

Ing. Matemático

Luis Santiago Páez Mena

Enero, 2007

ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL

ESCUELA DE CIENCIAS

**MÉTODOS CUANTITATIVOS PARA LA MEDICIÓN DEL
RIESGO OPERACIONAL**

**PROYECTO PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE INGENIERO
MATEMÁTICO**

LUIS SANTIAGO PÁEZ MENA

DIRECTOR: MATEMÁTICO. MÉNTHOR URVINA

Quito, Enero 2007

DECLARACIÓN

Yo, Luis Santiago Páez Mena, declaro que el trabajo aquí descrito es de mi autoría; que no ha sido previamente presentada para ningún grado o calificación profesional; y, que he consultado las referencias bibliográficas que se incluyen en este documento.

La Escuela Politécnica Nacional, puede hacer uso de los derechos correspondientes a este trabajo, según lo establecido por la Ley de Propiedad Intelectual, por su Reglamento y por la normatividad institucional vigente.

Luis Santiago Páez Mena

CERTIFICACIÓN

Certifico que el presente trabajo fue desarrollado por Luis Santiago Páez Mena, bajo mi supervisión.

Mat. Ménthor Urvina
DIRECTOR DE PROYECTO

AGRADECIMIENTO

Al Matemático Ménthor Urvina, por sus valiosos comentarios y por la guía en la realización del presente trabajo.

A las autoridades y funcionarios que me permitieron acceder a sus datos sin otro interés que mi desarrollo profesional

A mi familia, con especial cariño, por su incentivo y sus oraciones.

DEDICATORIA

A mis queridos padres, Luis y Susana por su constante incentivo en mi crecimiento personal y profesional.

A mi esposa, Chechu, por su apoyo, por su estímulo y por su inmenso amor.

CONTENIDO

RESUMEN	1
1 INTRODUCCIÓN.....	2
1.1 ALCANCE Y LIMITACIONES DEL PRESENTE TRABAJO.....	6
1.2 EL NUEVO ACUERDO DE CAPITALES.....	8
1.2.1 MÉTODO DEL INDICADOR BÁSICO	10
1.2.2 MÉTODO ESTÁNDAR.....	11
1.2.3 EL MÉTODO DE MEDICIÓN AVANZADA (AMA)	13
1.3 CRITERIOS DE ACEPTACIÓN	14
1.3.1 EL MÉTODO ESTÁNDAR.....	14
1.3.2 MÉTODOS DE MEDICIÓN AVANZADA (AMA).....	16
1.3.3 ANÁLISIS DE ESCENARIOS	25
1.4 COMPARACIÓN DE REGLAMENTOS.....	29
1.4.1 REGLAMENTO PARA LA ADMINISTRACIÓN Y CONTROL DE RIESGOS OPERATIVOS – CHILE.....	29
1.4.2 REGLAMENTO PARA LA ADMINISTRACIÓN DE RIESGO OPERACIONAL – ECUADOR.....	31
2 MODELOS CUALITATIVOS Y CUANTITATIVOS.....	37
2.1 MODELOS DE SEVERIDAD.....	38
2.1.1 DISTRIBUCIONES	38
2.2 MODELOS DE FRECUENCIA	43
2.2.1 DISTRIBUCIÓN ORDINARIA	43
2.2.2 DISTRIBUCIÓN TRUNCADA EN CERO.....	44
2.2.3 DISTRIBUCIÓN MODIFICADA EN CERO	44
2.2.4 DESARROLLO Y COMPOSICION DE FUNCIONES	45
2.3 TEORÍA DE LOS VALORES EXTREMOS.....	48
2.3.1 PRUEBAS DE STRESS (STRESS TESTING)	49
2.3.2 VALOR EN RIESGO OPERACIONAL	50
3 MÉTODOS AVANZADOS EN CUANTIFICACIÓN DE RIESGOS OPERACIONALES.....	53
3.1 MODELO DE DISTRIBUCIÓN DE PÉRDIDAS	55

3.2	CRITERIOS DE SELECCIÓN.....	62
3.2.1	CRITERIOS DE SELECCIÓN DEL MODELO DE FRECUENCIA.....	62
3.2.2	CRITERIOS DE SELECCIÓN DEL MODELO DE SEVERIDAD	63
3.3	PROCESO DE POISSON COMPUESTO	64
3.4	MODELOS CAUSALES	70
3.4.1	INTRODUCCIÓN.....	70
3.4.2	MODELOS LINEALES.....	73
3.4.3	MODELOS NO LINEALES.....	76
3.4.4	MODELOS LINEALES GENERALIZADOS	82
3.5	CRITERIOS DE SELECCIÓN DE FACTORES DE RIESGO	85
4	DESARROLLO	92
4.1	DESCRIPCIÓN DE LA INFORMACIÓN	92
4.2	AJUSTE AL MODELO DE POISSON COMPUESTO	96
4.3	AJUSTE POR LA TÉCNICA LDAP	106
4.3.1	ANÁLISIS DE SEVERIDAD.....	107
4.3.2	ANÁLISIS DE FRECUENCIA.....	109
4.3.3	PÉRDIDA OPERACIONAL POR LA TÉCNICA LDAP.....	110
5	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	116
6	ANEXOS	120
6.1	RECURSIVIDAD DEL MODELO DE POISSON COMPUESTO.....	120
7	BIBLIOGRAFÍA	126

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.-PASOS PARA ADMINISTRAR RIESGO OPERACIONAL.....	7
Figura 2.-. ALCANCE DEL NUEVO ACUERDO DE CAPITALS	9
Figura 3.-.FAMILIAS DE DISTRIBUCIONES	39
Figura 4.-.COMBINACIÓN DE FUNCIONES LOSS DISTRIBUTION APPROACH... 	56
Figura 5.-.CALIDAD DEL MODELADO - DISTRIBUCIÓN DE DE SEVERIDAD.....	64
Figura 6.-.MODELADO DEL RIESGO OPERACIONAL.....	72
Figura 7.-.MODELADO DEL RIESGO OPERACIONAL.....	77
Figura 8.-.MODELO DE CONECTIVIDAD.....	87
Figura 9.-.AGRUPACIÓN DE DATOS POR BANDAS DE VALORES	93
Figura 10.-.SEVERIDAD DE PÉRDIDAS - SERIES.....	94
Figura 11.-FUNCIÓN DE DISTRIBUCIÓN DE PÉRDIDAS.....	98
Figura 12.-.DISTRIBUCIONES DE PÉRDIDAS - TASAS DE FALLAS	101
Figura 13.-.DISTRIBUCIÓN DE PÉRDIDAS- MODELO POISSON COMPUESTO..	103
Figura 14.-DISTRIBUCIONES DE PÉRDIDA- SIMULACIONES	105
Figura 15.-AJUSTE EN SERIES DE DATOS DE PÉRDIDAS.....	107

INDICE DE TABLAS

Cuadro 1.-MÉTODO ESTANDAR-POR LÍNEAS DE NEGOCIO.....	11
Cuadro 2.-VALORES β SUGERIDOS POR EL COMITÉ DE BASILEA	13
Cuadro 3.-FACTORES DE RIESGO POR LÍNEAS DE NEGOCIO	35
Cuadro 4.-FORMAS DE RECOLECCIÓN DE INFORMACIÓN	54
Cuadro 5.-GENERACIÓN DE VALORES -FRECUENCIA - POISSON	57
Cuadro 6.-GENERACIÓN DE VALORES - SEVERIDAD. – LOGNORMAL	57
Cuadro 7.-CRITERIOS DE SELECCIÓN DE FACTORES DE RIESGO	89
Cuadro 8.-INDICADORES DE RIESGO OPERACIONAL.....	90
Cuadro 9.-EJEMPLO DE BASE DE DATOS – RIESGO LEGAL	90
Cuadro 10.-PÉRDIDAS POR SERIES EN UN PERÍODO DE TIEMPO DADO.....	92
Cuadro 11.-CAUSAS Y TIPOS DE PÉRDIDAS	93
Cuadro 12.-DATOS GENERADOS A PARTIR DE HERRAMIENTA NCSS.....	95
Cuadro 13.-PROBABILIDAD DE FALLAS – AJUSTE MODELO POISSON	96
Cuadro 14.-DATOS BÁSICOS - PROCEDIMIENTO RECURSIVO.....	96
Cuadro 15.-VALORES OBTENIDOS EN FÓRMULA DE RECURSIVIDAD.....	97
Cuadro 16.-NÚMERO DE FALLAS ESPERADAS POR BANDAS.....	97
Cuadro 17.-GENEACIÓN DE VALORES DE LA VARIABLE A_n	98
Cuadro 18.-NIVEL DE CONFIANZA DADO.....	99
Cuadro 19.-SIMULACIÓN PARA DETERMINACIÓN DE VAR.....	100
Cuadro 20.-PÉRDIDAS PARA NIVELES DE CONFIANZA	100
Cuadro 21.-APLICACIÓN MODELO DE POISSON COMPUESTO	101
Cuadro 22.-VALORES OBTENIDOS-MODELO POISSON COMPUESTO	102
Cuadro 23.-VALORES BASE - TASA DE FALLA POR BANDAS.....	102
Cuadro 24.-SIMULACIÓN GENERACIÓN DE VALORES A_n	103
Cuadro 25.- SIMULACIÓN VALORES DE NIVEL DE CONFIANZA- OPVAR	104
Cuadro 26.-VALORES NUEVOS PARA SIMULACIÓN	104
Cuadro 27.-IMPACTO POR SIMULACIÓN - EVENTOS DE FRAUDE.....	105
Cuadro 28.-PRUEBA DE AJUSTES DE DATOS .-.SIMULACIÓN 1.....	106
Cuadro 29.-PRUEBA DE AJUSTES DE DATOS .-.SIMULACIÓN 2.....	107
Cuadro 30.-FUNCIONES QUE ESTIMAN SEVERIDAD.....	108

Cuadro 31.-ANÁLISIS DE LOS VALORES DE PRUEBA	109
Cuadro 32.-PARÁMETROS DE DISTRIBUCIÓN LOGNORMAL.....	109
Cuadro 33.-PRUEBA CHI-CUADRADO Y KOLMOGOROV-SMIRNOV.....	110
Cuadro 34.-SIMULACIÓN COMPOSICIÓN DE RIESGO OPERACIONAL.....	111
Cuadro 35.-CONVOLUCIÓN DE VALORES DE SEVERIDAD DE PÉRDIDAS.....	111
Cuadro 36.-RESULTADOS DE SIMULACIÓN DE PÉRDIDAS	112
Cuadro 37.- CONVOLUCIÓN DE PÉRDIDAS ACUMULADAS	113
Cuadro 38.-VALORES EN RIESGO LÍMITE DE NIVEL DE CONFIANZA	113
Cuadro 39.-COMPARACIÓN ENTRE MÉTODOS VAR Y LDAP	114

PREFACIO

Desde un principio las entidades financieras se han enfrentado a diversas situaciones no relacionadas con la dinámica financiera que les han generado pérdidas monetarias que fueron incrementando en el tiempo, a medida que los productos y servicios ofrecidos por la entidad iban creciendo o se volvían más complejos en su estructura.

A raíz de la necesidad de subsanar esos problemas, especialistas comenzaron a desarrollar técnicas con el propósito de prever la aparición de pérdidas esperadas e inesperadas, generando modelos matemático - financieros que les proporcionen datos contundentes para análisis, medición y cuantificación de dichos factores.

El objetivo claro es mitigar de manera efectiva los efectos adversos de estos eventos, pero para ello se debió precisar esos modelos de manera que pudiesen estimar más acertadamente los resultados a los hechos reales.

En el presente documento se analizarán los métodos cuantitativos y cualitativos del riesgo operacional y su repercusión en el ámbito financiero. Se mostrarán los resultados de estos modelos al aplicarlos a datos extraídos y proporcionados por una institución financiera, con el propósito de exponer de manera práctica los conceptos aquí descritos. Para ello nos fundamentaremos en los siguientes objetivos:

- Describir las principales metodologías estadísticas para la medición y control de los riesgos operacionales.
- Desarrollar y determinar los conceptos estadísticos de las principales técnicas en la medición de los riesgos operacionales
- Mostrar resultados de la medición de riesgo operacional al utilizar la metodología LDAP (Loss Distribution Approach)
- Mostrar los resultados al aplicar la técnica de Poisson compuesta para estimar las potenciales pérdidas por riesgo operacional

- Comparar los resultados de la técnica LDAP con el modelo Poisson Compuesto
- Establecer el esquema para la selección de los factores de riesgo a ser utilizados en los modelos causales
- Describir otras técnicas utilizadas en la medición de los riesgo operacionales. Como son las redes bayesianas, la lógica difusa y las redes neurales.

Se espera como resultado en este trabajo de investigación

Utilizar la metodología Loss Distribution Approach (LDAP) para calibrar un modelo que estime con un alto nivel de confianza las pérdidas operacionales que puede sufrir una institución financiera.

Utilizar la técnica de Poisson Compuesta para calibrar un modelo que estime las pérdidas operacionales que puede sufrir una institución financiera y comparar estos resultados con los hallados con la metodología LDAP.

Estudiar a las instituciones financieras que toman acciones para mitigar sus riesgos operacionales, los resultados de los modelos causales serán útiles para la toma de decisiones de la institución financiera.

Justificar y mostrar la efectividad de los modelos estadísticos desarrollados para riesgo operacional son un apoyo para la toma de decisiones. Como resultado se incorporarán estas técnicas de seguimiento y control a la rutina cotidiana en las instituciones financieras, para ayudar en la mitigación de las pérdidas y control de los procesos.

Recordando siempre, que los logros de una institución dependen no sólo de potenciar las capacidades de sus recursos, sino también de sobrellevar las situaciones con las normas necesarias de prevención para disminuir los

inconvenientes que se pudieren presentar destacando el desempeño y la efectividad de las decisiones tomadas con respecto a las metas alcanzadas.

RESUMEN

El mundo cambia constantemente y consigo genera nuevos riesgos y oportunidades llevándonos a modificar nuestro accionar dependiendo de la situación que se presente. Este hecho se evidencia en todos los ámbitos de nuestra vida tanto en la simpleza de lo cotidiano como en áreas mucho más complejas como las finanzas.

Los Riesgos Operacionales son eventos de diversa naturaleza (omisiones, siniestros, fallas, descuidos, imprevistos, etc.) que provocan desvíos en los resultados que se esperan. Hablando netamente de negocios, estos incidentes se pueden traducir como pérdidas importantes o graves que formulan un desequilibrio en la institución.

Las fallas de control de los procesos y accionar de cada área competente incide en errores que se experimentan rutinariamente aumentando de esta manera la severidad del daño que se está generando.

Una institución financiera al poseer un mecanismo o técnica, en este caso un modelo matemático, que le permita estimar o valorar el impacto financiero por riesgo operacional, proveerá a la alta gerencia de herramientas adicionales para la toma de decisiones, de tal forma que se puede controlar, mitigar y administrar los factores que influyen en la pérdida por riesgo operativo.

En este trabajo se desarrollarán los Modelos de Severidad y Modelos de Frecuencia, para de esta forma generar el Modelo Loss Distribution Approach (LDAP). Y Los Modelos Causales, que son combinaciones de los modelos anteriores para crear aproximaciones más precisas en la medición de los riesgos operacionales.

Capítulo 1

1 INTRODUCCIÓN

El riesgo operacional se encuentra en todos lados, su presencia es sentida en cualquier faceta de la vida personal y empresarial todos los días.

El mundo ha generado una nueva era de prosperidad, productividad y oportunidad. Aún con estos premios, se esta periódicamente recordando los riesgos que los acompañan.

Riesgos Operacionales son aquellas situaciones que distorsionan en gran escala o en escala local, todas las interconexiones del mundo, a través de los actos del hombre, o de la naturaleza; esto significa que el sistema global se ha modificado por malintencionadas o delicadas omisiones.

Al llevar el concepto de riesgo operacional a la vida de negocios, se puede encontrar casos en los cuales las omisiones de los colaboradores causan pérdidas masivas o problemas a las compañías.

Se puede encontrar a una compañía envuelta en un juicio de marcas o de pagos, inapropiados manejos contables, fraude, prácticas inadecuadas de ventas, actos de terrorismos, sabotaje corporativo, ataque a los sistemas informáticos, violaciones regulatorias, o daños resultantes de un terremoto o de un huracán.

Esos son riesgos que tardan en salir a la luz, que rápidamente son ocultados por la mayoría de las partes. Pero son especialmente peligrosos porque el error, la omisión y las fallas de control que los generan son vistos y experimentados como casos de rutina, las grandes versiones de estas pérdidas ocurren con mucha menos frecuencia. La poca frecuencia, es algo muy bueno, por supuesto, pero a veces esa característica hace de ellos los más peligrosos por cuanto son muchas

veces ignorados y considerados insignificantes, improbables y/o sin interés. Entonces se suscita el reto de administrarlos.

Ese reto consiste en mantener un balance, al suministrar el suficiente control sobre los mismos, sin que se vuelvan obsesivos y que el esfuerzo en la administración del riesgo operacional no se convierta en un retardo en la productividad.

No se halla todavía un consenso completo en la definición de riesgo operacional. Con las discusiones en la industria de servicios financieros y los comentarios expuestos por el Comité de Basilea sobre supervisión bancaria, y el grupo de administración de riesgos. Exceptuando algunas pocas áreas de debate, se cita al riesgo operacional como; “El riesgo de pérdida por falla o inadecuados procesos internos, personas, y sistemas, o por eventos externos”. Esos cambios en la sociedad, tecnología, ciencia y la interconexión natural del mundo globalizado y negocios de hoy en día hacen que estos sean mas relevantes que en el pasado.

En lo que resta del presente documento, se centralizará el estudio de estos en la industria de los servicios financieros. Entendiéndose como estudio el reconocimiento, administración y mitigación de los factores o eventos que pueden generar riesgo operacional en una institución de servicios financieros.

Para las firmas de servicios financieros en un aspecto global, los riesgos operacionales han generado numerosas pérdidas en diferentes áreas de negocio en los últimos años. Desde los conocidos fraudes contables y robos en créditos a robos en cajeros automáticos y vulnerabilidades en el sistema de computación (clonación de tarjetas de crédito y fraudes por Internet).

Para ejemplificar la magnitud de los riesgos operacionales se describirá el caso del Banco de Crédito y Comercio Internacional (Bank of Credit and Commerce International BCCI) [2] Pág. XXIV - XXV.

En Julio 5 de 1991, Se presentó un evento de riesgo operacional que había sido descrito como el fraude más grande en un banco en la historia; y puso a todos de cabeza cuando supervisores en siete países tomaron el control de las agencias y oficinas del Banco de Crédito y Comercio Internacional. Las pérdidas monetarias generadas por el escándalo fueron inmensas, totalizando \$ 17 Billones. Este caso se desarrolló en aproximadamente dos décadas e involucró una intrincada red internacional de instituciones financieras y auto-compañías, las cuales escapaban de cualquier regulación y fueron reportadas en numerosos casos de transacciones sospechosas, que fueron agregadas a las actividades legítimas del Banco. Los esquemas del Banco de Crédito y Comercio Internacional eran tan complejos que aún, una década después que la institución cerrara sus actividades, estas no se han reconocido completamente. El Banco de Crédito y Comercio Internacional tenía una plataforma multinacional soportada por un conglomerado que llegó a incrementar su complejidad en el tiempo. La naturaleza internacional del Banco ayudó a la compañía a evitar un gran número de regulaciones, puesto que no existía un país que tuviera plena jurisdicción sobre la firma.

Aunque instituciones tales como la C.I.A. y el Banco de Inglaterra reportaron algún conocimiento de las actividades del Banco de Crédito y Comercio Internacional antes del escándalo, los supervisores no pudieron tomar acciones contra el Banco por la inadecuada comunicación entre estas agencias. Por ejemplo; una señal fue que el Banco se involucró en lavado de dinero y financiación de tráfico de armas. El servicio de aduanas de los EE.UU. completó una operación encubierta que permitió el arresto de algunas figuras del Banco de Crédito y Comercio Internacional, las cuales fueron condenadas por lavado de dinero en julio de 1990. El banco por si mismo aceptó la culpa por los cargos y fue multado por \$ 14 millones.

La prueba que expuso las pérdidas del banco fue encontrada por su control ilegal de algunos bancos americanos. El más grande, First American Bankshare, con sede en Washington D.C. La red internacional del BCCI comenzó a tener problemas en 1990 cuando Regadies, una revista con sede en Washington,

publicó una historia que cuestionaba su propiedad sobre First American. Después que el artículo fue publicado, el FED comenzó una prueba oficial para investigar la conexión entre los bancos. En marzo de 1991 BCCI admitió que había adquirido 25 % de las acciones en First American, sin aprobación de los reguladores. El FED entonces ordenó al banco la venta de las acciones en cuestión. Las investigaciones continuaron, y en junio, Price Waterhouse informó al Banco de Inglaterra que había encontrado evidencias de fraude en las operaciones de BCCI a nivel mundial.

Esas actividades fraudulentas primeramente habían involucraron prácticas crediticias y almacenamiento de registros. A través de su historia, BCCI hizo grandes créditos sin las garantías apropiadas. Estos incluían fondos recibidos por personas así como por compañías. Cuando estos créditos se declararon malos, el banco no tuvo recursos legales y fue forzado a absorber las pérdidas. Esta estrategia, la cual va en contra del sentido común y todos los principios de sanas prácticas bancarias, elevó inmensamente las pérdidas de BCCI. El banco cubrió este problema creando una matriz de cuentas falsas que ocultó las pérdidas por años. Cuando los problemas de BCCI fueron descubiertos y probados en 1991, supervisores en siete países se desplazaron rápidamente para tomar control de las oficinas del banco. En julio 5, oficinas en Reino Unido, EE. UU, Francia, España, Suiza, Luxemburgo y las Islas Caimán fueron clausuradas, y las actividades de negocios del banco fueron congeladas. Los activos de BCCI fueron liquidados y se estableció un fondo para pagar a los depositantes que habían perdido todo su dinero cuando el Banco cerró.

El caso de BCCI quizás nunca sea completamente entendido, pero se intenta mostrar los efectos del riesgo operacional, en particular, fraude general. Un subconjunto de la categoría de riesgos de personas considerado el principal generador del incidente. La inentendible estrategia del banco y la práctica de ocultar las grandes pérdidas que resultaron, fueron los problemas que finalmente llevaron a su caída.

1.1 ALCANCE Y LIMITACIONES DEL PRESENTE TRABAJO

El proceso de administración de riesgo operacional involucra la identificación, evaluación, medición, monitoreo, control y mitigación de todos aquellos factores de riesgo que pueden incidir en una institución bancaria por su frecuencia y severidad en pérdidas económicas para la misma.

Lo anterior muestra una metodología y un conjunto de procesos que deben seguir las instituciones financieras para tener un conocimiento claro de sus riesgos operacionales, como se verá más adelante, tanto el organismo rector de estas normas (Comité de Basilea), al igual que los organismos de supervisión de cada país se enfocan en el concepto de la administración de los riesgos operacionales.

En el presente trabajo y para justificar el uso de metodologías o procesos matemáticos en la administración de los riesgos operativos, se revisarán o mencionarán los aspectos globales de la administración del riesgo operacional para luego centrarse en los procesos de medición a través del uso de metodologías matemáticas que ayuden a identificar el comportamiento de los factores de riesgo asociados.

Con el fin de aclarar todos los conceptos anteriormente vertidos, se tomara como base que la administración de riesgo operacional se fundamenta en cuatro grandes pasos, los cuales se detallan en el siguiente grafico.

Existen cuatro pasos fundamentales para administrar riesgo operacional, con cada paso alcanzado se mejora en administración y control de calidad e incrementa la ganancia

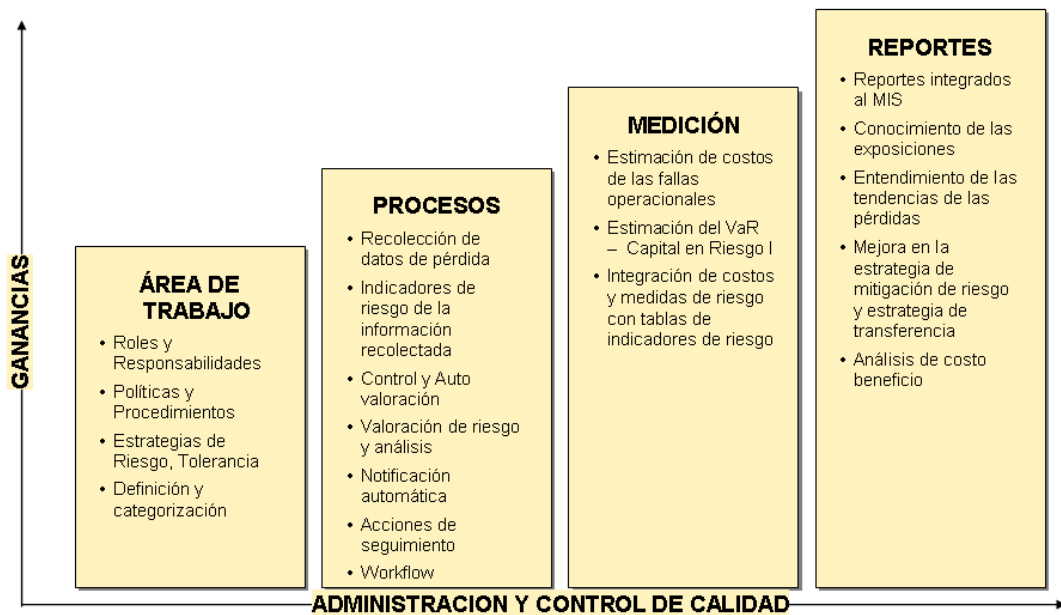


Figura 1.-PASOS PARA ADMINISTRAR RIESGO OPERACIONAL

En lo que sigue del trabajo se establecerán los lineamientos básicos del control y de la administración de los riesgos operativos, a través de las sugerencias del Comité de Basilea y de las regulaciones en materia de riesgos operativos emitidas por las superintendencias de Ecuador, y Chile, con el fin de comparar y visualizar las coincidencias en los términos utilizados así como en las metodologías e información requerida para los análisis pertinentes.

Luego el presente trabajo se centrará en las metodologías matemáticas más utilizadas para el análisis y medición de los factores de riesgo operativo, es decir, y considerando el gráfico anterior, en la sección de medición y la estimación de los costos de un riesgo operativo.

1.2 EL NUEVO ACUERDO DE CAPITALS

En Julio de 1999 el Comité de Basilea incluyó en su documento “Nuevo acuerdo de Capitales”, los conceptos sobre las mejores prácticas para la administración y control de los riesgos operativos.

De igual forma y como parte del trabajo desarrollado por el Grupo de Administración de Riesgo de Basilea, se tiene un conjunto de documentos los cuales muestran los avances realizados hasta la fecha en la valoración de los riesgos operativos, entre los documentos, de mayor importancia se tienen “Sanas prácticas para la administración y supervisión de los riesgo operacionales, Julio 2002”, “Estudio de impacto cuantitativo para riesgo operacional, Enero 2002”, “Estudio de impacto cuantitativo para riesgo operacional, Junio 2003”.

Se mencionará de forma resumida el alcance del marco del Nuevo Acuerdo de Capitales, y posteriormente se revisarán los aspectos más relevantes de la administración de los riesgos operacionales propuestas por el Comité. [3] Pág. 128 – 135.

El siguiente gráfico muestra el alcance del Nuevo Acuerdo de Capitales, recordando que el Pilar I corresponde a los requerimientos mínimos de capital, el Pilar II corresponde al proceso de examen del supervisor y el Pilar III corresponde a la disciplina de Mercado.

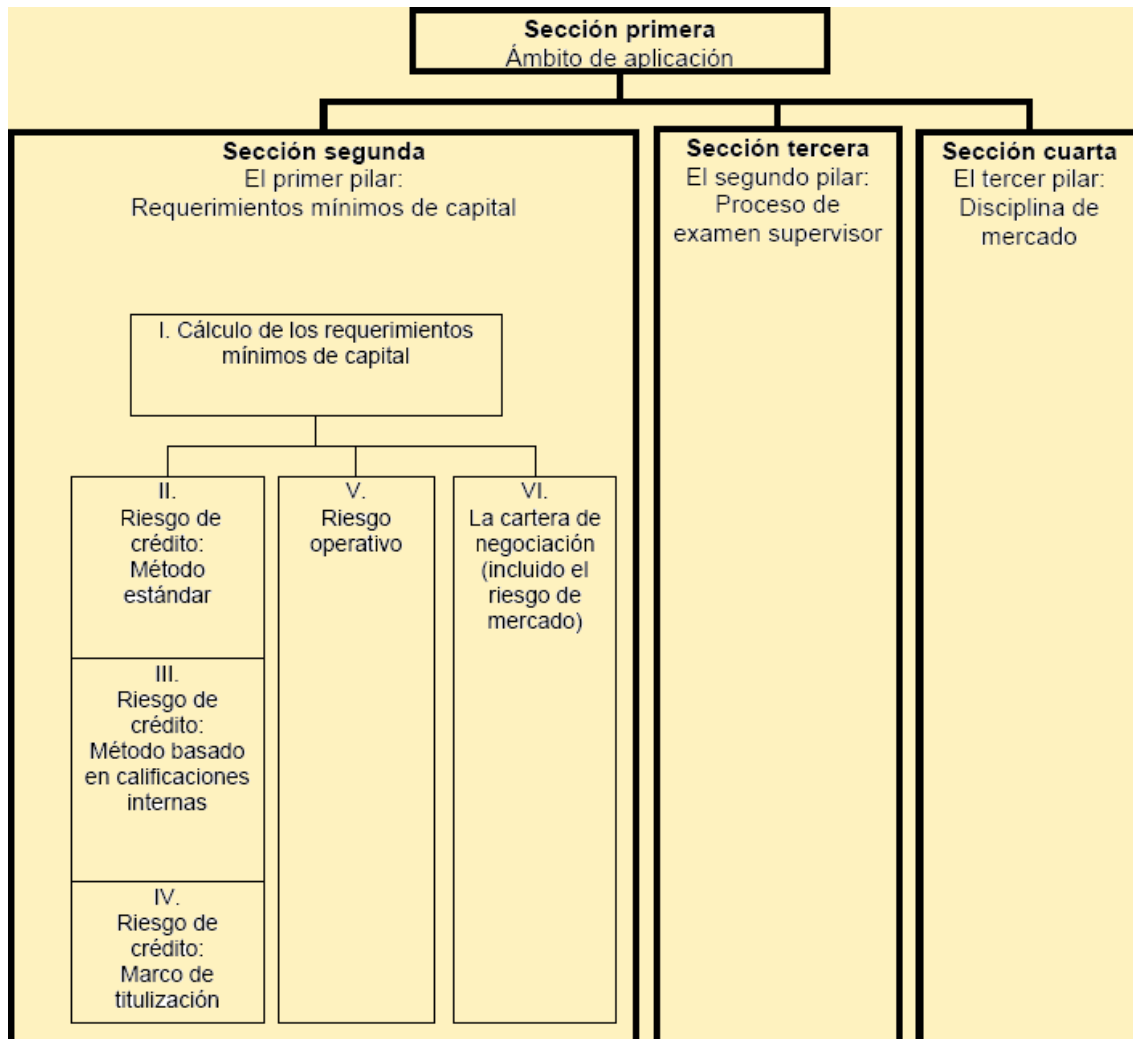


Figura 2.-. ALCANCE DEL NUEVO ACUERDO DE CAPITALES

Considerando lo expuesto en la sección V, del Nuevo acuerdo de Capitales se tiene, lo siguiente:

El riesgo operativo se define como el riesgo de pérdida debido a la inadecuación o a fallos de los procesos, el personal y los sistemas internos o bien a causa de acontecimientos externos. Esta definición incluye el riesgo legal, pero excluye el riesgo estratégico y el de reputación.

Se especifican tres metodologías, para la determinación de los riesgos operacionales

- El método del indicador básico

- El método estándar
- Los métodos de medición avanzada

1.2.1 MÉTODO DEL INDICADOR BÁSICO¹

En el método del indicador básico para la determinación del capital mínimo por riesgos operacionales se debe destinar un porcentaje fijo de sus ingresos brutos, según se indica a continuación:

“Los bancos que utilicen el Método del Indicador Básico deberán cubrir el riesgo operativo con un capital equivalente al promedio de los tres últimos años de un porcentaje fijo (denotado como alfa) de sus ingresos brutos anuales positivos. Al calcular este promedio, se excluirán tanto del numerador como del denominador los datos de cualquier año en el que el ingreso bruto anual haya sido negativo o igual a cero. La exigencia de capital puede expresarse del siguiente modo:”

$$K_{MIB} = \frac{\sum_{j=1}^n GI_j * \alpha}{n}$$

Donde:

K_{MIB} , corresponde al capital mínimo requerido bajo el método del indicador básico

GI_j , corresponde a los ingresos brutos de los tres últimos años, sin considerar aquellos que fueron negativos.

n , corresponde al número de años, entre los tres últimos, en los cuales los ingresos fueron positivos.

¹ Se ha mantenido la codificación original de la fuentes consultada [3]

$\alpha = 15\%$, parámetro establecido por el Comité para el cálculo del capital mínimo requerido.

1.2.2 MÉTODO ESTÁNDAR

En el método estándar se dividen las actividades de una institución financiera en ocho líneas de negocio, como se muestra en el siguiente cuadro

Nivel 1	Nivel 2	Grupos de Actividades
Finanzas corporativas	Finanzas de Administraciones locales / públicas	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.
	Banca de inversión	
	Finanzas corporativas	
	Servicios de asesoramiento	
Negociación y ventas	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 (prime brokerage)
	Creación de Mercado	
	Posiciones propias	
	Tesorería	
Banca minorista	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	Banca comercial	Financiación de proyectos, bienes raíces, financiación de exportaciones, financiación comercial, factoring, arrendamiento financiero, préstamo, garantías, letras de cambio
Pago y liquidación	Clientes externos	Pagos y recaudaciones, transferencia de fondos, compensación y liquidación
Servicios de agencia	Custodia	Contratos de plica, certificados de depósito, operaciones de sociedades (clientes) para préstamo de valores
	Agencia para empresas	Agentes de emisiones y pagos
	Fideicomisos de empresas	
Administración de activos	Administración discrecional de fondos	Agrupados, segregados, minoristas, institucionales, cerrados, abiertos, participaciones accionariales
	Administración no discrecional de fondos	Agrupados, segregados, minoristas, institucionales, de capital fijo, de capital variable
Intermediación minorista	Intermediación minorista	Ejecución y servicio completo

Cuadro 1.-MÉTODO ESTANDAR-POR LÍNEAS DE NEGOCIO

Bajo el método estándar para cada una de las líneas definidas en la matriz anterior, se calcula el ingreso bruto y para determinar la exposición al riesgo operacional se multiplica por un factor denominado beta, el cual se asigna a cada línea de negocio. Beta se utiliza como una aproximación a la relación que existe

en el conjunto del sector bancario entre el historial de pérdidas debido al riesgo operativo de cada línea de negocio y el nivel agregado del ingresos brutos generados por esa misma línea de negocio.

La exigencia total de capital se calcula como la media de tres años de la suma simple de las exigencias de capital en cada una de las líneas de negocio cada año. Para un año dado, los requerimientos de capital negativos (resultantes de ingresos brutos negativos) en cualquiera de las líneas de negocio podrán compensar los requerimientos positivos en otras líneas de negocio sin límite alguno. No obstante, cuando el requerimiento de capital agregado para todas las líneas de negocio dentro de un año en concreto sea negativo, el argumento del numerador para ese año será cero. El requerimiento total de capital puede expresarse como:

$$K_{MES} = \frac{\sum_{\text{años } 1-3} \max\{(\sum GI_{1-8} * \beta_{1-8}), 0\}}{3}$$

Donde:

K_{MES} , corresponde al capital mínimo requerido al utilizar el método estándar.

GI_{1-8} , Corresponde a la matriz de ingresos brutos anuales de un año dado, como se define en el Método del Indicador.

β_{1-8} , Corresponde a la matriz de porcentajes fijos, establecidos por el Comité, que relacionan la cantidad de capital requerido con el ingreso bruto de cada una de las ocho líneas de negocio. Los valores de los factores Beta sugeridos por el Comité son los siguientes.

Línea de Negocio	Factores Beta
Finanzas Corporativas	β_1 18%
Negociación y ventas	β_2 18%
Banca minorista	β_3 12%
Banca comercial	β_4 15%
Pagos y liquidación	β_5 18%
Servicios de agencia	β_6 15%
Administración de activos	β_7 12%
Intermediación minorista	β_8 12%

Cuadro 2.-.VALORES β SUGERIDOS POR EL COMITÉ DE BASILEA

1.2.3 EL MÉTODO DE MEDICIÓN AVANZADA (AMA)

En los métodos de medición avanzada el capital mínimo requerido será igual a la medida de riesgo operativo generado por el sistema interno de la institución financiera en el cual se habrá utilizado criterios cuantitativos y cualitativos aplicables a esta metodología. Para la utilización del capital mínimo es necesario que el organismo supervisor apruebe la misma.

Para la correcta aplicación de los modelos AMA es necesario que la institución financiera determine de forma pormenorizada los tipos de eventos que generan pérdidas por riesgo operativo.

Lo anterior se conoce como la determinación de los factores de riesgo, sobre estos se realizan los supuestos matemáticos para su cálculo, estimación y medición, como se puede observar este estudio se centrará precisamente en la forma más idónea para realizar dichos cálculos y estimaciones, de tal manera que sus resultados sean estadísticamente confiables.

A fin de comprender el enfoque de la administración del riesgo operativo, se incluyen los criterios mínimos para el uso de las metodologías antes mencionadas.

1.3 CRITERIOS DE ACEPTACIÓN

1.3.1 EL MÉTODO ESTÁNDAR

Con objeto de poder utilizar el Método Estándar, el banco deberá demostrar a su supervisor que, como mínimo:

- Su consejo de administración y su alta dirección, según corresponda, participan activamente en la vigilancia del marco de gestión del riesgo operativo
- Posee un sistema de gestión del riesgo operativo conceptualmente sólido que aplicará en su totalidad
- Cuenta con recursos suficientes para utilizar la metodología en las principales líneas de negocio, así como en los ámbitos de control y auditoría.

El supervisor tendrá derecho a realizar un seguimiento inicial del Método Estándar de un banco antes de que éste pueda utilizarse a efectos de capital regulador.

El banco deberá desarrollar políticas específicas y documentar criterios para insertar en el marco estándar los ingresos brutos de las líneas de negocio y actividades existentes. Los criterios deberán revisarse y ajustarse, según se considere oportuno, para dar cabida a nuevas actividades y a su evolución.

Puesto que algunos bancos internacionalmente activos desearán utilizar el Método Estándar, es importante que éstos cuenten con los sistemas adecuados para gestionar el riesgo operativo. En consecuencia, un banco con actividad

internacional que utilice el Método Estándar deberá satisfacer también estos otros criterios

- a) El banco deberá contar con un sistema de gestión del riesgo operativo que asigne responsabilidades claras a la unidad de gestión del riesgo operativo. Esta unidad será la responsable del desarrollo de estrategias destinadas a identificar, evaluar, seguir y controlar/reducir el riesgo operativo; codificar las políticas y procedimientos relativos a la gestión y control del riesgo para toda la entidad; diseñar y aplicar la metodología de evaluación del riesgo de la institución; y un sistema para transmitir la información sobre el riesgo operativo
- b) Como parte integrante del sistema de evaluación interna del riesgo operativo del banco, éste deberá analizar de manera sistemática la información disponible sobre dicho riesgo, incluidas pérdidas relevantes en cada línea de negocio. Su sistema de evaluación deberá estar perfectamente integrado dentro de los procesos de gestión del riesgo del banco. Los resultados que arroje dicho sistema deberán ser parte integral del proceso de seguimiento y control del perfil de riesgo operativo del banco. Por ejemplo, esta información debe ser parte importante de la presentación de información sobre el riesgo y su gestión, así como para el análisis del mismo. El banco deberá implantar técnicas que generen incentivos para mejorar la gestión del riesgo operativo en toda la entidad
- c) Deberá existir un sistema periódico que informe sobre la exposición al riesgo operativo, incluidas las pérdidas operativas más importantes, que esté dirigido a la dirección de las unidades de negocio, a la alta dirección y al consejo de administración. El banco deberá contar con procedimientos que permitan adoptar las acciones necesarias de la información contenida en los informes de gestión
- d) El sistema de gestión de riesgo operativo del banco deberá estar bien documentado. El banco deberá contar con un mecanismo que permita

garantizar regularmente el cumplimiento de un conjunto documentado de políticas, controles y procedimientos internos relativos al sistema de gestión del riesgo operativo, que deberá incluir políticas para el tratamiento de los aspectos que se incumplen

- e) Los procesos de gestión y sistemas de evaluación del riesgo operativo con los que cuente el banco deberán someterse a un procedimiento de validación y a un examen periódico independiente. Estos exámenes deberán incluir tanto las operaciones de las unidades de negocio como las actividades de la unidad de gestión del riesgo operativo

- f) El sistema de evaluación del riesgo operativo del banco (incluidos los procesos de validación interna) deberá someterse a exámenes periódicos realizados por auditores externos y/o por los supervisores.

1.3.2 MÉTODOS DE MEDICIÓN AVANZADA (AMA)

1.3.2.1 Criterios generales

Con objeto de poder utilizar los AMA, el banco deberá demostrar a su supervisor que, como mínimo

- Su consejo de administración y su alta dirección, según corresponda, participan activamente en la vigilancia del marco de gestión del riesgo operativo
- Posee un sistema de gestión del riesgo operativo conceptualmente sólido que aplica en su totalidad
- Cuenta con recursos suficientes para utilizar la metodología en las principales líneas de negocio, así como en los ámbitos de control y auditoría.

El AMA utilizado por un banco estará sometido a un período de seguimiento inicial por parte del supervisor antes de que pueda utilizarse a efectos de capital regulador. Este período permitirá al supervisor determinar si el método es creíble y adecuado. Conforme se analiza más adelante, el sistema de medición interna de un banco deberá estimar de forma razonable las pérdidas inesperadas, combinando datos relevantes de pérdidas tanto internos como externos, análisis de escenarios, así como el entorno del negocio y los factores de control interno que son específicos al banco. El sistema de medición del banco también deberá poder llevar a cabo la asignación de capital económico por riesgo operativo entre las distintas líneas de negocio de un modo que genere incentivos para la mejora de la gestión del riesgo operativo en esas líneas.

1.3.2.2 Criterios cualitativos

Los bancos deberán satisfacer los siguientes criterios cualitativos antes de poder ser autorizados a emplear un AMA a efectos de capital por riesgo operativo

- a) El banco deberá contar con una unidad de gestión del riesgo operativo que se encargue del diseño y aplicación del marco de gestión del riesgo operativo de la entidad. Esta unidad será la encargada de compilar las políticas y procedimientos de la entidad en su conjunto relativos a la gestión y control; diseño y aplicación de la metodología de medición del riesgo operativo, sistemas de información; y de desarrollar estrategias encaminadas a identificar, estimar, observar y controlar / reducir el riesgo operativo
- b) El sistema de medición interna del riesgo operativo con que cuente la entidad deberá estar perfectamente integrado dentro de los procesos habituales de gestión del riesgo del banco. Los resultados que arroje dicho sistema deberán utilizarse activamente en el proceso de seguimiento y control del perfil de riesgo operativo del banco. Por ejemplo, esta información debe ser parte importante de la presentación de informes

sobre el riesgo y su gestión, así como de la distribución interna del capital y del análisis del riesgo. El banco deberá contar con técnicas que distribuyan el capital por riesgo operativo entre las principales líneas de negocio y que generen incentivos para mejorar la gestión del riesgo operativo en toda la entidad

- c) Deberá informarse periódicamente a la dirección de las unidades de negocio, a la Alta Dirección y al consejo de administración acerca de las exposiciones al riesgo operativo y del historial de pérdidas debidas a este riesgo. El banco deberá contar con procedimientos que permitan adoptar las acciones necesarias a tenor de la información contenida en estos informes de gestión
- d) El sistema de gestión del riesgo operativo del banco deberá estar bien documentado. El banco deberá contar con un mecanismo que permita garantizar regularmente el cumplimiento de un conjunto documentado de políticas, controles y procedimientos internos relativos al sistema de gestión del riesgo operativo, que deberá incluir políticas para el tratamiento de los aspectos que se incumplen
- e) Los auditores externos y/o internos deberán llevar a cabo exámenes periódicos de los procesos de gestión y sistemas de medición del riesgo operativo. Estos exámenes deberán incluir tanto las operaciones de las unidades de negocio como las actividades de la unidad independiente de gestión del riesgo operativo
- f) La validación del sistema de medición del riesgo operativo que lleven a cabo los auditores externos y/o las autoridades supervisoras deberá incluir los siguientes aspectos
 - Comprobación del buen funcionamiento de los procesos de validación interna

- Comprobación de la transparencia y accesibilidad del flujo de datos asociados al sistema de medición del riesgo, y de su procesamiento. En particular, es preciso que los auditores y las autoridades supervisoras puedan acceder fácilmente a las especificaciones y a los parámetros del sistema, siempre que lo estimen necesario y en el marco de los procedimientos oportunos.

1.3.2.3 Criterios cuantitativos

1.3.2.3.1 Solidez de los criterios AMA

Dada la continua evolución de los métodos analíticos de tratamiento del riesgo operativo, el Comité no desea especificar qué método o qué supuestos sobre distribuciones de probabilidad se deben utilizar para estimar el riesgo operativo a efectos de capital regulador. Sin embargo, el banco deberá ser capaz de demostrar que su método identifica eventos situados en las “colas” de la distribución de probabilidad, generadores de pérdidas graves. Con independencia del método utilizado, el banco deberá demostrar que su estimación del riesgo operativo satisface un criterio de solidez comparable al exigido en el método de tratamiento del riesgo de crédito basado en calificaciones internas (es decir, comparable a un periodo de mantenimiento de un año y con un intervalo de confianza del 99,9 por ciento).

El Comité reconoce que el criterio de solidez de los AMA ofrece a los bancos una flexibilidad sustancial para desarrollar su sistema de estimación y gestión del riesgo operativo. Sin embargo, al desarrollar esos sistemas, los bancos deberán implantar y mantener procedimientos rigurosos en la elaboración de modelos para el riesgo operativo y la validación independiente de tales modelos. Antes de la fecha de entrada en vigor, el Comité reexaminará la evolución de las prácticas en el sector con respecto al uso de estimaciones sobre pérdidas operativas potenciales de forma creíble y consistente. Asimismo, el Comité reexaminará los

datos acumulados y el nivel de los requerimientos de capital estimados mediante los AMA y podrá refinar sus propuestas si así lo estima oportuno.

1.3.2.3.2 Criterios detallados

En esta sección se describe una serie de criterios cuantitativos de aplicación a las medidas de riesgo operativos generadas internamente, a efectos del cálculo de los requerimientos mínimos de capital regulador

- a) Todo sistema interno para el cálculo del riesgo operativo deberá ser acorde a la definición del riesgo operativo establecida por el Comité y a los tipos de eventos de pérdida
- b) Los supervisores exigirán al banco que calcule su requerimiento de capital regulador como la suma de la pérdida esperada (EL) y de la pérdida inesperada (UL), a menos que el banco pueda demostrar que ya contempla adecuadamente la EL en sus prácticas internas de negocio. Es decir, al objeto de que el requerimiento mínimo de capital regulador dependa exclusivamente de UL, el banco deberá poder demostrar a su supervisor nacional que ya ha calculado su exposición a EL y la ha tenido en cuenta
- c) El sistema de medición del riesgo del banco deberá estar suficientemente “atomizado” para identificar los principales factores de riesgo operativo que influyen en la forma de las colas de la distribución de las estimaciones de pérdida
- d) Deberán añadirse las distintas estimaciones de riesgo operativo a efectos de calcular la exigencia de capital mínimo regulador. Sin embargo, el banco podrá estar autorizado a utilizar estimaciones internas sobre las correlaciones de pérdidas por riesgo operativo que existen entre las distintas estimaciones del riesgo, siempre que pueda demostrar al supervisor nacional que sus sistemas para determinar las correlaciones resultan adecuados, se aplican en su totalidad y tienen en cuenta la

incertidumbre que rodea a dichas estimaciones de correlación (especialmente en períodos de tensión). El banco deberá validar sus supuestos de correlación utilizando técnicas cuantitativas y cualitativas más adecuadas

- e) Todo sistema de cálculo del riesgo deberá poseer ciertos elementos básicos que satisfagan el criterio de adecuación supervisora enunciado en este apartado. Estos elementos deberán incluir la utilización de datos internos, datos externos relevantes, análisis de escenarios y factores que reflejen el entorno del negocio y los sistemas de control interno

- f) El banco deberá contar con un proceso creíble, transparente, bien documentado y comprobable para ponderar estos elementos fundamentales dentro de su sistema general de medición del riesgo operativo. Por ejemplo, en algunos casos, las estimaciones del intervalo de confianza del 99,9 por ciento basadas principalmente en datos internos y externos sobre eventos de pérdida no serán fiables para líneas de negocio con una distribución de pérdida con colas muy pronunciadas y con un reducido número de pérdidas observadas. En tales casos, la utilización de análisis de escenarios y factores que reflejen el entorno del negocio y el control de la actividad puede ser más relevante a la hora de calcular el riesgo. Por el contrario, los datos sobre eventos de pérdidas operativas pueden ser más pertinentes para el sistema de medición del riesgo en aquellas líneas de negocio en las que se consideren fiables las estimaciones del intervalo de confianza del 99,9 por ciento basadas principalmente en estos datos. En cualquier caso, el método que utilice el banco para ponderar estos cuatro elementos fundamentales deberá guardar coherencia interna y evitar la doble contabilización de las evaluaciones cuantitativas o las coberturas del riesgo que ya sean reconocidas en otros elementos del marco.

1.3.2.4 Datos internos

Los bancos deberán realizar un seguimiento de sus datos internos sobre pérdidas con arreglo a los criterios enunciados en este apartado. El seguimiento de los datos internos de eventos de pérdida es un requisito esencial para el desarrollo y funcionamiento de un sistema creíble de medición del riesgo operativo. Los datos internos de pérdida son básicos para ligar las estimaciones de riesgo del banco a su historial de pérdidas efectivas. Esta fusión podrá lograrse de diversas formas, por ejemplo, utilizando los datos internos de pérdida para realizar las estimaciones empíricas del riesgo, para validar las entradas (inputs) y salidas (output) de información del sistema de medición del riesgo, o para vincular el historial de pérdida y las decisiones de gestión y control del riesgo.

Los datos internos de pérdida son de la máxima relevancia cuando se encuentran vinculados con claridad a las distintas actividades del negocio, procesos tecnológicos y procedimientos de gestión del riesgo del banco. Por ello, el banco deberá haber documentado los procedimientos para evaluar en todo momento la relevancia de los datos históricos de pérdida, considerando situaciones en que se utilicen excepciones discrecionales, ajustes de proporcionalidad u otro tipo de ajustes, así como el grado en que puedan introducirse tales ajustes y el personal autorizado para tomar esas decisiones.

Las estimaciones del riesgo operativo generadas internamente en el banco y utilizadas a efectos de capital regulador deberán basarse en un periodo mínimo de cinco años de observación de datos internos de pérdida, ya se empleen directamente para estimar la pérdida o para validar dicha estimación. Cuando el banco desee utilizar por vez primera los AMA, se aceptará un período histórico de observación de datos de tres años

Los procesos internos de recopilación de datos de pérdida por parte de un banco deberán satisfacer los siguientes criterios para poder ser utilizados a efectos de capital regulador

- Con objeto de participar en la validación supervisora, el banco deberá ser capaz de asignar su historial de datos internos de pérdida a las correspondientes categorías supervisoras del nivel 1, así como proporcionar dichos datos a los supervisores en caso de que así se le exija. El banco deberá contar con criterios objetivos y documentados para la asignación de las pérdidas a las líneas de negocio y a los tipos de eventos especificados. Sin embargo, el banco podrá decidir en qué medida desea aplicar esa clasificación por categorías dentro de su sistema de medición interna del riesgo operativo
- Los datos internos de pérdida de un banco deberán ser integrales e incluir la totalidad de las actividades y posiciones relevantes en todos los subsistemas y en todas las ubicaciones geográficas pertinentes. El banco deberá ser capaz de justificar que las actividades o posiciones excluidas, tanto de forma individual como conjunta, no tendrían un efecto significativo sobre las estimaciones generales de riesgo. El banco deberá establecer un umbral mínimo adecuado de pérdidas brutas para la recopilación de datos internos de pérdida (por ejemplo, 10.000 euros). El umbral que se considera adecuado variará dependiendo de cada banco y de cada línea de negocio y/o tipo de evento. En cualquier caso, los distintos umbrales deberán ser coherentes en líneas generales con los que utilicen bancos semejantes
- Aparte de la información sobre pérdidas brutas, el banco deberá recopilar información sobre la fecha del evento, cualquier recuperación con respecto a las cantidades brutas de las pérdidas, así como información de carácter descriptivo sobre los factores desencadenantes o las causas del evento de pérdida. El grado de detalle de la información descriptiva deberá estar en proporción al importe bruto de la pérdida
- El banco deberá desarrollar criterios específicos para la asignación de datos de pérdidas procedentes de eventos sucedidos en una unidad centralizada (por ejemplo, en un departamento de tecnologías de la

información) o en una actividad que incluya más de una línea de negocio, así como los precedentes de eventos relacionados a lo largo del tiempo

- Las pérdidas por riesgo operativo que estén relacionadas con el riesgo de crédito y que históricamente se hayan incluido en las bases de datos de riesgo de crédito de los bancos (por ejemplo, fallos en la gestión de colateral) continuarán recibiendo el tratamiento del riesgo de crédito a efectos del cálculo del capital regulador mínimo en el presente Marco. En consecuencia, tales pérdidas no estarán sujetas a un requerimiento de capital por riesgo operativo. De cualquier modo, para sus bases de datos internos de riesgo operativo, los bancos deberán incluir todas las pérdidas por riesgo operativo relevantes de acuerdo a la definición del riesgo operativo y a los tipos de eventos de pérdida. Cualquier pérdida relacionada con el riesgo de crédito deberá ser señalada por separado dentro de las bases de datos internos de riesgo operativo de los bancos. La importancia de dichas pérdidas puede variar según el banco y según la línea de negocio o el tipo de evento. Los distintos umbrales deberán ser coherentes en líneas generales con los que utilicen bancos semejantes.
- Las pérdidas operativas relacionadas con el riesgo de mercado se consideran como riesgo operativo a efectos del cálculo de capital mínimo regulados en el presente Marco, por lo que estarán sujetas a la exigencia de capital por riesgo operativo.

1.3.2.5 Datos externos

El sistema de estimación del riesgo operativo de un banco deberá utilizar datos externos relevantes (ya sean datos públicos o datos agregados del sector bancario), especialmente cuando existan motivos para creer que el banco está expuesto a pérdidas de carácter infrecuente, pero potencialmente graves. Estos datos externos deberán incluir información sobre las pérdidas efectivas, la gama de actividades de negocio donde se produjo el evento, las causas y circunstancias

de los eventos de pérdida, así como cualquier otra información que permita evaluar la relevancia del evento de pérdida para otros bancos. El banco deberá contar con un proceso sistemático para determinar en qué situaciones deberán utilizarse los datos externos y qué metodologías se emplearán para incorporar tales datos (por ejemplo, introducción de ajustes de proporcionalidad o ajustes cualitativos, o introducción de mejoras en el análisis de escenarios). Las condiciones y prácticas para utilizar los datos externos deberán ser regularmente revisadas, documentadas y sometidas a exámenes periódicos independientes.

1.3.3 ANÁLISIS DE ESCENARIOS

El banco deberá utilizar análisis de escenarios basados en opiniones periciales junto con datos externos, al objeto de evaluar su exposición a eventos generadores de pérdidas muy graves.

Este método se sirve del conocimiento de directivos experimentados y de expertos en gestión de riesgos para obtener evaluaciones razonadas de las pérdidas graves que plausiblemente podría sufrir la entidad. Por ejemplo, las evaluaciones de estos expertos podrían expresarse en forma de parámetros de una distribución estadística supuesta de las pérdidas. Además, el análisis de escenarios deberá utilizarse para valorar el efecto de las desviaciones que se produzcan con respecto a los supuestos de correlación incorporados en el marco de medición del riesgo operativo del banco, a fin de evaluar, en concreto, las pérdidas procedentes de múltiples eventos simultáneos de pérdida por riesgo operativo. Al objeto de garantizar su carácter razonable, estos resultados tendrán que validarse y reevaluarse a lo largo del tiempo mediante su comparación con el historial de pérdidas efectivas.

1.3.3.1 Factores relacionados con entorno de negocio y control interno

Además de utilizar los datos de pérdida, ya sean reales o basados en escenarios, la metodología de evaluación del riesgo aplicada al conjunto de la entidad bancaria deberá identificar aquellos factores básicos de su entorno de negocio y de su control interno que pueden modificar su perfil de riesgo operativo. Estos factores permitirán que las evaluaciones del riesgo que realice el banco estén más orientadas hacia el futuro, reflejen de forma más directa la calidad de los entornos operativos y de control de la institución, contribuyan a alinear las evaluaciones de capital con los objetivos de la gestión de riesgos y reconozcan de una manera más inmediata tanto la mejora como el deterioro de los perfiles de riesgo operativo. Al objeto de ser admisibles a efectos de capital regulador, la utilización de estos factores dentro del marco de medición del riesgo de una entidad bancaria deberá satisfacer los siguientes criterios

- La elección de cada factor deberá justificarse por su papel de generador significativo de riesgo, a partir de la experiencia y de la opinión experta del personal de las áreas de negocio afectadas. En la medida de lo posible, los factores deberían traducirse en medidas cuantitativas que permitan su verificación
- Deberá razonarse adecuadamente la sensibilidad de las estimaciones de riesgo del banco ante variaciones de los factores y la ponderación relativa de los diversos factores. Además de identificar las variaciones del riesgo debidas a mejoras de los controles de riesgos, la metodología también deberá señalar incrementos potenciales del riesgo atribuibles a una mayor complejidad de las actividades o a un volumen de negocios más elevado
- La metodología y cada elemento de su aplicación, incluido el razonamiento a favor de ajustes potenciales que se introduzcan en las estimaciones empíricas, deberán documentarse y someterse al examen independiente del propio banco y también de sus supervisores.

- A lo largo del tiempo, el proceso y los resultados obtenidos tendrán que validarse, comparándolos con el historial interno de pérdidas efectivas, con datos externos relevantes y con los ajustes oportunos introducidos.

1.3.3.2 Utilización parcial

El banco podrá ser autorizado a utilizar un AMA en ciertos ámbitos de su actividad y el Método del Indicador Básico o el Método Estándar en el resto de actividades (utilización parcial), siempre que se satisfagan las condiciones siguientes

- Se tiene en consideración la totalidad de los riesgos operativos existentes en el conjunto de las operaciones consolidadas del banco
- Todas las operaciones del banco cubiertas por los AMA satisfacen los criterios cualitativos exigidos para la utilización del mismo, mientras que el resto de las operaciones que emplean alguno de los métodos más sencillos cumplen los criterios de admisión en dicho método
- En la fecha de aplicación de un AMA, una parte significativa de los riesgos operativos del banco está recogida en el AMA
- El banco presenta a su supervisor un plan que especifica el calendario que pretende seguir para comenzar a desplegar el AMA en todas las unidades de negocio significativas. El plan deberá estar dirigido por lo práctico y factible que resulte adoptar el AMA con el paso del tiempo, y por ningún otro criterio.

Sujeto a la aprobación de su supervisor, el banco que opte por la utilización parcial podrá determinar en qué parte de sus operaciones empleará el AMA, basándose en la línea de negocio, estructura jurídica, ubicación geográfica u otros criterios determinados internamente.

Sujeto a la aprobación de su supervisor, cuando un banco decida aplicar un método distinto del AMA en base consolidada a nivel global y no cumpla los criterios tercero o cuarto de los párrafos anteriores, dicho banco deberá, en determinadas circunstancias

- Aplicar permanentemente un método AMA de manera parcial
- Incluir en sus requerimientos de capital por riesgo operativo consolidados a escala mundial los resultados del cálculo de un AMA en una filial autorizada por el supervisor de acogida a utilizar dicho método, siempre que no se oponga el supervisor del país de origen del banco

1.4 COMPARACIÓN DE REGLAMENTOS

Como resultado del Nuevo Acuerdo de Capitales emitido por el Comité de Basilea en relación al manejo y administración de los riesgos operativos, las unidades de supervisión y control de cada país se encuentran en proceso de análisis y adaptación de estas sugerencias a sus realidades y necesidades.

Sin dejar de lado los esfuerzos realizados por todos y cada uno de los países que se encuentran en este proceso de adaptación, se hará una mención generalizada de los reglamentos emitidos por Chile y Ecuador; con la finalidad de ejemplificar el marco general sobre el cual se están desarrollando los conceptos de administración de riesgos operativos para luego volcar este estudio en las metodologías matemáticas de medición e interpretación de los factores de riesgo, los cuales proveerán a la alta dirección de las instituciones financieras los elementos cualitativos y cuantitativos para una mejor toma de decisiones, así también para cumplir con los requerimientos mínimos de los organismos de control correspondientes.

1.4.1 REGLAMENTO PARA LA ADMINISTRACIÓN Y CONTROL DE RIESGOS OPERATIVOS – CHILE.

Esta Superintendencia considera como marco referencial, la definición de riesgo operacional propuesta por el Comité de Basilea. Por lo tanto, se entenderá como tal ***el riesgo de pérdidas resultantes de una falta de adecuación o de una falla de los procesos, del personal y de los sistemas internos o bien por causa de acontecimientos externos.***

En este contexto resultará de interés para la evaluación que sobre el referido riesgo hará la Superintendencia, el rol asumido por el directorio y la alta administración y la aprobación que han dado a la estrategia a utilizar en su

administración, entendiendo este riesgo como de una categoría distinta de los riesgos bancarios tradicionales.

En la evaluación que hará este Organismo, interesa observar la compatibilidad entre las políticas y procedimientos establecidos por la entidad, con respecto al volumen, sofisticación y naturaleza de sus actividades.

Será también materia de examen comprobar si la posición independiente de la función de auditoría interna permite una adecuada cobertura y profundidad de las revisiones y la adopción oportuna de medidas correctivas por parte de las áreas auditadas.

En ese sentido, revelan una buena gestión, por ejemplo, situaciones o hechos tales como

- La institución tiene una definición de lo que entiende por riesgo operacional y lo ha reconocido como un riesgo gestionable
- La entidad mantiene políticas para la administración de los riesgos operacionales aprobadas por el directorio o la administración superior, que atienden la importancia relativa de los riesgos operacionales considerando el volumen y complejidad de las operaciones
- La estrategia de administración del riesgo operacional definida por la institución, es consistente con el volumen y complejidad de sus actividades y considera el nivel de tolerancia al riesgo del banco, incluyendo líneas específicas de responsabilidad
- La entidad administra los riesgos operacionales considerando los impactos que pudieran provocar en la institución (Severidad de la pérdida) y la probabilidad de ocurrencia de los eventos (Frecuencia de la pérdida)
- La entidad realiza evaluaciones del riesgo operacional inherente a todos los tipos de productos, actividades, procesos y sistemas. Asimismo, se

asegura que antes de introducir nuevos productos, emprender nuevas actividades, o establecer nuevos procesos y sistemas, el riesgo operacional inherente a los mismos esté sujeto a procedimientos de evaluación

- La institución es capaz de cuantificar los impactos de las pérdidas asociadas al riesgo operacional y constituir prudencialmente los resguardos necesarios
- Los sistemas de información permiten hacer un monitoreo continuo de la exposición a los riesgos operacionales. Poseen la cobertura y profundidad necesarias para servir en forma eficiente al proceso de toma de decisiones de la alta administración y directorio
- El banco cuenta con políticas para administrar los riesgos asociados a las actividades entregadas a terceras partes y lleva a cabo verificaciones y monitoreos a las actividades de dichas partes
- El banco cuenta con una estructura que permite administrar la seguridad de la información en términos de resguardar su confidencialidad, integridad y disponibilidad

1.4.2 REGLAMENTO PARA LA ADMINISTRACIÓN DE RIESGO OPERACIONAL – ECUADOR

Para la Superintendencia de bancos y seguros el riesgo operativo se entenderá como ***la posibilidad de que se ocasionen pérdidas financieras por eventos derivados de fallas o insuficiencias en los procesos, personas, tecnología de información y por eventos externos***. El riesgo operativo incluye el riesgo legal.

Con el propósito de que se minimice la probabilidad de incurrir en pérdidas financieras atribuibles al riesgo operativo, deben ser adecuadamente administrados los siguientes aspectos, los cuales se interrelacionan entre sí

- **Procesos.-** Para garantizar la optimización de los recursos y la estandarización de las actividades, estos deben ser definidos de conformidad con la estrategia y las políticas adoptadas, que deberán ser agrupados de la siguiente manera
 - **Gobernantes o estratégicos.-** Aquellos que proporcionan directrices a los demás procesos y son realizados por el directorio u organismo que haga sus veces y por la alta gerencia para poder cumplir con los objetivos y políticas institucionales
 - **Productivos, fundamentales u operativos.-** Son los destinados a llevar a cabo las actividades que permitan ejecutar las políticas y estrategias relacionadas con la calidad de los productos o servicios
 - **Habilitantes, de soporte o apoyo.-** Aquellos que apoyan a los procesos gobernantes y productivos, se encargan de mantener las condiciones de operatividad y funcionamiento, coordinar y controlar la eficacia del desempeño administrativo y la optimización de los recursos.

Para considerar la existencia de un apropiado ambiente de gestión de riesgo operativo, se deberán definir formalmente políticas para un adecuado diseño, control, actualización y seguimiento de los procesos.

Las políticas deben referirse por lo menos a

- diseño claro de los procesos
- descripción en secuencia lógica y ordenada de las actividades, tareas, y controles

- determinación de los responsables de los procesos, para garantizar que las metas globales se cumplan
- difusión y comunicación de los procesos buscando garantizar su total aplicación
- actualización y mejora continua a través del seguimiento permanente en su aplicación.

Deberá existir una adecuada separación de funciones que evite concentraciones de carácter incompatible, entendidas éstas como aquellas tareas cuya combinación en las competencias de una sola persona, eventualmente, podría permitir la realización o el ocultamiento de fraudes, errores, omisiones u otros eventos de riesgo operativo.

- **Personas.-** Las instituciones deben administrar el capital humano de forma adecuada, e identificar apropiadamente las fallas o insuficiencias asociadas al factor “personas”, tales como: falta de personal adecuado, negligencia, error humano, entre otros para esto se considerarán los siguientes procesos
 - **De incorporación.-** Comprenden la planificación de necesidades, el reclutamiento, la selección, la contratación e inducción de nuevo personal
 - **De permanencia.-** Que cubren la creación de condiciones laborales idóneas; la promoción de actividades de capacitación, formación e incentivos
 - **De desvinculación.-** Para llegar al finiquito y la finalización de la relación laboral.
- **Tecnología de información.-** Las instituciones deben contar con la tecnología de información que garantice la captura, procesamiento, almacenamiento y transmisión de la información de manera oportuna y

confiable; evitar interrupciones del negocio y lograr que la información, inclusive aquella bajo la modalidad de servicios provistos por terceros, sea íntegra, confidencial y esté disponible para una apropiada toma de decisiones.

- **Eventos externos.-** En la administración del riesgo operativo, las instituciones deben considerar la posibilidad de pérdidas derivadas de la ocurrencia de eventos ajenos a su control, tales como: fallas en los servicios públicos, ocurrencia de desastres naturales, atentados y otros actos delictivos, los cuales pudieran alterar el desarrollo normal de sus actividades

Cada institución desarrollará sus propias técnicas o esquemas de administración, considerando su objeto social, tamaño, naturaleza, complejidad y demás características propias. Las instituciones deberán identificar, por línea de negocio, los eventos de riesgo operativo, agrupados por tipo de evento y, las fallas o insuficiencias en los procesos, las personas, la tecnología de información y los eventos externos.

Los eventos de riesgo operativo y las fallas o insuficiencias serán identificados en relación con los factores de este riesgo a través de una metodología formal, debidamente documentada. Dicha metodología podrá incorporar la utilización de las herramientas que más se ajusten a las necesidades de la institución, entre las cuales podrían estar: auto evaluación, mapas de riesgos, indicadores, tablas de control (scorecards), bases de datos u otras. A continuación se anexa un cuadro con los factores de riesgo por línea de negocio.

IDENTIFICACIÓN DE EVENTOS, FALLAS O INSUFICIENCIAS Y FACTORES DEL RIESGO OPERATIVO				
LÍNEA DE NEGOCIOS				
TIPOS DE EVENTOS	FALLAS O INSUFICIENCIAS	FACTORES DE RIESGO OPERATIVO	NÚMERO DE VECES (FRECUENCIA)	EFFECTO CUANTITATIVO PÉRDIDA PRODUCIDA
Fraude Interno				
Por Ejemplo:	Por Ejemplo:	Por Ejemplo:		
Operaciones no reveladas adecuadamente	Mal diseño de proceso	Procesos		
Operaciones no registradas Intencionalmente	Inadecuada selección de personal	Personas		
Inadecuada utilización de información confidencial	Ausencia de control en los perfiles de usuario	Tecnología de información		
Apropiación indebida de activos	Inadecuada segregación de funciones	Personas		
Falsificación	Inexistencia de controles	Procesos		
Destrucción maliciosa de activos	Inadecuada medida de seguridad	Procesos		
Evasión de impuestos	Falta de ética	Personas		
Robo	Inadecuada segregación de funciones	Personas		
Fraude Externo				
Por ejemplo:	Por ejemplo:	Por ejemplo:		
Robo	Falta de seguridad física	Procesos		
Emisión de cheque sin fondos	Inadecuada capacitación del personal	Personas		
Prejuicios por intrusión o ataques de terceros	Falta de seguridad en la tecnología para prevenir ataque de terceros	Tecnología de información		
Falsificación	Falta de seguridad en tecnología de información	Tecnología de información		
Prácticas de Empleo y Seguridad del Ambiente de Trabajo				
Por ejemplo:	Por ejemplo:	Por ejemplo:		
Reclamos por compensación o indemnización al Personal	Inadecuada contratación de personal	Procesos		
Violación de las normas de salud o seguridad	Falta de difusión y comunicación de políticas	Personas		
Todo tipo de discriminación	Inadecuada política de administración de personal	Personas		
Prácticas Relacionadas con Clientes, los Productos y el Negocio				
Por ejemplo:	Por ejemplo:	Por ejemplo:		
Mal manejo de la información confidencial de clientes	Falta de definición de políticas y procedimientos	Procesos		
Prácticas contrarias a la competencias , practicas	Falta de definición de políticas	Personas		
Prácticas inadecuadas de negociación				
Actividades no autorizadas	Incursión en nuevas actividades sin considerar riesgos	Procesos		
Abuso de información privilegiada a favor de la Institución	Falta de ética	Personas		
Daños a los Activos Físicos Provocados Por				
Por ejemplo:	Por ejemplo:	Por ejemplo:		
Terrorismo	Falta de planes de contingencia debidamente probados	Eventos externos		
Vandalismo	Falta de planes de contingencia debidamente probados	Eventos externos		
Perdidas por desastres naturales	Falta de planes de contingencia debidamente probados	Eventos externos		
Interrupción del Negocio y Fallas en los Sistemas				
Por ejemplo:	Por ejemplo:	Por ejemplo:		
Fallas en el software	Deficiencia en el proceso de desarrollo o/y implantación	Tecnología de la información		
Fallas en el hardware	Falta de previsión de la capacidad de los recursos para el volumen de operaciones Falta de mantenimiento preventivo de los servidores centrales	Tecnología de la información		
Problemas de telecomunicación	Caída en los enlaces de las telecomunicaciones	Tecnología de la información		
Cortes de los servicios públicos	Falta de planes de contingencia	Eventos externos		
Deficiencias en la Ejecución de Procesos, en el Procesamiento de Operaciones y en las Relaciones con Proveedores y Otros Externos				
Por ejemplo:	Por ejemplo:	Por ejemplo:		
Errores en el ingreso de datos	Falta de controles en el ingreso de datos de las aplicaciones	Tecnología de la información		
Fallas en la administración de colaterales	Inadecuada segregación de funciones	Procesos		
Documentación legal incompleta	Falta de verificación del área legal	Procesos		
Acceso no aprobado de las cuentas de clientes	Proceso no definido	Procesos		
Disputas con los proveedores	Diferencias en la contratación	Procesos		
Incumplimiento de la entrega de la información hacia terceros	Falta de controles en el proceso de envío de la información	Procesos		

Cuadro 3.-FACTORES DE RIESGO POR LÍNEAS DE NEGOCIO

Se puede denotar la necesidad de las instituciones financieras de llevar un seguimiento exhaustivo, que permita la optimización de los procesos y políticas

internas para lograr la eficacia de sus transacciones y de esta manera mitigar o minimizar la cantidad de errores. Ello les permite brindar un servicio de excelencia en sus negocios que evidencien confiabilidad y por ende la perpetuidad de los mismos.

En este caso puntualmente se han tomado como referencia a Chile y Ecuador pudiendo establecer que: las pautas propias de cada país en cuanto a las normas legales, el volumen y tipo de transacciones que cada uno de ellos establece para su correcto desempeño, infieren en coincidencias dentro del marco de sugerencias que ha emitido el Comité de Basilea II, exaltando la importancia de la Administración de Riesgo Operacional como sustento del buen funcionamiento de las instituciones.

Capítulo 2

2 MODELOS CUALITATIVOS Y CUANTITATIVOS

En el capítulo anterior se presentó el esquema en el cual, el Comité de Basilea en el Nuevo Acuerdo de Capitales, propone las metodologías para la medición y cuantificación de los riesgos operacionales.

A nivel de estadística y matemáticas, los métodos sugeridos van desde aquellos donde predominan la inferencia estadística a técnicas que requieren de un conocimiento especializado y específico, como se desprende de los requerimientos en los modelos AMA expuestos anteriormente.

En el presente capítulo se evidenciará la conveniencia en la utilización de distintas técnicas para la medición del riesgo operacional, en base a la cantidad de información que maneje la institución financiera y los objetivos que esta se halla fijado.

En función de los objetivos que se plantee la institución financiera, se pueden definir un conjunto de metodologías que ayudarán a dicha institución a cuantificar sus pérdidas resultantes de sus riesgos operacionales.

Estas metodologías se pueden determinar dentro de los siguientes subgrupos:

- Modelos de Severidad
- Modelos de frecuencia
- Teoría de Valores Extremos
- Operational Value at Risk (OpVaR)
- Procesos Estocásticos
- Modelos Causales
- Modelos no Lineales

- Estadística Bayesiana
- Modelo de Distribución de Pérdidas - Loss Distribution Approach

De lo descrito anteriormente se tomarán para desarrollo los siguientes: Modelos de Severidad, Modelos de Frecuencia y Operational Value at Risk; constituyendo el marco inicial de la problemática de los riesgos operacionales. Loss Distribution Approach (LDAP) y Los Modelos Causales son combinaciones de los modelos anteriores para crear aproximaciones más precisas en la medición de los riesgos operacionales.

Es objetivo de este trabajo mostrar los fundamentos y las metodologías OpVaR con LDAP y OpVaR con modelos causales así como los resultados del primer caso.

De esta forma se puede comenzar con el desarrollo de los conceptos estadísticos básicos para la medición del riesgo operacional.

2.1 MODELOS DE SEVERIDAD

2.1.1 DISTRIBUCIONES

Los Modelos de Severidad en riesgo operacional se utilizan para ajustar los datos a un conjunto de distribuciones estadísticas, en esta sección se omitirán los conceptos básicos de teoría de probabilidades, centralizando el estudio en la explicación de aquellos que tienen mayor relevancia en la medición del riesgo operacional.

Debido a que muchas distribuciones son el resultado de transformaciones o combinaciones de otras se van creando las familias de distribuciones. Algunos miembros de estas familias cumplen la característica de tener una cola pesada (heavy tail), lo cual es de suma utilidad en la medición de riesgo operacional para poder estimar los parámetros que muestran la severidad y el alto impacto

económico producto de un evento de pérdida por riesgo operacional. A continuación se presenta un gráfico de una familia de distribuciones. [1], Pág. 50 - 54

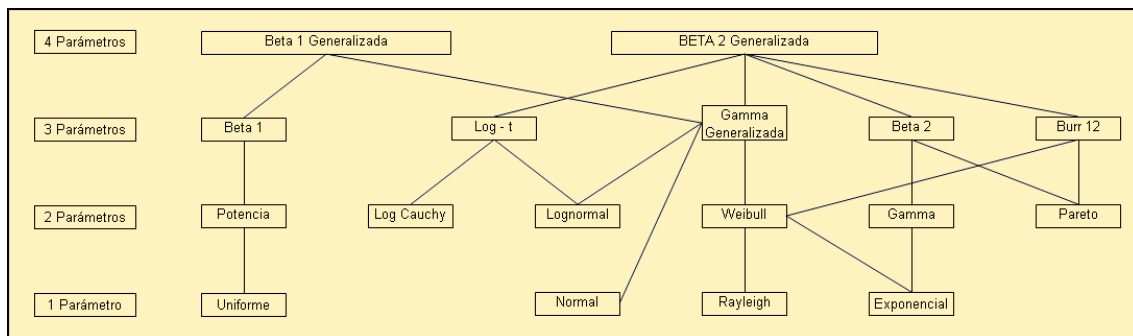


Figura 3.-.FAMILIAS DE DISTRIBUCIONES

La interpretación del gráfico anterior se puede explicar con los siguientes ejemplos:

Dada una función Gamma $\Gamma(p, \lambda)$ el caso en el cual $p = 1$ corresponde a la conocida distribución Exponencial, esto se aprecia en el enlace entre la Exponencial y la Gamma.

Si X_1 y X_2 son variables aleatorias independientes con funciones de distribución $\Gamma(p, \lambda)$ y $\Gamma(q, \lambda)$ respectivamente, entonces la variable

$$Y_2 = \frac{X_1}{X_1 + X_2}$$

es independiente de X_1 , X_2 y sigue una distribución $\beta(p, q)$,

esto se aprecia en el enlace de las distribuciones Gamma y Beta. [14]Pág.13

Con dichas descripciones se desea mostrar que los enlaces en las familias de distribuciones son el resultado de operaciones entre una o más funciones de distribución, se detallan a continuación las que cumplen con la propiedad de tener una cola pesada (Heavy Tail) y que son de interés para el pertinente estudio

- Distribución lognormal
- Distribución Exponencial
- Distribución Weibull

- Distribución Pareto

2.1.1.1 Distribución Lognormal

El desarrollo de la distribución Lognormal sigue la ideología de las distribuciones que pueden ser transformadas. Si hay un número θ tal que $Z = \log(X - \theta)$ es normalmente distribuida, entonces se dice que la distribución de X puede ser Lognormal.

La función de densidad de probabilidad (PDF) de X está dada por:

$$f(x) = \frac{1}{x\sigma\sqrt{2\pi}} \exp\left(-\frac{Z^2}{2}\right) = \frac{\phi(z)}{\sigma x}; \quad x > 0$$

$$Z = \frac{\log x - \mu}{\sigma}$$

La función de probabilidad acumulada (CDF) es:

$$F(x) = \Phi(Z)$$

La estimación de los parámetros está dada considerando $Z_i = (\log x_i - \mu)$ entonces:

$$\hat{\mu} = \bar{Z} \quad \text{y} \quad \hat{\sigma} = \sqrt{\frac{\sum_{j=1}^n (Z_j - \bar{Z})^2}{n}}$$

2.1.1.2 Distribución Exponencial

La distribución exponencial ha sido aplicada en una gran variedad de procesos estadísticos, de manera muy particular en el campo de la teoría de la confiabilidad

y en el caso de los modelos de riesgo operacional es también muy utilizada y de suma importancia.

La variable aleatoria X tiene una distribución de probabilidad exponencial, si su función de densidad de probabilidad posee la siguiente forma:

$$f(x) = \lambda^{-1} \exp\left[-\frac{(x-\theta)}{\lambda}\right] \quad x > \theta, \lambda > 0$$

La función exponencial anterior es de dos parámetros λ, θ , por otro lado, el tipo más común de distribución exponencial es de un parámetro, asumiendo que $\theta = 0$, y que en su forma más simple se representa por:

$$f(x) = \lambda^{-1} \exp\left(-\frac{x}{\lambda}\right)$$

Su función de distribución acumulada está representada por:

$$F(x) = 1 - \exp\left(-\frac{x}{\lambda}\right)$$

La estimación del momento para el caso de un parámetro está calculado por:

$$\hat{\lambda} = \frac{1}{\sum_{j=1}^n X_j / n}$$

2.1.1.3 Distribución de Weibull

Esta distribución, que fue utilizada en pruebas de esfuerzo de materiales, ha recibido mucha atención de los investigadores en la solución de los problemas producidos por el riesgo operacional

Una variable aleatoria se dice que sigue una distribución Weibull si existen valores de parámetros que cumplan lo siguiente:

$$f(x) = \frac{\alpha}{\beta^\alpha} x^{\alpha-1} \exp\left(-\frac{x}{\beta}\right) \quad x > 0, \quad \alpha, \beta > 0$$

Y su función de distribución acumulada está dada por:

$$F(x) = 1 - \exp\left(-\frac{x}{\beta}\right)$$

2.1.1.4 Distribución de Pareto

Función que fue utilizada en sus inicios para determinar la distribución de los ingresos sobre una población, y posteriormente fue generalizada a otras distribuciones en las cuales se pueden establecer una relación entre dos variables (Ley de Pareto).

A continuación se presenta su función de distribución:

$$f(x) = \frac{\alpha\theta}{(x+\theta)^{\alpha+1}} \quad x > 0, \quad \alpha, \theta > 0$$

Su función de distribución acumulada puede representarse de la siguiente manera:

$$F(x) = 1 - \left(\frac{\theta}{x+\theta}\right)^\alpha$$

La estimación de los parámetros a través de los momentos puede representarse por:

$$\hat{\alpha} = 2 \frac{\frac{\sum_{j=1}^n x_j^2}{n} - \left(\frac{\sum_{j=1}^n x_j}{n} \right)^2}{\frac{\sum_{j=1}^n x_j^2}{n} - 2 \left(\frac{\sum_{j=1}^n x_j}{n} \right)^2} \quad \text{Y} \quad \hat{\theta} = \frac{\frac{\sum_{j=1}^n x_j}{n} - \frac{\sum_{j=1}^n x_j^2}{n}}{\frac{\sum_{j=1}^n x_j^2}{n} - 2 \left(\frac{\sum_{j=1}^n x_j}{n} \right)^2}$$

2.2 MODELOS DE FRECUENCIA

En la sección anterior se mostró como calcular la severidad de las pérdidas del riesgo operacional y como estas pueden ocurrir en eventos individuales. En esta sección se describirá como estimar la frecuencia de estos eventos en el futuro. [1]

Pág.87 – 92

Las distribuciones de frecuencia de interés para riesgo operacional son mucho menores que aquellas para severidad, una rápida clasificación puede dividir las distribuciones de frecuencia en tres clases:

- Ordinarias
- Truncada en Cero
- Modificada en Cero

2.2.1 DISTRIBUCIÓN ORDINARIA

El método de distribución ordinaria es el más popular y se puede distinguir en los siguientes subgrupos; Poisson, Geométrica, Binomial, Hipergeométrica, etc.,

estos tipos de funciones son más comunes y dependiendo del grado de dificultad que el análisis requiera pueden derivarse en una distribución de mayor complejidad como las truncadas en cero o las modificadas en cero.

2.2.2 DISTRIBUCIÓN TRUNCADA EN CERO

Las distribuciones truncadas en cero son aquellas en las cuales no es posible tener un valor de probabilidad en cero.

Se puede imaginar que este tipo de distribución no llega a ser de mucha utilidad en riesgo operacional pero, en este caso se puede citar dos ejemplos en particular; la distribución truncada en cero Poisson y la distribución truncada en cero Geométrica, dos funciones de suma importancia dentro del riesgo operacional, y por ello son de las distribuciones más utilizadas.

2.2.3 DISTRIBUCIÓN MODIFICADA EN CERO

Partiendo de una distribución truncada se crea una distribución modificada en cero, en la cual es colocada una cantidad arbitraria de probabilidades en el punto cero y las restantes probabilidades son ajustadas adecuadamente.

A su vez las distribuciones de frecuencia pueden ser clasificadas en Simples o Compuestas, entendiéndose esta última como la composición de una distribución en otra. Las distribuciones compuestas mas populares son las de tipo Poisson-Geométrica, como por ejemplo la distribución Polya-Aeppli.

A continuación se procederá con el desarrollo de las funciones de distribución Poisson y geométrica, así como sus respectivas funciones de distribución de frecuencia truncada en Cero y la derivación en composición Polya-Aeppli con el propósito de dar un marco conceptual a la presente sección.

2.2.4 DESARROLLO Y COMPOSICION DE FUNCIONES

2.2.4.1 Distribución Geométrica

El modelo de distribución geométrica establece el número de fallas que pueden ocurrir ante un evento, donde p es la probabilidad de ocurrencia.

La probabilidad de ocurrencia está dada por la siguiente función:

$$p_k = \frac{\beta^k}{(1+\beta)^{k+1}}$$

El parámetro β es estimado por:

$$\hat{\beta} = \frac{1}{n} \sum_{k=1}^{\infty} kn_k$$

La distribución geométrica truncada en cero está representada por:

$$p_k^t = \frac{\beta^{k-1}}{(1+\beta)^k}$$

El parámetro β está estimado por:

$$\hat{\beta} = \left(\frac{1}{n} \sum_{k=1}^{\infty} kn_k \right) - 1$$

2.2.4.2 Distribución Poisson

El método de frecuencia de distribución Poisson es ciertamente uno de los más utilizados en riesgo operacional, debido a su simplicidad y a que se ajusta

bastante bien a la mayoría de datos, su función de distribución truncada en cero es necesitada con bastante frecuencia ya que provee una simple e interesante opción que facilita la adición o inclusión de más datos.

La distribución Poisson se representa por la siguiente función de probabilidad:

$$p_k = \frac{e^{-\lambda} \lambda^k}{k!} \quad k = 0, 1, 2, \dots$$

La función de acumulación (función de un paso, función discreta por no poseer función de distribución acumulada) esta dada por:

$$F(x) = e^{-\lambda} \sum_{i=0}^{\lfloor x \rfloor} \frac{\lambda^i}{i!}$$

La función generadora de momento es:

$$p(z) = e^{\lambda(z-1)} \quad \lambda > 0$$

El parámetro de estimación de la función es:

$$\hat{\lambda} = \frac{\sum_{k=0}^{\infty} k n_k}{\sum_{k=0}^{\infty} n_k}$$

La distribución truncada a cero Poisson representa su probabilidad en la siguiente función:

$$p_k^t = \frac{\lambda^k}{k! (e^{\lambda} - 1)} \quad k = 0, 1, 2, \dots$$

Donde t es el valor truncado. Y el parámetro λ puede ser calculado por la siguiente función:

$$\hat{\lambda} = \frac{\log \left(\frac{\sum_{k=0}^{\infty} kn_k}{\sum_{k=0}^{\infty} n_k} \right)}{n_1}$$

2.2.4.3 Distribución Polya Aeppli

Un importante ejemplo de distribución compuesta es el modelo Polya Aeppli donde se pueden evidenciar la composición de las distribuciones Geométrica y Poisson. [29] Pág.3

$$P(z) = \sum_{k=1}^z \exp(-\lambda) \frac{\lambda^k}{k!} (1-\beta)^{z-k} \beta^k \binom{z-1}{k-1}$$

$$0 < \beta \leq 1 \quad \lambda > 0$$

$$\mu = \frac{\lambda}{\beta} \quad \sigma^2 = \frac{\lambda(2-\beta)}{\beta^2}$$

2.3 TEORÍA DE LOS VALORES EXTREMOS

La clave de esta teoría es el teorema de los valores extremos, un primo del conocido teorema del límite central, el cual indica como sería la distribución de valores extremos en el límite, es decir, en función del incremento del tamaño de la muestra.

Supóngase que se tienen algunas observaciones de retorno pero se desconoce la función de distribución de densidad, por lo que no hay como graficarla. Dadas algunas condiciones el teorema dice que la distribución de retornos extremos converge asintóticamente a:

$$F_{\xi, \mu, \sigma}(x) = \begin{cases} \exp\left(-\left[1 + \xi(x - \mu)/\sigma\right]^{1/\xi}\right) & \xi \neq 0 \\ \exp\left(e^{-(x - \mu)/\sigma}\right) & \xi = 0 \end{cases} \quad \text{si}$$

Los parámetros μ y σ corresponden a la media y a la desviación estándar, y el tercer parámetro ξ , indican lo pesada de la cola; a mayor ξ , más pesada es la cola. Este parámetro es conocido como el índice de la cola, y el caso de mayor interés en finanzas es cuando $\xi > 0$, lo que corresponde a la cola utilizada en finanzas para el retorno de los datos, en este caso, la distribución asintótica toma la forma de la distribución de Fréchet. [8] Pág. 3

Si $\xi = 0$, esto se transforma en la distribución Gumble y cuando $\xi < 0$ esta es la distribución de Weibull, tal como se mostró anteriormente. [9] Pág. 13

Otra distribución para medir extremos es la distribución Generalizada de Pareto (GPD) por sus siglas en inglés, la cual se puede definir de la siguiente manera,

$$G_{\xi, \beta}(x) = \begin{cases} 1 - (1 + \xi x / \beta)^{-1/\xi} & \xi \neq 0 \\ 1 - \exp(-x/\beta) & \xi = 0 \end{cases} \quad \text{si}$$

$$\beta > 0 \text{ y } x \geq 0 \quad \text{cuando } \xi \geq 0$$

Donde

$$0 \leq x \leq \beta / \xi \quad \text{cuando } \xi < 0$$

Una GDP con $\xi > 0$ es llamada función de Pareto, una GDP con $\xi = 0$ es una distribución exponencial de un parámetro y una GDP con $\xi < 0$ es una distribución Beta. [8] Pág. 4.

2.3.1 PRUEBAS DE STRESS (STRESS TESTING)

Si bien se han descrito las metodologías para los cálculos de OpVar, estas medidas de riesgo expresan una pérdida potencial en lo que se podría denominar “condiciones normales”. Es posible que cualquier institución financiera sufra pérdidas por cambio sustanciales en su estructura, lo que podría disminuir significativamente sus activos por riesgo operacional, por ejemplo: [10] Pág. 128-129

Una institución financiera que posee 8 agencias y 120 empleados por efectos de una fusión o adquisición, en corto plazo puede convertirse en una institución conformada por 20 agencias y 600 empleados, incrementando de esta manera el volumen de sus operaciones y con él su nivel de riesgo operacional.

Estos efectos pueden ser inferidos a través de una prueba de stress, en la cual factores de riesgo como incremento en el volumen de operaciones o número de empleados inciden en las pérdidas por riesgo operacional.

Generalizando el concepto de Stress Testing (análisis de escenario), se puede mencionar que existen dos técnicas para realizar pruebas de stress estructuradas en riesgo operacional. El primero se basa en el modelo OpVar e involucra cambios en los parámetros con los cuales se crearán las distribuciones, el segundo se basa en modelos factoriales y uso de las variables de ambiente para generar escenarios de stress. La elección entre estos dos métodos depende principalmente de la cantidad de datos disponibles para el análisis. [1] Pág. 213

2.3.2 VALOR EN RIESGO OPERACIONAL

Valor en Riesgo (VaR) por sus siglas en inglés, es una medida estadística de riesgo que estima la máxima pérdida que podría experimentar un portafolio a un nivel de confianza dado. [10] Pág.9 - 10

“Valor en riesgo es la máxima cantidad de dinero que podría perderse en un portafolio para un período de tiempo y un nivel de confianza dados”.

VaR es típicamente calculado para el período de un día y, frecuentemente con un 95 % de confianza; esto significa que existe en promedio un 95 % de ocasiones en que la pérdida del portafolio será inferior al VaR calculado.

El período de tiempo elegido tiene un efecto significativo sobre el VaR, a mayor período de tiempo mayor es el VaR. Esto tiene sentido ya que intuitivamente se esperan mayores cambios sobre un período de un mes que sobre un día.

El atributo más importante del VaR es la transparencia [7] Pág. 9, un único número de VaR transmite el riesgo de pérdida potencial, determinada dentro de un intervalo de tiempo para un nivel de confianza dado.

El método VaR está siendo utilizado de forma activa en la gestión de riesgos financieros, concebido inicialmente como método de medición de riesgo de

mercado, en los últimos años su aplicación se ha extendido al cálculo de los riesgos de crédito y operacional.

Los distintos estudios en VaR muestran las diferencias básicas entre los modelos de VaR operacional y de mercado o crédito. En el caso de VaR operacional, los procesos estocásticos no asumen hipótesis de normalidad, así como los eventos de pérdida se vuelven relevantes [1] Pág. 102

La diferencia substancial es que, en los modelos VaR de mercado es posible medir los impactos de pérdida, por cuando se puede asumir que los precios en el mercado son continuos, es decir, en términos probabilísticos, el evento en general sigue un proceso estocástico conocido como proceso Browniano, por otro lado, los eventos de pérdida siguen un camino discreto, el proceso estocástico en el cual se basa el riesgo operacional sigue un proceso de Poisson, un proceso de Poisson compuesto, un proceso de Cox, etc.

Otra diferencia, es que en los modelos de VaR de mercado, se pueden realizar pruebas de estrés, con supuestos sobre los cambios en los precios de sus factores de riesgo, en el caso de riesgo operacional, los factores de riesgo son exógenos al sistema, por lo que se podría necesitar un modelo adicional para realizar una prueba de estrés.

Existen varios métodos para el cálculo del OpVaR, y estos pueden ser agrupados en modelos paramétricos, o no paramétricos. En riesgos operacionales, los primeros se encuadran en la teoría dentro de los métodos de distribución de pérdidas (Loss Distribution Approach- LDA) y la Teoría de los Valores Extremos.

Los segundos dentro de Simulaciones Históricas de métodos Bootstrap y Bootstrap simple. Los modelos paramétricos de procesos estocásticos asociados a eventos de pérdida pueden asumir diversas funciones de distribución lo que no ocurre con los modelos no paramétricos.

Este capítulo muestra de manera general las principales técnicas y metodologías estadísticas utilizadas con mayor frecuencia en la cuantificación de los factores de riesgo operacional.

En el siguiente capítulo se desarrollarán a profundidad las técnicas OpVar con LDAP y OpVar con modelos causales, ya que estos son el resultado de combinar las distintas distribuciones para obtener modelos más precisos y útiles en relación a la necesidad de las instituciones financieras, que deben destinar capital adicional para cubrir sus pérdidas esperadas y no esperadas por efectos de los riesgos operacionales.

Capítulo 3

3 MÉTODOS AVANZADOS EN CUANTIFICACIÓN DE RIESGOS OPERACIONALES.

En el capítulo I de este trabajo, se mencionaron los cuatro pasos fundamentales para la administración del riesgo operacional, si bien se profundizará en las técnicas de medición y cuantificación, no se puede desarrollar el tema, sin establecer los lineamientos, para la recolección de información, la cual constituye la materia prima en la cuantificación.

Es por ello, que en la introducción de este capítulo se describirán las principales premisas en la recolección de información. [2] Pág. 218 - 238

En los riesgos de mercado y de crédito se tiene un volumen importante de datos ya que estos se han recolectado a lo largo de varios años, para riesgo operacional se tienen pocos registros y esto se justifica por las siguientes razones:

La primera es que los eventos de riesgo operacional tienen una naturaleza descentralizada, es decir, que se pueden materializar en cualquier unidad del negocio pudiendo estar relacionado a cualquier producto, proceso o servicio.

La segunda es que hay cierta carencia en cuanto al conocimiento e implementación de metodologías correctas de recolección de datos para este tipo de riesgo, esencialmente por falta de información o bien debido a no existir un claro entendimiento en la manera de rastrear y cuantificar eficientemente dichas pérdidas.

De esta forma se puede decir que una alternativa óptima es crear una base de datos sólida, estableciendo los procedimientos internos apropiados y avalados con una buena política de la institución financiera que difunda la cultura del riesgo

operacional como una herramienta cotidiana, sumada a una clara atribución de responsabilidades y procesos que permitan una recolección de datos eficaz.

Actualmente existen tres formas alternativas para la recolección de datos para el análisis de pérdidas en riesgo operacional.

- Registrar manualmente las ocurrencias de riesgo operacional a medida que se susciten. Para este propósito es necesario crear un sistema de reportes que debe estar disponible a las personas capacitadas para identificar y registrar estos eventos de pérdidas.
- Recolectar los datos de fuentes gerenciales pues determinados tipos de pérdidas ya tienen asociadas políticas internas de la institución, como por ejemplo; fraudes con tarjetas de créditos, siniestros, etc.
- Llevar un registro de la cantidad de veces que ocurre un mismo tipo de evento que genere pérdida como por ejemplo: multas, cargos por operaciones mal efectuadas, etc. Dicha información generalmente se encuentra en los registros contables de la institución.

A continuación se presenta un cuadro que resume las ventajas y desventajas anteriormente descritas.

FORMA DE RECOLECCIÓN	VENTAJAS	DESVENTAJAS
Manual	Es posible tener un mayor detalle de las pérdidas así como una precisa identificación de las causas y efectos de las mismas	Requiere de mucho recurso humano y entrenamiento para atender la cobertura total de las pérdidas
Gerencial	El esfuerzo humano es menor y más fácilmente adaptable a la información que requiere un estudio de riesgo operacional.	La información tiene un carácter menos confiable que la que resulta de índole contable
Contable	El esfuerzo humano es mínimo y la confiabilidad de esta información es mucha más altas que la de las otras fuentes.	No existen parámetros específicos de individualización para este tipo de pérdidas y por ello es difícil distinguirlas dentro de esta metodología

Cuadro 4.-.FORMAS DE RECOLECCIÓN DE INFORMACIÓN

Una base de datos sólida y confiable es esencial para el desenvolvimiento de modelos cuantitativos, ya que esa información será el sustento del análisis sobre el potencial riesgo operacional, por este motivo el Comité de Supervisión Bancaria de Basilea recomienda que la base de datos sobre la cual reposan los datos del capital de la institución debe estar constantemente avalada en cuanto a calidad, integridad y confiabilidad de sus datos. Esta preocupación está íntimamente ligada a la credibilidad de los modelos que los bancos implementarán y en conformidad con las exigencias de los entes reguladores.

3.1 MODELO DE DISTRIBUCIÓN DE PÉRDIDAS

En el presente capítulo se mostrará el método de distribución de pérdidas (Loss Distribution Approach, LDAP, por convención se utilizará la notación en Inglés), que es uno de los métodos sugeridos por el Comité de Basilea. [15] Pág. 11, 26

En la ciencia actuarial hay dos modelos básicos de riesgo para estimar las pérdidas totales en un período de tiempo dado, el modelo de riesgo individual y el modelo de riesgo colectivo. Estos pueden ser válidos para el riesgo operacional con algunas pocas adaptaciones

Se puede decir que el total de las pérdidas por riesgo operacional se representan como una sumatoria (S) de números aleatorios (N) de operaciones de pérdidas individuales (X_1, \dots, X_n).

El modelo de riesgo individual se caracteriza porque las pérdidas están dadas por la sumatoria de un número fijo de ellas.

El modelo de riesgo colectivo supone que las pérdidas X_i son variables aleatorias. En este modelo de distribución de (N) (frecuencia) es independiente de los valores X_i (severidad).

La separación de los procesos de frecuencia y severidad permite un mejor entendimiento de los cambios en la función de distribución agregada (función Loss Distribution Approach).

Cada modelo es utilizado, dentro del riesgo operacional como una herramienta útil de aplicación dando un marco ordenado de información a un tipo particular de pérdida.

Luego de calcular separadamente las funciones de frecuencia y de severidad, es necesario combinarlas en una función de distribución de pérdidas agregadas que permita predecir las pérdidas por riesgo operacional a un nivel de confianza dado.
[1] Pág. 102 – 103.

El gráfico que se muestra a continuación describe el concepto buscado y se continuará con la teoría formal y la puesta en práctica de los mismos.

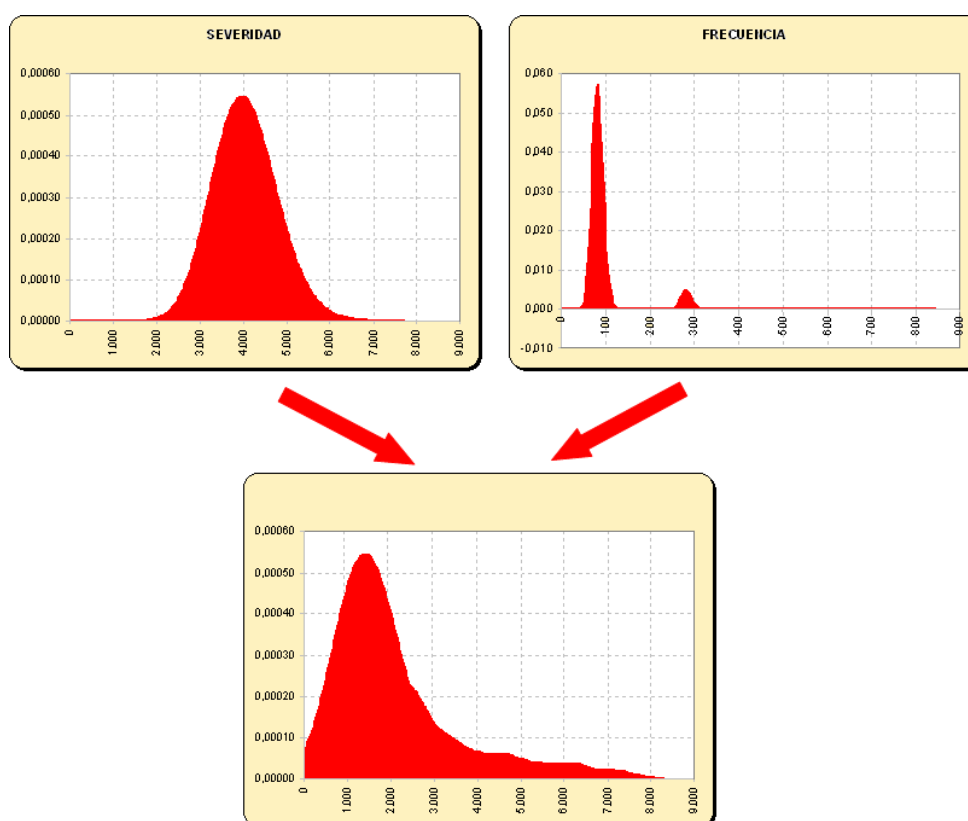


Figura 4.-.COMBINACIÓN DE FUNCIONES LOSS DISTRIBUTION APPROACH

Como se puede ver en el siguiente ejemplo, generado a través de una distribución de Poisson (1,2) para la frecuencia y una distribución Log-Normal (7.2, 3.9) para la severidad de la pérdida:

		FRECUENCIA							
Secuencia	Poisson (1,2)	1	2	3	4	5	6	7	8
1	1,00	0,58							
2	4,00	0,77	0,97	0,94	0,39				
3	4,00	0,15	0,51	0,64	0,80				
4	1,00	0,86							
5	1,00	0,63							
6	1,00	0,35							
7	0,00								
8	0,00								
9	3,00	0,01	0,63	0,50					
10	0,00								
11	1,00	0,76							
12	0,00								
13	0,00								
14	2,00	0,89	0,01						
15	1,00	0,87							
.
.
.
30.000	8,00	0,97	0,40	0,64	0,67	0,50	0,16	0,46	0,65

Cuadro 5.-.GENERACIÓN DE VALORES -FRECUENCIA - POISSON

		SEVERIDAD							
Secuencia	1	2	3	4	5	6	7	8	Pérdida
1	3.950,68								3.950,68
2	30.798,49	2.776.946,68	833.632,63	589,12					3.641.966,92
3	33,32	2.071,28	7.610,09	45.518,21					55.232,90
4	120.199,54								120.199,54
5	6.768,53								6.768,53
6	391,91								391,91
7									0,00
8									0,00
9	0,19	6.854,66	1.747,32						8.602,16
10									0,00
11	27.008,89								27.008,89
12									0,00
13									0,00
14	201.505,18	0,10							201.505,28
15	133.991,77								133.991,77
.
.
.
30.000	3.284.038,85	652,73	7.331,51	9.593,32	1.733,82	35,36	1.272,61	8.218,54	3.312.876,73

Cuadro 6.-.GENERACIÓN DE VALORES - SEVERIDAD. – LOGNORMAL

Al conjugar los resultados de ambas distribuciones, y con un nivel de confianza del 99% se puede decir que la pérdida ocasionada por este riesgo operativo es de 53'455.523,62 unidades monetarias.

Para generalizar el concepto anterior y describirlo con la formalidad matemática que corresponde se puede decir que:

El proceso estocástico asociado a la función de pérdida o LDAP es la conjugación de una distribución de frecuencia y una de severidad; que considera la pérdida total como la sumatoria de las pérdidas en un determinado evento, donde, (S) es un número estocástico de ocurrencias (N) .

Representado por:

$$S = X_1, \dots, X_N \text{ con } N = 1, 2, \dots$$

Las hipótesis que se asumen en este modelo son:

- Condicionadas a $N=n$ las variables aleatorias X_1, \dots, X_n , son independientes e idénticamente distribuidas.
- Condicionadas a $N=n$, la distribución de variables aleatorias X_1, \dots, X_n , no dependen de n ;
- La distribución de N no depende de los valores de las variables aleatorias X_1, \dots, X_n

Si S es la suma de las pérdidas anteriormente definidas, donde N representa su distribución de frecuencia.

$$\begin{aligned}
 F_S(x) &= P(S \leq x) \\
 &= \sum_{n=0}^{\infty} p_n P(S \leq x | N = n) \\
 &= \sum_{n=0}^{\infty} p_n \Pr \left[\sum_{i=1}^n X_i \leq s \right]
 \end{aligned}$$

La distribución de la variable aleatoria S entonces se representa por

$$F = \sum_{n=0}^{\infty} p_n F_X^{*n}(x)$$

Donde,

$F_x(x) = P(S \leq x)$ es la función de distribución de X_j y $p_n = P(N = n)$, por otro lado $F_x^{*n}(x)$ es la n -ésima convolución de la distribución acumulada de X obtenida como

$$F_x^{*0}(x) = \begin{cases} 0 & \text{si } x < 0 \\ 1 & \text{si } x \geq 0 \end{cases}$$

Y

$$F_x^{*k}(x) = \int_{-\infty}^{+\infty} F_x^{*(k-1)}(x-y) dF_x(y)$$

Si X es una variable aleatoria continua con Función de densidad nula para valores negativos entonces se tiene lo siguiente

$$F_x^{*k}(x) = \int_0^x F_x^{*(k-1)}(x-y) dF_x(y)$$

Diferenciando la ecuación anterior se tiene su función de densidad de probabilidad

$$f_X^{*k}(x) = \int_0^x f_X^{*(k-1)}(x-y) f_X(y) dy$$

Si X es una variable discreta con probabilidad para $x = 0, 1, \dots$ entonces se tiene que

$$F_X^{*k}(x) = \sum_{y=0}^x F_X^{*(k-1)}(x-y) f_X(y) \quad x = 0, 1, \dots$$

Y su función de densidad está dada por:

$$f_X^{*k}(x) = \sum_{y=0}^x f_X^{*(k-1)}(x-y) f_X(y) \quad x = 0, 1, \dots$$

La función $F_S(x) = \sum_{n=0}^{\infty} p_n F_X^{*n}(x)$ se denomina distribución de pérdidas agregada,

y su correspondiente función de probabilidad es:

$$f_S(x) = \sum_{n=0}^{\infty} p_n f_X^{*n}(x)$$

El proceso de Loss Distribution Approach se puede sintetizar en las siguientes etapas

- Definición de los modelos que se ajusten a los datos observados
- Selección de las distribuciones candidatas al proceso de modelado
- Estimación de forma separada, de la frecuencia y severidad de los eventos de pérdida
- Aplicación de pruebas para verificar la bondad de ajuste de las mismas

- Convolución de las distribuciones obtenidas en una distribución agregada de pérdidas, de tal forma que se pueda determinar la exigencia de capital por medio del VaR operacional. [6] Pág. 44 - 46

Las dos primeras etapas corresponden básicamente a cálculo y análisis de estadísticas descriptivas tales como media, varianza, asimetría, kurtosis, luego se analizan las distribuciones de frecuencia y severidad en función de los datos de la muestra.

En general escoger la distribución de frecuencia y la de severidad que se ajuste a la problemática planteada, debe estar sujeta a la selección de distribuciones que se presenten como fuertes candidatas para ese proceso de modelado, sin embargo, algunos métodos de distribución son preferidos por razones prácticas y por ello son las más utilizadas. Con esto se ha cumplido con la tercera etapa al haber calculado y probado el ajuste de las distribuciones seleccionadas.

Habiendo calculado de forma separada los procesos de frecuencia y severidad, se continúa con la combinación para obtener la función de pérdidas agregadas que permita sintetizar en un número la pérdida operacional a un nivel de confianza dado. Tal como se explicó en párrafos anteriores la función de convolución no siempre tiene solución analítica, por lo que se recurre a los métodos de simulación, en los cuales se deben cumplir con las siguientes etapas.

- Simular el número de ocurrencias de un evento en particular que se de en un período de tiempo. Este proceso se realiza tomando muestras de la función de frecuencia de los eventos
- Tomar muestras de la distribución de severidad de los eventos por n veces. La suma corresponde a la pérdida esperada
- Repetir el proceso hasta que se produzca una distribución de pérdidas operacionales en un período de tiempo, en el cual las pérdidas esperadas corresponde a la media de la distribución y las pérdidas no esperadas al nivel de confianza previamente definido.

En lo que resta de este capítulo, se mostrarán los criterios básicos para la selección de una distribución de frecuencia y severidad. Además se mostrará el proceso de Poisson compuesto, como una aproximación a la función de distribución de pérdidas, en el cual, por los supuestos empleados se puede calcular una fórmula recursiva explícita de la convolución.

3.2 CRITERIOS DE SELECCIÓN

3.2.1 CRITERIOS DE SELECCIÓN DEL MODELO DE FRECUENCIA

El estudio de la distribución de frecuencia en el contexto del riesgo operacional es bastante simple, pues envuelve los contenidos de los eventos de pérdidas en un determinado período de tiempo, esas características direccionan a la distribución de probabilidades de Poisson, pues lo que se desea describir es un proceso de una variable aleatoria discreta definida para números enteros y no negativos.

La distribución de Poisson es una de las más utilizadas para modelar los procesos de frecuencia, principalmente por la simplicidad (un parámetro), y porque es un método que permite la adición de más datos. Estas propiedades facilitan la implementación de los procesos agregados de pérdidas. Para un mejor detalle de este tipo de distribución, el lector puede consultar el capítulo II, sección Modelos de Frecuencia del presente documento.

Como se ha mencionado anteriormente, la mayor motivación para escoger el método de distribución de Poisson es porque la capacidad de adherencia de datos ha brindado excelentes resultados en distribuciones finales de pérdida.

La representación de su función es:

$$p_k = \frac{e^{-\lambda} \lambda^k}{k!} \quad k = 0,1,2,..$$

Como se sabe, la media de una distribución Poisson es el propio parámetro λ , el cuál representa el número de incurrencias de un evento.

Esta fórmula se ha tomado como base para el desarrollo del proceso de Poisson compuesto. Hasta este momento se había tomado la distribución de probabilidad para el número de incurrencias, pero también es necesario encontrar una distribución para las pérdidas, por lo tanto la expresión del monto de pérdidas agregadas S depende no solamente de las probabilidades de incurrencias de un evento de pérdidas p_k sino también de sus valores M_i .

3.2.2 CRITERIOS DE SELECCIÓN DEL MODELO DE SEVERIDAD

La severidad es el impacto o el valor monetario que una institución financiera pierde en el caso de un evento de riesgo operacional se materialice.

El modelado de la severidad es similar al de frecuencia, sin embargo en este caso las distribuciones candidatas a análisis de selección son de tipo continuo. Así como para los métodos de distribución de frecuencia, en donde ya existe un grupo de distribuciones paramétricas que tienden a una mejor representación de los fenómenos de ocurrencias de pérdidas, podemos decir que para las distribuciones de severidad ocurre lo mismo. En este caso las distribuciones candidatas que aparecen como más apropiadas son la Lognormal, la distribución Gamma y la Weibull, pudiendo encontrar mayor descripción de las mismas en el capítulo II, sección Modelos de Severidad del presente documento.

Como se mencionó anteriormente, se optó por la distribución Gamma por su capacidad de adherencia de datos y porque es simple y flexible pues tiene un parámetro de ajuste de forma de curva posibilitando una mejor optimización de la representación de los datos.

Como se puede observar en la representación gráfica que se presenta a continuación, una fuerte concentración de eventos de varios valores en contraste con la amplia incidencia de eventos de valores altos se lleva a acreditar que: ajustes en una única distribución de probabilidades de severidad para todos los valores podría perjudicar la calidad del modelado.

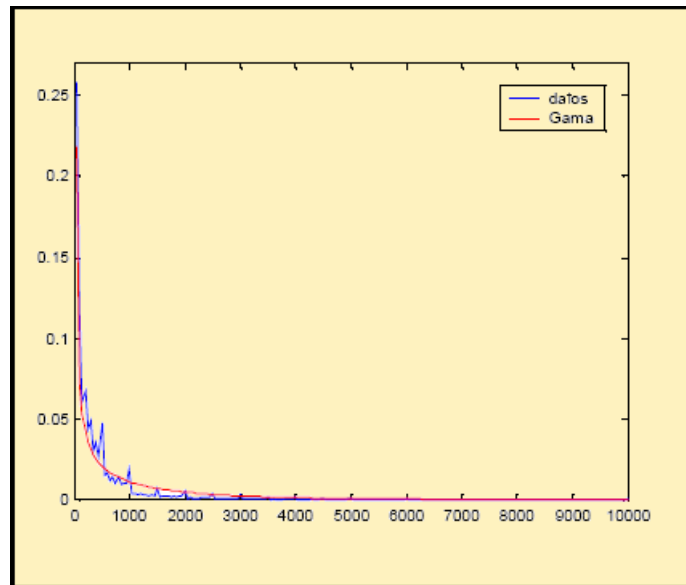


Figura 5.-.CALIDAD DEL MODELADO - DISTRIBUCIÓN DE DE SEVERIDAD

3.3 PROCESO DE POISSON COMPUESTO

El modelo de Poisson o Poisson Compuesto, forma parte de un concepto más amplio llamado teoría de riesgo colectivo, en ésta teoría se usa un modelo probabilístico para estimar las pérdidas totales del grupo sumando exclusivamente los montos de los individuos que observaron pérdidas.

De ésta forma las pérdidas en un modelo de riesgo colectivo se modelan con base en un proceso aleatorio único. La formulación matemática del modelo parte de la suma aleatoria.

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

N es una variable aleatoria que representa el número de fallas observadas en un período de tiempo dado y X_i es el monto perdido en la i -ésima falla.

Este tipo de modelos se llaman compuestos ya que involucran dos procesos aleatorios; el proceso del número de incumplimientos y el proceso del monto de las pérdidas. La teoría colectiva de riesgo desarrolla primero un modelo para el número de incumplimientos y luego, a partir de éste, un modelo para las pérdidas agregadas para en evento de riesgo operativo.

El modelo de Poisson compuesto supone que el número de eventos en una línea de negocios para medir riesgo operacional se distribuyen con una función de probabilidad de Poisson, lo cual implica una serie de supuestos que se asumen como válidos en riesgo operacional, a continuación se desarrolla el modelo en este contexto.

En riesgo operacional, existe el interés por conocer el número de eventos de un período, sin embargo, esos eventos ocurren de tal manera que no es posible pronosticar el número exacto de sucesos ni el momento exacto de su acontecimiento. Por esto una de las mejores formas de describir el comportamiento es definir un modelo de distribución de probabilidad de la siguiente forma:

Sea $p_k = \Pr[N = k]$ la probabilidad que ocurra exactamente k eventos de riesgo operacional en una línea de negocios analizados. [12] Pág. 100 - 105

Las razones de utilizar la distribución de Poisson son; en primer lugar porque bajo el supuesto de independencia se puede aproximar por una distribución de Poisson cuando los eventos tienen probabilidades uniformemente pequeñas, la segunda razón es porque su forma exponencial es esencial para obtener un modelo computacionalmente fácil de calcular puesto que su distribución solo depende del parámetro λ y no del número de eventos y de las probabilidades individuales de cada uno de ellos.

La media de una distribución de Poisson es el propio parámetro, en este caso λ que representa el número de eventos de riesgo operacional en una línea de negocios a lo largo del tiempo. El lector puede profundizar la información sobre la distribución de Poisson en el capítulo II, sección Modelos de frecuencia del presente documento.

En los párrafos anteriores se ha supuesto una función de probabilidad para una línea de negocios, es decir la variable aleatoria N , pero el interés es encontrar una distribución de pérdidas por efecto del riesgo operacional (LDAP). Dichas distribuciones son diferentes porque una determinada pérdida en un período de tiempo dado puede obtenerse como resultado de un evento de riesgo operacional en una línea de negocios con un monto importante, así como también por múltiples eventos de riesgo operacional con montos más pequeños. Por lo tanto, la expresión del monto de pérdidas agregadas S depende no solamente de las probabilidades de ocurrencia p_n sino también de los montos M_i .

El evento de sufrir una pérdida menor a cierta cantidad específica puede ocurrir de distintas maneras; la primera es que no ocurra ningún evento de pérdida en una línea de negocios, la segunda es que ocurra un evento cuyo monto sea menor a la cantidad especificada, la tercera es que se den dos o más eventos de riesgo operacional cuyos montos sean menores a la cantidad determinada. Y así sucesivamente pueden ocurrir un sinnúmero de eventos, siempre y cuando su monto sea menor a la cantidad especificada.

De esta manera, como el monto perdido de un evento de riesgo operacional no depende del número de eventos ocurridos anteriormente, se pueden aplicar las reglas de adición y multiplicación de probabilidades, las fórmulas explicadas en la sección de LDAP.

Dentro de estas fórmulas es importante hacer hincapié en las convoluciones, las cuales no siempre se pueden obtener de manera sencilla, es por ello que en la

aproximación por el método de Poisson compuesto existen fórmulas recursivas que facilitan el cálculo, pero para lo cual son necesarias algunas condiciones adicionales para la distribución compuesta, [16] Pág. 5 - 7

- Las probabilidades de ocurrencia de un evento deben seguir la fórmula recurrente $p_k = \left(a + \frac{b}{k}\right) p_{k-1}$ para $k = 1, 2, \dots$ donde a y b son constantes definidas para el número de evento
- La probabilidad de que la pérdida de un evento sea una cantidad específica debe ser la misma para todos los eventos de la línea de negocio. Esto equivale a decir que las variables aleatorias del tamaño de los montos perdidos deben ser independientes e idénticamente distribuidas
- La distribución del tamaño de las pérdidas debe ser no negativa, discreta y equidistante, es decir, los montos de los eventos de riesgo operacional de una línea de negocios deben poder ser expresados de la siguiente manera $M_i = L * i$ para $i = 1, 2, \dots, r$ donde L es un número positivo.

Si la distribución de pérdidas se ajusta únicamente al primer criterio se tiene una función de recurrencia que tiene la siguiente forma:

$$g_i(x) = p_i(1) f_i(x) + \int_0^x \left(a + b \frac{y}{x}\right) f_i(y) g_i(x-y) dy$$

Dado que se asumió una función de distribución de Poisson, la fórmula de recurrencia se escribe de la siguiente manera:

$$g_i(x) = \lambda_i e^{-\lambda_i} f_i(x) + \frac{\lambda_i}{x} \int_0^x y f_i(y) g_i(x-y) dy$$

Si la distribución compuesta cumple las tres condiciones antes descritas, entonces la probabilidad que ocurra una pérdida de tamaño $\eta \cdot L$ es

$$A_\eta = \frac{1}{1 - a \cdot s_0} \sum \left(a + v_j \frac{b}{\eta} \right) \cdot s_0 \cdot A_{\eta - v_j}$$

$$A_0 = \begin{cases} p_0 & s_0 = 0 \\ \sum_{n=0}^{\infty} p_n s_0^{n^*} & s_0 \neq 0 \end{cases}$$

Donde $s_{v_j} = \Pr[X = L \cdot v_j]$, $s_0^{n^*} = \Pr[X_1 + X_2 + \dots + X_n = 0]$ y v_j representa el monto común de la j -ésima banda en unidades de L

La distribución de Poisson verifica la primera condición $p_k = \left(0 + \frac{\lambda}{k} \right) p_{k-1}$.

Para verificar la tercera condición se agrupan los montos en bandas, de tal manera que aquellos pertenecientes a un mismo intervalo se redondean a una misma cifra. A hacerse esta aproximación es fácil construir la distribución del tamaño de los montos para que también se cumpla la siguiente condición.

Aunque es verdad que el agrupamiento introduce una aproximación en los cálculos, ésta es insignificante, si hay muchos eventos de pérdida, y el ancho de las bandas es pequeño en comparación al monto que se maneja en cada línea de negocios. Intuitivamente esto corresponde al hecho que la precisión de los montos no es determinante en la totalidad de los riesgos.

De esta forma, aplicando la fórmula recursiva a la distribución de Poisson compuesta se tiene que la probabilidad de sufrir una pérdida de tamaño ηL es:

$$A_\eta = \sum_{j: v_j \leq \eta} \left(\frac{v_j \lambda_j}{\eta} \right) A_{\eta - v_j} \quad \eta = 1, 2, \dots$$

$$A_0 = e^{-\lambda}$$

Donde λ sigue representando el número de eventos de pérdidas en una línea de negocios, mientras que λ_j representa el número de eventos de pérdidas en la j -ésima banda. Como puede observarse esta distribución no requiere de muchos datos, ni de gran complejidad computacional para sus cálculos. Además, al considerar la distribución empírica de los montos, la distribución es consistente con la realidad y se resuelve el problema de tener que suponer una distribución de probabilidad para describir la distribución de los montos (modelos de severidad)

Para que los procesos de Poisson compuestos presentados estén aplicados correctamente, es necesario que se cumplan las siguientes condiciones:

- La probabilidad de que un evento de riesgo operacional suceda es igual a 0
- La probabilidad de que dos o más eventos de riesgo operacional ocurran al mismo tiempo es igual a 0
- El número de eventos en dos lapsos de tiempo diferentes son independientes uno del otro

Debido a que es imposible pronosticar el momento exacto de la pérdida, la primera condición se verifica para cualquier línea de negocio. La segunda condición se cumple por cuanto en cada línea de negocio los eventos de pérdida son distintos. La tercera condición también se cumple por cuanto es imposible pronosticar la relación entre un evento de riesgo operacional y otro.

Los resultados de la aplicación de esta técnica se mostrarán en el siguiente capítulo, en el cual además se comparará con el resultado obtenido del proceso de ajuste de la función de distribución de pérdidas, según lo descrito en párrafos anteriores.

3.4 MODELOS CAUSALES

3.4.1 INTRODUCCIÓN

Las técnicas estadísticas constituyen la más sólida herramienta para la medición del riesgo operacional. Sin embargo, estas deben ser utilizadas con cautela y complementadas con información que capture características del ambiente de negocios en función de los siguientes inconvenientes que se pueden presentar en una institución financiera:

- Insuficiencia de datos internos y externos, recordando que la recolección de eventos de pérdida por riesgo operacional no era una práctica difundida
- Las series históricas de los eventos de pérdida no reflejan el dinamismo con que las acciones de mitigación son implementadas. Considerando además que estas acciones de mitigación pueden eliminar la relevancia de los eventos ocurridos en el pasado
- Complejidad en el modelado de los eventos que tienen baja frecuencia y alta severidad con un alto grado de incertidumbre, pese a los avances en el desarrollo de modelos de colas pesadas (en inglés Heavy Tails)

El hecho de tener un valor en riesgo VaR del riesgo operacional es útil, pero se vuelve insuficiente para la gestión de riesgo operacional, por ello los modelos causales pueden ayudar a explicar las pérdidas agregadas a factores gerenciales.

En el contexto anterior la utilización de los modelos causales permite el ajuste del valor en riesgo a partir de la inclusión de indicadores claves de riesgos, los cuales están directamente relacionados con los factores de riesgo por línea de negocio, según los defina la institución financiera, resultado de la auto evaluación en los productos y/o procesos que promueve la institución financiera. [1], Pág. 17 - 18

Los modelos causales optimizan la gestión de riesgo operacional de dos formas: Primero, facilitan la medición de la incertidumbre asociada a los procesos, a los ambientes de negocio de una institución financiera. Segundo, entregan información de los efectos de posibles intervenciones. Estas dos características forman la base de apoyo en la toma de decisiones y pueden realizarse a través de análisis de escenarios, usando los indicadores claves de riesgos, y además para analizar el costo beneficio de la implementación de acciones de mitigación.

Por consiguiente, este capítulo tiene por objetivo contribuir al entendimiento de las ideas básicas de los modelos causales en la medición y mitigación de los riesgos operacionales. Se presentará una revisión de los modelos causales estratificados en dos grandes categorías: lineales y no lineales, con el objetivo de mostrar características que se vuelven atractivas desde el punto de vista de la gestión de riesgos operacionales.

Los modelos causales constituyen la solución para las instituciones financieras que desean combinar sus datos cuantitativos y cualitativos, para obtener mejores resultados en la estimación de las pérdidas ocasionadas por los riesgos operacionales. Estos modelos permiten integrar diferentes tipos de información provenientes de datos de pérdidas, de autovaloraciones, de datos externos de opinión de expertos que mejoren la administración de los riesgos, identificación, monitoreo, control y mitigación así mismo para obtener requerimientos de capital más exactos.

El modelado causal para riesgos operacionales abarca básicamente la utilización de los modelos lineales y no lineales. Sobre los primeros modelos, el empleo de informaciones estadísticas permite inferir las relaciones lineales de las pérdidas. Asumiendo que la ocurrencia de un factor de riesgo implica un evento de pérdida. Sobre los segundos modelos, la utilización de informaciones estadísticas permite inferir sobre relaciones no lineales, asumiendo que la ocurrencia de un factor de riesgo aumenta la probabilidad de ocurrencia de un evento de pérdidas, siendo estos más flexibles que los modelos lineales.

Esta mayor flexibilidad por un lado genera un alto grado de precisión entre los modelos y los datos reales. Por otro lado, se generan estructuras más difíciles de ser tratadas estadística y computacionalmente.

La siguiente figura muestra de forma sintetizada, los modelos cuantitativos de riesgos operacionales que pueden incorporar relaciones de causalidad, en la cual la implementación es función de las series históricas de pérdidas disponibles y de la información cualitativa y representativa de las líneas de negocio de las instituciones financieras.

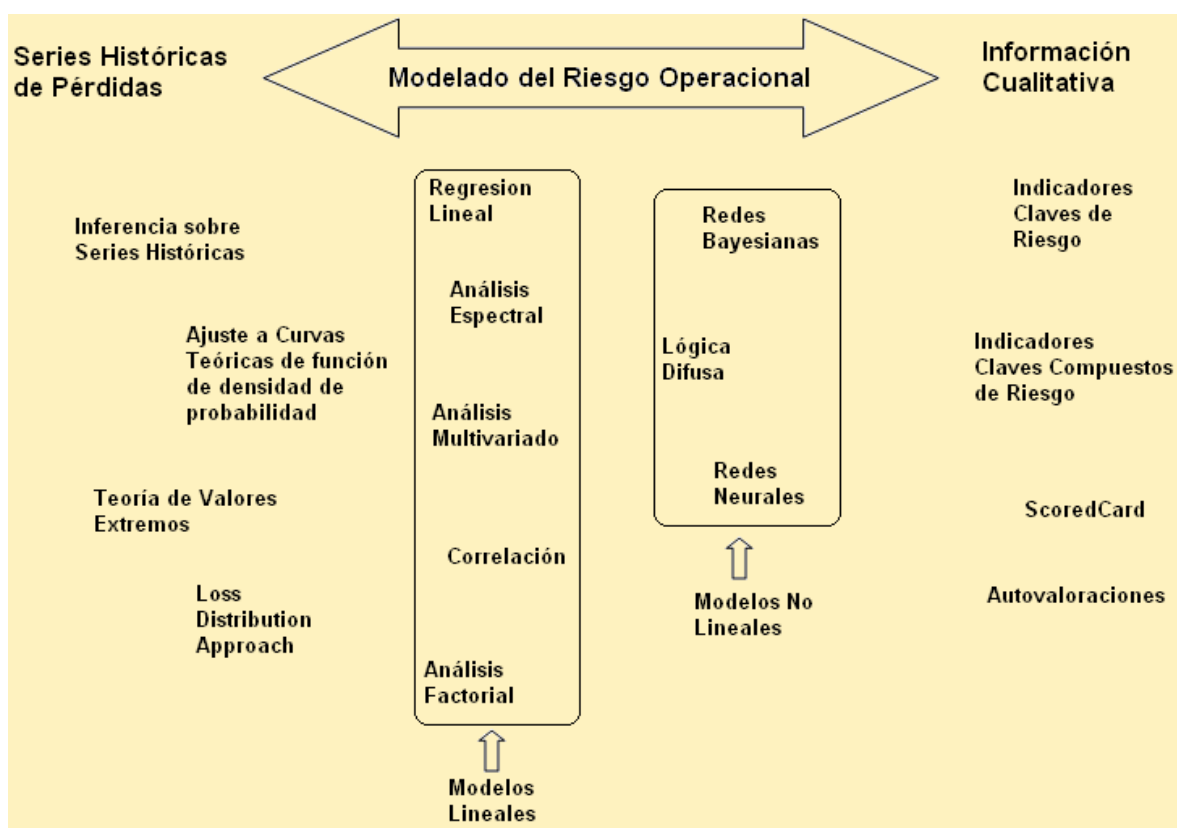


Figura 6.-.MODELADO DEL RIESGO OPERACIONAL

En lo que resta de este capítulo se presentarán algunas de las técnicas más utilizadas para la generación de modelos causales, considerando que existe una diversidad de metodologías que salen del ámbito investigado, las cuales son mencionadas en mayor o menor medida.

3.4.2 MODELOS LINEALES

Dentro de los modelos lineales se destacan la regresión y la correlación, los cuales se explican brevemente a continuación.

3.4.2.1 Regresión lineal

Un modelo de regresión lineal, describe una variable dependiente Y , como la suma de una parte determinística y de una parte aleatoria, como se muestra en la siguiente ecuación.

$$Y_i = \beta_0 + \beta_1 x_1 + \beta_2 x_2 + \dots + \beta_n x_n + \varepsilon_i$$

En este modelo x_i es una variable independiente. Los parámetros $\beta_0, \beta_1, \beta_2, \dots, \beta_n$ se denominan los coeficientes de regresión parciales. Y pueden ser interpretados como el cambio esperado en Y debido a un aumento o disminución de una unidad de x_i , cuando las otras variables x_i permanecen fijas. El valor ε_i corresponde al error en la estimación.

En este modelo el problema consiste en la estimación de los coeficientes de la regresión. Existen diversas técnicas para su solución, pero uno de los más populares es el método de Mínimos Cuadrados Ordinarios MCO. En este método básicamente se resuelve la ecuación para ε_i

$$\hat{\varepsilon}_i = Y_i - \hat{\beta}_0 - \hat{\beta}_1 x_1 - \hat{\beta}_2 x_2 - \dots - \hat{\beta}_n x_n$$

Donde: $\hat{\varepsilon}_i = Y_i - \hat{Y}_i$

El método de los Mínimos Cuadrados Ordinarios eleva al cuadrado los residuos y minimiza su suma, con lo cual se resuelve el problema de la estimación de los coeficientes de la regresión:

$$\min \sum \hat{\varepsilon}_i^2 = \sum \left(Y_i - \hat{\beta}_0 - \hat{\beta}_1 x_1 - \hat{\beta}_2 x_2 - \dots - \hat{\beta}_n x_n \right)^2$$

Son seleccionados los coeficientes que resuelven la ecuación anterior para el valor mínimo de los residuos.

En el contexto del riesgo operacional, las pérdidas e incluso el mismo VaR, asumen el papel de variable dependiente Y . Las variables independientes x_i representan los indicadores claves de riesgo, los cuales pueden ser internos o externos. El cálculo de los coeficientes del modelo permite medir el efecto de estos indicadores sobre las pérdidas por riesgo operacional de la institución.

Este modelo se vuelve extremadamente relevante, cuando se puede medir el efecto de las variaciones en los indicadores claves de riesgo sobre las pérdidas por riesgo operacional, en cuyo caso se constituye una importante herramienta de gestión de riesgo operacional en el análisis de escenarios y como una regla de decisión en el análisis costo beneficio de un producto de la institución financiera, o bien como una regla para mitigar las pérdidas por riesgos operacionales.

3.4.2.2 Correlación

El modelo lineal $Y_i = \beta_0 + \beta_1 x_1 + \beta_2 x_2 + \dots + \beta_n x_n + \varepsilon_i$ implica que

$$E(Y|X=x_i) = \beta_0 + \beta_1 x_1 + \beta_2 x_2 + \dots + \beta_n x_n$$

El coeficiente de correlación r mide el grado de asociación entre dos variables, en el caso de las variables Y y X su representación se muestra en la siguiente fórmula.

$$r = \frac{n \sum X_i Y_i - (\sum X_i)(\sum Y_i)}{\sqrt{(n \sum X_i^2 - (\sum X_i)^2)(n \sum Y_i^2 - (\sum Y_i)^2)}}$$

En el contexto del riesgo operacional la variable Y corresponde a las pérdidas operacionales y la variable x es un indicador clave de riesgo de manera que:

- A mayor tendencia de una relación lineal positiva, r tiende a 1
- A mayor tendencia de una relación lineal negativa, r tiende a -1
- Si r tiende a 0, no existe relación lineal

La regresión y la correlación están muy relacionadas, pero conceptualmente son distintas. En el análisis de regresión existe una asimetría entre las variables dependientes y explicativas. Se asume que la variable dependiente es estocástica, es decir, tiene una distribución estadística de sus valores mientras que las variables explicativas o independientes tienen valores fijos, asumiendo una distribución uniforme. En el análisis de correlación, las variables son tratadas simétricamente. [1] Pág. 139 - 140

Cabe resaltar que la correlación permite la intercorrelación en las posibles combinaciones de factores de riesgo a través de una matriz de correlaciones.

Además de esto, no existe distinción entre las variables dependientes y explicativas, ambas son consideradas estocásticas.

3.4.3 MODELOS NO LINEALES

Como una alternativa a los modelos lineales, existe también un conjunto de modelos, basados generalmente en inteligencia artificial, que intentan capturar las no linealidades de los riesgos operacionales.

Los modelos no lineales se han aplicado progresivamente en el modelado causal de los riesgos operacionales, destacándose las redes bayesianas, las redes neurales y la lógica difusa.

3.4.3.1 Redes Bayesianas

Los modelos bayesianos o causales, que son en realidad modelos de gestión, permiten capturar la influencia de algunas variables del modelo ajustando el valor del factor causal, es decir, el factor por medio del cual los eventos conocidos *a priori*, influyen sobre otros eventos *a posteriori*.

Las redes bayesianas permiten la utilización de informaciones subjetivas para la determinación de parámetros cuando el volumen de datos, estadísticamente hablando, es pequeño de tal forma que se conjugan el conocimiento a priori de la información con datos estadísticos para generar informaciones a posteriori. La ventaja de las redes bayesianas es que pueden ser entrenadas para refinar las relaciones causales así como la estructura de la red, el siguiente gráfico muestra el esquema de la decisión e inferencia bayesiana.

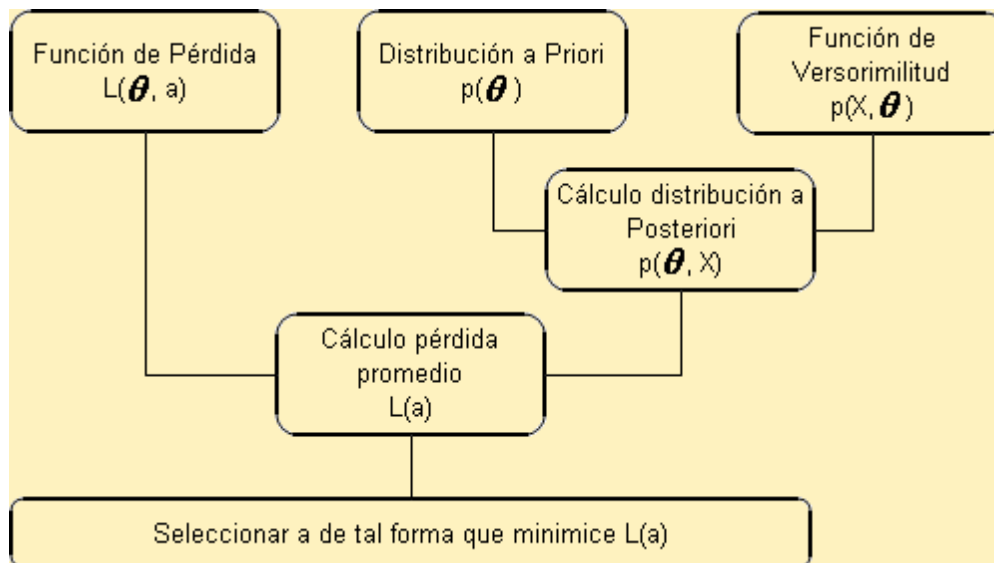


Figura 7.-.MODELADO DEL RIESGO OPERACIONAL

La estructura básica de una red bayesiana es un gráfico cíclico donde los nodos representan las variables y las conexiones entre los nodos representan las relaciones causales o condicionales entre las variables, en otras palabras las influencias causales. [6] Pág.54

Una red bayesiana tiene típicamente tres tipos de nodos

- Nodos representando datos de pérdida, los cuales constituyen el nivel de granularidad deseado (combinación lineal de negocio / categoría de pérdidas)
- Nodos de control, los cuales describen la eficiencia percibida en los controles internos y externos
- Nodos representando indicadores claves de riesgo, que describen el nivel de los índices de pérdidas.

Una red bayesiana puede contener variables discretas así como variables continuas. En la práctica, para facilitar la programación y la interpretación de los resultados la mayoría de las redes son continuas o discretas. En general, las redes bayesianas discretas pueden describir con mayor precisión la distribución de pérdidas en comparación con las continuas. [6] Pág.55

No existe una red bayesiana única para representar alguna situación. Una red bayesiana debe asociarse a la visión de los analistas sobre el flujo del proceso y como los diversos factores causales se integran. El entrenamiento de los parámetros de red es esencial para su aplicación en los modelos de riesgo operacional, pues ante nueva información de un evento de pérdidas así como de los indicadores claves de riesgo, la red debe actualizar las relaciones casuales.

El proceso de entrenamiento o aprendizaje bayesiano se fundamenta en el Teorema de Bayes cuyo objetivo es el establecimiento de una regla de diagnóstico que estime la probabilidad para que una causa dada explique un determinado efecto, dado el conocimiento de las estadísticas a priori calculadas así como de los datos observados. La base del aprendizaje bayesiano es el teorema de la probabilidad condicional de los eventos X e Y :

$$p(X, Y) = p(X|Y)p(Y) = p(Y|X)p(X)$$

La ecuación anterior se puede escribir de una forma que es conocida como la Regla de Bayes, la cual muestra como la información *a priori* sobre Y puede ser usada para revisar la probabilidad de X

$$prob(X|Y) = \frac{prob(Y|X)prob(X)}{prob(Y)}$$

De forma alternativa, y visto el proceso como causa – efecto, se puede escribir la Regla de Bayes, de la siguiente manera

$$p(causa|efecto) = \frac{p(efecto|causa) \times p(causa)}{p(efecto)}$$

Donde:

- $p(\text{causa}|\text{efecto})$ Corresponde a la probabilidad *a posteriori*
- $p(\text{efecto}|\text{causa})$ Corresponde a la probabilidad de la muestra, es decir, la relación de probabilidad condicional entre los nodos
- $p(\text{causa})$ Corresponde a la probabilidad a priori, de las causas que están relacionando los factores de riesgo o fragilidad del proceso
- $p(\text{efecto})$ Representa los efectos que relacionan los eventos pérdidas.

La inferencia bayesiana es aplicable a los modelos de probabilidad discreta y continua. Para los primeros, la utilización del Teorema de Bayes, permite determinar la distribución condicional de una variable aleatoria discreta a través de su parámetro θ_j .

$$P(\theta_j | y_k) = \frac{P(\theta_j | y_k) \times P(\theta_j)}{\sum_j P(y_k | \theta_j) \times P(\theta_j)}$$

Donde:

- y_k Está asociado a la ocurrencia del evento y,
- θ_j Es el parámetro asociado a la ocurrencia de la causa.

Para los modelos de probabilidad continua, y_k y θ_j se transforman en parámetros asociados al comportamiento de la variable.

$$P(\theta | y) = \frac{P(\theta | y) \times P(\theta)}{\int P(y | \theta) \times P(\theta) d\theta}$$

En general, los problemas bayesianos se resuelven a través de la siguiente ecuación

$$p(\theta_f | y) \propto p(y | \theta_f) \times p(\theta_f)$$

El tratamiento estadístico de los eventos de pérdida genera distribuciones de frecuencia y severidad, las cuales corresponde a la distribución a priori $p(\theta_f)$. Pero a su vez, la distribución muestral representa un nuevo comportamiento, y está corresponde a $p(y | \theta_f)$. La distribución *a posteriori* de los eventos de pérdida por riesgo operacional se obtiene a través del producto de la distribución *a priori* y de la distribución muestral. [6] Pág. 77

En la medición del riesgo operacional, la curva de distribución *a priori* está definida en la etapa del cálculo de VaR a partir de las bases de datos o información de las pérdidas. La curva de la distribución muestral está definida por el comportamiento de los factores de control y su relación causal con los eventos de pérdida, estructurados en una red bayesiana.

En los últimos años, se ha desarrollado un gran interés en la utilización de las redes causales para el modelado del riesgo operacional, en particular el uso de las redes bayesianas, siendo las principales razones

- Una red bayesiana describe factores que guardan influencia con los riesgos operacionales, entregando de esta forma, cambios explícitos en su comportamiento
- Las redes bayesianas tienen la capacidad de ejecutar análisis de escenarios para medir la máxima pérdida operacional, e integrar el riesgo operacional con los riesgos de crédito y de mercado
- Las redes bayesianas tienen aplicaciones en una amplia variedad de categorías de los riesgos operacionales, además de ser aplicables a los casos donde existe información suficiente para la medición, también tiene aplicación en áreas donde la información, cuantitativa o cualitativa es escasa o costosa de conseguir. [6] Pág. 59

3.4.3.2 Redes Neurales

Las redes neurales artificiales funcionan conceptualmente de forma similar al cerebro humano. Una red de neuronas que puede aprender y prever patrones de datos. Son capaces de aprender con la experiencia y realizar generalizaciones basadas en el conocimiento acumulado.

Una red puede ser definida como una forma de mapear un grupo de entradas – indicadores claves de riesgo – ponderarlas y sumarlas, produciendo un resultado de acuerdo con alguna función límite previamente establecida.

Una de las ventajas de las redes neurales radica en que no requieren premisas sobre la forma funcional a ser estimada lo cual es totalmente contrario a los modelos tradicionales. Como no depende de premisas restrictivas sobre los parámetros, son más eficientes en los casos que los modelos paramétricos presentan algún tipo de problema. El objetivo es desarrollar una relación funcional entre los indicadores claves de riesgo y las pérdidas por riesgo operacionales sin adivinar la forma de la relación.

3.4.3.3 Lógica Difusa

La lógica difusa, la cual fue desarrollada en 1965 por Lofti A. Zadeh con la intención de representar incertidumbre, permite crear sistemas especializados utilizando variables lingüísticas para generar una base de reglas.

Las expresiones lingüísticas son propias de la naturaleza humana en la toma de decisiones. Por ejemplo “Si aumenta el calor, subiré el aire acondicionado al máximo”. Cuando el máximo no significa un valor específico de temperatura y potencia. Pudiendo este tomar un intervalo significativo de valores. Pues personas diferentes también pueden tener diferentes percepciones para los mismos conceptos lingüísticos.

Los sistemas difusos se basan en el conocimiento, por lo que también son llamados sistemas especialistas, dado que un experto crea la base de conocimiento en forma de una base de reglas.

La lógica clásica se caracteriza por ser bivalente, ya que las variables pueden tomar alguno de los dos posibles estados: falso o verdadero. La lógica difusa toma gran importancia en la medición del riesgo operacional, en la medida que se pueden representar valores intermedios entre el falso y el verdadero de la lógica clásica.

3.4.4 MODELOS LINEALES GENERALIZADOS

Los modelos lineales generalizados son una clase de modelos popularmente utilizados en estadística, dada su flexibilidad de aplicación para los más diversos procesos. Además de esto, los modelos lineales generalizados presentan una gran semejanza con los modelos de regresión lineal tradicionales, lo cual proporciona una fácil interpretación de los resultados obtenidos.

Aplicaciones de modelos lineales generalizados en riesgos operacionales, no son conocidos, ni existen mayores trabajos en este sentido. Por tanto, dada la fácil aplicación de los modelos lineales a diferentes distribuciones, esta clase de modelos aparecen como candidatos para la implementación del modelado causal. Además de esto, por el hecho que los modelos lineales generalizados pueden ser aplicados a frecuencia, así como a severidad. Esto permite estudiar como los indicadores claves de riesgo impactan diferenciadamente a la frecuencia y a la severidad de las pérdidas operacionales.

En lo que sigue de esta sección, se presentará una breve descripción de los modelos lineales generalizados.

Un modelo lineal tradicional tiene la siguiente forma.

$$Y_i = X_i \beta + \varepsilon_i$$

Donde.

y_i Corresponde a la variable respuesta para el instante t .

x_i Corresponde al vector columna de las variables explicativas para la i -ésima observación.

β Corresponde al vector columna de los coeficientes desconocidos, estimados por el método de los mínimos cuadrados para la variable y .

ε_i Corresponde a la variable del error y tiende a una distribución normal con media 0 y varianza igual a σ^2 .

El valor esperado de y_i representado por μ_i está dado por

$$\mu_i = x_i \beta$$

Por tanto, y_i tiene distribución normal con media igual a $x_i \beta$ y con varianza igual a σ^2 , es decir, la variable respuesta y_i tiene una media variable, en función de los factores x_i y varianza constante σ^2 .

En el caso de un variable de respuesta y_i no continua, como en el caso del número de eventos de fraude electrónico, donde $y_i \in \{0,1,2,\dots\}$ el modelo no necesariamente es el más apropiado, lo que provocó que la regresión lineal sea extendida a regresiones donde la variable respuesta es entera. En este caso, en reemplazo a la distribución normal, se utilizan distribuciones discretas, como por ejemplo la de Poisson, la Geométrica o la Binomial Negativa.

Ajustes semejantes se aplicaron al valor monetario asociado a los fraudes electrónicos – severidad – funciones que han sido detalladas en el capítulo II del presente trabajo, como son Gamma, Lognormal, Weibull.

Como ya se ha descrito anteriormente, las distribuciones continuas así como las discretas, son comúnmente utilizadas en la literatura de estadística y probabilidad. Otras distribuciones pueden ser incorporadas a los análisis. Es objetivo de este trabajo describir las distribuciones más utilizadas en los modelos de riesgo operacional y dejar establecida una propuesta para el modelado causal del mismo. Además de presentar los resultados al comparar un modelo aproximado por el proceso de Poisson compuesto y un modelo ajustado utilizando las distribuciones antes descritas y sus pruebas de bondad de ajuste respectivas. Por lo que otros estudios pueden ser extendidos a otras distribuciones de frecuencia o de severidad. De cualquier manera, las distribuciones listadas y utilizadas en este trabajo muestra la flexibilidad del modelado.

La idea básica al utilizar los modelos lineales generalizados está asociada a la posibilidad de ampliar la distribución de la variable de respuesta. Permitiendo que esta pertenezca a una familia de distribuciones con lo cual se obtendrá una mayor flexibilidad para la relación entre la media de la variable de respuesta $E[y_i]$ y el predictor lineal $e^{x_i\beta}$

Entre los modelos lineales generalizados más utilizados se tienen el modelo Logit y el modelo Probit, los cuales han sido ampliamente utilizados para el cálculo de otros riesgos financieros, en particular para los modelos de riesgo crediticio, para determinar la probabilidad de incumplimiento. [12] Pág. 68 – 70

3.5 CRITERIOS DE SELECCIÓN DE FACTORES DE RIESGO

Los indicadores están en todas partes. Confiamos en ellos para monitorear el rendimiento de la economía o de una inversión, resultados de estudios realizados, ganancias de productividad, salud de la economía e incluso el rendimiento educativo de nuestros hijos. Por tanto, no debería sorprendernos que los administradores del riesgo operacional han comenzado a utilizar indicadores de riesgo y de rendimiento como un sistema de alertas tempranas en sus organizaciones para determinar el nivel de los riesgos operacionales y crear perfiles de riesgo multidimensionales.

Algunos ven a los indicadores de riesgo como la piedra base para una efectiva administración y cuantificación de los riesgos operacionales. En la cuantificación, los analistas usan indicadores como una variable clave en fórmulas para pronosticar potenciales pérdidas operacionales. En la administración, los administradores de línea están ansiosos de seguir el comportamiento de múltiples indicadores como una medida para confirmar que sus productos y servicios tienen un rendimiento consistente con sus metas y objetivos. [2] Pág. 239 - 240

Antes de explorar los indicadores de riesgo en detalle, es importante poner énfasis en la frase “Sistemas de alertas tempranas”. El reto que se tiene con los indicadores de riesgo está en identificarlos o construir métricas que sirvan con predictores o controladores (en inglés: drivers) de los riesgos operacionales. Desafortunadamente, muchos de los indicadores de riesgo operacional son contruidos en base a la situación actual, es decir, ellos trabajan muy bien para confirmar historia reciente antes que en predecir la formación de nuevos o potenciales riesgos operacionales. Más allá de la simple identificación de los indicadores de riesgo, los administradores de riesgo operacional deben trabajar duro para filtrar solo aquellos que prueben ser más útiles para administrar los futuros y potenciales riesgos de una institución financiera, no simplemente cuantificar las pérdidas recientes.

Cuando se utiliza el término indicador de riesgo – indicador clave de riesgo, indicadores clave de rendimiento – nos referimos a la captura de información que provee una visión útil de los perfiles de riesgo en varios niveles de la organización. Estos indicadores tratan de cuantificar todos los aspectos tangibles e intangibles que son buscados por un administrador de riesgo para tomar sus decisiones. Existen varias formas de identificar los indicadores de riesgo, por su tipo, como son los indicadores de riesgos inherentes o los indicadores de control de riesgos, por clase, como son los indicadores de procesos tecnológicos, o los indicadores de procesos externos.

Los indicadores de riesgo son estadísticas y/o métricas, a menudo financieras, que pueden proporcionar algunas ideas sobre la posición de riesgo de una institución financiera. Estos indicadores tienden a ser revisados en una base periódica (mensual o trimestralmente) para alertar a los bancos sobre los cambios que pueden ser indicativos de preocupaciones de riesgo. Dichos indicadores pueden incluir el número de transacciones, tasas de producción de personal fallidas y la frecuencia y/o severidad de los errores y omisiones. [4] Pág. 12

Para ser consistentes con lo descrito en este trabajo, se debe establecer una metodología para identificar los indicadores de riesgo, por lo que se ha considerado para el efecto los modelos de conectividad, los cuales a través del mapeo y análisis de los procesos del negocio, permiten la identificación de las causas principales de los eventos de riesgo operacional y de las métricas que mejor representan la relación entre el ámbito del negocio y las pérdidas por riesgos operacionales. El siguiente gráfico ilustra el proceso.

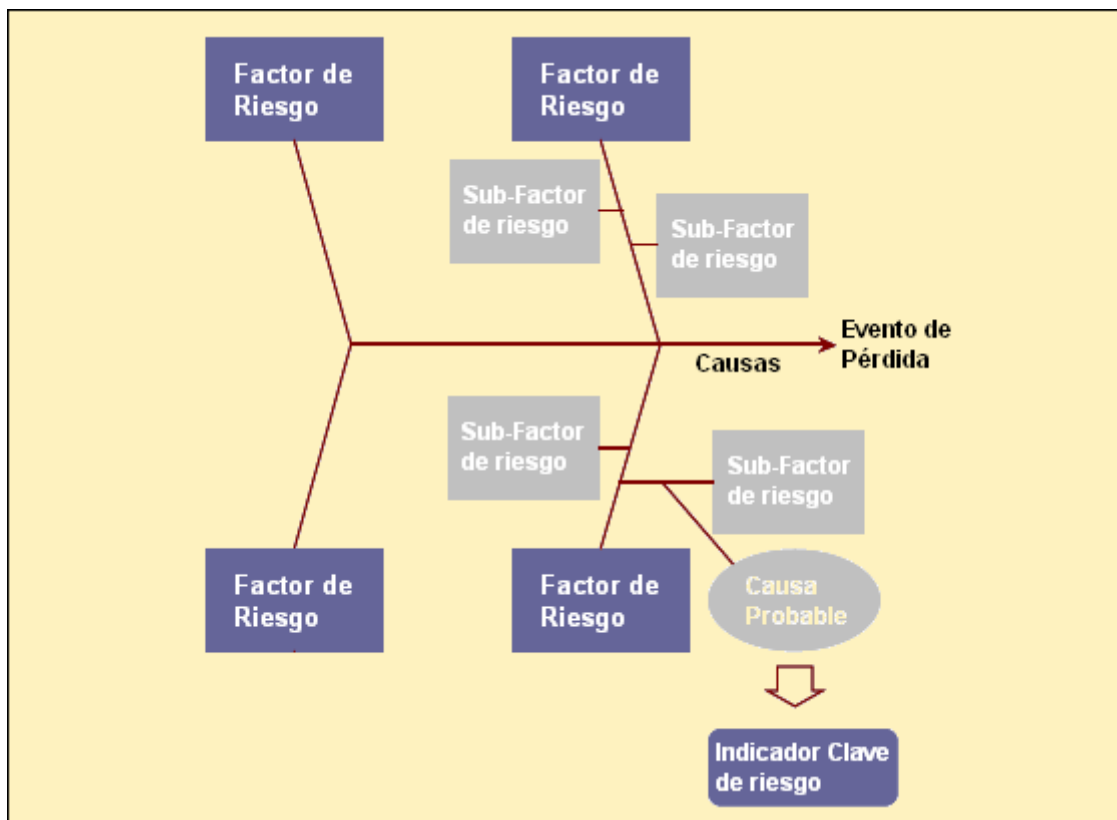


Figura 8.-.MODELO DE CONECTIVIDAD

Definido el proceso para la identificación de los indicadores de riesgo se debe tener en cuenta las siguientes consideraciones el momento de elegir de entre cientos de indicadores que se pueden calcular:

- Simplicidad.- Es la facilidad de comprensión del indicador, por todos los involucrados, así como a la facilidad en la recolección de datos
- Bajo costo.- La obtención de los indicadores debe ser de bajo costo, ya que no todos los aspectos que pueden ser medidos valen su costo
- Selectividad.- El indicador se debe referir a cada etapa, a cada aspecto, a cada actividad y a resultados esenciales o críticos del proceso, servicio o producto. Significa una definición esencial para ser medida en la organización, proceso o producto
- Representatividad.- El indicador debe tener representatividad estadística para la actividad, proceso, o resultado al cual se refiere
- Rastreabilidad.- Deberá ser posible la identificación y verificación, desde su origen, del indicador y de los datos recolectados. El concepto de

rastreabilidad puede ser también comprendido como una de las condiciones de la simplicidad

- Estabilidad.- El indicador se debe generar en base a procedimientos rutinarios que sean perdurables en el largo plazo.

Así también se deben identificar las maneras y las unidades de medida utilizadas en la cuantificación, donde se destaca lo siguiente:

- Una proporción o un porcentaje, entre un cierto número de eventos verificados y el total de eventos en un período de tiempo
- Una relación entre una cantidad de eventos en el período de tiempo previsto para su ocurrencia
- Una relación entre una cantidad de veces que un evento deseado se ha producido, y la cantidad del principal recurso o insumo empleado en su producción
- Una relación entre un resultado cuantificado y un elemento de referencia convenientemente establecido
- Una simple cuantificación, de preferencia localizada en una fecha en el período de tiempo definido

a) Repercusión de los eventos de Pérdidas

b) Repercusión del control de factores dentro del ambiente de negocios.

FACTORES		
AMBIENTE DE NEGOCIOS	FACTORES	DESCRIPCIÓN
Sistemas	Sistema caído	Cantidad de tiempo offline
	Software confiable	Número de líneas cambiadas en el programa
	Sistema lento	Cantidad de tiempo perdido por lentitud
Personas / Organización	Empleados	Número de empleados
	Empleados experimentados	Tiempo de experiencia en cada área
Ambiente externo	Contemplación de errores	Número de errores causados por el personal
	Cambios de reglamento	Cantidad de cambios en los reglamentos pertinentes en un período de tiempo.
Flujo de datos / Integridad	Calidad de los datos	Porcentaje de transacciones erróneas sobre el total de transacciones de un período de tiempo establecido

Cuadro 7.-.CRITERIOS DE SELECCIÓN DE FACTORES DE RIESGO

Una vez establecido el procedimiento para la selección de los factores en la medición de los riesgos operativos, se procede con una lista de los indicadores más relevantes asociados a riesgo operacional, los cuales muestran las líneas de negocio por la que la institución financiera se preocupó.

- Porcentaje de fallas en la apertura de una cuenta corriente
- Porcentaje de fallas en la elaboración del registro del cliente en la concesión de un límite de crédito
- Porcentaje de fallas en la contratación de operaciones de crédito
- Atraso en la regulación de sobregiros a los depositantes
- Atraso en el cierre de balances diarios
- Atraso en la regularización de las cuentas transitorias
- Porcentaje de fallas en actividades operacionales diversas, no relacionadas a los procesos de crédito y contabilidad
- Porcentaje de utilización del canal electrónico
- Porcentaje de transacciones fraudulentas
- Porcentaje de desempleo

- Porcentaje de recuperación de transacciones fraudulentas

En Riesgo Operacional los eventos tienden a diferentes lapsos de tiempo entre el comienzo del mismo y su cierre. Dadas sus características particulares y el amplio número de combinaciones de factores de riesgo que los generan, estos pueden desencadenar pérdidas importantes a la institución cuando las fallas que las originan no son detectadas y mitigadas a tiempo, como se puede observar en los siguientes cuadros. [1] Pág. 16 – 20.

INDICADORES DE RIESGO	
Riesgos en procesos de transacciones	
INDICADORES	DESCRIPCIÓN
Breaks en Cuentas Nostro	Número de interrupciones de cuentas Nostro
Desajuste en sistemas internos	Cantidad de fallas y desfasajes entre los sistemas internos
Ruptura en las relaciones empresariales	Numero de fallas en las relaciones inter empresariales que generan desajustes y posibles cese de actividades conjuntas
Confirmación de fallas	Cantidad de fallas en procesos transaccionales, origen y consecuencias
Capacidad Legal de riesgo	Número de casos abiertos en el area de litigios

Cuadro 8.-INDICADORES DE RIESGO OPERACIONAL

También se presenta como ejemplo una base de datos que contiene información asociada a riesgo legal:

PAIS	CANT. AGRAVIADA	CANT. POTENCIAL	PÉRDIDA FINAL	CONDICIÓN	% PÉRDIDA	APERTURA	CIERRE
USA	10.000.000	5.000.000	1.000.000	cerrado	10%	Nov-95	Dic-97
USA	50.000.000	10.000.000	500.000	cerrado	1%	Oct-96	Ene-97
UK	1.000.000	100.000	ZERO	cerrado	0%	Dic-96	Dic-98
USA	2.500.000	1.000.000	1.000.000	cerrado	40%	Nov-98	Jun-99
USA	7.500.000	2.000.000	1.500.000	cerrado	20%	Ene-98	Dic-99
ALEMANIA	500.000	100.000	200.000	cerrado	40%	Feb-98	Dic-98
USA	5.000.000	2.000.000	7.500.000	cerrado	150%	Mar-98	Nov-99

Cuadro 9.-EJEMPLO DE BASE DE DATOS – RIESGO LEGAL

Como se mencionó al inicio de este capítulo existe una serie de inconvenientes que se pueden presentar en una institución financiera para la medición de los riesgos operacionales, por ello en la descripción de los procesos e identificación de los indicadores de riesgo, es necesario adicionar nuevas funcionalidades a la gestión de los riesgos operacionales, las cuales tienen por objetivo:

- Permitir mejores decisiones de los administradores a partir de información cuantitativa objetiva
- Evitar el sesgo que el modelo VaR puede presentar por la utilización de una serie histórica con pocos datos
- Medir de forma sistemática el comportamiento de los indicadores de riesgo que puedan resultar en eventos de pérdida de baja frecuencia y alta severidad
- Permitir el ajuste del cálculo del VaR de modo que se puede incluir en sus proyecciones información de alteraciones de los procesos, con la inclusión de acciones de mitigación
- La incorporación de los indicadores de riesgo que permita el análisis técnico de la tendencia de los procesos, para explicar la relación causa efecto con los eventos de pérdidas por riesgos operacionales. [2] *pág. 280 - 292*

Se ha mostrado en este capítulo las técnicas estadísticas más utilizadas para la medición de los riesgos operacionales, se han descrito técnicas que son parte de este estudio, así como aquellas que se han considerado relevantes, de tal forma que se puede establecer el espectro que existe en las metodologías para la medición de los riesgos operacionales.

Se ha dejado plasmado el enfoque y la justificación de incluir variables cualitativas al análisis de los riesgos operacionales, técnica que no se podrá comprobar en el siguiente capítulo por la imposibilidad de contar con los atributos de los eventos que ocasionaron dicha pérdida.

Capítulo 4

4 DESARROLLO

Con la finalidad de garantizar la eficiencia de los modelos LDAP y Poisson Compuesto descritos en los capítulos anteriores, es necesario realizar la construcción y la validación en base a datos de muestra que den una perspectiva confiable y acertada de los posibles eventos de pérdida por riesgo operacional.

4.1 DESCRIPCIÓN DE LA INFORMACIÓN

Los modelos de riesgo operacional desarrollados en este trabajo se basan en los históricos de pérdidas operacional por fraude en tarjeta de crédito del período Julio 2004 a Junio 2005, de igual forma se tienen datos que corresponden a las pérdidas ocasionadas en la mesa de negociaciones de la tesorería, las cuales fueron el resultado de las grabaciones telefónicas a los traders que la institución financiera posee y es su esquema de mitigación de pérdidas, por cuanto las negociaciones se dan por un entendimiento entre las partes de mutuo acuerdo y de palabra antes de que se realicen los contratos correspondientes.

Por tratarse de datos sensibles, los funcionarios que proporcionaron la información pidieron no divulgar el nombre de la misma. Al preservar el nombre de la institución financiera, los valores monetarios no serán modificados, pero se los representará por unidades monetarias ficticias (UM).

A continuación se presenta un resumen de las pérdidas ocurridas en cada una de las series durante el período de estudio.

Serie	Nombre	Número de Eventos	Mínimo	Máximo	Total Pérdida
1	Tesorería	500	4.000,00	620.000,00	2.616.000,00
2	Fraude Electrónico	1.348	24.000,00	11.464.067,50	234.724.144,43

Cuadro 10.-.PÉRDIDAS POR SERIES EN UN PERÍODO DE TIEMPO DADO

En el análisis exploratorio de los datos se puede notar una característica muy particular y esperada en este tipo de datos, es la gran cantidad de pérdidas con valores bajos y una cantidad baja de pérdidas con valores altos. Para mejorar la comprensión de esta característica se han agrupado los datos en bandas de valores y se muestra el porcentaje de cada una de ellas como se puede apreciar en los siguientes gráficos

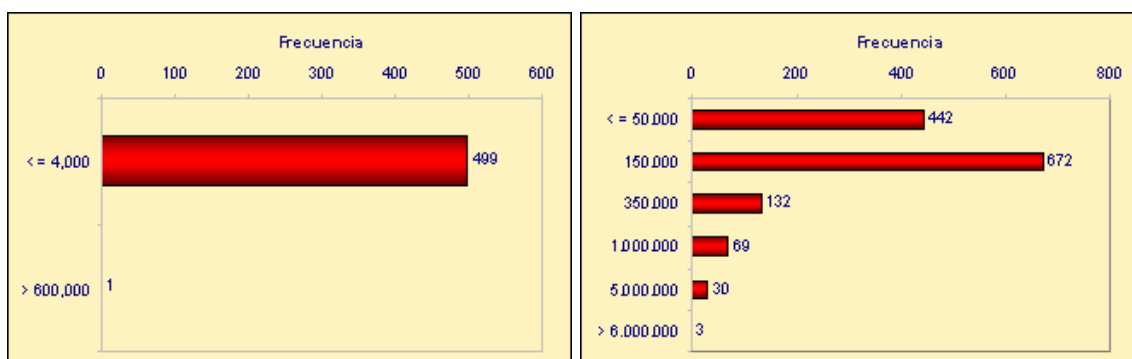


Figura 9.-.AGRUPACIÓN DE DATOS POR BANDAS DE VALORES

PÉRDIDAS		
TIPOS DE PÉRDIDAS	CAUSAS	PÉRDIDAS MONETARIAS
Responsabilidad Legal	Pérdida de un Litigio	Gastos economicos para subsanar eventos legales de origen interno u extremo
Pérdidas o Daños de Bienes	Negligencia, Accidentes, terremotos, Incendios, etc.	Pérdidas no recuperables por destrucción total, reducción del valor de la propiedad
Pérdida de Recursos	Incapacidad de Exigir Legalmente a una tercera Parte por la restitución de los daños causados	Cobros incompletos no recuperables. Registros incompletos o erróneos que generan fugas economicas
Documentos Caídos	Fraudes en mercado y/o riesgo de crédito	Reducción directa en los valores de los bienes financiados

Cuadro 11.-.CAUSAS Y TIPOS DE PÉRDIDAS

Para ambas distribuciones la ocurrencia de pérdidas está concentrada en las bandas inferiores, para el caso de la serie asociada a las pérdidas por tesorería se tienen el 99,8% de los valores inferiores a 4.000 UM, mientras que apenas un 0,02% son superiores al 600.000 UM. Para el caso de las pérdidas por fraude en

tarjeta de crédito se aprecia que las pérdidas hasta por 1'000.000 de UM corresponden al 97,55%, mientras que las superiores a este valor corresponden al 2,45%.

Vistos estos valores desde el impacto financiero en la institución, se puede apreciar que el único evento superior a las 600.000 UM representa el 23,7% de la pérdida total. Para el evento de fraude por tarjeta de crédito las pérdidas superiores a 1'000.000 UM representan el 37,46% del monto total de la pérdida. Como se puede observar también, los tres eventos cuyo monto superan las 6'000.000 de UM representan el 11,65% del total de la pérdida, superando el monto de pérdida de los 442 casos inferiores a las 50.000 UM.

Transformando estos porcentajes en valores, para el caso de la tesorería, por un solo evento se generó una pérdida de 620.000 UM. Mientras que en el caso de los eventos por fraude de tarjeta de crédito, las pérdidas acumuladas superiores a 1'000.000 UM asciende a 87'932.079,07.

Lo anterior se puede apreciar en los siguientes gráficos de severidad de pérdida por riesgo operacional de ambas series.

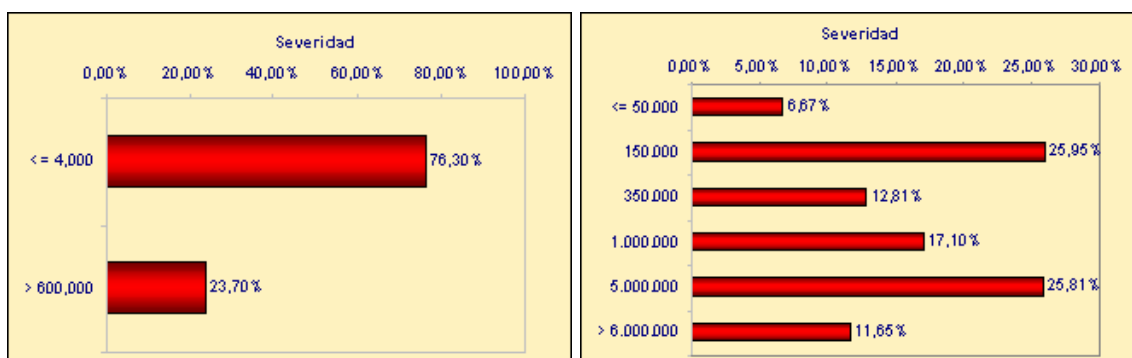


Figura 10.-.SEVERIDAD DE PÉRDIDAS - SERIES.

Para una mejor comprensión de los datos a ser utilizados se muestran los resultados descriptivos más relevantes, utilizando la herramienta NCSS.

Estadístico	Tesorería	Fraude
Desviación Estándar	547.446,80	27.548,36
Error Estándar	14.910,66	1.232,00
Media	174.127,70	5.232,00
Mediana	74.846,31	4.000,00
Skewness	12,54	22,29
Kurtosis	209,94	498,00

Cuadro 12.-.DATOS GENERADOS A PARTIR DE HERRAMIENTA NCSS

Como se verá en el resto de este capítulo el punto clave en el modelado del riesgo operacional – y de cualquier otro modelo cuantitativo, independiente de área de aplicación – es definir los modelos o distribuciones que mejor se ajusten a los datos observados. Lo que el análisis inicial mostró es la existencia de dos fenómenos adversos, ya que se combinan eventos de valores bajos con alta frecuencia versus eventos de valores altos de baja frecuencia. Con lo cual se está demostrando a través del análisis de los datos, los conceptos descritos en los capítulos anteriores, así también la necesidad de usar otras metodologías que permitan obtener estimaciones con un alto nivel de confianza estadística.

Algunos trabajos no consideran en el modelado del riesgo operacional valores de severidad por debajo de un límite, [2] Pág. 303. En cualquier caso establecer un punto de corte, significa desechar un número importante de pérdidas y eventos de riesgo operacional. Con los datos tomados de tesorería al eliminar los valores bajos, dejaría a la muestra con un único valor, en el caso de las pérdidas por fraude en tarjeta de crédito se estaría desechando el 32,79% de los eventos de pérdida al querer eliminar los montos inferiores a las 50,000 UM, en ambos casos se estaría afectando de forma significativa los requerimientos de capital para los riesgos operativos.

Se realizará el ajuste de las series, primero utilizando el modelo de Poisson Compuesto. Para luego proseguir con los procedimientos descritos hasta hallar el mejor ajuste para obtener la distribución de frecuencia y severidad y así determinar el VaR Operacional a través de la técnica LDAP.

Se ha optado por esta secuencia, ya que en el primer caso se realizan varios supuestos, tal como se ha descrito en el capítulo 3, y se puede obtener de forma rápida una primera aproximación a VaR Operacional.

4.2 AJUSTE AL MODELO DE POISSON COMPUESTO

Según lo expuesto en “Aproximación por Proceso de Poisson Compuesto”, es necesario tener como única medida la frecuencia o media en este caso del proceso de Poisson, la información calculada por los funcionarios del Banco también se proporcionó conjuntamente con los datos, siendo sus valores los siguientes.

Estadístico	Tesorería	Fraude
Prob. De Falla	0,97%	2,33%

Cuadro 13.-.PROBABILIDAD DE FALLAS – AJUSTE MODELO POISSON

Ya definidas las probabilidades de falla, se realiza el procedimiento recursivo para la generación de la función de distribución de pérdidas. Los datos básicos necesarios para la ejecución se resumen a continuación.

Tesorería	
Tasa de falla	4,85
Prob. de falla	0,97%
Unidad	3.100,00
Máximo	620.000,00
Bandas	200,00

Cuadro 14.-.DATOS BÁSICOS - PROCEDIMIENTO RECURSIVO

Con está información se generan los elementos básicos de la simulación, al reclasificar los montos de los eventos en función del número de bandas y del valor máximo de pérdida, para expresarlos en función de la unidad previamente calculada. En el Apéndice 1, se encuentra el detalle para el cálculo y generación de la función de recursividad.

Tesorería		
Valor	Valor Ajustado	Valor Redondeado
4.000,00	1,29	2,00
4.000,00	1,29	2,00
4.000,00	1,29	2,00
4.000,00	1,29	2,00
.	.	.
.	.	.
.	.	.
4.000,00	1,29	2,00
4.000,00	1,29	2,00
620.000,00	200,00	200,00

Cuadro 15.-.VALORES OBTENIDOS EN FÓRMULA DE RECURSIVIDAD

Luego se relacionan estos valores para determinar el número esperado de fallas μ_j por banda, así como su pérdida esperada asociada ε_j

DATOS BÁSICOS PARA EL CÁLCULO DE A_n				
Banda	#Casos	ε_j	μ_j	
1,00	519,00	11,94	11,94	
2,00	438,00	10,07	20,15	
3,00	178,00	4,09	12,28	
4,00	61,00	1,40	5,61	
5,00	22,00	0,51	2,53	
6,00	25,00	0,58	3,45	
7,00	13,00	0,30	2,09	
8,00	16,00	0,37	2,94	
9,00	9,00	0,21	1,86	
10,00	4,00	0,09	0,92	
.	.	.	.	
.	.	.	.	
.	.	.	.	
195,00	0,00	0,00	0,00	
196,00	0,00	0,00	0,00	
197,00	0,00	0,00	0,00	
198,00	0,00	0,00	0,00	
199,00	0,00	0,00	0,00	
200,00	1,00	0,02	4,60	

Cuadro 16.-.NÚMERO DE FALLAS ESPERADAS POR BANDAS

En base a lo anterior, se generan los valores de A_n y su acumulado lo cual representa la función de distribución de pérdidas.

DATOS BÁSICOS PARA EL CÁLCULO DE A_n								
				e 1	e 2	e 3	e 4	e .
				0	9,6806	0	0	.
Unidades Perdida	Unidades Monetarias	An	Acumulado	Banda 1	Banda 2	Banda 3	Banda 4	Banda .
0,00	0,00	0,78%	0,78%					.
1,00	3.100,00	0,00%	0,78%	0,00				.
2,00	6.200,00	3,79%	4,57%	0,00	0,04			.
3,00	9.300,00	0,00%	4,57%	0,00	0,00	0,00		.
4,00	12.400,00	9,17%	13,74%	0,00	0,09	0,00	0,00	.
5,00	15.500,00	0,00%	13,74%	0,00	0,00	0,00	0,00	.
6,00	18.600,00	14,80%	28,54%	0,00	0,15	0,00	0,00	.
7,00	21.700,00	0,00%	28,54%	0,00	0,00	0,00	0,00	.
8,00	24.800,00	17,90%	46,44%	0,00	0,18	0,00	0,00	.
9,00	27.900,00	0,00%	46,44%	0,00	0,00	0,00	0,00	.
.
.
225,00	697.500,00	0,00%	99,99%	0,00	0,00	0,00	0,00	.
226,00	700.600,00	0,00%	99,99%	0,00	0,00	0,00	0,00	.
227,00	703.700,00	0,00%	99,99%	0,00	0,00	0,00	0,00	.
228,00	706.800,00	0,00%	100,00%	0,00	0,00	0,00	0,00	.

Cuadro 17.-GENEACIÓN DE VALORES DE LA VARIABLE A_n

Lo cual genera la siguiente función de distribución de pérdidas:

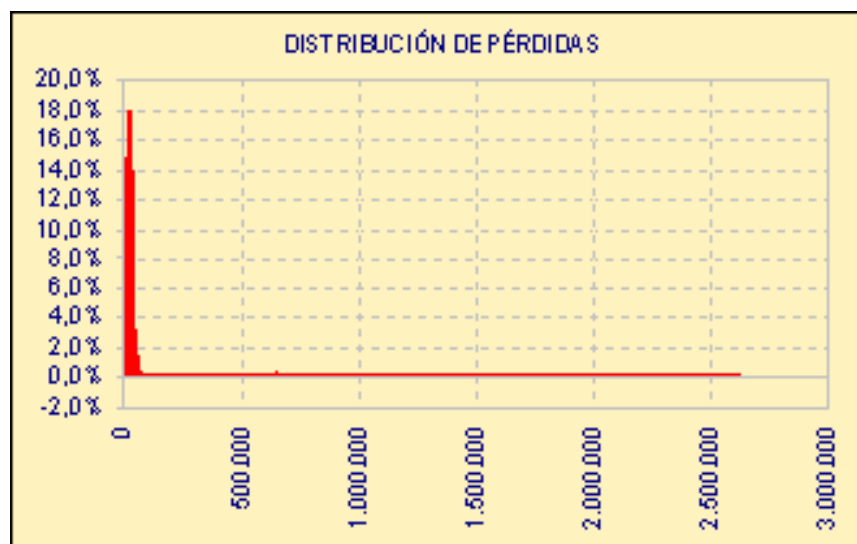


Figura 11.-FUNCIÓN DE DISTRIBUCIÓN DE PÉRDIDAS.

El objetivo es determinar el valor en riesgo operativo OpVaR con un nivel de confianza del 95%, 99% y 99,9%, cuyos valores salen de tomar el valor acumulado de A_n

Nivel Confianza	VaR
95,00%	54.250,00
99,00%	85.250,00
99,90%	668.050,00

Cuadro 18.-.NIVEL DE CONFIANZA DADO

Analizando los montos y valores generados se puede observar que al 95% de confianza el 99,8% de los datos proporcionados por las fallas en tesorería se encuentran en este rango. Para la pérdida cuyo monto es de 620.000 UM, este valor no se puede estimar con un nivel de confianza inferior al 99,99%.

En este tipo de evento, es claro el sesgo y la influencia de un único valor extremo, lo que si se puede concluir es que la probabilidad de pérdida superior a 700.000 UM es de apenas un 0,01%.

Este resultado es utilizado en la toma de decisiones de la institución financiera, para comparar o estimar las pérdidas por riesgo operacional luego de establecer los mecanismos de mitigación, donde los valores esperados por la pérdida deben ser inferiores al establecido por su límite de confianza.

Como complemento y aprovechando la potencialidad del Modelo de Poisson Compuesto, se acogieron los siguientes valores para las tasas de falla, las cuales fueron sugeridas por los funcionarios de la institución financiera, en base a su experiencia y a estudios previos realizados al interior de la misma para determinar el VaR en riesgo operacional de los eventos de la tesorería las siguientes:

Estadístico	Tesorería
Prob. De Falla 1	1,15%
Prob. De Falla 2	0,8%
Prob. De Falla 3	0,5%

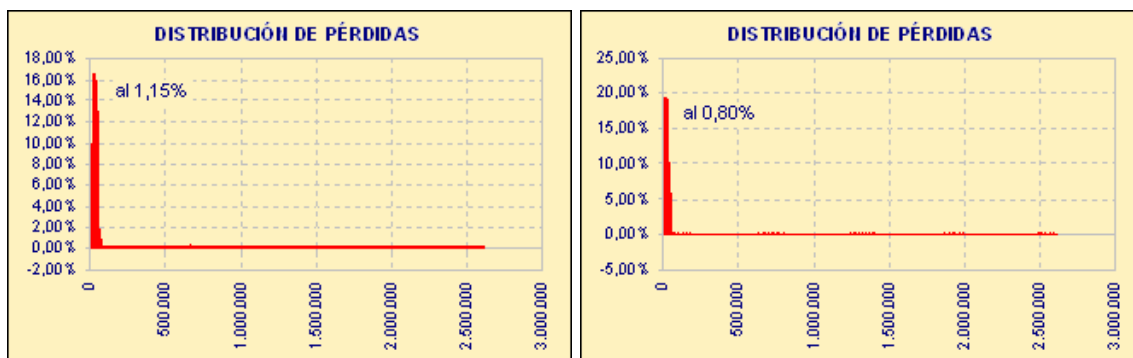
Cuadro 19.-SIMULACIÓN PARA DETERMINACIÓN DE VAR

Donde los valores de pérdida para los niveles de confianza antes descritos son los siguientes:

	Original	Pd. Falla 1	Pd. Falla 2	Pd. Falla 3
Nivel Confianza	VaR	VaR	VaR	VaR
95,00%	54.250,00	61.530,00	48.430,00	30.500,00
99,00%	85.250,00	636.860,00	66.450,00	43.020,00
99,90%	668.050,00	673.270,00	652.680,00	642.100,00

Cuadro 20.-PÉRDIDAS PARA NIVELES DE CONFIANZA

Del cuadro anterior se pueden determinar valores esperados de pérdida por riesgo operacional, al considerar incrementos o decrementos de la tasa de falla, lo cual le da la opción a los analistas una aproximación de lo que puede suceder al no establecer mecanismo de mitigación, de igual forma se puede ver el efecto al mitigar el proceso, datos que luego deberán analizarse en conjunción con un modelo causal, procedimiento que no se puede realizar en este trabajo por los motivos ya descritos al no poseer información cualitativa de las series y de los eventos de pérdida operacional. A continuación las distribuciones de pérdida para cada una de tales tasas de fallas simuladas.



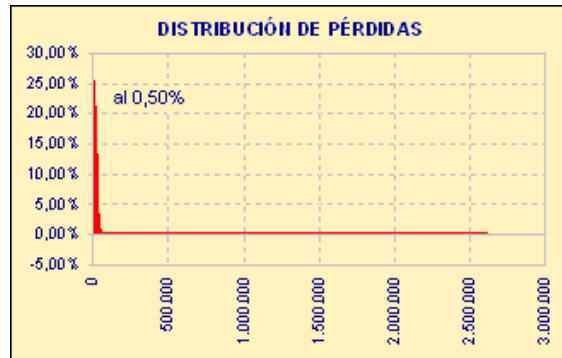


Figura 12.-.DISTRIBUCIONES DE PÉRDIDAS - TASAS DE FALLAS

Se aplica el Modelo de Poisson Compuesto para los casos de fraude, donde los datos básicos los siguientes:

Fraude		
Tasa de Falla		31,00
Prob. de Falla		2,30%
Unidad		57.320,34
Máximo		11.464.067,50
Bandas		200,00

Cuadro 21.-.APLICACIÓN MODELO DE POISSON COMPUESTO

Se reclasifican los valores de las pérdidas, tal como se explicó en el caso de tesorería, como una función del número de bandas y del valor máximo de pérdida, para los eventos de fraude los valores son los siguientes:

Fraude		
Valor	Valor Ajustado	Valor Redondeado
24.000,00	0,42	1,00
24.001,56	0,42	1,00
24.012,51	0,42	1,00
.	.	.
.	.	.
478.237,42	8,34	9,00
478.316,68	8,34	9,00
481.161,75	8,39	9,00
484.816,91	8,46	9,00
.	.	.
.	.	.
3.100.000,00	54,08	55,00
3.126.464,00	54,54	55,00
3.943.901,70	68,80	69,00

4.585.627,00	80,00	80,00
6.878.440,50	120,00	120,00
9.000.000,00	157,01	158,00
11.464.067,50	200,00	200,00

Cuadro 22.-.VALORES OBTENIDOS-MODELO POISSON COMPUESTO

De igual manera se presentan los valores para determinar la tasa de falla por banda y la pérdida esperada por banda, cuyos resultados son los siguientes:

DATOS BÁSICOS PARA EL CÁLCULO DE A_n			
Banda	#Casos		
1,00	519,00	11,94	11,94
2,00	438,00	10,07	20,15
3,00	178,00	4,09	12,28
4,00	61,00	1,40	5,61
5,00	22,00	0,51	2,53
.	.	.	.
.	.	.	.
.	.	.	.
29,00	1,00	0,02	0,67
30,00	1,00	0,02	0,69
31,00	1,00	0,02	0,71
32,00	2,00	0,05	1,47
.	.	.	.
.	.	.	.
.	.	.	.
195,00	0,00	0,00	0,00
196,00	0,00	0,00	0,00
197,00	0,00	0,00	0,00
198,00	0,00	0,00	0,00
199,00	0,00	0,00	0,00
200,00	1,00	0,02	4,60

Cuadro 23.-.VALORES BASE - TASA DE FALLA POR BANDAS

En base a lo anterior, se generan los valores de A_n y su acumulado lo cual representa la función de distribución de pérdidas, donde los valores generados son los siguientes:

DATOS BÁSICOS PARA EL CÁLCULO DE A_n								
				e 1	e 2	e 3	e 4	e .
				0	9,6806	0	0	.
Unidades Perdida	Unidades Monetarias	A_n	Acumulado	Banda 1	Banda 2	Banda 3	Banda 4	Banda .
0,00	0,00	0,00%	0,00%					.
1,00	57.320,34	0,00%	0,00%	0,00				.
2,00	114.640,68	0,00%	0,00%	0,00	0,00			.
3,00	171.961,01	0,00%	0,00%	0,00	0,00	0,00		.
4,00	229.281,35	0,00%	0,00%	0,00	0,00	0,00	0,00	.
5,00	286.601,69	0,00%	0,00%	0,00	0,00	0,00	0,00	.
.
.
.
300,00	17.196.101,25	0,03%	98,57%	0,00	0,00	0,00	0,00	.
301,00	17.253.421,59	0,03%	98,60%	0,00	0,00	0,00	0,00	.
302,00	17.310.741,93	0,03%	98,64%	0,00	0,00	0,00	0,00	.
303,00	17.368.062,26	0,03%	98,67%	0,00	0,00	0,00	0,00	.
.
.
.
518,00	29.691.934,83	0,00%	99,98%	0,00	0,00	0,00	0,00	.
519,00	29.749.255,16	0,00%	99,99%	0,00	0,00	0,00	0,00	.
520,00	29.806.575,50	0,00%	99,99%	0,00	0,00	0,00	0,00	.
521,00	29.863.895,84	0,00%	99,99%	0,00	0,00	0,00	0,00	.
522,00	29.921.216,18	0,00%	99,99%	0,00	0,00	0,00	0,00	.

Cuadro 24.-.SIMULACIÓN GENERACIÓN DE VALORES A_n

Generando una función de distribución de pérdida que tiene la siguiente forma:

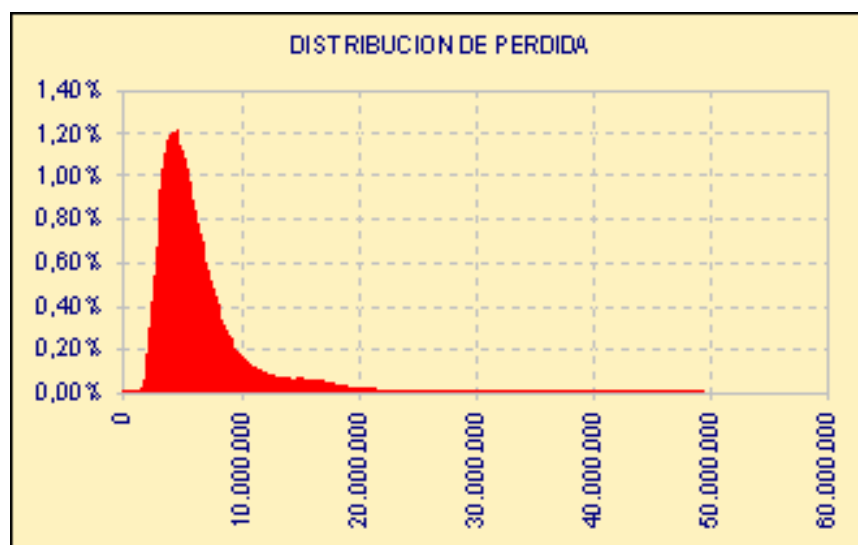


Figura 13.-.DISTRIBUCIÓN DE PÉRDIDAS- MODELO POISSON COMPUESTO

Se determinan los niveles de confianza del 95%, 99% y 99,9% para determinar el OpVaR de los datos de fraude y, corresponde a los siguientes:

Nivel Confianza	VaR
95,00%	13.212.538,00
99,00%	18.084.566,00
99,90%	24.934.346,81

Cuadro 25.-. SIMULACIÓN VALORES DE NIVEL DE CONFIANZA- OPVAR

Para los eventos de fraude, la cantidad de datos, así como los valores obtenidos por pérdidas, permiten estimar una mejor función de distribución acumulada, utilizando la metodología de Poisson compuesta, por lo que se puede apreciar al revisar el gráfico y los valores obtenidos con niveles altos de confianza, que la pérdidas ocasionadas, pueden llegar a ser mayores, si no se toman acciones para mitigar los mecanismos por los cuales se han generado los eventos de fraude.

De igual forma, y para aprovechar la bondad del modelo de Poisson Compuesto se han establecido cuatro nuevos valores de tal forma que se pueda apreciar el impacto por incremento o disminución de eventos de fraude. Los valores que se han seleccionado son los siguientes:

Estadístico	Tesorería
Prob. De Falla 1	4,3%
Prob. De Falla 2	3,3%
Prob. De Falla 3	1,3%
Prob. De Falla 4	0,8%

Cuadro 26.-. VALORES NUEVOS PARA SIMULACIÓN

Obteniendo como resultado los valores expresados en el cuadro que a continuación se expone:

	Original	Pd. Falla 1	Pd. Falla 2	Pd. Falla 3	Pd. Falla 4
Nivel Confianza	VaR	VaR	VaR	VaR	VaR
95,00%	13.212.538,00	20.721.302,00	17.196.101,00	8.082.168,00	5.273.471,00
99,00%	18.084.566,00	26.252.715,00	22.182.971,00	13.986.162,00	11.693.349,00
99,90%	24.934.346,81	34.048.280,00	26.634.614,00	18.571.789,00	15.361.850,00

Cuadro 27.-IMPACTO POR SIMULACIÓN - EVENTOS DE FRAUDE

Del cuadro anterior se pueden determinar valores esperados de pérdida por riesgo operacional, al considerar incrementos o decrementos de la tasa de falla. A continuación se presentan las distribuciones de pérdida para cada una de las tasas de fallas simuladas.

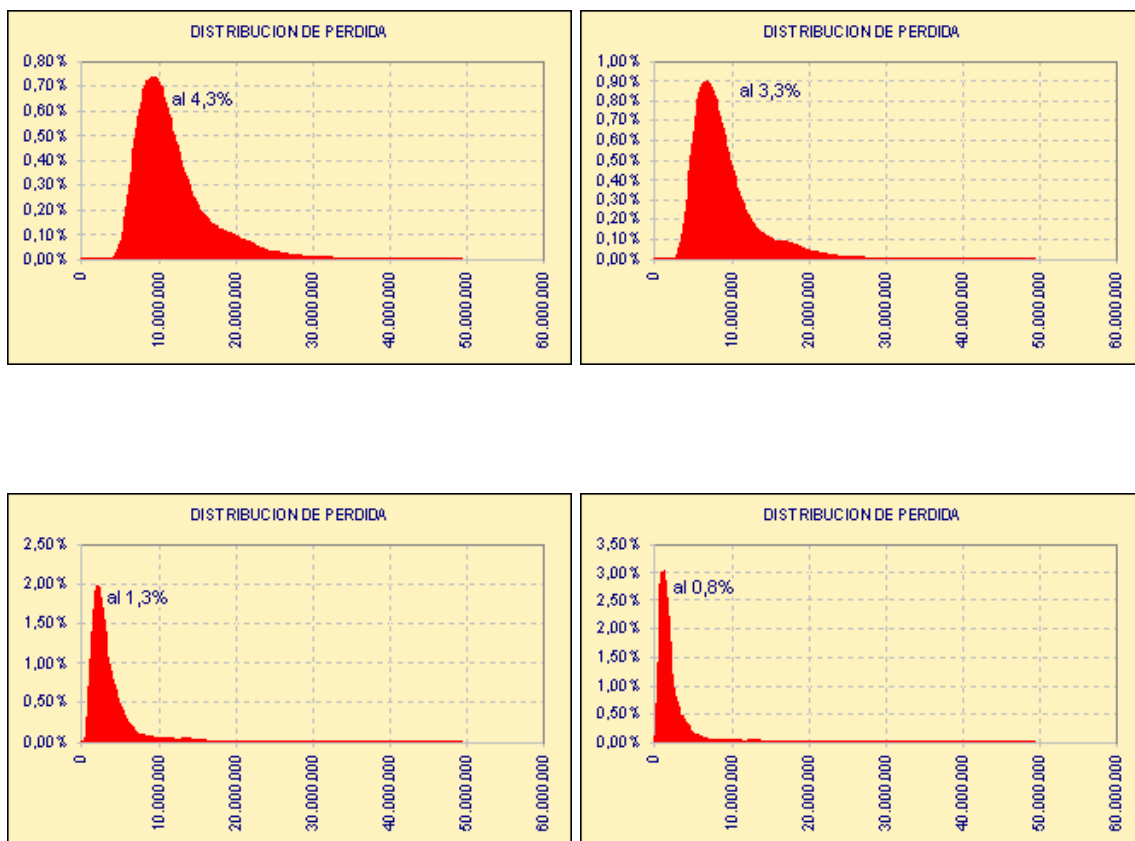


Figura 14.-DISTRIBUCIONES DE PÉRDIDA- SIMULACIONES

4.3 AJUSTE POR LA TÉCNICA LDAP

Según los datos presentados al inicio de este capítulo se puede inferir que las pérdidas por riesgo operativo de Tesorería y de Fraude no siguen una distribución normal. Tal situación se confirma por los histogramas de las variables. Pero es necesario comprobar estadísticamente tal inferencia, a través de una prueba de ajuste de los datos, las hipótesis envueltas en este caso son:

$$H_0: f(x) = f_n(x)$$

$$H_1: f(x) \neq f_n(x)$$

Donde H_0 se rechaza si los datos no siguen una distribución normal. Existen varias pruebas paramétricas y no paramétricas que permiten comprobar o rechazar dicha hipótesis, en este caso y haciendo uso de los programas estadísticos mencionados al inicio de este capítulo, se tienen los siguientes resultados para los datos de pérdida en Tesorería y de pérdida por Fraude.

Pruebas de Normalidad Tesorería					
	Test	Prob	10% Critical	5% Critical	Decisión
Test Name	Value	Level	Value	Value	-0,05
Shapiro-Wilk W	0,021	0,000			Reject normality
Anderson-Darling	1,924	0,000			Reject normality
Martinez-Iglewicz	0,000		1,010	1,018	Reject normalita
Kolmogorov-Smirnov	0,516		0,037	0,040	Reject normality
D'Agostino Skewness	30,756	0,000	1,645	1,960	Reject normality
D'Agostino Kurtosis	16,915	0,000	1,645	1,960	Reject normality
D'Agostino Ómnibus	1.232,053	0,000	4,605	5,991	Reject normality

Cuadro 28.-PRUEBA DE AJUSTES DE DATOS .-.SIMULACIÓN 1

Pruebas de Normalidad Fraude					
Test Name	Test Value	Prob Level	10% Critical Value	5% Critical Value	Decisión -0,05
Shapiro-Wilk W	0,212	0,000			Reject normality
Anderson-Darling	3,338	1,000			Reject normality
Martinez-Iglewicz	1,135		1,001	1,004	Reject normality
Kolmogorov-Smirnov	0,391		0,024	0,026	Reject normality
D'Agostino Skewness	42,408	0,000	1,645	1,960	Reject normality
D'Agostino Kurtosis	25,110	0,000	1,645	1,960	Reject normality
D'Agostino Ómnibus	2.428,973	0,000	4,605	5,991	Reject normality

Cuadro 29.-PRUEBA DE AJUSTES DE DATOS .-.SIMULACIÓN 2

Con los resultados anteriores se puede concluir que las series de datos de las pérdidas no siguen una distribución normal. Se adjuntan los gráficos de ajuste donde también se aprecian estos hechos.

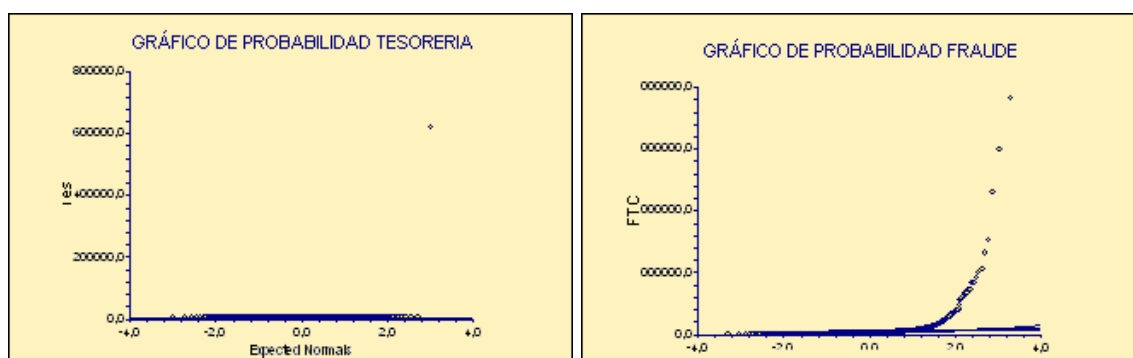


Figura 15.-AJUSTE EN SERIES DE DATOS DE PÉRDIDAS

Tomando en cuenta el rechazo de la hipótesis de normalidad, para las pérdidas en tesorería y por fraude, se hace necesario buscar una distribución de probabilidad que se ajuste a los datos de ambas muestras.

4.3.1 ANÁLISIS DE SEVERIDAD

Se realizan las pruebas de bondad de ajuste para los modelos de severidad. Si bien se especificaron en el capítulo 2 los principales modelos de severidad aplicados a la medición de los riesgos operacionales, los datos que se presentan a continuación muestran ajustes a otras distribuciones continuas, lo cual es una

ventaja de los paquetes estadísticos modernos, que día a día incorporan nuevas funciones de distribución. En este caso se exponen las pruebas Anderson Darling, y su valor nivel de significancia asociado, bajo las misma premisa:

$$H_0: f(x) = f_n(x)$$

$$H_1: f(x) \neq f_n(x)$$

Una vez elegido el estadístico de la prueba que se va a utilizar, muchas veces es posible determinar el valor p (P- value), es decir, el nivel de significación alcanzado de una prueba. Esta cantidad es un estadístico que representa el mínimo valor de para el cual se rechaza la hipótesis nula. [28] Pág. 417 - 418.

Donde H_0 se rechaza si los datos no siguen la distribución analizada.

Ajuste Severidad Datos de Fraude			
Distribución	AD Test	P - Test	Decisión
-0,05			
Normal	3,338	0,010	Reject Hypothesis
Lognormal	0,432	0,376	Can't Reject Hypothesis
Exponencial	0,992	0,113	Can't Reject Hypothesis
Weibull	0,316	0,214	Can't Reject Hypothesis
Valores Extremos	3,908	0,010	Reject Hypothesis
Gamma	0,419	0,285	Can't Reject Hypothesis
Logistic	1,813	0,005	Reject Hypothesis
Loglogistic	0,229	0,316	Can't Reject Hypothesis

Cuadro 30.-.FUNCIONES QUE ESTIMAN SEVERIDAD

Como se puede apreciar existen varias funciones que permiten estimar la función de severidad para el cálculo de la función de valor en riesgo operacional, para este estudio se tomará aquella cuyo nivel de significancia presenta el mayor valor, en este caso se utilizará la función Lognormal para el cálculo de valor en riesgo operacional.

De la misma manera se realiza el análisis para los datos por pérdidas en riesgo operacional de la tesorería, donde los valores de la prueba, y su significancia son los siguientes:

Distribución	AD Test	P - Test	Decisión
			-0,05
Normal	1,924	0,005	Reject Hypothesis
Lognormal	0,723	0,050	Reject Hypothesis
Exponencial	2,692	0,003	Reject Hypothesis
Weibull	0,935	0,015	Reject Hypothesis
Valores Extremos	2,610	0,010	Reject Hypothesis
Gamma	1,335	0,005	Reject Hypothesis
Logistic	2,958	0,005	Reject Hypothesis
Loglogistic	0,334	0,512	Can't Reject Hypothesis

Cuadro 31.-ANÁLISIS DE LOS VALORES DE PRUEBA

Los datos de tesorería presentaban un comportamiento con un único valor extremo, las pruebas de bondad de ajuste aplicadas a los datos, solo confirman la dificultad para encontrar una función de distribución que mejor se ajusta a la muestra de datos. Si bien estadísticamente se ha establecido que el mejor ajuste es a través de una distribución LogLogistic. Para el proceso de generación de la pérdida por riesgo operacional se utilizará la distribución lognormal. A continuación se presentan los parámetros de la distribución lognormal de los datos de estudio.

Parámetros LogNormal		
	Media	Sigma
Fraude	11,330	0,945
Tesorería	8,304	0,222

Cuadro 32.-.PARÁMETROS DE DISTRIBUCIÓN LOGNORMAL

4.3.2 ANÁLISIS DE FRECUENCIA

Se utilizarán estos valores para generar la función de pérdida agregada por riesgo operacional, que se ejecutará en los siguientes capítulos.

Se procede con las pruebas de bondad de ajustes para los modelos de frecuencia discutidos anteriormente, para el caso de tesorería y fraude, se exponen los resultados que se aceptaron aplicando la prueba Chi-Cuadrado y la prueba de Kolmogorov – Smirnov para datos discretos. Determinando los siguientes datos:

	Parámetros		Distribución	KS - Test	P - Value	Decisión
	Probabilidad	Sucesos				-0,05
Tesorería	0,309	1,000	Binomial Negativa	0,427	0,450	Can't Reject Hypothesis
Fraude	0,383	2,000	Binomial Negativa	0,280	0,852	Can't Reject Hypothesis

Cuadro 33.-.PRUEBA CHI-CUADRADO Y KOLMOGOROV-SMIRNOV

4.3.3 PÉRDIDA OPERACIONAL POR LA TÉCNICA LDAP

Después de definir las distribuciones de los datos de pérdida financiera y de la frecuencia de los eventos de riesgo operacional, se puede calcular el valor en riesgo operacional utilizando la técnica LDAP.

Como se explicó en el capítulo 3, el valor en riesgo operacional se obtiene a partir del proceso de convolución de los eventos de severidad y de frecuencia. En este caso y como se detalló en capítulos anteriores, la convolución es el resultado de la simulación de las distribuciones que mejor se ajustan a los datos de muestra, para la frecuencia se obtuvo una única distribución que corresponde a la Binomial Negativa. Las pérdidas agregadas son obtenidas a partir de la aplicación de la distribución Lognormal, según los resultados de este trabajo sobre la severidad del fraude y de las pérdidas en tesorería.

El resultado es la sumatoria hasta completar el nivel de confianza determinado, el cual va a depender del número de frecuencias simuladas.

A continuación se presentan los datos que arroja el proceso de simulación para la composición del valor en riesgo operacional.

FRECUENCIA							
Secuencia	BN(0,382;2)	1	2	3	4	5	6
1	1	0,1495	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
2	3	0,3901	0,2737	0,7200	0,0000	0,0000	0,0000
3	1	0,6996	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
4	3	0,7772	0,3910	0,0580	0,0000	0,0000	0,0000
5	4	0,2724	0,6171	0,5590	0,5387	0,0000	0,0000
6	1	0,1201	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
7	5	0,4099	0,0231	0,9402	0,4231	0,0094	0,0000
8	3	0,7033	0,8154	0,4878	0,0000	0,0000	0,0000
9	5	0,0979	0,4584	0,4462	0,5770	0,6178	0,0000
10	5	0,0215	0,5755	0,7490	0,3072	0,9951	0,0000
11	4	0,2639	0,7853	0,7821	0,8040	0,0000	0,0000
12	1	0,0749	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
13	1	0,0994	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
14	2	0,4729	0,4609	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
15	1	0,3453	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
.
.
.
100	0	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000

Cuadro 34.-SIMULACIÓN COMPOSICIÓN DE RIESGO OPERACIONAL

Valores que luego son convolucionados con la distribución de severidad de las pérdidas, como se muestra en la siguiente tabla:

SEVERIDAD								
Secuencia	1	2	3	4	5	6	Pérdida	Pérdida Acum.
1	65.965,93	0,00	0,00	0,00	0,00	0	65.965,93	65.965,93
2	63.974,35	47.170,47	144.444,14	0,00	0,00	0	255.588,96	321.554,89
3	136.556,31	0,00	0,00	0,00	0,00	0	136.556,31	458.111,19
4	171.263,40	64.119,40	18.863,69	0,00	0,00	0	254.246,50	712.357,69
5	46.991,48	110.365,79	95.819,99	91.285,66	0,00	0	344.462,92	1.056.820,62
6	27.443,50	0,00	0,00	0,00	0,00	0	27.443,50	1.084.264,12
7	67.160,33	12.650,72	362.547,50	69.331,61	9.059,76	0	520.749,92	1.605.014,03
8	137.948,00	194.593,31	80.913,02	0,00	0,00	0	413.454,33	2.018.468,36
9	24.531,74	75.450,57	73.281,75	100.069,96	110.537,61	0	383.871,64	2.402.340,00
10	12.307,28	99.702,50	157.061,74	51.731,68	955.971,09	0	1.276.774,29	3.679.114,29
11	45.860,29	175.745,46	173.924,85	187.014,45	0,00	0	582.545,06	4.261.659,35
12	21.354,36	0,00	0,00	0,00	0,00	0	21.354,36	4.283.013,70
13	24.729,41	0,00	0,00	0,00	0,00	0	24.729,41	4.307.743,11
14	78.102,64	75.901,86	0,00	0,00	0,00	0	154.004,49	4.461.747,60
15	57.171,28	0,00	0,00	0,00	0,00	0	57.171,28	4.518.918,88
.
.
.
100	0,00	0	0,00	0,00	0,00	0	0,00	32.864.998,51

Cuadro 35.-CONVOLUCIÓN DE VALORES DE SEVERIDAD DE PÉRDIDAS

A continuación los resultados de la simulación para el caso de pérdidas en tesorería.

FRECUENCIA				
Secuencia	BN(0,309;1)	1	2	3
1	1	0,2927	0,0000	0,0000
2	1	0,0000	0,0000	0,0000
3	1	0,9172	0,0000	0,0000
4	0	0,0000	0,0000	0,0000
5	0	0,0000	0,0000	0,0000
6	1	0,0000	0,0000	0,0000
7	0	0,8003	0,6271	0,0000
8	0	0,0656	0,5088	0,5088
9	0	0,2079	0,0000	0,0000
10	2	0,3795	0,0000	0,0000
11	3	0,2212	0,6675	0,0000
12	1	0,0000	0,0000	0,0000
13	1	0,7691	0,0000	0,0000
14	2	0,0000	0,0000	0,0000
15	0	0,0000	0,0000	0,0000
.
.
100	0	0,0000	0,0000	0,0000

Cuadro 36.-.RESULTADOS DE SIMULACIÓN DE PÉRDIDAS

Y los valores convolucionados los cuales nos presentan los siguientes valores de pérdida acumulada representados en el siguiente cuadro:

SEVERIDAD					
Secuencia	1	2	3	Pérdida	Pérdida Acum.
1	1,00	2,00	3,00		
2	3.651,23	0,00	0,00	3.651,23	3.651,23
3	0,00	0,00	0,00	0,00	3.651,23
4	5.788,44	0,00	0,00	5.788,44	9.439,67
5	0,00	0,00	0,00	0,00	9.439,67
6	0,00	0,00	0,00	0,00	9.439,67
7	0,00	0,00	0,00	0,00	9.439,67
8	4.269,45	17.718,04	0,00	21.987,49	31.427,17
9	3.692,30	103.292,84	60.381,75	167.366,89	198.794,06
10	4.069,29	0,00	0,00	4.069,29	202.863,35
11	4.476,25	0,00	0,00	4.476,25	207.339,60
12	3.556,94	43.646,06	0,00	47.203,00	254.542,60
13	0,00	0,00	0,00	0,00	254.542,60
14	3.901,51	0,00	0,00	3.901,51	258.444,11
15	0,00	0,00	0,00	0,00	258.444,11
.
.
100	0,00	0	0,00	0,00	1.959.613,37

Cuadro 37.-. CONVOLUCIÓN DE PÉRDIDAS ACUMULADAS

Los valores en riesgo a los niveles de confianza de 95, 99, y 99,9 por cientos son los siguientes.

	Fraude	Tesorería
Nivel Confianza	VaR	VaR
95,00%	29.412.438,21	1.959.613,37
99,00%	30.314.561,56	1.959.613,37
99,90%	32.654.123,71	1.959.613,37

Cuadro 38.-. VALORES EN RIESGO LÍMITE DE NIVEL DE CONFIANZA

Considerando que se realizó un proceso de ajuste para obtener una mejor distribución de pérdidas que se amolde a los datos de estudio, se puede decir que los resultados finales, en el caso de fraude tienden a ser más comparables, por el mismo hecho que se puede establecer más de una distribución de severidad para los datos.

En el caso de tesorería lo más relevante es el que el ajuste LDAP está en los niveles de confianza siendo exactamente iguales, lo cual demuestra que es una distribución de cola muy pesada, un buen ejemplo donde un procedimiento estadístico con la formalidad y rigurosidad que exigen muchas instituciones financieras e incluso organismos de control, permite obtener mejores resultados.

A continuación la tabla comparativa entre el VaR operacional calculado, por el método de Poisson compuesto y los correspondientes con la técnica LDAP.

	Fraude Poisson	Fraude LDAP	Tesorería Poisson	Tesorería LDAP
Nivel Confianza	VaR	VaR	VaR	VaR
95,00%	13.212.538,00	29.412.438,21	54.250,00	1.959.613,37
99,00%	18.084.566,00	30.314.561,56	85.250,00	1.959.613,37
99,90%	24.934.346,81	32.654.123,71	668.050,00	1.959.613,37

Cuadro 39.-.COMPARACIÓN ENTRE MÉTODOS VAR Y LDAP

Al revisar estos resultados se puede observar que los modelos LDAP, estiman de mejor manera el impacto de baja frecuencia y alto impacto, que caracteriza a todos los eventos de riesgo operacional.

Sin dejar de lado la valiosa información que provee el modelo de Poisson Compuesto. Se puede justificar el uso de esta herramienta para dar una mejor información a los analistas y a la alta gerencia de una institución financiera – en general de una empresa – con la cual pueden estimar y dimensionar las pérdidas en las que pueden incurrir por eventos de riesgo operacional.

Lo anterior tiene el objetivo fundamental, de apoyar con herramientas cualitativas, mejorar las acciones de mitigación, monitoreo, control, administración y seguimiento de los riesgos operativos con un alto nivel de confianza.

Tal como se mostró en el capítulo 1, existe una norma prudencial establecida por el Comité de Basilea, así como reglamentos regulatorios, que las instituciones deben cumplir, la información resultante de los modelos aquí expuestos, también

les permite a las instituciones financieras a que adopten en el mediano y largo plazo estos modelos de estimación, y así satisfacer el cumplimiento con las normativas establecidas.

Si bien a primera vista los resultados expuestos, no pasan de ser distribuciones, niveles de confianza, y gráficos descriptivos, la información que estos proveen a los administradores de una institución financiera, se vuelven relevantes, en función que estos les permitan tomar mejores decisiones.

5 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Se ha cumplido con el objetivo general al describir los fundamentos y las técnicas estadísticas más utilizadas para la medición de los riesgos operativos, en base a este objetivo cumplido se desarrollan y analizan técnicas más avanzadas para la medición de los riesgos operacionales.

La descripción de los criterios para la selección de los factores de riesgo, nos indica y confirma que la sola estimación de las pérdidas por riesgo operativo, en si no son suficientes para una correcta y eficaz administración. Por el contrario, los resultados obtenidos al generar el valor en riesgo operacional, son el punto de partida para la generación de modelos de seguimiento una vez aplicados los correctivos al interior de las institución financiera.

Se destaca en la metodología de selección de factores de riesgo, los atributos que los investigadores y analistas deben buscar para obtener indicadores que sean perdurables en el tiempo, simples en su construcción y de fácil interpretación. De aquí podemos concluir que es necesario establecer al interior de la institución un equipo multidisciplinario que se encargue de elaborar e identificar, el mapa de los procesos de una línea de negocio – considerando que se utilizaran los lineamientos emitidos por Basilea, o por los organismos de control-. Para luego determinar los factores de riesgo asociados a los mismos.

En todo lo concerniente a los modelos obtenidos al aplicar el proceso de Poisson Compuesto y la técnica Loss Distribution Approach, se puede concluir lo siguiente.

El proceso de Poisson Compuesto, es un buena aproximación a la función de pérdida por riesgo operacional. Considerando que la severidad o impacto de la pérdida se genera de forma empírica. Hay que destacar en el proceso de Poisson

Compuesto la flexibilidad para crear escenarios o simulaciones al alterar la tasa de falla, esta característica es de suma utilidad para plantear situaciones en las cuales se ha establecido técnica para mitigar el riesgo generado, y se obtiene un nuevo valor para el valor en riesgo operacional. De igual forma para cuantificar las posibles pérdidas por un incremento en el valor de la tasa de falla, es decir, por un incremento en el número de eventos que generan una pérdida por riesgo operacional en la institución financiera.

De otro lado, el modelo Loss Distribution Approach nos muestra paso a paso, la forma de estimar tanto el modelo de frecuencia, como el modelo de severidad asociado a los datos proporcionados para este estudio. En este punto se debe destacar el uso intensivo de pruebas de bondad de ajuste, esto nos garantiza un mayor confianza en la distribución a utilizar, sea para medir la frecuencia o sea para medir la severidad.

La técnica Loss Distribution Approach también confirma cómo los valores de la cola de la distribución, afectan o impactan en la estimación de las pérdidas por riesgo operativo al interior de una institución. En este punto hay que destacar, que la función de convolución de las funciones de frecuencia y severidad se debe realizar de forma numérica.

La comparación de los resultados del Proceso de Poisson Compuesto y de la técnica Loss Distribution Approach, más allá de presentar diferencias en los valores calculados, nos ayuda a determinar los beneficios de calibrar un modelo avanzado para la medición de los riesgos operacionales, donde los rigores estadísticos son mayores.

Si podemos decir que se logra una buena aproximación de Proceso de Poisson compuesto, cuando los datos no presentan distribuciones de frecuencia atípicas, como el caso de los datos de tesorería, donde únicamente existen dos valores para todos los eventos de pérdida, más aún cuando solo un valor es distinto en toda la muestra.

Desde el punto de vista del apoyo en la toma de decisiones, podemos concluir que el analista puede optar por una primera aproximación a través del Proceso de Poisson Compuesto, centrandó su trabajo posterior en la generación de modelos con la técnica Loss Distribution approach, en particular para las series de eventos de riesgo operacional que a criterio del analista tengan un comportamiento aún más atípico.

Todo lo anterior nos lleva a reafirmar la importancia en la toma de decisiones que realiza o realizará la institución financiera, a fin de mitigar, controlar y administrar las pérdidas generadas por los riesgos operacionales a los que está expuesta la institución.

Finalmente, fue objetivo e hipótesis de este trabajo el efecto de los factores de riesgo a través de un modelo causal, la falta de estos factores asociados a los datos proporcionados no nos permiten concluir sobre los beneficios al poseer un modelo de seguimiento, que se fundamente en los resultados del valor en riesgo operacional así como en aquellos factores cualitativos que muestran el comportamiento de un modelo causal en riesgo operacional.

Sobre el tema de los riesgo operativos, aún existen muchas tareas que realizar, y modelos que probar. Quedan como recomendaciones para obtener mejores resultados en los modelos calibrados la inclusión de información de las recuperaciones de los eventos de pérdida.

De igual forma recomendamos el análisis en la agregación de los riesgos operacionales por líneas de negocios, actualmente es suma aritmética de los todos los valores en riesgo calculados, pudiendo existir correlaciones entre los eventos entre una línea de negocio y otra.

Ampliando el espectro, queda como tarea la creación de la función agregada de los riesgos de una institución financiera, pues se deben combinar las distribuciones individuales de los riesgos de mercado, crédito y operacional, en lo

que hasta hoy se conoce como la distribución del riesgo financiero de la institución.

En este tema ya se han planteado varias hipótesis y se han desarrollado en su mayoría trabajos de tipo académico, destacando el uso de cópulas y de simulaciones MonteCarlo o Quasi MonteCarlo para la generación y estimación de la función agregada de riesgo financieros y no financieros.

6 ANEXOS

6.1 RECURSIVIDAD DEL MODELO DE POISSON COMPUESTO

Datos básicos

Máxima exposición

Este campo se calcula tomando el valor máximo de los eventos de pérdida en la línea que se está analizando y del cual se está generando la función de pérdida a la cual se le está calculando su distribución de pérdidas, según la siguiente fórmula.

$$ME = \max_i \{E_i\}$$

Donde E_i corresponde a los eventos de pérdida en la línea analizada.

Este valor corresponde al máximo de los eventos de pérdida, dichos valores para ejemplificar se han colocado bajo el título **Valor**, para el ejemplo de las pérdidas en tesorería este corresponde a 620.000 U.M.

Bandas de valor

El número de bandas es un parámetro que se utiliza para los restantes cálculos, La inclusión de este parámetro se muestra en las tablas resumen de los modelos en el capítulo 4 y tiene un valor de 200.

Datos calculados

Unidad

La unidad de pérdida monetaria, es el resultado de dividir la máxima exposición, de los eventos de una línea analizada, para el número de bandas, según la siguiente fórmula.

$$Unidad = \frac{ME}{\# \text{ de Bandas}}$$

En el ejemplo se tiene un valor de 3.100 Unidades de pérdida monetaria.

Valor Ajustado

El valor ajustado se da al dividir la valor de cada evento de pérdida, por el valor de la unidad, según la fórmula.

$$EA_i = \bar{v}_j = \frac{E_i}{Unidad} \quad i = 1, \dots, n$$

Los resultados del cálculo del valor ajustado se encuentran bajo el título **Valor Ajustado** \bar{v}_j .

Valor Redondeado

El redondeo del valor ajustado, es el proceso que aproxima su valor al entero superior más próximo, en este punto se puede verificar que el valor máximo de exposición una vez ajustado y redondeado debe coincidir con el número total de bandas, la fórmula de este cálculo es la siguiente.

$$ER_j = v_j = RoundUp(\bar{v}_j)$$

Los resultados del cálculo de la exposición ajustada se encuentran bajo el título **Valor Redondeado** v_j .

Agrupación de Información

Conteo de casos por banda

En este proceso se cuenta el número de eventos por bandas usando como criterio de agrupación el valor redondeado. Como se explicó anteriormente, el valor ajustado es un número entero y por tanto sus valores deben encontrarse dentro del rango de 1 al total de bandas, según se haya definido en el modelado.

Número esperada de fallas por banda

El número esperado de fallas por banda es el resultado de multiplicar el número de eventos por banda por la tasa de falla – valor proporcionado como parte de los datos – según la siguiente fórmula.

$$\mu_j = NCB_j * PD$$

Donde NCB_j es el número de casos o eventos por banda.

En los datos del ejemplo, se pueden encontrar estos resultados bajo la μ_j

Cálculo de la tasa de falla

La tasa de falla estimada es el resultado de sumar los valores del número eventos o μ_j sobre cada una de las bandas, según la siguiente fórmula.

$$\mu = \sum_{i=1}^n \mu_j$$

En el caso del ejemplo el valor de este cálculo corresponde a 41,500

Pérdida esperada por banda

La pérdida esperada por banda o \mathcal{E}_j es el resultado de multiplicar el número esperado de fallas por cada banda μ_j por el valor o secuencial de la banda, según la fórmula

$$\mathcal{E}_j = NB_j \times \mu_j$$

Donde NB_j es el secuencial de la banda de exposición.

Generación Recursiva

La generación de información permite ahora calcular la fórmula recursiva del proceso de poisson compuesto, como se explica en la ecuación 5.

$$A_\eta = \sum_{j:v_j \leq \eta} \left(\frac{v_j \mu_j}{\eta} \right) \cdot A_{\eta-v_j} \quad \eta = 1, 2, \dots$$

$$A_0 = e^{-\mu}$$

El proceso de generación parte del valor A_0 el cual se calcula elevando exponencialmente a la tasa de falla,

La fórmula de A_η se la escribe de forma reducida de la siguiente manera.

$$A_\eta = \sum_{j=1}^{\eta} \left(\frac{v_j \mu_j}{\eta} \right) \cdot A_{\eta-j} \quad \eta = 1, 2, \dots$$

Los datos se pueden ver en las tablas resumen de cada modelo y se observa el valor de A_η , mientras que en la columna siguiente se encuentra el valor acumulado de A_η , la fórmula de acumulación es $A_\eta + A_{\eta-1}$

Se parte de:

$$A_0 = e^{-\mu}$$

$$A_0 = e^{-41,500} = 9,419E-19$$

Se procede con el cálculo de A_1

$$A_1 = \sum_{j=1}^1 \left(\frac{v_j \mu_j}{1} \right) \cdot A_{1-1}$$

$$A_1 = v_1 \mu_1 \times A_0$$

Se sabe por los cálculos anteriores, que $\varepsilon_j = v_j \times \mu_j$ luego

$$A_1 = \varepsilon_1 \times A_0$$

$$A_1 = 0,000 \times 9,419E-19 = 0,000$$

El valor acumulado en este caso sigue en 9,419E-19

Se calcula entonces A_2

$$A_2 = \sum_{j=1}^2 \left(\frac{v_j \mu_j}{2} \right) \cdot A_{2-j}$$

$$A_2 = \frac{1}{2} (v_1 \mu_1 \times A_1 + v_2 \mu_2 \times A_0)$$

$$A_2 = \frac{1}{2} (\varepsilon_1 \times A_1 + \varepsilon_2 \times A_0)$$

Por los datos del ejemplo se tiene

$$A_2 = \frac{1}{2} (0,000 \times 0,000 + 82,834 \times 9,419E-19) = 3,9261E-17$$

Y el valor acumulado hasta A_2 es 4,0209E-17

Se realiza este proceso hasta llegar al nivel de confianza deseado para las pruebas.

7 BIBLIOGRAFÍA

- [1]- **Cruz, Marcelo.** Modeling, Measuring and Hedging Operational Risk. Chichester, UK, John Wiley & Son. 2002.
- [2]- **Hoffman, Douglas G.** Managing Operational Risk; 20 firmwide best practice strategies. New York, EE.UU. John Wiley & Son. 2002.
- [3]- **Comité de Supervisión Bancaria de Basilea.** Convergencia Internacional de Medidas y Normas de Capital. Basilea, Suiza. 2004.
- [4]- **Comité de Supervisión Bancaria de Basilea.** Sanas Prácticas para la Administración y Supervisión del Riesgo Operacional. Basilea, Suiza. 2002.
- [5]- **Comité de Supervisión Bancaria de Basilea.** The Quantitative Impact Study for Operational Risk, Risk Management Group. Basilea, Suiza. 2002.
- [6]- **Formiga De Castro, Roberta Cristina.** Modelagem causal em risco operacional via modelos lineares generalizados. Brasília DF, Brasil. 2005.
- [7]- **Jorion, Philippe.** Value at risk. (VaR). John Wiley & Sons. New York, EE.UU. 1999.
- [8]- **Panzieri, Adonório.** Banco de Brasil, Teoria de Valores Extremos. São Paulo, Brasil. 2001.
- [9]- **McNeil, Alexander.** Extreme Value Theory for risk manager. Zürich, Suiza. 1999.

- [10]- **Best, Philip.** Implementing Value At Risk. John Wiley & Son. New York, EE.UU. 1999.
- [11]- **Diz Cruz, Evaristo.** Introducción a la Teoría de Riesgo. Global Ediciones SA. – Eco Ediciones. Bogotá, Colombia. 2004.
- [12]- **Elizondo, Alan.** Medición Integral Del Riesgo De Crédito. Editorial Limusa Grupo Noriega Editores. México DF, México. 2003.
- [13]- **Van Greuning, Hennie.; Brajovich Bratanovich, Sonja.** Analyzing Banking Risk. The World Bank. Washington D.C., EE.UU. 1999.
- [14]- **Bickel, Peter J.; Doksum, Kiell.** Mathematical Statistics. Holden Day Inc., San Francisco CA, EE.UU. 1977.
- [15]- **Comite de Supervisión Bancaria de Basilea.** Operational Risk, Documento Consultivo. ,Basilea, Suiza. 2001.
- [16]- **Frachot, A.; Georges, P.; Roncalli, T.** Loss Distribution Approach for Operational Risk. Credit Lyonnais. Lyon, Francia. 2001.
- [17]- **Frachot, A.; Moudoulaud, O.; Roncalli, T.** Loss Distribution Approach in Practice. Credit Lyonnais. Lyon, Francia. 2003.
- [18]- **Superintendencia de Bancos y Seguros del Ecuador.** Resolución JB-2005-834, De la Gestión del Riesgo Operativo. Quito, Ecuador. 2005.
- [19]- **Gross, Alan J.; Clarck, Virginia E.** Survival Distributions Reliability Applications in the Biomedical Sciences. John Wiley & Sons. New York, EE.UU. 1975.
- [20]- **Cook, R. Dennis.** Applied Regression including Computing and Graphics. John Wiley & Sons Inc. New York, EE.UU. 1999.

- [21]- **Hilera González, José Ramón; Martínez Hernando, Víctor José.** Redes Neurales Artificiales. Edición RA-MA Addison Wesley Iberoamericana SA. New York, EE.UU. 1995.
- [22]- **Trippi, Robert R.; Turban, Efraín.** Neural Networks in Finance and Investigation. Irwin Professional Publishing. Chicago, EE .UU. 1996.
- [23]- **Leippold, Markus; Vanini, Paolo.** The Quantification of Operational Risk. Universidad de Zürich. Zürich, Suiza. 2003.
- [24]- **Linsmeier, Thomas J.; Peason, Neil D.** Risk Measurement. Universidad de Illinois. Illinois, EE.UU. 1996.
- [25]- **Guimarães, Terence Augusto.** Implementação do Método de Distribuição de Perdas para Risco Operacional. São Paulo, Brasil, 2003.
- [26]- **Karlin, Samuel; Taylor, Howard M.** A First Course in Stochastic Processes. Academic Press Inc. New York , EE.UU. 1975.
- [27]- **Hastie, T.J.; Tibshirani, R.J.** Generalized Additive Models. Chapman & Hall. London, UK. 1990.
- [28]- **Mendenhall, W.; Wackerly, D.; Scheaffer, R.** Estadística Matemática con Aplicaciones. Grupo Editorial Iberoamérica. México D.F., México. 1994.
- [29]- **Sin Autores.** Cumulative Distribution Function of a Geometric Poisson Distribution. Descargado desde internet.