelo de severidad de Pareto.

La aproximación analítica planteada por Böcker and Klüppelberg, como se demuestra más adelante, es una fórmula directa, aplicable en casos específicos, para el cuantil de la distribución de pérdidas agregadas en la siguiente forma:

$$G_S^{-1}(\alpha) = F^{-1} \left(1 - \frac{1 - \alpha}{E(N)} \right) \quad (7)$$

Que vincula directamente el percentil $\alpha \rightarrow 1$, de las pérdidas agregadas, con un alto percentil dado por: $p = 1 - \frac{1-\alpha}{E(N)}$, de la función de distribución simple de las severidades F , dependiendo del número esperado de eventos por período $E(N)$.

Ese resultado, está basado en una propiedad analítica de las distribuciones pertenecientes a la clase de distribuciones subexponenciales, donde más adelante se presenta su formulación matemática, que permite expresar en el límite de alta severidad la convolución como una función de la distribución de la severidad de la pérdida individual.

A continuación se presentan los elementos teóricos básicos, y el soporte matemático de la aproximación analítica de Böcker y Klüppelberg.

Definición 2.3. Enfoque de distribución de pérdida estándar (LDA).

- *El proceso de severidad:* las severidades $(X_k)_{k \in \mathbb{N}}$ son variables aleatorias positivas independientes e idénticamente distribuidas (iid) que describen la magnitud de cada evento de pérdida.
- *El proceso de frecuencia:* el número $N(t)$ de eventos de pérdida en el intervalo de tiempo $[0, t]$ para $t \geq 0$ es aleatorio. El proceso de recuento resultante $(N(t))_{t \geq 0}$ es generado por una sucesión de puntos $(T(n))_{n \geq 1}$ de variables aleatorias no negativas que satisfacen:

$$0 \leq T_1 \leq T_2 \leq \dots$$

y

$$N(t) = \sup\{n \geq 1 : T_n \leq t\}, t \geq 0$$

- El proceso de severidad y el proceso de frecuencia se asumen independientes.
- El proceso de pérdida agregada: la pérdida agregada $S(t)$ al tiempo t constituye un proceso:

$$S(t) = \sum_{i=1}^{N(t)} X_i, \quad t \geq 0$$

Esta definición no requiere que la media o la varianza de las severidades X_k sea finita; Moscadelli (2005) encuentra que distribuciones usadas para modelar severidades en riesgo operativo exhiben colas muy largas, donde tales momentos no se pueden calcular.

Definición 2.4. (VaR). Suponga que G_t es la distribución de pérdida agregada. Entonces el VaR al tiempo t con una confiabilidad α se define como el α – *cuantil* de la distribución de pérdida:

$$Var_t(\alpha) = G_t^{\leftarrow}(\alpha), \quad \alpha \in (0, 1) \quad (8)$$

Donde:

$$G_t^{\leftarrow}(\alpha) = \inf\{x \in R : G_t(x) \geq \alpha\}, \quad 0 < \alpha < 1 \quad (9)$$

Es la inversa generalizada de G_t .

Si G_t es continua entonces:

$$VaR_t(\alpha) = G_t^{-1}(\alpha) \quad (10)$$

Lema 2.1. (Lema de Kesten).

Si F es una distribución subexponencial, entonces dado $\varepsilon > 0$, existe una constante finita K tal que, para todo $n \geq 2$ $\frac{\overline{F^{n*}}(x)}{F(x)} \leq K(1 + \varepsilon)n$, $x \geq 0$.

DEMOSTRACIÓN:

$$\text{Sea: } \alpha_n = \sup_{x \geq 0} \frac{\overline{F^{n*}}(x)}{F(x)}.$$

$$\text{Además, } \frac{\overline{F^{(n+1)*}}(x)}{F(x)} = 1 + \frac{F(x) - F^{(n+1)*}(x)}{F(x)} = 1 + \int_0^x \frac{\overline{F^{n*}}(x-t)}{F(x)} dF(t).$$

Entonces para cada $T < \infty$,

$$\begin{aligned} \alpha_{n+1} &\leq 1 + \sup_{0 \leq x \leq T} \int_0^x \frac{\overline{F^{n*}}(x-y)}{F(x)} dF(y) + \sup_{x \geq T} \int_0^x \frac{\overline{F^{n*}}(x-y)\bar{F}(x-y)}{F(x-y)F(x)} dF(y) \\ &\leq 1 + A_T + \alpha_n \sup_{x \geq T} \frac{F(x) - F^{2*}(x)}{F(x)} \quad \text{donde } A_T = (\bar{F}(T))^{-1} < \infty. \end{aligned}$$

Como F es subexponencial, dado cualquier $\varepsilon > 0$ se puede escoger T tal que $\alpha_{n+1} \leq A_T + \alpha_n(1 + \varepsilon)$ De lo cual se tiene que: $\alpha_n \leq (1 + A_T)\varepsilon^{-1}(1 + \varepsilon)^n$, por lo tanto:

con $K = (1 + A_T)\varepsilon^{-1}$, se tiene el resultado: $\frac{\overline{F^{n*}}(x)}{F(x)} \leq K(1 + \varepsilon)n$, $x \geq 0$. ■

Teorema 2.1. EKM. (Ebrechts, Klüppelberg and Mikosch).

Sea el enfoque de distribución de pérdida estándar $S(t) = \sum_{i=1}^{N(t)} X_i$, $t \geq 0$ Suponga que las severidades X_i son subexponenciales con función de distribución F . Fije $t > 0$ y defina la distribución de frecuencias por $P(N(t) = n) = p_t(n)$, para $n \in N_0 = N \cup \{0\}$ y la distribución de pérdida agregada dada por:

$$G_t(x) = \sum_{n=0}^{\infty} p_t(n) F^{n*}(x) \quad x \geq 0 \quad t \geq 0$$

Donde:

$F(x) = Pr(X_k \leq x)$ es la función de distribución de X_k .

$$F^{n*}(x) = Pr\left(\sum_{i=1}^n X_i \leq x\right) \quad \text{es la enésima convolución de } F.$$

con $F^{1*} = F$ y $F^{0*} = I_{[0, \infty)}$. Sí para algún $\varepsilon > 0$ $\sum_{i=1}^n (1 + \varepsilon)^n p_t(n) < \infty$ entonces

$$\lim_{x \rightarrow \infty} \frac{EN(t)\bar{F}(x)}{\bar{G}_t(x)} = 1, \quad \text{o equivalentemente:} \quad (11)$$

$$\bar{G}_t(x) \sim E(N(t)) \bar{F}(x), \quad x \rightarrow \infty \quad (12)$$

Donde:

$E(N(t)) =$ El valor esperado de la frecuencia de pérdidas.

$$\bar{F}(x) = 1 - F(x) \quad y$$

$\bar{G}_t(x) = 1 - G_t(x)$: Son las distribuciones de las colas de las severidades y de la pérdida agregada respectivamente.

El símbolo \sim significa que el cociente entre el lado derecho y el lado izquierdo de la ecuación (13) tiende a uno cuando x tiende a valores muy grandes.

DEMOSTRACIÓN:

$$\frac{G_t(x)}{\bar{F}(x)} = \sum_{n=0}^{\infty} p_t(n) \frac{F^{n*}(x)}{\bar{F}(x)}$$

Sea $\varepsilon > 0$ tal que:

$$\sum_{n=0}^{\infty} (1 + \varepsilon)^n p_t(n) < \infty$$

$(1 + \varepsilon) > 1 \implies (1 + \varepsilon)^{-1} < 1$ entonces existe $\rho > 0$ tal que :

$$(1 + \varepsilon)^{-1}(1 + \rho) < 1 \text{ Así que : } \frac{1 + \rho}{1 + \varepsilon} < 1$$

Por el Lema de Kesten se tiene:

$$(1 + \varepsilon)^{-1} \frac{\bar{F}^{n*}(x)}{\bar{F}(x)} \leq (1 + \varepsilon)^{-1} K(1 + \varepsilon)^n = K \left(\frac{1 + \rho}{1 + \varepsilon} \right), \quad x \geq 0$$

Además, la serie

$$\sum_{n=0}^{\infty} \left(\frac{1 + \rho}{1 + \varepsilon} \right)^n \text{ es convergente por ser geométrica con razón : } \frac{1 + \rho}{1 + \varepsilon} < 1$$

Entonces,

$$\begin{aligned} \lim_{x \rightarrow \infty} \frac{\bar{G}_t(x)}{\bar{F}(x)} &= \lim_{x \rightarrow \infty} \left(\sum_{n=0}^{\infty} p_t(n) \frac{\bar{F}^{n*}(x)}{\bar{F}(x)} \right) = \sum_{n=0}^{\infty} \lim_{x \rightarrow \infty} \left(p_t(n) \frac{\bar{F}^{n*}(x)}{\bar{F}(x)} \right) \\ &= \sum_{n=0}^{\infty} p_t(n) \lim_{x \rightarrow \infty} \frac{\bar{F}^{n*}(x)}{\bar{F}(x)} \end{aligned}$$

Pero como F es subexponencial, $\lim_{x \rightarrow \infty} \frac{\bar{F}^{n*}(x)}{\bar{F}(x)} = n$ Reemplazando esta expresión en la anterior se tiene:

$$\lim_{x \rightarrow \infty} \frac{\bar{G}_t(x)}{\bar{F}(x)} = \sum_{n=0}^{\infty} p_t(n)n = EN(t)$$

Esta última igualdad por definición de valor esperado de $N(t)$.

$$\text{Entonces } \lim_{x \rightarrow \infty} \frac{EN(t)\bar{F}(x)}{\bar{G}_t(x)} = 1$$

o en forma equivalente : $\bar{G}_t(x) \sim EN(t)\bar{F}(x), \quad x \rightarrow \infty$ ■

Teorema 2.2. (OpVaR analítico).

Considere el modelo LDA estándar para un $t > 0$ fijo y una severidad subexponencial con función de distribución F . Suponga, además, que el estimativo de cola en (6) se cumple.

Entonces:

$$Var_t(\alpha) = F^{\leftarrow} \left(1 - \frac{1 - \alpha}{E(N(t))} (1 + o(1)) \right) \quad \alpha \rightarrow 1 \quad (13)$$

DEMOSTRACIÓN:

Si $\alpha \rightarrow 1$, entonces $x \rightarrow \infty$.

Además, $o(1)$ corresponde a una función que tiende a 0 si su argumento tiende a un límite, en nuestro caso si $\alpha \rightarrow 1$, o $x \rightarrow \infty$.

Del teorema 3,1 se tiene que: $\overline{G}_t(x) \sim EN(t)\overline{F}(x)$.

Además, $\overline{G}_t(x) \sim EN(t)\overline{F}(x) \Rightarrow 1 - G_t(x) = EN(t)\overline{F}(x)(1 + o(1)), \quad x \rightarrow \infty$.

O en forma equivalente:

$$G_t(x) = 1 - EN(t)\overline{F}(x)(1 + o(1)), \quad x \rightarrow \infty$$

Tomando el lado derecho igual a α se tiene:

$$\begin{aligned} 1 - EN(t)\overline{F}(x)(1 + o(1)) = \alpha &\Rightarrow EN(t)\overline{F}(x)(1 + o(1)) = 1 - \alpha \\ \Rightarrow EN(t)\overline{F}(x) = \frac{1 - \alpha}{(1 + o(1))} &\Rightarrow \overline{F}(x) = \frac{1 - \alpha}{EN(t)(1 + o(1))} \Rightarrow 1 - F(x) = \frac{1 - \alpha}{EN(t)(1 + o(1))} \end{aligned}$$

Despejando $F(x)$ y tomando límite cuando $x \rightarrow \infty$ ($\alpha \Rightarrow 1$), se tiene la solución asintótica $F(x) = 1 - \frac{1 - \alpha}{EN(t)}(1 + o(1)), \quad x \rightarrow \infty$.

Por lo tanto:

$$x = G_t^{\leftarrow}(\alpha) = G^{\leftarrow} \left(1 - \frac{1 - \alpha}{EN(t)} (1 + o(1)) \right), \quad \alpha \rightarrow \infty \quad \blacksquare$$

Algunas conclusiones fundamentales de esta aproximación son las siguientes:

1. Para altos niveles de confianza el OpVaR únicamente depende de la cola, y no del cuerpo de la distribución de severidad. Por lo tanto, si el objetivo es calcular el VaR operacional, no es necesario modelar toda la función de distribución F .
2. La distribución de frecuencias solo interviene en la expresión (14) con su valor esperado. Por lo cual, para aplicar este modelo sería suficiente sobredispersión estimar la media muestral de las frecuencias. Esto implica que la de un modelo como la distribución binomial negativa, asintóticamente no tendría impacto sobre el OpVaR.
3. Como la carga de capital está basada en un cuantil muy alto de la distribución de pérdidas agregadas G_t , es natural estimar el OpVaR mediante el comportamiento asintótico de la cola y estimación cuantil. En lugar de considerar la distribución completa, es suficiente concentrarnos sobre la cola derecha $P(S(t)) > x$ para un valor grande de x .
4. El resultado en (14) se cumple para una clase muy general de modelos LDA, y muestra que para obtener una aproximación de primer orden para el OpVaR, mediante un modelo LDA específico, es suficiente combinar (14) con la cola de la distribución de severidad subexponencial F .

Definición 2.5. (función de variación lenta).

Una función positiva, Lebesgue-medible L en $(0, \infty)$ es de variación lenta en ∞ si:

$$\lim_{x \rightarrow \infty} \frac{L(ux)}{L(u)} = 1, \quad x > 0 \tag{14}$$

Ejemplos de funciones de variación lenta son las constantes logarítmicas, potencias de logaritmos y funciones de logaritmos iterados.

Definición 2.6. (funciones de variación regular).

Sea f una función positiva medible. Si para algún $\rho \in R$:

$$\lim_{x \rightarrow \infty} \frac{f(xt)}{f(t)} = x^{-\rho}, \quad x > 0 \tag{15}$$

Entonces f se denomina de variación regular con índice ρ .

No todas las funciones de variación regular son funciones subexponenciales, por ejemplo, la distribución de Weibull de cola larga y la distribución lognormal.

Definición 2.7. (colas de distribución de variación regular).

Sea X una variable aleatoria con cola de distribución

$\bar{F}(x) := 1 - F(x) = Pr(X > x)$ para $x > 0$. Si para \bar{F} la relación (16) se da para algún $\rho \geq 0$, entonces X se denomina variación regular con índice $-\rho$ y se denota por $\bar{F} \in RV_{-\rho}$

La cantidad ρ se denomina también el índice de la cola de F .

$$Se\ define\ RV := \bigcup_{\rho \geq 0} RV_{-\rho} \tag{16}$$

Teorema 2.3. (OpVaR analítico para el modelo SCP).

Considere el modelo de pérdida agregada SCP:

- Si $F \in S \cap (RV \cup RV_{\infty})$ entonces $VaR_t(\alpha)$ está asintóticamente dado por:

$$VaR_t(\alpha) \sim F^{\leftarrow} \left(1 - \frac{1 - \alpha}{\lambda t} \right), \quad \alpha \rightarrow 1 \tag{17}$$

- La cola de la distribución de severidad pertenece a $RV_{-\rho}$ para $\rho > 0$, es decir $\bar{F}(x) = x^{-\rho}L(x)$ para $x \geq 0$ y para alguna función de variación lenta L si y sólo si:

$$VaR_t(\alpha) \sim \left(\frac{\lambda t}{1 - \alpha} \right)^{\frac{1}{\rho}} \tilde{L} \left(\frac{1}{1 - \alpha} \right), \quad \alpha \rightarrow 1 \tag{18}$$

La demostración de este teorema se puede encontrar en Böcker y Klüppelberg (2005).

Una metodología alterna es presentada para calcular el riesgo operativo basándose en herramientas de la teoría del valor extremo.

2.6. Estimación del OpVaR:

Método de máxima verosimilitud de Weissman.

Otra opción es estimar cuantiles, en especial para riesgo operativo, mediante la teoría del valor extremo. Dentro de los cuales tenemos los siguientes dos modelos para tratar valores extremos:

- block máxima (máximos por bloque)

- POT

Este último es la técnica más usada para analizar la cola de una función de distribución. Las dos técnicas se basan en modelos distribucionales obtenidos a partir de teorías asintóticas. El problema con estos métodos es la estimación de los parámetros de las distribuciones límites, en particular el parámetro de forma (también llamado el índice de valor extremo $[\xi]$), el cual determina el comportamiento de los valores extremos. Determinar el umbral en el método POT conlleva un trade-off entre sesgo y varianza en la estimación de los parámetros de la función de distribución que se asume para ajustar los valores extremos.

El usar métodos basados en cuantiles (por ejemplo, el estimador de Hill) también depende de la elección apropiada de estadísticos ordenados superiores. Elegir el umbral óptimo (en el método POT) conlleva al mismo problema de elegir el número óptimo k de estadísticos ordenados superiores (en el estimador de Hill). Si se utiliza el método block máxima, el sesgo se presenta con bloques muy pequeños y varianza en el caso contrario.

De esta manera, la estimación del índice de valor extremo se convierte en un problema importante para calcular de manera confiable cuantiles altos como una medida de riesgo, siguiendo la teoría del valor extremo; sin embargo, la selección de k (o del umbral) para estimar el índice de valor extremo no es una tarea fácil. En Mora (2009) se trata este problema y se presenta un análisis comparativo de algunos estimadores del índice del valor extremo.

Beirlant, Dierckx, Goegebeur y Matthys (1999) introducen un modelo de regresión exponencial basándose en log-espaciados entre estadísticos ordenados consecutivos y extremos de una distribución tipo Pareto, a fin de reducir el sesgo que se presenta en la estimación del índice de valor extremo en el gráfico de Hill.

Definición 2.8. (distribución tipo Pareto).

Una distribución tipo Pareto o de colas largas es una distribución F que satisface:

$$1 - F(x) = x^{-\frac{1}{\xi}} L(x), \quad x \rightarrow \infty \quad \xi > 0 \tag{19}$$

Donde:

L : Es una función de variación lenta para todo $x > 0$.

Las distribuciones tipo Pareto también se denominan distribuciones con cola de Pareto. Ejemplos de estas son: gamma inversa, t de Student, log-gamma, F y Burr.

En cuanto a la selección de k , existen varios métodos adaptativos para escoger (véase, por ejemplo, la sección 4.7 de Beirlant et al. (2004) y sus referencias contenidas). Un método puede ser minimizar el error cuadrático medio asintótico (AMSE, por su sigla en inglés) del estimador de Hill, que está dado por:

$$AMSE(\hat{\xi}_{k,n}^{(H)}) = A \text{var}(\hat{\xi}_{k,n}^{(H)}) + ABias(\hat{\xi}_{k,n}^{(H)}) \quad (20)$$

$$= \frac{\xi^2}{k} + \left(\frac{b_{n,k}}{1-\rho} \right)^2 \quad (21)$$

Donde:

ξ : Es el índice de valor extremo (también conocido como el parámetro de forma).

ρ : Es conocido en la teoría del valor extremo como el parámetro de segundo orden.

k : Es el subíndice del estadístico de orden.

b : Es una función tal que $b(x) \rightarrow 0$ cuando $x \rightarrow \infty$.

La idea es estimar el k óptimo mediante el estimador de Hill (véase, por ejemplo la sección 4 de Beirlant et. al. 1999) donde:

$$\hat{k} = \arg \min \left(\frac{\hat{\xi}^2}{k} + \left(\frac{\hat{b}_{n,k}}{1-\hat{\rho}_k} \right)^2 \right) \quad (22)$$

$\hat{\xi}$, $\hat{\rho}$ y \hat{b} denotan los estimadores de máxima verosimilitud de ξ , ρ y b respectivamente, y son obtenidos mediante el método MLE para el método de regresión exponencial.

Sobre el estimador de Weissman, asuma que la linealidad en el gráfico de cuantiles de Pareto (véase sección 1.2.1 de Beirlant et al. 2004) persiste desde las k observaciones más grandes (hasta infinito), entonces podemos usar la línea con ecuación:

$$y = \log X_{n-k,n} + \widehat{\xi}_{k,n}^{(H)} \left(x + \log \left(\frac{k+1}{n+1} \right) \right) \quad (23)$$

$$\text{anclado en el punto } \left(-\log \left(\frac{k+1}{n+1} \right), \log X_{n-k,n} \right), \quad (24)$$

Sea $x = -\log p$ para obtener el estimado de $Q(1-p)$

$$\widehat{Q}(1-p) = \exp \left(\log X_{n-k,n} + \widehat{\xi}_{k,n}^{(H)} \log \left(\frac{k+1}{(n+1)p} \right) \right) \quad (25)$$

$$= X_{n-k,n} \left(\frac{k+1}{(n+1)p} \right)^{\widehat{\xi}_{k,n}^{(H)}}, \quad k = 1, \dots, n-1. \quad (26)$$

Donde p es un número muy pequeño entre 0 y 1. Para seleccionar el k óptimo se minimiza el *AMSE* con el método *MLE* para el método de regresión exponencial.

Capítulo 3

3. Aplicación

Este capítulo tiene como objetivo hallar una función de distribución de pérdida agregada que mejor modele un conjunto de datos y con ella poder encontrar el OpVar. A través del percentil 99.9 de los datos que estudiaremos, estimando así la máxima pérdida posible para la institución financiera, con un nivel de confianza de 0.001 y un periodo de tiempo anual.

3.1. Análisis de los datos

Nuestra base de datos contiene las pérdidas sufridas por la entidad en los áreas de Fraude interno, fraude externo, y sistemas; dichas pérdidas están cuantificadas en el periodo comprendido de enero del año 2000 a diciembre del año 2008.

Para la aplicación de los modelos y algoritmos se deben utilizar los parámetros de las distribuciones que mejor se ajusten a los datos reales. Por lo tanto, se procedió a hacer los respectivos ajustes utilizando software.

Ajuste de la Distribución de Frecuencias

Para los datos de frecuencia se utilizó el software Rstudio, según la prueba Chi-Cuadrado, como se indica en la figura siguiente:

```

> goftest(lossda[[1]],opriskmodel1[[1]]$freqdist)
      Chi-squared test for given probabilities
data:  frequencies
X-squared = 1.9304e+13, df = 42, p-value < 2.2e-16
> goftest(lossda[[2]],opriskmodel1[[2]]$freqdist)
      Chi-squared test for given probabilities
data:  frequencies
X-squared = 4.2684, df = 4, p-value = 0.3709
> goftest(lossda[[3]],opriskmodel1[[3]]$freqdist)
      Chi-squared test for given probabilities
data:  frequencies
X-squared = 6.4285, df = 5, p-value = 0.2667
> goftest(lossda[[4]],opriskmodel1[[4]]$freqdist)
      Chi-squared test for given probabilities
data:  frequencies
X-squared = 28719, df = 101, p-value < 2.2e-16

```

Figura 3.1: fuente: Elaboración propia

La prueba de bondad de ajuste, Chi-Cuadrado indica que para hacking de sistemas de información, número de inconsistencias en caja menor el p-valores es: 0.3709 y 0.2667, indicando un buen ajuste para la distribución Poisson, en cambio para número de cheques con firmas falsificadas con dicha distribución no se realiza un buen ajuste, el número de fallas en el sistema se ajustó a la distribución binomial negativa, aun así no se logra un buen ajuste pero nosotros las consideremos bajo estos ajustes, con el supuesto anterior se trabajará con las distribuciones mencionadas.

Ajuste de la Distribución de severidad

Para los datos de severidad se utilizó el software RStudio, mediante el proceso de Ajuste de distribución simple, que fueron seleccionadas según la prueba Kolmogorov-Smirnov como se indica en la figura siguiente:

```

> goftest(lossda[[1]],opriskmodel1[[1]]$sevdist)
[[1]]

Two-sample Kolmogorov-Smirnov test

data: cell$Loss and sim
D = 0.04661, p-value = 0.9598
alternative hypothesis: two-sided

> goftest(lossda[[2]],opriskmodel1[[2]]$sevdist)
[[1]]

Two-sample Kolmogorov-Smirnov test

data: cell$Loss and sim
D = 0.15789, p-value = 0.9781
alternative hypothesis: two-sided

> goftest(lossda[[3]],opriskmodel1[[3]]$sevdist)
[[1]]

Two-sample Kolmogorov-Smirnov test

data: cell$Loss and sim
D = 0.17241, p-value = 0.7912
alternative hypothesis: two-sided

> goftest(lossda[[4]],opriskmodel1[[4]]$sevdist)
[[1]]

Two-sample Kolmogorov-Smirnov test

data: cell$Loss and sim
D = 0.081535, p-value = 0.125
alternative hypothesis: two-sided

```

Figura 3.3: fuente: Elaboración propia

La prueba de bondad de ajuste, Kolmogorov-Smirnov indica que el p-valor tanto para: Número de cheques con firmas falsificadas, hacking de sistemas de información, número de inconsistencias en caja menor y número de fallas en el sistema se ajustan, siendo estas: 0.9598, 0.9781, 0.7912 y 0.125 indicando un excelente ajuste para las dos primeras líneas de negocios y para las otras dos no es tan bueno pero es aplicable, por tanto dichos datos se ajustaran a la distribución lognormal, a continuación se muestran sus gráficas.

Número de cheques con firmas falsificadas

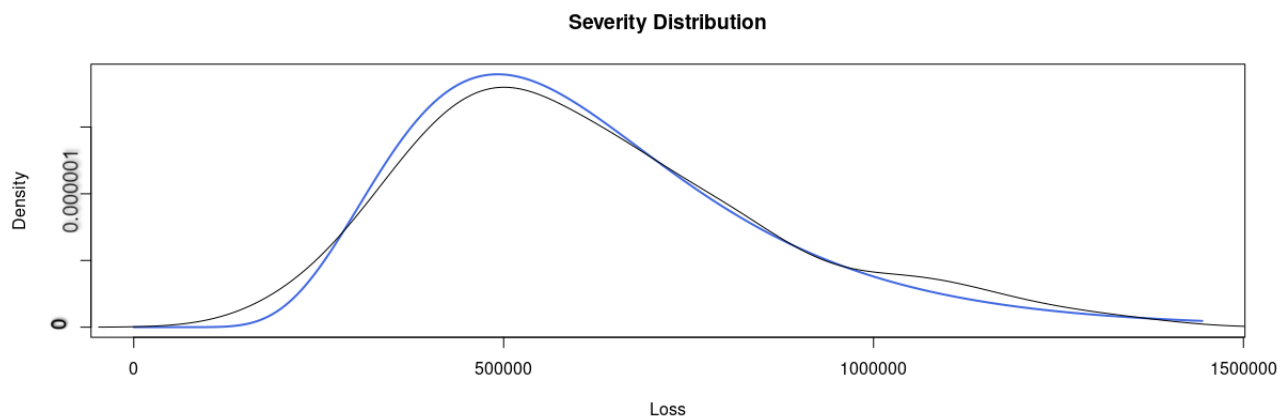


Figura 3.4: fuente: Elaboración propia

Hacking de sistemas de información

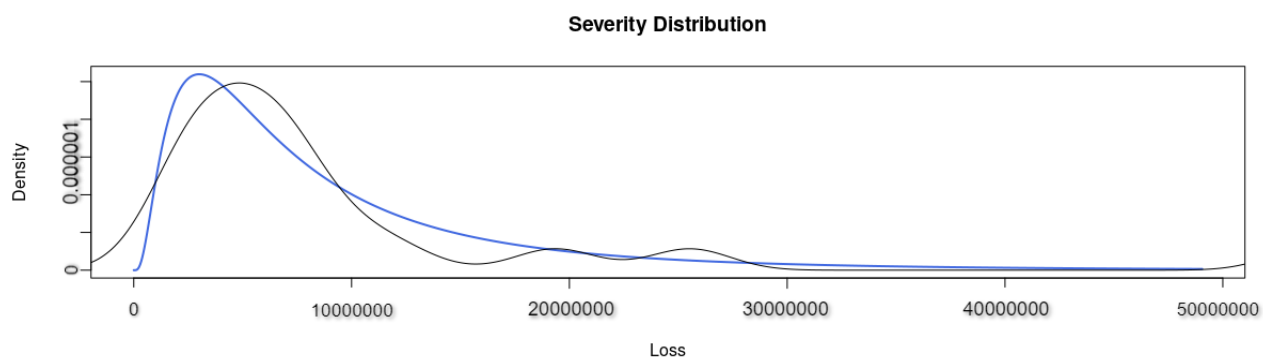


Figura 3.4: fuente: Elaboración propia

Número de inconsistencias en caja menor

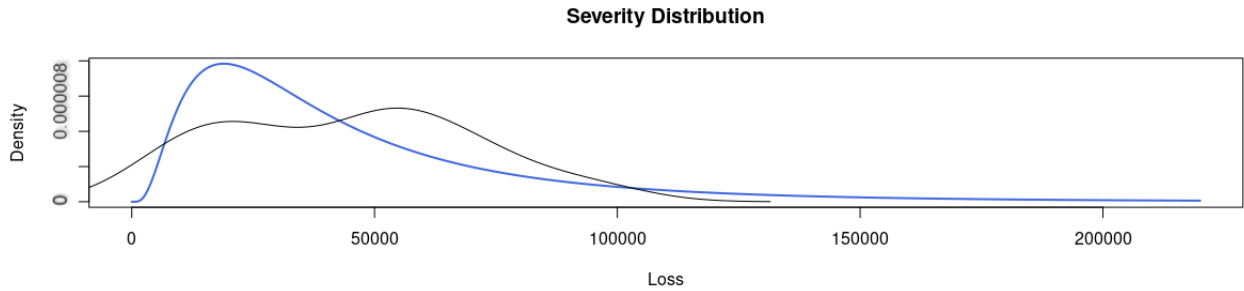


Figura 3.4: fuente: Elaboración propia

Número de fallas en el sistema

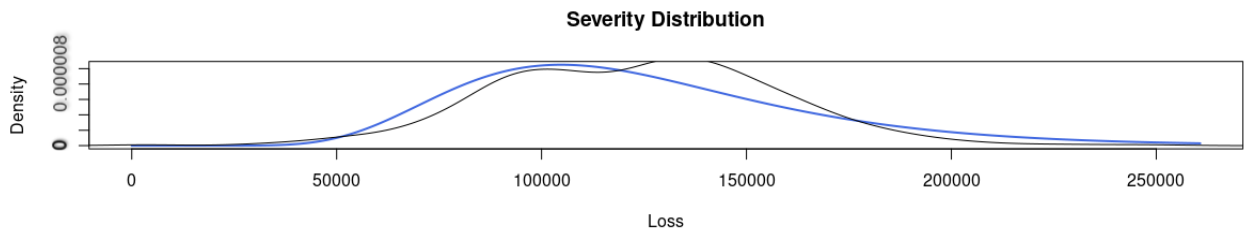


Figura 3.4: fuente: Elaboración propia

Gráficamente se puede corroborar los resultados de la prueba de bondad de ajuste, en donde número de cheques con firmas falsificadas y hacking de sistemas de información que son las dos primeras gráficas evidentemente se ajustan a la distribución lognormal aun de mejor manera que en número de inconsistencias en caja menor y número de fallas en el sistema siendo evidente en las últimas dos gráficas.

Ajuste de la Distribución de severidad con Risk Simulator

Por motivos de comparación, se realizarán los proceso con el software antes mencionado.

Para los datos de severidad se utilizó el software Risk Simulator, mediante el proceso de Ajuste de distribución simple, que fueron seleccionadas según la prueba Kolmogorov-Smirnov como se indica en las figuras siguientes:

1. Número de cheques con firmas falsificadas

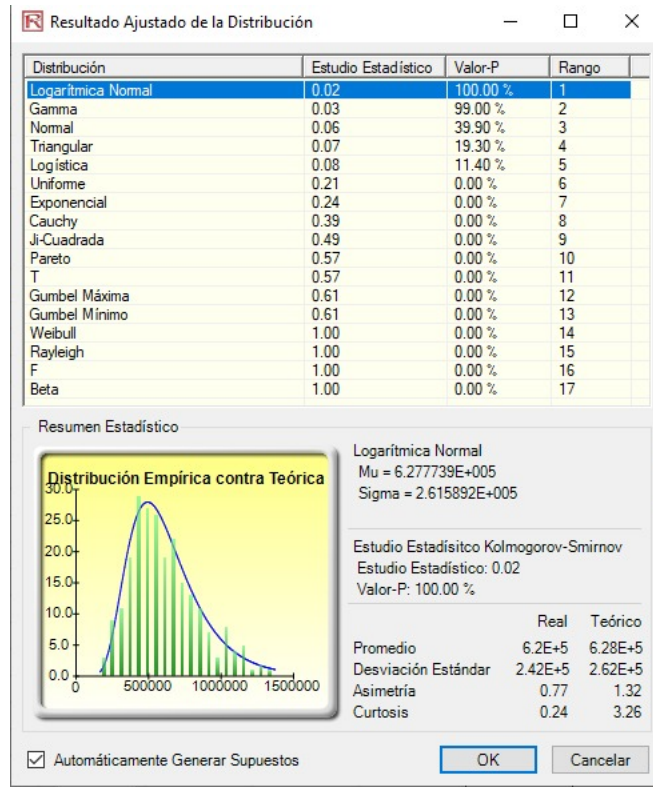


Figura 1.7: fuente: Elaboración propia

2. Número de fallas en el sistema

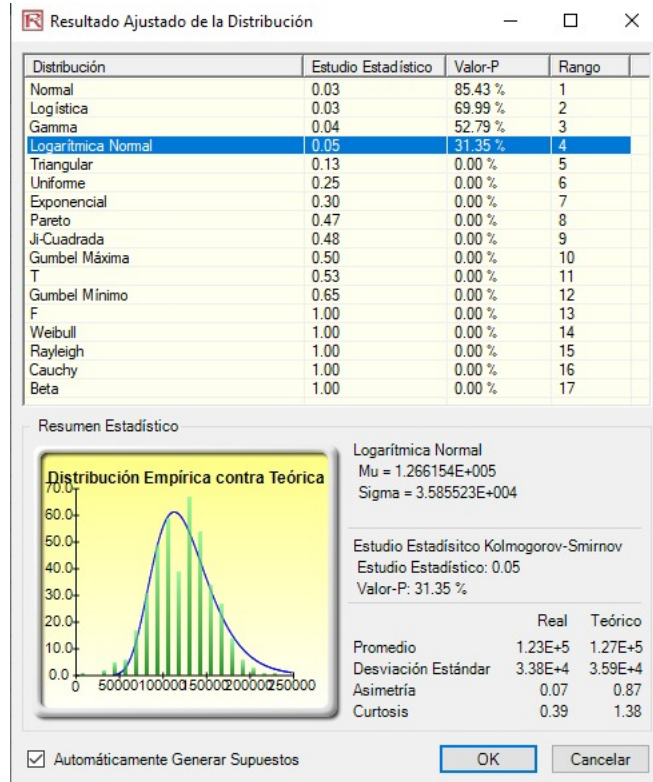


Figura 1.8: fuente: Elaboración propia

3. Número de inconsistencias en caja menor

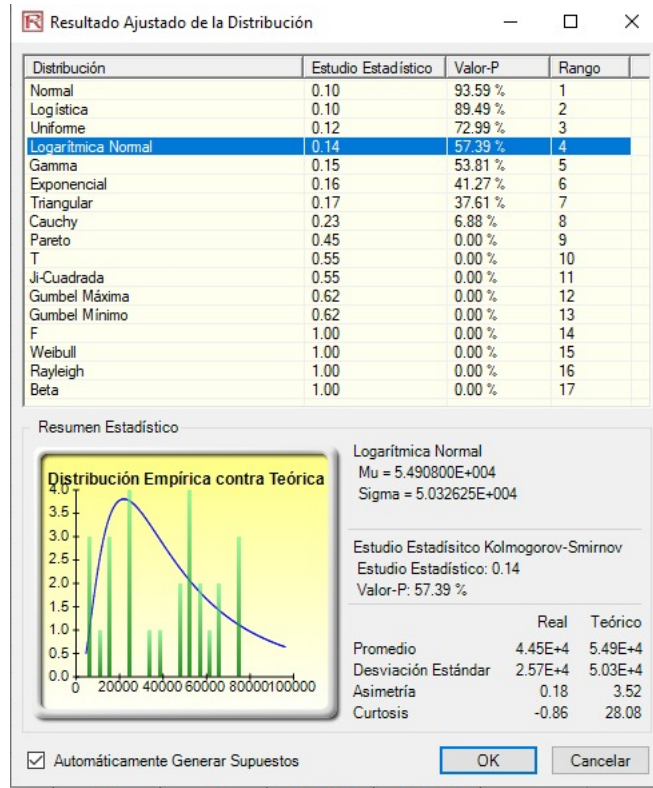


Figura 1.9: fuente: Elaboración propia

4. Hacking de sistemas de información

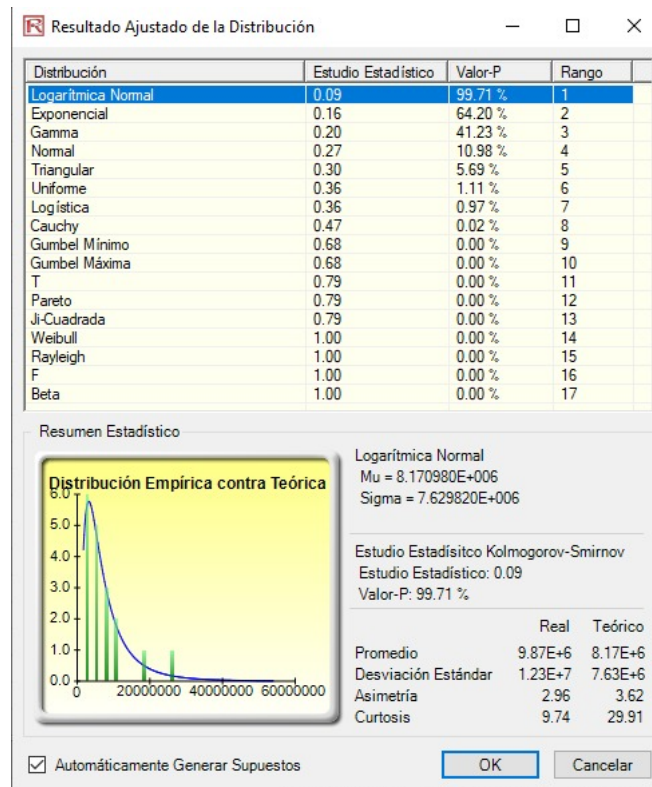


Figura 1.8: fuente: Elaboración propia

El p-valor para: Número de cheques con firmas falsificadas, hacking de sistemas de información, número de inconsistencias en caja menor y número de fallas en el sistema son los siguientes: 1, 0.3135, 0.5739 y 0.9971. Indicando que los datos se ajustan a la distribución lognormal.

3.2. Aplicación de Simulación Montecarlo

Mediante el enfoque de Simulación Montecarlo se estima la distribución de pérdidas agregada utilizando un número suficiente de escenarios hipotéticos, generados aleatoriamente, a partir de las distribuciones de severidad y frecuencia.

Entre los autores que plantean esta metodología están Chapelle, Crama, Hübner y Peters (2005), que describen el procedimiento de Simulación Montecarlos, modelando la distribución de frecuencias mediante una distribución de Poisson con parámetro igual al número de pérdidas observadas durante el período completo.

Aplicando el algoritmo con 5,000 iteraciones y para las siguientes líneas de negocio: Fraude interno, fraude externo y sistemas se obtuvo lo siguiente:

		Tabla estadística del pronóstico - Riesgo Operativo				
Celda		firmas falsas	Hacking	inconsistencias F	sistema	Perdida agregada
Nombre	\$ABS9	\$ABS11	\$ABS10	\$ABS8	\$ABS12	
Número de Intentos	5000	5000	5000	5000	5000	5000
Media	16094284.3034	21131470.4463	144640.0026	5687144.7358	43057539.4881	
Precisión de Error 95%	0.0054	0.0190	0.0153	0.0041	0.0096	
Percentil 99.9%	26055581.1102	78944505.2632	489701.4555	8384118.3289	103528613.1996	

Figura 1.9: fuente: Elaboración propia

4. Conclusiones

En los últimos años se ha convertido en un desafío para los investigadores y operadores en finanzas, la gestión integral del riesgo financiero y en especial el riesgo operacional.

Esto debido a la falta de veracidad en los datos y ante la necesidad eminente de cuantificar ese riesgo, las entidades realizan serios procesos de recolección de datos, considerando que con el transcurrir del tiempo será un proceso superado, y los modelos de medición avanzada AMA, entre los cuales se considera el LDA, tomarán plena vigencia y aplicación.

Con el objetivo de cuantificar el riesgo operacional y solventar dicha problemática, han surgido diversas alternativas metodológicas, entre las cuales se encuentra la simulación Montecarlo, la cual se utiliza en esta investigación, obteniéndose el siguiente resultado:

El percentil 99.9 estimado para la distribución de pérdidas totales mensuales es de: \$103, 528, 613. 1996, este valor se obtuvo realizando simulación Montecarlo con el software Risk Simulator.

En la tesis de: (Rivas Morales, Milton Arnoldo (2017) Estudio de la Geometría fractal con aplicaciones a finanzas y Vulcanología. Capítulo 2, Universidad de El Salvador).

Para estos mismos datos se obtuvo el percentil 99.9 estimado para la distribución de pérdidas totales mensuales, utilizando la técnica de estimación fractal obteniéndose el resultado de: \$107, 410, 160.

De lo anterior se puede decir que al usar las diferentes metodologías se observa, que la pérdida total mensual a través de la Simulación Montecarlo se minimiza en comparación con la pérdida total obtenida a través de la estimación fractal. Por lo tanto, deben de ser los expertos del negocio los que determinen cual metodología convendría aplicar según el tipo de negocio al cual se dedican.

En esta investigación se tuvieron algunas limitaciones para obtener datos reales de algunas instituciones financieras, Se hicieron algunas gestiones sin obtener resultados positivos.

Esta investigación pone de manifiesto la necesidad de hacer uso de software estadísticos especializados para llevar a cabo las simulaciones, además de una buena formación en programación.

Al inicio de esta investigación se plantearon conjuntos de técnicas para calcular el riesgo operacional, sin embargo, se realizaron las simulaciones con el método Montecarlo, porque es el que arrojaba mejores resultados, además que ya está implementado en Risk Simulator.

5. Anexos

5.1. Tablas

Tabla N°1 Principios y Orientaciones para la asignación de las actividades dentro de cada línea de negocio.

Asignación de las Actividades a las Líneas de Negocio	Estimación de los Ingresos Brutos por Líneas de Negocio
<ol style="list-style-type: none"> 1. Todas las actividades deberán asignarse entre las ocho líneas de negocio, de manera que a cada una de las actividades (del tercer nivel) le corresponda una y sólo una línea de negocio. 2. Si una actividad (principal o auxiliar) presta apoyo a más de una línea de negocio, deberá utilizarse un criterio de asignación. 3. La asignación de actividades a líneas de negocio deberá ser coherente con las posibles definiciones de líneas de negocio utilizadas en los cálculos de capital regulatorio en otras categorías de riesgo, como riesgo de crédito y de mercado. 4. El mapeo de actividades, incluyendo las nuevas que puedan surgir, a líneas de negocio deberá ser documentado con claridad. 5. La Alta Dirección es responsable de la política de asignación. 6. El proceso de asignación a líneas de negocio deberá someterse a examen independiente. 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Los bancos podrán utilizar métodos internos de valoración para asignar los ingresos brutos a las distintas líneas de negocio, pero procurando que la suma de los ingresos brutos para las ocho líneas de negocio sea equivalente a los ingresos brutos totales del banco. 2. Al mapear los ingresos brutos, si una actividad no puede ser asignada a una determinada línea de negocio deberá utilizarse la línea de negocio que genere el requerimiento de capital más elevado. 3. Los ingresos brutos de la Banca Minorista (incluyendo micro/pequeña/mediana empresas tratadas como minoristas) y Banca Comercial (empresas tratadas como mayoristas, bancos y soberanos) deben considerar: <ul style="list-style-type: none"> ▪ los ingresos netos por intereses de préstamos y anticipos a los clientes de la Banca respectiva (descontando de los intereses de préstamos y anticipos percibidos el coste medio ponderado de la financiación de aquellos préstamo); ▪ las comisiones relacionadas con actividades tradicionales de la Banca respectiva; ▪ los ingresos netos de swaps y derivados mantenidos para dar cobertura a la cartera de la Banca respectiva ; ▪ los ingresos procedentes de los derechos de cobro adquiridos frente a clientes de la Banca respectiva; ▪ Para la Banca Comercial se deben considerar adicionalmente los ingresos netos de valores mantenidos en la cartera de inversión. 4. Para la línea de negociación y ventas, los ingresos brutos consisten en los beneficios / pérdidas procedentes de los instrumentos mantenidos por motivos de negociación (es decir, en la cartera valorada a precios de mercado), netos de los costes de financiación, más las comisiones de la intermediación mayorista. 5. Para las otras cinco líneas de negocio, los ingresos brutos consisten básicamente en las comisiones / cuotas netas obtenidas en cada uno de esos negocios. En el caso de la línea de pagos y liquidación, estos ingresos brutos se componen de las comisiones percibidas por prestar servicios de liquidación / pago a contrapartes mayoristas. En el caso de la administración de activos, se trata de la gestión de patrimonios por cuenta de terceros.

Fuente: Elaboración propia en base al Nuevo Marco de Capital (BCBS 2006a)

Tabla N°2: Consideraciones en ASA para los préstamos de las líneas de negocio tradicional.

Línea de negocio tradicional	Tipo de préstamos incluidos en ASA	Definición
Banca minorista	Minoristas	Exposiciones a particulares (incluyendo líneas de sobre-giro y de tarjetas de crédito), préstamos hipotecarios sobre residencias , entre otros
	Micro/pequeñas /medianas em-presas tratadas como minoristas	Todos los prestamos crediticios a micro/pequeñas /medianas empresas, según los criterios de exposición máxima individual que cada supervisor instruya para catalogarlas dentro de minoristas
	Derechos de cobro adquiridos a minoristas	Financiación bancaria sobre valores adeudados a los clientes minoristas del banco por parte de terceros, por los bienes o servicios que les proporcionan.
Banca comercial	Empresas	Préstamos a una empresa o sociedad
	Soberanos	Préstamos a soberanos, bancos centrales, algunas organizaciones públicas y bancos de desarrollo
	Bancos	Préstamos a otros bancos, financieras o sociedades de valores reguladas
	Financiación especializada	Préstamos para financiación de proyectos, bienes, materias, primas, propiedades inmobiliarias generadores de renta/comerciales
	Pequeñas y mediana empresas tratadas como empresas	Todos los prestamos crediticios a pequeñas y medianas empresas, según los criterios de exposición mínima individual que cada supervisor instruya para catalogarlas dentro de aquella categoría
	Derechos de cobro adquiridos a empresas	Financiación bancaria sobre valores adeudados a empresas clientes del banco por parte de terceros, por los bienes o servicios que les proporcionan.
	Valor contable de títulos de la cartera de inversión	Valor de adquisición de los títulos mantenidos en la cartera de inversión (por lo tanto, con fin de mantenerlos hasta el vencimiento)

Fuente: Elaboración propia en base a BCBS (2006a) y "Basilea II - Operational Risk - BIA & SA" , FSI, <http://www.fsiconnect.org>.

Tabla 2-A: Categorías y tipos de eventos de pérdidas asociados a riesgo operacional (primera parte).

Categoría de Tipo de Eventos (nivel 1)	Definición	Categoría (nivel 2)	Ejemplos de actividades (Nivel 3)
Fraude interno	Pérdidas derivadas de algún tipo de actuación encaminada a defraudar, apropiarse de bienes indebidamente o soslayar regulaciones, leyes o políticas empresariales (excluidos los eventos de diversidad / discriminación) en las que se encuentra implicada, al menos, una parte interna a la empresa	Actividades no autorizadas	i) Operaciones no reveladas intencionalmente; ii) Operaciones no autorizadas con pérdidas monetarias; y iii) Valoración errónea intencional de posiciones
		Hurto y fraude	i) Fraude / fraude crediticio/ depósitos sin valor Hurto / extorsión malversación / robo; ii) Apropiación indebida de activos; iii) Destrucción vi) Contrabando; vii) Apropiación de cuentas, de identidad, etc.; viii) incumplimiento / evasión intencional de impuestos; ix) Soborno / cohecho; y x) Abuso de información privilegiada
Fraude externo	Pérdidas derivadas de algún tipo de actuación encaminada a defraudar, apropiarse de bienes indebidamente o soslayar la legislación, por parte un tercero	Hurto y fraude	i) Hurto/ robo; ii) Falsificación; y iii) Utilización de cheques sin fondos
		Seguridad de los sistemas	i) Daños por ataques informáticos; y ii) Robo de información con pérdidas monetarias
Relaciones laborales y seguridad en el puesto de trabajo	Pérdidas derivadas de actuaciones incompatibles con la legislación o acuerdos laborales, sobre higiene o seguridad en el trabajo, sobre el pago de reclamaciones por daños personales, o sobre casos relacionados con la discriminación	Relaciones laborales	i) Cuestiones relativas a remuneración, prestaciones sociales, extinción de contratos; y ii) Organización laboral
		Higiene y seguridad en el trabajo	i) Imposibilidad en general (resbalones, caídas, etc.); ii) Casos relacionados con las normas de higiene y seguridad en el trabajo; y iii) Indemnización a los trabajadores
		Diversidad y discriminación	Todo tipo de discriminación
Incidencias en el negocio y fallos en los sistemas	Pérdidas derivadas de interrupción en los negocios o por fallas en los sistemas	Sistemas	i) Hardware; ii) Software; iii) Telecomunicaciones; y iv) Interrupción / incidencias en el suministro
Daños a activos materiales	Pérdidas derivadas por daños o perjuicios a activos materiales como consecuencia de desastres naturales u otros eventos	Desastres y otros acontecimientos	i) Pérdidas por desastres naturales; ii) Pérdidas humanas por causas externas (terrorismo, vandalismo)

Fuente:Elaboración propia basado en BCBS (2006a)

Tabla 3-A: Categorías y tipos de eventos de pérdidas asociados a riesgo operacional (segunda parte).

Categoría de Tipo de Eventos (nivel 1)	Definición	Categoría (nivel 2)	Ejemplos de actividades (Nivel 3)
Cientes, productos y prácticas empresariales	Pérdidas derivadas del incumpliendo involuntario o negligente de una obligación profesional frente a clientes concretos (incluidos requisitos fiduciarios y de empresariales adecuación), o de la naturaleza o diseño de un producto	Adecuación, divulgación de información y confianza	i) Abusos de confianza / incumplimiento de pautas; ii) Apropiamiento / divulgación de información; iii) Violación de la privacidad de clientes minoristas; iv) Quebrantamiento de privacidad; v) Ventas agresivas; vi) Pérdidas de cuentas; vii) Mal uso de información confidencial; y viii) Responsabilidad del prestamista
		Prácticas empresariales o de mercado impropias	i) Prácticas anti-competencia; ii) Prácticas impropias comerciales y de mercado; iii) Manipulación del mercado; iv) Comercialización de información privilegiada a favor de la empresa; v) Actividades no autorizadas; y vi) Lavado de dinero
		Productos defectuosos	i) Defectos del producto; y ii) Error de modelo
		Selección, patrocinio riesgos	i) Fallida investigación a clientes según los protocolos; y ii) Superación de los límites de exposición frente a clientes
		Actividades de asesoramiento	Litigios sobre resultados de las actividades de asesoramiento
Ejecución, entrega y gestión de procesos	Pérdidas derivadas de errores en el procesamiento de operaciones o en la gestión de procesos, así como de relaciones con contrapartes comerciales y proveedores	Recepción, ejecución y mantenimiento de operaciones	i) Comunicación defectuosa; ii) Errores de introducción de datos, mantenimiento o descarga; iii) Incumplimiento de plazos o de responsabilidades; iv) Ejecución errónea de modelos / sistemas; v) Error contable / atribución a entidades erróneas; vi) Errores en otras tareas; vii) Fallo en la entrega; viii) Fallo en la gestión del colateral; y ix) Mantenimiento de datos de referencia
		Seguimiento y Movimiento	i) Incumplimiento en la obligación reportar; y ii) Inexactitud de informes externos (incurriendo en pérdidas)
		Aceptación de clientes y documentación	i) Extravío de autorizaciones / rechazos de clientes; y ii) Documentos jurídicos inexistentes / incompletos
		Gestión de cuentas de clientes	i) Acceso no autorizado a cuentas; ii) Registros incorrectos de clientes (incurriendo en pérdidas); y iii) Pérdida o daño de activos de clientes por negligencia
		Contrapartes comerciales	i) Fallos con contrapartes no-clientes; y ii) Otros litigios con contrapartes distintas de clientes
Distribuidores y proveedores	i) Subcontratación; y ii) Litigios con distribuidores		

Fuente: Elaboración propia en base a (BCBS 2006a)

Tabla 4-A: Líneas de Negocios, definición y mapeo, según Basilea II.

Nivel 1	Definición General	Nivel 2	Grupos de actividades (Nivel 3)
Finanzas empresariales o corporativas	acuerdos bancarios que se proporcionan a las grandes compañías comerciales, compañías multinacionales, instituciones financieras no bancarias, departamentos del gobiernos, entre otras.	Finanzas Corporativas	Fusiones y adquisiciones, suscripción de emisiones, privatizaciones, titulización, servicio de estudios, deuda (pública, alto rendimiento), acciones, sindicaciones, Ofertas Públicas Iniciales, colocaciones privadas en mercados secundarios.
		Finanzas Municipales y de Gobierno	
		Banca de inversión	
		Servicios de asesoramiento	
Negociación y ventas	operaciones de tesorería, compra y venta de valores, divisas y materias primas por cuenta propia y de clientes.	Ventas	Renta fija, renta variable, divisas, productos básicos, crédito, financiación, posiciones propias en valores, préstamo y operaciones con pacto de recompra, intermediación, deuda, intermediación unificada
		Generación de Mercado	
		Posiciones Propietarias	
		Tesorería	
Pagos y liquidación	actividades relacionadas con pagos y cobros, transferencias interbancarias de fondos, compensación y liquidación.	Clientes Externos	Pagos y recaudaciones, transferencia de fondos, compensación y liquidación (Las pérdidas derivadas de las operaciones de pago y liquidación relacionadas con las actividades propias del banco se incorporarán al historial de pérdidas de la línea de negocios afectada.)
Servicios de agencias	funcionando como agentes de emisión y pago a empresas clientes, proporcionando servicios de custodia, entre otros.	Custodia	Contratos de plica, certificados de depósito, operaciones de sociedades (clientes) para préstamo de valores
		Agencia a Empresas	Agentes de emisiones y pagos
		Fideicomisos a Empresas	
Administración de activos	administración de fondos de clientes de manera conjunta, separada, minorista, institucional, abierta o cerrada según el mandatario.	Administración discrecional de fondos	Agrupados, segregados, minoristas, institucionales, cerrados, abiertos, participaciones accionarias
		Administración no discrecional de fondos	Agrupados, segregados, minoristas, institucionales, de capital fijo, de capital variable
Intermediación minorista	servicios de intermediación que se ofrecen a clientes que son inversores minoristas, más que inversionistas institucionales.	Intermediación minorista	Ejecución y servicio completo
Banca minorista	acuerdos de financiación para clientes particulares, clientes minoristas y pequeñas compañías (tales como préstamos, tarjetas de crédito, etc.), así como de otras facilidades, como fideicomisos y patrimonios, y asesoramiento sobre inversiones.	Banca Minorista	Préstamos y depósitos de clientes minoristas, servicios bancarios, fideicomisos y testamentarias
		Banca Privada	Préstamos y depósitos de particulares, servicios bancarios, fideicomisos y testamentarias, y asesoramiento de inversión
		Servicios de Tarjetas	Tarjetas de empresa / comerciales, de marca privada y minoristas
Banca comercial	acuerdos de financiación para compañías comerciales, incluida la financiación de proyectos, propiedades inmobiliarias, comercio exterior, factoring, leasing, garantías, letras de cambio, etc.	Banca comercial	Financiación de proyectos, bienes raíces, financiación de exportaciones, financiación comercial, factoring, arrendamiento financiero, préstamo, garantías, letras de cambio

Fuente: Elaboración propia en base a BCBS (2006a) y "Basilea II - Operational Risk - BIA & SA", FSI, (<http://www.fsiconnect.org>).

Tabla 5-A: Criterios cuantitativos para las fuentes de datos de pérdidas en AMA

Fuente de información	Criterios Cuantitativos
Datos Internos	Deben basarse en un periodo representativo de pérdidas brutas no menos a 5 años (aunque en un periodo preliminar de implantación del supervisor local, el Comité permite una base sobre tres años mínimos).
	La base de datos histórica interna de pérdidas por riesgos operacional debe de ser lo bastante detallada como para identificar cada pérdida y la línea de negocio de nivel uno y dos afectada, así como las actividades especiales y la tipología de cada evento de pérdida.
	Cuenta con documentación detallada y con criterios claros que permitan la asignación inequívoca de las pérdidas tanto a sus tipologías como a las líneas de negocio que afectan. Así también, los criterios deberán ser tan específicos como para lograr la adecuada asignación de datos de pérdidas derivadas de un evento sobre una función centralizada y, al la vez, permitir la distribución apropiada de aquella entre las líneas de negocios relacionadas.
	El banco debe demostrar al supervisor que el umbral estipulado para excluir pérdidas poco significativas por riesgos operacional, no afecte considerablemente sus estimaciones de cargo de capital por este tipo de riesgo. Aquel umbral debe ser coherente con el tamaño del negocio del banco y puede ser variable en función de la línea de negocio y tipo de eventos de pérdida. El comité recomienda un umbral de 10.000, sin embargo, aquella cantidad puede resultar excesiva en países no pertenecientes al G-10.
	La base de datos de pérdidas debe considerar al menos las líneas de negocios y actividades afectadas, la tipología del evento de pérdidas, fecha del evento de pérdida, cuantía de las recuperaciones (por ejemplo, por seguros); y descripción de los factores y causas catalizadores de la pérdida (se recomienda descripciones estándares pero flexibles).
	Las pérdidas por riesgo operacional que se relacionen con riesgo de crédito y que históricamente hayan sido registradas dentro de éste último, deberán seguir siendo consideradas para efectos de capital como de riesgo de crédito (por ejemplo, aquellas pérdidas derivadas de la imposibilidad de liquidar un colateral aunque esto se debe a errores de gestión). Mientras que las pérdidas por riesgo operacional relacionadas a riesgo de mercado deberán ser siempre considera dentro de los requerimientos de capital por riesgo operacional, esto se debe a que los requerimientos de capital por riesgo de mercado se fundamentan principalmente en movimiento de precios.
Datos Externos	El sistema de medición de riesgo operacional deberá utilizar datos externos relevantes, especialmente cuando existen fundamentos que indiquen que el banco se expone a pérdidas externas (y por lo tanto con muy baja frecuencia en sus datos internos)
	Las fuentes de información de datos externos deberán poseer al menos los mismos requerimientos de información sobre pérdidas que las requeridas pos Basilea II sobre los datos internos. Adicionalmente, resulta recomendable que las bases de datos externas incluyan información e indicadores sobre las características de la institución afectada por las pérdidas, tales como tamaño de la organización , tipo de organización , etc. de manera de facilitar el escalamiento de las pérdidas.
	El banco deberá documentar y disponer de un proceso sistemático para la utilización de datos externos, detallando el proceso de incorporación de aquellos datos en sus sistemas de medición de riesgo y el método de escalamiento de las pérdidas externas. Todo lo cual deberá ser auditado por entes independientes.
Análisis de Escenarios	Junto a los datos externos, los bancos deberán usar análisis de escenarios basadas en un proceso sistemático de opciones de expertos (gerentes de líneas de negocios, especialistas de riesgo operacional y de riesgos financieros, asesores externos, entre otros), con el fin de identificar nuevas fuentes y eventos de riesgo operacional los cuales pueden presentar severidad externa pero plausible y, a la vez, que éstos sean difícilmente representados por datos históricos internos y extremos. Por ejemplo: catástrofes naturales, grandes demandas judiciales contra la entidad, actos terroristas, escenarios bélicos entre naciones relevantes para la institución, etc.
Factores del entorno y del control interno	Se deberán identificar factores del entorno del negocio (entorno económico, político, geográfico , etc.) y del control internos de la institución, que han o podrían modificar el perfil de riesgo operacional de ésta. Cada uno de estos factor deberá ser un generadores de riesgo operacional significativo, según la opinión del panel de expertos.
	La sensibilidad de la estimación del cargo de capital por riesgo operacional en relación a cambios en los factores identificados, así como la ponderación parcial de cada uno de éstos, deben presentar coherencia y considerar las mejores en los procesos internos como un mitigador de riesgo operacional, así como al aumento del volumen del negocio como un indicador de complejidad y un catalizador de nuevas fuentes de riesgos operacional.
	La identificación de los factores, su metodologías y aplicación deberán ser sometidas a validación por entes independientes internos y externos.
	Los factores identificados y su implicación en la exposición a riesgo operacional, deberán ser continuamente calibrados y validados en función de la nueva experiencia recolectada tanto internos como externas.

Fuente: Elaboración propia, basado en BCBS (2006a) y “Basilea II - Operational Risk - AMA”, FSI, <http://www.fsiconnect.org>.

Tabla 6-A: TABLA DE CONTENIDO DE LA BASE DE DATOS DE REGISTRO DE EVENTOS).

1	Referencia	Código interno que identifique el evento en forma secuencial.
2	Factor de riesgo operacional	De acuerdo a la clasificación establecida en Capítulo II de estas Normas.
3	Tipo de evento de pérdida	Identifica el tipo de pérdida, de acuerdo con la clasificación del Anexo No. 1.
4	Líneas de negocio	Identificación de la línea de negocio que origino el evento, siendo las principales para el caso de bancos, bancos cooperativos y sociedades de ahorro y crédito las detalladas en Anexo No.2. Para las Sociedades de Seguro, las principales líneas de negocios, se detallan en Anexo No.3.
5	Descripción del evento	Descripción detallada del evento. Canal de servicio o atención al cliente (cuando aplica) Zona geográfica.
6	Fecha de inicio del evento	Fecha en que se inicia el evento. Día, mes, año.
7	Fecha de finalización del evento	Fecha en que finaliza el evento. Día, mes, año.
8	Fecha del descubrimiento	Fecha en que se descubre el evento. Día, mes, año
9	Fecha de contabilización	Fecha en que se registra contablemente la pérdida económica por el evento. Día, mes, año, hora.
10	Monto	El monto a que asciende la pérdida, cuantificación económica de la ocurrencia del evento de riesgo operacional y los gastos derivados de su atención.
11	Divisa	Moneda extranjera en la que se materializa el evento.
12	Cuentas contables afectadas	Identifica las cuentas del Catalogo de Cuentas afectadas.
13	Proceso	Identifica el proceso afectado.
14	Valor total recuperado	El valor total recuperado por la acción directa de la entidad. Incluye los montos recuperados por seguros.
15	Valor recuperado por seguros	Corresponde al valor recuperado por la cobertura a través de un seguro.
16	Producto o servicio afectado	Identifica el producto o servicio afectado por el evento de riesgo operacional.
17	Cuantificación de la severidad del daño	Monto a que asciende la pérdida (neta de cualquier mitigante o recuperación)

Fuente: Elaboración propia, basado en la norma NPB4-50 anexo 4, SUPERINTENDENCIA DEL SISTEMA FINANCIERO SAN SALVADOR, EL SALVADOR, C.A.

Para la creación del registro de eventos de riesgo operacional las entidades podrán utilizar, además de los campos descritos anteriormente, otros que se consideren relevantes

Las entidades que consideren que las bases de datos de eventos de riesgo operacional sean insuficientes para cuantificar el riesgo operacional, podrán optar por la utilización de bases de datos de fuentes externas, siempre que dichas bases de datos sean normalizadas y adecuadas a las bases de datos internas de la entidad.

5.2. Tabla de datos

1.Datos											
1. Sistemas											
Mes	Número de fallas en el sistema	Pérdida Asociada	Mes	Número de fallas en el sistema	Pérdida Asociada	Mes	Número de fallas en el sistema	Pérdida Asociada	Mes	Número de fallas en el sistema	Pérdida Asociada
ene-00	8	\$ 150,519			\$ 180,090			\$ 136,984			\$ 112,895
		\$ 151,804			\$ 199,953			\$ 127,621			\$ 103,656
		\$ 50,895			\$ 89,857			\$ 151,645			\$ 158,133
		\$ 162,313			\$ 123,752	ene-01	3	\$ 151,965			\$ 153,981
		\$ 128,918			\$ 62,853			\$ 96,262	sep-01	4	\$ 96,375
		\$ 161,410	ago-00	5	\$ 109,327			\$ 230,510			\$ 86,917
		\$ 170,496			\$ 98,851	feb-01	3	\$ 143,021			\$ 94,178
		\$ 88,734			\$ 108,773			\$ 117,725			\$ 87,730
feb-00	5	\$ 140,238			\$ 65,240			\$ 113,808	oct-01	2	\$ 126,052
		\$ 105,971			\$ 94,715	mar-01	2	\$ 97,965			\$ 113,244
		\$ 166,565	sep-00	4	\$ 92,464			\$ 135,464	nov-01	6	\$ 174,671
		\$ 149,528			\$ 119,352	abr-01	5	\$ 181,877			\$ 159,401
		\$ 121,910			\$ 85,982			\$ 108,488			\$ 130,586
mar-00	2	\$ 103,561			\$ 126,088			\$ 89,333			\$ 87,032
		\$ 129,966	oct-00	1	\$ 130,058			\$ 176,932			\$ 140,162
abr-00	2	\$ 124,592	nov-00	7	\$ 113,688			\$ 126,098			\$ 85,910
		\$ 164,596			\$ 123,500	jun-01	2	\$ 145,803	dic-01	3	\$ 142,147
may-00	2	\$ 102,848			\$ 34,268			\$ 177,171			\$ 72,428
		\$ 137,614			\$ 54,501	jul-01	4	\$ 118,756			\$ 157,626
jun-00	2	\$ 102,096			\$ 87,170			\$ 158,078	ene-02	2	\$ 154,738
		\$ 171,992			\$ 108,033			\$ 89,883			\$ 140,842
jul-00	7	\$ 116,871			\$ 70,378			\$ 144,631	feb-02	1	\$ 126,008
		\$ 100,129	dic-00	4	\$ 92,921	ago-01	5	\$ 134,523	mar-02	2	\$ 155,147
2.Datos											
1. Sistemas											
Mes	Número de fallas en el sistema	Pérdida Asociada	Mes	Número de fallas en el sistema	Pérdida Asociada	Mes	Número de fallas en el sistema	Pérdida Asociada	Mes	Número de fallas en el sistema	Pérdida Asociada
		\$ 165,300	sep-02	5	\$ 97,288	feb-03	3	\$ 49,970			\$ 144,201
abr-02	6	\$ 77,690			\$ 139,907			\$ 185,315	oct-03	2	\$ 133,304
		\$ 137,627			\$ 180,883			\$ 119,391			\$ 122,396
		\$ 112,288			\$ 133,413	mar-03	2	\$ 186,054	dic-03	5	\$ 154,613
		\$ 94,022			\$ 134,347			\$ 101,962			\$ 44,286
		\$ 155,201	oct-02	4	\$ 74,513	abr-03	1	\$ 109,866			\$ 105,461
		\$ 127,115			\$ 163,142	may-03	3	\$ 111,133			\$ 206,694
may-02	4	\$ 144,436			\$ 141,840			\$ 112,929			\$ 162,600
		\$ 141,442			\$ 132,821			\$ 75,058	ene-04	7	\$ 143,122
		\$ 93,243	nov-02	7	\$ 138,535	jun-03	6	\$ 104,454			\$ 103,906
		\$ 164,978			\$ 108,393			\$ 110,351			\$ 121,533
jun-02	3	\$ 87,111			\$ 73,286			\$ 147,139			\$ 57,111
		\$ 104,249			\$ 146,426			\$ 101,756			\$ 119,359
		\$ 136,408			\$ 123,500			\$ 75,765			\$ 136,205
jul-02	3	\$ 162,473			\$ 110,839			\$ 127,550			\$ 247,935
		\$ 92,047			\$ 136,164	jul-03	3	\$ 127,294	feb-04	5	\$ 124,575
		\$ 119,985	dic-02	2	\$ 141,169			\$ 53,136			\$ 92,464
ago-02	6	\$ 127,447			\$ 124,468			\$ 129,795			\$ 129,335
		\$ 86,547	ene-03	5	\$ 180,209	ago-03	3	\$ 92,925			\$ 106,639
		\$ 88,265			\$ 90,485			\$ 119,741			\$ 135,031
		\$ 103,346			\$ 159,115			\$ 125,848	mar-04	4	\$ 132,786
		\$ 130,591			\$ 120,121	sep-03	3	\$ 141,613			\$ 122,649
		\$ 129,498			\$ 118,659			\$ 203,955			\$ 137,037

3. Datos											
1. Sistemas											
Mes	Número de fallas en el sistema	Pérdida Asociada	Mes	Número de fallas en el sistema	Pérdida Asociada	Mes	Número de fallas en el sistema	Pérdida Asociada	Mes	Número de fallas en el sistema	Pérdida Asociada
		\$ 139,649			\$ 139,516			\$ 144,366			\$ 91,178
abr-04	1	\$ 128,597			\$ 187,805			\$ 118,537	sep-05	7	\$ 131,896
may-04	8	\$ 139,537	oct-04	5	\$ 91,792			\$ 103,309			\$ 175,394
		\$ 146,703			\$ 116,893			\$ 131,386			\$ 82,725
		\$ 133,213			\$ 155,358	mar-05	4	\$ 63,718			\$ 143,130
		\$ 162,106			-\$ 3,299			\$ 97,370			\$ 167,826
		\$ 164,654			\$ 135,397			\$ 94,446			\$ 152,574
		\$ 159,515	nov-04	6	\$ 106,425			\$ 106,832			\$ 98,147
		\$ 151,379			\$ 111,165	abr-05	4	\$ 168,231	oct-05	5	\$ 140,458
		\$ 111,932			\$ 150,170			\$ 109,302			\$ 181,817
jun-04	2	\$ 128,967			\$ 95,202			\$ 95,868			\$ 99,679
		\$ 94,155			\$ 129,743			\$ 89,501			\$ 163,645
jul-04	7	\$ 145,567			\$ 157,709	may-05	2	\$ 149,878			\$ 74,623
		\$ 150,445	dic-04	3	\$ 156,926			\$ 104,628	nov-05	4	\$ 75,091
		\$ 143,813			\$ 106,726	jun-05	2	\$ 101,404			\$ 149,094
		\$ 81,963			\$ 96,280			\$ 128,666			\$ 94,299
		\$ 148,542	ene-05	5	\$ 148,574	jul-05	4	\$ 81,744			\$ 148,919
		\$ 191,641			\$ 143,737			\$ 73,077	dic-05	7	\$ 163,859
		\$ 107,558			\$ 129,207			\$ 143,220			\$ 116,580
ago-04	2	\$ 166,938			\$ 82,690			\$ 130,259			\$ 167,211
		\$ 146,802			\$ 131,966	ago-05	4	\$ 123,591			\$ 188,757
sep-04	4	\$ 140,767	feb-05	6	\$ 133,117			\$ 162,483			\$ 111,567
		\$ 113,309			\$ 75,345			\$ 83,768			\$ 169,342

4. Datos											
1. Sistemas											
Mes	Número de fallas en el sistema	Pérdida Asociada	Mes	Número de fallas en el sistema	Pérdida Asociada	Mes	Número de fallas en el sistema	Pérdida Asociada	Mes	Número de fallas en el sistema	Pérdida Asociada
		\$ 130,201			\$ 88,576			\$ 163,483	sep-07	4	\$ 132,746
ene-06	3	\$ 158,174			\$ 129,313			\$ 78,563			\$ 73,268
		\$ 136,913	ago-06	3	\$ 195,892			\$ 112,015			\$ 118,302
		\$ 151,801			\$ 64,757			\$ 155,639			\$ 66,351
feb-06	4	\$ 145,573			\$ 176,126	mar-07	1	\$ 132,736	oct-07	4	\$ 152,645
		\$ 92,312	sep-06	4	\$ 112,661	abr-07	6	\$ 147,800			\$ 162,634
		\$ 114,699			\$ 110,995			\$ 172,657			\$ 99,120
		\$ 109,594			\$ 113,748			\$ 148,031			\$ 163,272
mar-06	3	\$ 101,059			\$ 92,880			\$ 141,211	nov-07	5	\$ 118,986
		\$ 92,550	oct-06	3	\$ 93,026			\$ 148,302			\$ 176,895
		\$ 104,451			\$ 110,147			\$ 67,346			\$ 168,569
abr-06	3	\$ 88,924			\$ 159,576	may-07	3	\$ 70,262			\$ 49,384
		\$ 167,606	nov-06	4	\$ 83,406			\$ 102,288			\$ 122,963
		\$ 81,902			\$ 127,692			\$ 125,483	dic-07	4	\$ 87,985
may-06	3	\$ 122,264			\$ 93,514	jun-07	5	\$ 86,997			\$ 135,350
		\$ 139,483			\$ 153,947			\$ 135,492			\$ 125,341
		\$ 102,904	dic-06	3	\$ 137,466			\$ 152,937			\$ 218,500
jun-06	2	\$ 152,154			\$ 193,604			\$ 115,226	ene-08	5	\$ 149,433
		\$ 104,007			\$ 107,282			\$ 79,165			\$ 101,994
jul-06	6	\$ 101,526	ene-07	3	\$ 127,604	jul-07	2	\$ 59,906			\$ 101,641
		\$ 137,701			\$ 134,290			\$ 151,655			\$ 111,908
		\$ 146,439			\$ 130,574	ago-07	2	\$ 34,268			\$ 130,783
		\$ 136,814	feb-07	5	\$ 143,479			\$ 95,548	feb-08	4	\$ 93,026

5. Datos								
1. Sistemas								
Mes	Número de fallas en el sistema	Pérdida Asociada	Mes	Número de fallas en el sistema	Pérdida Asociada	Mes	Número de fallas en el sistema	Pérdida Asociada
		\$ 100,413			\$ 95,596			\$ 124,942
		\$ 80,880			\$ 130,105			\$ 136,701
		\$ 106,662			\$ 88,331			\$ 145,948
mar-08	6	\$ 51,490	ago-08	4	\$ 87,356			
		\$ 106,835			\$ 85,920			
		\$ 107,501			\$ 138,900			
		\$ 139,850			\$ 129,708			
		\$ 84,411	sep-08	3	\$ 102,533			
		\$ 93,684			\$ 126,128			
abr-08	2	\$ 102,092			\$ 79,844			
		\$ 189,523	oct-08	6	\$ 141,111			
may-08	5	\$ 94,669			\$ 72,484			
		\$ 176,480			\$ 125,677			
		\$ 102,646			\$ 138,324			
		\$ 174,419			\$ 147,530			
		\$ 104,421			\$ 162,698			
jun-08	5	\$ 77,418	nov-08	5	\$ 126,235			
		\$ 153,753			\$ 115,551			
		\$ 81,726			\$ 137,553			
		\$ 89,999			\$ 91,199			
		\$ 138,811			\$ 125,491			
jul-08	5	\$ 143,361	dic-08	5	\$ 97,948			
		\$ 90,367			\$ 118,394			

Figura 3.3: fuente: Datos hipotéticos para sistemas.

2. Fraude Interno					
Mes	Número de inconsistencias en caja menor	Pérdida Asociada	Mes	Número de inconsistencias en caja menor	Pérdida Asociada
abr-00	1	\$ 27,282	feb-06	1	\$ 55,825
sep-00	1	\$ 53,318	mar-06	1	\$ 7,870
ene-01	1	\$ 50,211	ene-07	1	\$ 9,136
feb-01	1	\$ 57,905	jun-07	1	\$ 75,886
mar-01	1	\$ 48,327	feb-08	1	\$ 36,053
may-01	1	\$ 53,819			
jun-01	1	\$ 74,450			
oct-01	1	\$ 50,389			
feb-02	1	\$ 39,712			
jun-02	1	\$ 12,478			
ene-03	1	\$ 24,074			
feb-03	1	\$ 17,599			
mar-03	1	\$ 74,145			
abr-03	1	\$ 61,052			
may-03	1	\$ 17,402			
ago-03	1	\$ 15,862			
feb-04	1	\$ 67,507			
jun-04	1	\$ 91,779			
jul-04	1	\$ 26,076			
oct-04	1	\$ 65,217			
dic-04	1	\$ 96,134			
mar-05	1	\$ 4,585			
sep-05	1	\$ 50,889			
nov-05	1	\$ 26,051			

Figura 3.3: fuente: Datos hipotéticos para fraude interno.

Datos 1.			Datos 1.			Datos 1.			Datos 1.		
3. Fraude Externo			3. Fraude Externo			3. Fraude Externo			3. Fraude Externo		
Mes	Número de cheques con firmas falsificadas	Pérdida Asociada	Mes	Número de cheques con firmas falsificadas	Pérdida Asociada	Mes	Número de cheques con firmas falsificadas	Pérdida Asociada	Mes	Número de cheques con firmas falsificadas	Pérdida Asociada
ene-00	4	\$ 612,552			\$ 1,029,250			\$ 751,666			\$ 578,661
		\$ 508,658			\$ 369,765	ago-01	1	\$ 558,446	jun-02	2	\$ 408,070
		\$ 1,131,730			\$ 620,803	sep-01	5	\$ 504,744			\$ 786,828
		\$ 689,555			\$ 834,653			\$ 647,669	jul-02	5	\$ 1,157,210
feb-00	1	\$ 1,242,520			\$ 828,412			\$ 895,614			\$ 473,166
mar-00	1	\$ 1,255,030	dic-00	1	\$ 671,852			\$ 644,203			\$ 428,113
abr-00	4	\$ 353,960	ene-01	2	\$ 770,830			\$ 528,879			\$ 543,329
		\$ 1,060,700			\$ 574,205	oct-01	1	\$ 846,167			\$ 392,658
		\$ 554,452	mar-01	3	\$ 667,757	nov-01	2	\$ 937,417	ago-02	4	\$ 808,276
		\$ 878,114			\$ 614,064			\$ 822,240			\$ 494,387
jun-00	6	\$ 656,766			\$ 351,241	dic-01	2	\$ 475,658			\$ 513,415
		\$ 329,796	abr-01	4	\$ 1,330,810			\$ 368,235			\$ 628,711
		\$ 339,333			\$ 658,136	ene-02	2	\$ 903,657	sep-02	2	\$ 777,442
		\$ 694,475			\$ 790,424			\$ 435,075			\$ 731,144
		\$ 841,470			\$ 1,024,110	feb-02	3	\$ 991,321	oct-02	4	\$ 246,105
		\$ 807,409	may-01	4	\$ 600,032			\$ 848,354			\$ 466,754
jul-00	1	\$ 670,529			\$ 478,108			\$ 683,272			\$ 615,215
ago-00	2	\$ 286,809			\$ 833,421	mar-02	2	\$ 1,037,730			\$ 493,223
		\$ 1,101,460			\$ 643,952			\$ 421,525	nov-02	1	\$ 914,721
sep-00	2	\$ 185,391	jun-01	2	\$ 727,692	abr-02	1	\$ 272,205	dic-02	3	\$ 310,475
		\$ 482,077			\$ 488,800	may-02	4	\$ 560,776			\$ 739,074
oct-00	1	\$ 720,221	jul-01	3	\$ 788,657			\$ 377,129			\$ 466,658

Datos 2.			Datos 2.			Datos 2.			Datos 2.		
3. Fraude Externo			3. Fraude Externo			3. Fraude Externo			3. Fraude Externo		
Mes	Número de cheques con firmas falsificadas	Pérdida Asociada	Mes	Número de cheques con firmas falsificadas	Pérdida Asociada	Mes	Número de cheques con firmas falsificadas	Pérdida Asociada	Mes	Número de cheques con firmas falsificadas	Pérdida Asociada
		\$ 805,509	oct-03	1	\$ 569,761			\$ 489,375			\$ 574,869
		\$ 464,731	nov-03	3	\$ 464,433			\$ 536,417			\$ 729,697
feb-03	2	\$ 520,673			\$ 495,150			\$ 695,139	sep-05	4	\$ 672,113
		\$ 539,779			\$ 686,321	sep-04	2	\$ 825,872			\$ 524,373
mar-03	2	\$ 463,839	dic-03	1	\$ 436,148			\$ 758,115			\$ 728,819
		\$ 333,835	ene-04	3	\$ 379,662	oct-04	2	\$ 353,514			\$ 1,177,000
abr-03	3	\$ 204,577			\$ 658,822			\$ 381,052	oct-05	2	\$ 1,064,320
		\$ 350,192			\$ 1,120,370	nov-04	1	\$ 322,826			\$ 466,723
		\$ 1,179,410	feb-04	4	\$ 678,499	dic-04	1	\$ 621,189	nov-05	3	\$ 305,229
may-03	2	\$ 760,859			\$ 344,142	mar-05	5	\$ 435,896			\$ 538,793
		\$ 374,612			\$ 580,902			\$ 389,389			\$ 644,560
jun-03	4	\$ 762,729			\$ 888,991			\$ 835,045	dic-05	3	\$ 679,768
		\$ 583,226	mar-04	2	\$ 601,331			\$ 1,092,440			\$ 643,025
		\$ 1,065,360			\$ 538,385			\$ 373,892			\$ 408,178
		\$ 752,023	abr-04	2	\$ 454,975	may-05	2	\$ 742,350	ene-06	4	\$ 482,988
jul-03	3	\$ 412,219			\$ 888,829			\$ 761,379			\$ 555,167
		\$ 1,263,070	may-04	3	\$ 341,835	jun-05	1	\$ 237,329			\$ 406,108
		\$ 424,347			\$ 343,049	jul-05	3	\$ 692,256			\$ 496,319
ago-03	4	\$ 286,472			\$ 574,145			\$ 383,442	feb-06	1	\$ 991,853
		\$ 531,310	jun-04	2	\$ 557,504			\$ 974,730	mar-06	2	\$ 588,728
		\$ 238,643			\$ 876,995	ago-05	5	\$ 784,097			\$ 491,931
		\$ 166,420	jul-04	1	\$ 583,008			\$ 1,159,210	abr-06	2	\$ 507,540

Datos 3.								
3. Fraude Externo			3. Fraude Externo					
Mes	Número de cheques con firmas falsificadas	Pérdida Asociada	Mes	Número de cheques con firmas falsificadas	Pérdida Asociada	Mes	Número de cheques con firmas falsificadas	Pérdida Asociada
may-06	2	\$ 432,678			\$ 948,897	sep-08	1	\$ 545,076
		\$ 400,561			\$ 791,407	oct-08	3	\$ 848,589
jun-06	2	\$ 922,922			\$ 573,603			\$ 515,679
		\$ 537,478	ene-08	4	\$ 412,584			\$ 583,901
jul-06	3	\$ 453,728			\$ 507,989	nov-08	1	\$ 591,739
		\$ 568,594			\$ 378,965	dic-08	1	\$ 489,976
		\$ 464,775			\$ 508,648			
sep-06	1	\$ 281,262	feb-08	1	\$ 658,831			
oct-06	1	\$ 652,178	mar-08	3	\$ 1,372,510			
dic-06	1	\$ 265,538			\$ 527,420			
ene-07	1	\$ 557,897			\$ 639,978			
mar-07	1	\$ 390,982	abr-08	2	\$ 457,989			
abr-07	1	\$ 423,531			\$ 614,797			
jun-07	1	\$ 651,295	may-08	3	\$ 653,408			
jul-07	2	\$ 764,410			\$ 411,198			
		\$ 411,313			\$ 320,205			
ago-07	3	\$ 417,583	jun-08	1	\$ 440,599			
		\$ 445,715	jul-08	5	\$ 386,455			
		\$ 441,316			\$ 697,060			
oct-07	1	\$ 491,223			\$ 503,099			
nov-07	1	\$ 445,792			\$ 1,092,820			
dic-07	5	\$ 306,452			\$ 554,930			

Figura 3.3: fuente: Datos hipotéticos para fraude Externo.

4a. Fraude Externo		
Mes	Hacking de sistemas de información	Pérdida Asociada
feb-00	1	\$ 7,462,610
ene-01	1	\$ 5,654,110
feb-01	1	\$ 3,883,620
abr-02	1	\$ 8,065,620
sep-02	1	\$ 2,032,930
oct-02	1	\$ 1,707,430
ago-03	1	\$ 5,000,240
mar-04	1	\$ 4,681,870
nov-04	1	\$ 2,517,920
ago-05	1	\$ 5,602,570
oct-05	1	\$ 25,534,400
may-06	1	\$ 19,340,100
jul-06	1	\$ 9,621,800
oct-07	1	\$ 11,993,500
ene-08	1	\$ 53,953,700
may-08	1	\$ 2,690,690
jun-08	1	\$ 6,916,870
nov-08	1	\$ 3,855,270
dic-08	1	\$ 6,977,950

Figura 3.3: fuente: Datos hipotéticos para fraude externo.

5.3. Bibliografía

Referencias

- [1] BCBS. (1989a). Report on netting schemes BIS, documento consultivo. BIS, documento consultivo.
- [2] Aparicio, J., Keskiner, E. (2004). A review of operational risk quantitative methodologies within the Basel-II framework, Accenture Technology Labs.
- [3] APRA (2008b). Reporting Forms ARF 115.0A, ARF 115.0B and ARF 115.0C, Advanced Measurement Approaches (AMA) to Operational Risk, Instruction Guide.
- [4] BCBS-IFAC. (1990). The audit of international commercial banks. BIS, documento consultivo. BIS, documento consultivo.
- [5] BCBS. (2006a). International Convergence of Capital Measurement and Capital Standards, Revised Framework, Comprehensive Version.
- [6] Böcker, K and Klüppelberg, C. (2005), *Operational VaR: a close-form approximation*. RISK Magazine, Diciembre, 90-93.
- [7] Böcker, K. (2006). Closed-form approximation for OpVaR when high frequency losses are parameterized by a generalized Pareto distribution (GPD). Munich: Hypo Vereinsbank.
- [8] (2006). Multivariate models for operational risk. Munich: Munich University of Technology.
- [9] Kraujalis, S.; Karpaviciene, E. and Aurelijus, C. (2006). The specifics of operational risk assessment methodology recommended by Basel II. *Engineering Economics*, 3 (48). Recuperado el 25 de noviembre de 2010, de <http://www.ktu.lt/lt/mokslas/zurnalai/inzeko/48/1392-2758-2006-3-48-07.pdf>.
- [10] (Diciembre de 2005) Glosario de términos de los acuerdos de capital de Basilea I y Basilea II
- [11] Andrés Mora Valencia(2010) Cuantificación del riesgo operativo en entidades financieras en Colombia, Documento consultivo.
- [12] Alfonso de Lara Haro(2008) Medición y control de riesgo financiero. LIMUSA
- [13] W.O Campos y M.A Rivas: Estudio de la geometría fractal con aplicaciones a finazas y vulcanología, tesis, San Salvador:2017
- [14] Franco, L. C. y Velázquez, Ermilson (2010). Análisis Y Comparación De Alternativas Para Cuantificar El Riesgo Operacional. Tesis de grado. Maestría en Matemáticas Aplicadas. Medellín. Universidad EAFIT
- [15] Rivera Henao, Eduard; López Varona, Ricardo. Geometría fractal y transformada de Fourier. *Scientia ET Technica* vol XVI num. 48, Agosto, 2011, pp 269-274. Universidad Tecnologica de Pereira, Pereira, Colombia.