

Modelo cuantitativo basado en el enfoque de pérdidas agregadas para mejorar la gestión y medición de riesgos operativos

Revista Soluciones de Postgrado EIA, Número 13. pp. 95-125. Envigado, Julio-Diciembre de 2014

Santiago Bernal Gaviria*, Christian Lochmuller **

* Escuela de Ingeniería de Antioquia, Envigado, Colombia. Unidad Académica de Administrativa, Financiera, Sistemas y Computación. Correo electrónico: santiaber@hotmail.com

** Escuela de Ingeniería de Antioquia, Envigado, Colombia. Unidad Académica de Administrativa, Financiera, Sistemas y Computación. Correo electrónico: pfchlo81@eia.edu.co ✉

MODELO CUANTITATIVO BASADO EN EL ENFOQUE DE PÉRDIDAS AGREGADAS PARA MEJORAR LA GESTIÓN Y MEDICIÓN DE RIESGOS OPERATIVOS

Santiago Bernal Gaviria, Christian Lochmuller

Resumen

En general, todas las organizaciones enfrentan el riesgo operativo, ya que éste se refiere a la posibilidad de incurrir en pérdidas por deficiencias, fallas o inadecuaciones en los procesos, sistemas o personas de una organización. Para evitar y minimizar las pérdidas, resultado de este tipo de riesgo se requiere su gestión y medición de una forma objetiva. Este artículo propone un modelo cuantitativo para la medición de riesgos operativos basado en un *Enfoque de Pérdidas Agregadas (LDA)*, en el cual por medio de una matriz se relacionan líneas de negocio y diferentes tipos de riesgo asociado a cada una con el propósito de ajustar distribuciones estadísticas especiales a variables de frecuencia y severidad. Esto con el fin de obtener resultados, en términos monetarios, sobre la máxima pérdida posible en que puede incurrir una entidad causado por la ocurrencia de eventos de riesgo operativo inherentes al negocio, los cuales se representan mediante intervalos de confianza y el cálculo del valor en riesgo por riesgo operativo (OpVaR) y apoyando en el software MS-Excel y @Risk. Se logró validar el modelo propuesto mediante una prueba de Kupiec principalmente. Una de las conclusiones importantes es que la recopilación de datos es un proceso clave, ya que el modelo cuantitativo propuesto depende de un punto de vista estadístico de la calidad de los datos sobre eventos de riesgo operativo.

Palabras claves: Riesgo Operativo; Frecuencia; Severidad; OpVaR; Medición de Riesgo Operativo.

QUANTITATIVE MODEL BASED ON THE AGGREGATE LOSS APPROACH TO IMPROVE THE MANAGEMENT AND MEASUREMENT OF OPERATIONAL RISKS

Abstract

In general, all organizations face operational risk, as it relates to the possibility of incurring losses due to deficiencies, inadequacies or failures in processes, systems or people in an organization. In order to prevent and minimize losses resulting from this type of risk the operational risk management and measurement should be carried out in an objective way. This article proposes a quantitative model for operational risk management based on a Loss Distribution Approach (LDA). Through a matrix the business lines of an organization are related with different types of risk that are associated with them. The purpose is to adjust statistical distributions of frequency and severity to the data in order to get results, in monetary terms, with respect to the maximum loss, represented by confidence intervals and the operational value at risk (OpVaR), that a company might suffer due to the occurrence of operational risk events. The calculation of these values was carried out by using the software MS-Excel and @Risk. The validation of the proposed model was mainly done by carrying out a Kupiec Test. An important conclusion is that the data compilation is a key process, as the proposed quantitative model depends from a statistical perspective on the quality of the data about operational risk events.

Keywords: Operational Risk; Frequency; Severity; OpVaR; Operational Risk Measurement.

MODELO QUANTITATIVO BASEADO NA ABORDAGEM DE PERDA AGREGADA PARA MELHORAR A GESTÃO E MENSURAÇÃO DOS RISCOS OPERACIONAIS

Resumo

Em geral, todas as organizações enfrentam o risco operacional, no que se refere à possibilidade de incorrer em perdas devido a deficiências, insuficiências ou falhas em processos, sistemas ou pessoas em uma organização. Para prevenir e minimizar as perdas decorrentes deste tipo de gestão de riscos e medição

objetivamente necessário. Este artigo se propõe um modelo quantitativo para medir os riscos operacionais com base na abordagem de perda Agregado (LDA), que através de uma série de linhas de negócio e diferentes tipos de risco associados a cada relacionam com a finalidade de ajustar distribuições especiais de estatísticas de frequência e variáveis de gravidade. Esta, a fim de obter resultados, em termos monetários, da perda máxima possível que pode incorrer em uma entidade causada pela ocorrência de eventos de risco operacional inerentes ao negócio, que são representados por intervalos de confiança e cálculo do valor risco operacional (OpVaR) e suporte em software MS-Excel andRisk. Foi possível validar o modelo proposto pelo teste de Kupiec, principalmente. Uma conclusão importante é que a coleta de dados é um processo-chave, uma vez que o modelo quantitativo proposto baseia-se em um ponto de vista estatístico da qualidade dos dados sobre eventos de risco operacional.

Palavras chave: Risco Operacional; Frequência; gravidade; OpVaR; Medição de Risco Operacional.

Modelo cuantitativo basado en el enfoque de pérdidas agregadas para mejorar la gestión y medición de riesgos operativos

Santiago Bernal Gaviria, Christian Lochmuller

Recibido: 19 de junio de 2014. Aprobado: 27 de octubre de 2014
Revista Soluciones de Postgrado EIA, Número 13. pp. 95-125. Envigado, Julio-Diciembre de 2014

1. Introducción

El riesgo operativo, en términos generales, se refiere a la posibilidad de incurrir en pérdidas por deficiencias, fallas o inadecuaciones en los procesos, sistemas o personas de una organización (Superintendencia Financiera de Colombia, 2006). En Colombia, en particular las instituciones del sector financiero deben desarrollar, establecer, implementar y mantener un Sistema de Administración de Riesgo Operativo (SARO), que les permita identificar, medir, controlar y monitorear eficazmente este riesgo (Superintendencia Financiera de Colombia, 2006); esto con el objetivo de gestionar estos riesgos de la organización. Los sistemas de gestión de riesgo operativos típicamente analizan, miden y determinan la severidad y la frecuencia con que los eventos de riesgo se pueden presentar; para éstos las empresas, en su mayoría, emplean sistemas de gestión basados en procedimientos cualitativos que permiten desde un punto de vista de expertos

identificar los controles más importantes que sirven para mitigar, transferir o disminuir el impacto de los mismos (Delfiner y Pailhé, 2009). Sin embargo la cuantificación del riesgo requiere un análisis de los datos y se ha convertido en un reto para las organizaciones, ya que se requiere llegar a decisiones más objetivas, basándose en lo que señalen los datos sobre el riesgo operativo. Este reto existe particularmente en organizaciones Colombianas, ya que la aplicación de modelos cuantitativos es nuevo.

Es por esto que este artículo propone un Modelo Cuantitativo para la Gestión de Riesgos Operativos basado en un "*Modelo de Pérdidas Agregadas*" que pretende proporcionar un perfil de riesgo más cercano a la realidad debido a que se toman en consideración diferentes variables claves para cuantificar el mismo y aplicar los controles necesarios.

La contribución que se pretende lograr con este trabajo es finalmente una propuesta de un modelo estadístico que permita mejorar la medición del riesgo

operativo, sobre todo en las organizaciones colombianas, tanto del sector financiero como del sector real.

A continuación se describe el diseño metodológico de esta investigación. Luego, se presentan, en términos de un marco de referencia conceptos importantes sobre el riesgo operativo y resultados de una breve revisión de la literatura al respecto. Después y en términos de los resultados obtenidos mediante esta investigación, se describe la construcción del modelo propuesto y se presentan resultados de su análisis cuantitativo. Posteriormente se describe la validación del modelo y se entra en una discusión de los resultados obtenidos. Finalmente se presentan las conclusiones principales de esta investigación.

2. Diseño Metodológico

Esta investigación es de carácter exploratorio ya que se propone un camino más cuantitativo para organizaciones en Colombia para gestionar y medir los riesgos operativos. Para la construcción del modelo estadístico se trabaja con datos simulados tomando distribuciones comunes para el riesgo operativo que se describen en la próxima sección 3 (marco de referencia), porque no se contó con una base de datos de eventos de pérdidas reales de una empresa específica, tampoco se tiene en cuenta datos externos del sector o públicos para tener una base de datos más am-

plia, pero los datos que se simulan se refieren a datos internos de una organización. Tanto para la construcción del modelo cuantitativo propuesto como para su validación se utilizó el software @Risk, versión 6.2 de prueba de la empresa Palisade (<http://www.palisade-lta.com/risk/>) y el software Microsoft-Excel 2010. Un primer paso consta de la construcción de una matriz de relación entre las líneas de negocio y los diferentes tipos de riesgo operativo con el fin de recolectar información ordenada, precisa y suficiente que brinde un panorama amplio sobre los diferentes sucesos de riesgo y el entorno global que rodea a la empresa. Un segundo paso es, realizar *“una estimación de la función de severidad y de la frecuencia utilizando datos internos y externos en donde se computan las pérdidas operacionales acumuladas”* (Feria Domínguez y Jiménez Rodríguez, 2008), en el cual se debe realizar un respectivo ajuste o modelización de distribuciones estadísticas, entre las cuales se destacan: la Distribución de Poisson y la Distribución Binomial para variables discretas de frecuencia, y por otro lado la Distribución Lognormal y la Distribución Weibull para variables continuas referentes a la severidad del riesgo. Para efectos académicos y mostrar la aplicación del modelo, la información tomada han sido datos simulados de distribuciones comunes; y para aplicar el modelo en una empresa o sector específico se sugiere analizar el entorno empresarial para determinar los datos adecuados y a

sean internos o externos a la organización (los ajustes estadísticos realizados están determinados bajo los parámetros de las pruebas de bondad de ajuste Chi – Cuadrado o el Test Kolmogorov).

Los resultados que emite el modelo parten de una distribución de pérdidas agregadas en el cual por medio de una Simulación Montecarlo se generan diferentes escenarios de pérdidas para cada una de las celdas de la matriz de acuerdo a las características propias de los modelos estadísticos y el comportamiento de los datos, por esta razón los intervalos de confianza, el cálculo del OpVaR (valor en riesgo por riesgo operativo) y otros análisis estadísticos son válidos y de gran aplicación dentro del modelo general (Feria Domínguez y Jiménez Rodríguez, 2008).

Por último, el modelo ofrece una medida de “calidad” o de “ajuste” general que es significativa para determinar la validez o no del modelo, en este punto, la aceptación o rechazo del modelo (*Back Testing* y Test de Kupiec) (Giménez Martínez, 2006) no son definitivos dentro de la gestión del riesgo en una perspectiva cuantitativa, sino más bien ofrecen la posibilidad de identificar procesos a mejorar, ajustes que se deban realizar y demás aspectos que deban modificarse con el fin que el modelo pueda adaptarse a un perfil de riesgo organizacional adecuado y real.

3. Marco de referencia

El Acuerdo de Basilea I, celebrado en el año de 1988, estableció ciertos parámetros acerca del capital mínimo requerido por parte de los bancos para cubrir su funcionamiento, así mismo se establecieron ciertas ponderaciones para los activos según su exposición al riesgo realizando énfasis al riesgo crediticio, y a partir de estas posturas se definió una metodología cuantitativa: la proposición de Cook (Romero, 2009); este método relaciona coeficientes de ponderación de riesgo con los activos totales de un banco.

La enmienda de 1996 fue una reforma que se realizó al Acuerdo de Basilea I, en el cual se recomienda que las entidades financieras tengan en cuenta el riesgo de mercado (como una medición adicional por posiciones dentro y fuera del balance que resultan por movimiento en los precios de mercado) (Comité de Basilea sobre Supervisión Bancaria) cuando realizan los cálculos del capital mínimo requerido. Esta situación hace que las fórmulas propuestas en el Método de Cook no sean apropiadas por lo que se emplean diferentes metodologías para calcular el valor de riesgo (Método Estándar y Métodos IRB) (Romero, 2009).

Por último, y luego de realizar varias actualizaciones, modificaciones y mejoras a todas las actas e informes que se desprendieron del Acuerdo de Basilea

I, en mayo de 2004 se aprobó el nuevo Acuerdo de Basilea II. Este último acuerdo realizó un trabajo de unificación de metodologías, en el cual le permite escoger a los bancos un método cuantitativo (sin excluir el análisis cualitativo) adecuado que refleje la mejor exposición al riesgo (Comité de Supervisión Bancaria de Basilea, 2006) incluyendo la aplicación del riesgo operativo, definido por pérdidas debido a la inadecuación o fallas de los procesos, personas y sistemas internos o bien sea por eventos externos (Método del Indicador Básico, Método Estándar y Método de Enfoque Avanzado AMA), (Romero, 2009).

En Colombia estos temas se han abarcado bajo la supervisión de la Superintendencia Financiera y esta entidad ha establecido parámetros, definiciones y metodologías para la administración del riesgo en la Circular Externa 048 de Diciembre de 2006 (Superintendencia Financiera de Colombia, 2006). De acuerdo con lo anterior es importante resaltar que también otras Superintendencias como p.ej. la Superintendencia de la Economía Solidaria o la Superintendencia de Salud vigilan el progreso en materia de la implementación de sistemas que permiten la administración de riesgos operativos. La circular externa 048 de 2006, publicado por la Superintendencia Financiera de Colombia, permitió para las empresas nacionales tener una guía y una pauta para realizar una adecuada gestión de riesgos ope-

rativos desde un punto de vista cualitativo con la opción de implementar métodos estadísticos propuestos por el Acuerdo de Basilea II con el fin de medir el riesgo operativo adicionalmente de forma cuantitativa. Dichos procesos han sido actualizados constantemente y se han realizado ciertas modificaciones en la Circular Externa de 041 de 2007 publicada por la Superintendencia Financiera de Colombia en donde se resaltan los siguientes cambios principales: ampliación del plazo para implementar el Sistema de Administración de Riesgo Operativo (SARO), se modifican instrucciones en materia de revelación contable y se complementan algunos conceptos con el objeto de ofrecer mayor claridad y precisión en la interpretación de la norma (Superintendencia Financiera de Colombia, 2007).

Una revisión de la literatura reciente con respecto a la evaluación del riesgo operativo fue publicado por Mora (Mora Valencia, Riesgo operativo I: Una revisión de la literatura, 2011a), (Mora Valencia, Riesgo operativo II: una revisión de literatura – continuación, 2011b). Esta revisión trata principalmente la obtención de la distribución de pérdidas para riesgo operativo cuando se emplea el modelo de distribución de pérdidas agregadas (LDA, *Loss Distribution Approach Model*).

A continuación, se presenta una serie de definiciones referentes al tema de riesgos operacionales y algunas fórmu-

las estadísticas que se consideran como fundamentales para el desarrollo de un modelo de pérdidas agregadas o LDA, que pertenece a la categoría del Método de Enfoque Avanzado, AMA.

Riesgo Operativo. Es la posibilidad de incurrir en pérdidas por deficiencias, fallas o inadecuaciones, el recurso humano, los procesos, la tecnología, la infraestructura o por la ocurrencia de acontecimientos externos (Superintendencia Financiera de Colombia, 2007), además de esta definición el riesgo también se considera como la dispersión del resultado actual con relación al esperado, lo que se explica matemáticamente en estadísticas y finanzas en la desviación estándar.

Causa. Es el motivo o la circunstancia por la cual se puede originar un riesgo (Mejía Quijano, 2006).

Control. Es la medida tomada para detectar o reducir la materialización de un riesgo (Mejía Quijano, 2006). Estos controles pueden ser de tipo correctivo, en el que se adoptan acciones necesarias para mejorar una situación generada por la materialización de un riesgo; de protección, el cual sirve para disminuir los efectos inmediatos de los riesgos; de tipo detectivo, los cuales sirven para descubrir una anomalía en el momento de su ocurrencia; y de tipo preventivo para actuar sobre la causa que origina la materialización del riesgo.

Frecuencia. Es la medida estadística del número de veces que se presenta la materialización de un riesgo en un periodo determinado (Mejía Quijano, 2006).

Impacto. Son las pérdidas monetarias en las que debe incurrir una empresa cuando un riesgo se materializa (Feria Domínguez y Jiménez Rodríguez, 2008).

Distribución de Poisson. Es una de las distribuciones más usadas para modelar frecuencias de eventos de riesgo operativo (Shevchenko, 2011). Es una distribución de probabilidad discreta, que posee las siguientes características: la probabilidad de observar un evento puntual de éxito en el tamaño de la muestra es constante, el evento debe considerarse inusual y por último el evento debe ser aleatorio e independiente de otros (Berenson y Levine, 1982). La expresión matemática para un evento de tipo Poisson es la siguiente:

$$P(X|\lambda) = \frac{e^{-\lambda} \lambda^x}{x!} \quad (1)$$

Dónde:

$P(X=x)$: Es la probabilidad de ocurrencia cuando la variable aleatoria discreta X toma un valor finito x .

λ (Lambda): es el promedio de ocurrencias en un intervalo establecido.

e : Base del sistema logarítmico natural neperiano; una constante matemática aproximada por 2,71828.

x : es el número de eventos exitosos en la muestra.

Distribución Binomial. Es también una distribución de probabilidad discreta, que posee las siguientes características: cada observación se puede considerar como seleccionada de una población infinita sin reemplazo o de una población finita con reemplazo, cada observación se puede clasificar en una de las dos categorías mutuamente exclusiva y colectivamente exhaustiva: éxito o fracaso, la probabilidad que una observación se clasifique exitosa es constante de una observación a otra y por último el resultado de cualquier observación es independiente del resultado de cualquier otra observación (Berenson y Levine, 1982). La expresión matemática para un evento de tipo Binomial es la siguiente:

$$P(X | m, p) = \frac{m!}{x!(m-x)!} p^x(1-p)^{m-x} \quad (2)$$

Dónde:

m: Tamaño de la muestra.

p: Probabilidad de éxito.

1-p: Probabilidad de fracaso.

x: Número de éxitos en la muestra.

Distribución Lognormal. Es una distribución que frecuentemente se utiliza para modelar impactos o la severidades, causados por eventos de riesgo operativo (Shevchenko, 2011). Se obtiene cuando los logaritmos de una variable aleatoria se describen mediante una

distribución normal (Berenson y Levine, 1982), es decir:

$$\log(X) \cong N(\mu, \sigma^2)$$

Por lo que la expresión matemática para un evento de tipo Lognormal es la siguiente:

$$P(X | \mu, \sigma) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma} e^{-\frac{(\ln x - \mu)^2}{2\sigma^2}} \quad (3)$$

Donde:

μ : es la esperanza de la muestra (media).

π : es un número irracional que relaciona la longitud de la circunferencia con su diámetro; una constante matemática aproximada por 3,1416.

σ : Desviación estándar de la muestra.

e: Base del sistema logarítmico natural neperiano; una constante matemática aproximada por 2,71828.

x: Número de éxitos en la muestra.

Distribución Weibull. Es un modelo estadístico que representa la probabilidad de fallo después de un tiempo t, es decir proporcional a una potencia del tiempo (Berenson y Levine, 1982). La expresión matemática para un evento tipo Weibull es la siguiente:

$$P(X | \alpha, \beta) = \alpha\beta x^{\beta-1} e^{-\alpha x^\beta} \quad (4)$$

Donde:

β : es el parámetro de forma.

α : es el parámetro de escala.

e: Base del sistema logarítmico natural neperiano; una constante matemática aproximada por 2,71828.

x: Número de éxitos en la muestra.

Prueba de Bondad de Ajuste. Es una metodología probabilística en la cual se determina, si una muestra aleatoria sigue una distribución teórica específica (Berenson y Levine, 1982); para ello se realiza una prueba de hipótesis de la siguiente forma:

Ho: la muestra sigue una distribución teórica

Ha: la muestra no sigue una distribución teórica

De acuerdo a la prueba de bondad que se realice los estadísticos de prueba varían y para cada prueba se debe aceptar una de las dos hipótesis (Ho, Ha).

Ho: Hipótesis nula

Ha: Hipótesis alternativa

Test Kolmogorov. La prueba sugiere la comparación de la mayor diferencia absoluta entre la frecuencia acumulada observada y la frecuencia acumulada teórica por lo que se espera una menor discrepancia entre los valores observados y teóricos para aceptar la hipótesis nula.

Test Chi-Cuadrado. La prueba sugiere que los datos obtenidos en una muestra siguen una distribución χ^2 (Chi-cuadrado) (Berenson y Levine, 1982), y para comprobarlo se deben cumplir las siguientes características: la información debe ser presentada en un cuadro de distribución de frecuencias en donde la muestra aleatoria de n observaciones se organiza en k intervalos de clase.

Back Testing. Es un proceso de en el cual se compara los datos reales obtenidos por las pérdidas operacionales causadas por la materialización de los riesgos con los datos obtenidos de los modelos estadísticos, lo que proporciona una medida de calidad de las predicciones, por lo que se pueden tomar decisiones sobre la necesidad de aceptar o no el modelo (Berenson y Levine, 1982).

Test de Kupiec. Es una metodología que sirve para analizar la aceptación o no del modelo, para ello se basa en la distribución binomial y trata de comparar si la proporción de violaciones que se producen con respecto al total de observaciones y dado un nivel de confianza verifica o no la hipótesis nula (Berenson y Levine, 1982).

4. Recopilación de datos de pérdidas operacionales

Para definir e identificar cada una de las líneas de negocio de acuerdo con los lineamientos establecidos en el Comité de Basilea II es una tarea relativamente fácil para cualquier empresa dentro del sector financiero, pues el mismo Comité establece expresamente cuales deben ser dichas líneas, entre las cuales se identifican:

Banca Corporativa: hace referencia a actividades tales como asesoramiento y servicios relacionados con fusiones adquisiciones de empresas, operacio-

nes de titulación y privatizaciones, estudios de inversiones y análisis financiero y otras asesorías relacionadas con las operaciones de instrumentos financieros, y asesoría a empresas en estructura de capital (Romero, 2009).

Negociación y Ventas: para esta segunda línea hace parte la negociación de instrumentos de renta fija, renta variable, divisas, crédito, financiamiento, operaciones con pacto de recompra (tanto en nombre propio como en nombre de terceros) (Romero, 2009).

Banca Minorista: referente a los depósitos y fondos reembolsables del público, préstamos, arrendamiento financiero, *factoring*, fideicomisos, tarjetas de crédito y débito (Romero, 2009).

Banca Comercial o de Empresas: incluye la financiación de proyectos, bienes raíces, comercio exterior, préstamos, garantías y letras de cambio, depósitos y fondos reembolsables, transferencia de fondos y otros pagos en nombre de clientes (Romero, 2009).

Pagos y Liquidaciones: las recaudaciones, compensación, transferencia de fondos, pagos y liquidaciones (Romero, 2009).

Servicios de Sucursales o de Agencias: los servicios de agencia tienen en cuenta la custodia y administración de instrumentos financieros por cuenta de clientes, y fideicomisos (Romero, 2009).

Gestión de Activos: se refiere a la administración de fondos de inversión y fondos mutuos (participaciones accionarias, agrupados, segregados, minoristas, institucionales), (Romero, 2009).

Intermediación Minorista: la colocación de instrumentos financieros sin aseguramiento, por ejemplo: acciones productos derivados, bonos, entre otros (Romero, 2009).

Las Líneas de negocio dentro de la Circular Externa 041 de 2007 establece que, "*los factores de riesgos son las fuentes generadoras de riesgos operativos que pueden o no generar pérdidas*" (Superintendencia Financiera de Colombia, 2007), los cuales se clasifican en Internos y Externos, siendo los Internos relacionados con:

Recurso Humano: es el conjunto de personas vinculadas directas o indirectamente con la ejecución de los procesos de la entidad (Superintendencia Financiera de Colombia, 2007).

Procesos: es el conjunto interrelacionado de actividades para la transformación de elementos de entrada en productos o servicios, para satisfacer una necesidad (Superintendencia Financiera de Colombia, 2007).

Tecnología: es el conjunto de herramientas empleadas para soportar los procesos de la entidad, incluyendo hardware, software y telecomunicaciones (Superintendencia Financiera de Colombia, 2007).

Infraestructura: es el conjunto de elementos de apoyo para el funcionamiento de una organización, incluye: edificios, espacios de trabajo, almacenamiento y transporte (Superintendencia Financiera de Colombia, 2007).

Y los Externos hacen referencia a “situaciones asociadas a la fuerza de la naturaleza u ocasionadas por terceros, que escapan en cuanto a su causa y origen al control de la entidad” (Superintendencia Financiera de Colombia, 2007), si bien se establece una pauta para definir las líneas de negocio o factores de riesgo, para efectos académicos se realizan los siguientes supuestos:

Para un caso particular, una PYME dedicada a la comercialización de productos de consumo masivo puede definir ciertas líneas de negocio que van a depender de la estructura y funcionamiento de la empresa, por ejemplo:

Negociación y Ventas al por Mayor: en esta categoría se puede incluir las ventas de productos por lotes de tamaño superiores a “x” cantidad de unidades.

Negociación y Ventas al por Menor: en esta categoría se puede incluir las ventas de productos por lotes de tamaño inferiores a “x” cantidad de unidades.

Gestión de Inventarios: en esta categoría se incluye toda la gestión de almacenamiento, bodegaje, rotación y mantenimiento de la mercancía a disposición de la empresa.

Distribución y Transporte: esta categoría incluye toda actividad de carga, descarga, montaje, transporte, y distribución desde la empresa hasta el sitio de llegada.

Como se puede evidenciar, las líneas de negocio hacen referencia al tratamiento interno de todas las posibles actividades del negocio que de una u otra forma son la esencia del mismo, por tal motivo, todas las tareas y procedimientos que se realicen dentro de la compañía deben ser incluidas dentro de una de éstas líneas de negocio con el fin de obtener una globalidad de la empresa y un perfil de riesgo adecuado.

Para definir e identificar cada uno de los tipos de riesgo de acuerdo con los lineamientos establecidos en el Comité de Basilea II se puede considerar, de manera general, que los riesgos establecidos para el sector bancario y financiero también son aplicables dentro de la industria y el comercio de cualquier economía debido a que “el riesgo operacional es inherente a todas las operaciones de negocio” tal y cómo lo define Domínguez y Jiménez (Feria Domínguez y Jiménez Rodríguez, 2008).

El Comité de Basilea II identificó y estableció los siguientes tipos de riesgo que bajo la normatividad de la Superintendencia Financiera de Colombia han sido definidos de la siguiente forma (Superintendencia Financiera de Colombia, 2006):

Fraude Interno. Actos que de manera intencionada buscan defraudar o apropiarse indebidamente de activos de la entidad o incumplir normas o leyes, en los que está implicado, al menos, un empleado o administrador de la entidad.

Fraude Externo. Actos realizados por una persona externa a la entidad, que busca defraudar, apropiarse indebidamente de activos de la misma o incumplir normas o leyes.

Prácticas de Empleo y Seguridad Laboral. Actos que son incompatibles con la legislación laboral, con los acuerdos internos de trabajo y, en general, la legislación vigente sobre la materia.

Clientes, Productos y Prácticas Comerciales. Fallas negligentes o involuntarias de las obligaciones frente a los clientes y que impiden satisfacer una obligación profesional frente a éstos.

Daños a Activos Físicos. Pérdidas derivadas de daños o perjuicios a activos físicos de la entidad.

Interrupción de Operaciones y Fallos de Sistemas. Pérdidas derivadas de incidentes por fallas tecnológicas.

Ejecución, Entrega y Gestión de Procesos. Pérdidas derivadas de errores en la ejecución y administración de los procesos.

Estas definiciones involucran todos los aspectos que pueden afectar de manera negativa una empresa y que se ve reflejado en pérdidas monetarias; estas

definiciones son concretas y completas, pues involucran a grandes rasgos la generalidad de los riesgos operacionales dentro de estas categorías, desde una perspectiva ocasionales de riesgo ya bien sea interna o externa, y la naturaleza de cada negocio puede encajar en estas definiciones.

Teniendo en cuenta todo el panorama anterior para estructurar la recopilación de los datos, se puede proceder como fue expuesto en la sección 2 (diseño metodológico) para construir la matriz de distribución de pérdidas operacionales. Dicha matriz relaciona en dos dimensiones la línea de negocio (i) con los tipos de riesgo (j) como se muestra en la Tabla 1 para el caso expuesto por el Comité de Basilea II.

La Tabla 2, por su parte, refleja una posible relación matricial entre líneas de negocio y tipos de riesgo para la PYME en cuestión de acuerdo a los criterios expuestos anteriormente.

De acuerdo con lo anterior, la mejor alternativa para adecuar un modelo de pérdidas agregadas respecto a un perfil de riesgos, que refleje con gran acercamiento la realidad de una entidad, requiere de un seguimiento de datos sobre pérdidas con arreglo a los criterios enunciados, línea de negocio y tipo de riesgo tanto en frecuencia como en impacto, por lo que se debe documentar y hacer verificaciones adecuadas a esta información, debido a que es

Tabla 1. Matriz de Distribución de Pérdidas, Caso Bancos

	Fraude Interno	Fraude Externo	Prácticas de Empleo y Seguridad Laboral	Clientes, Productos y Prácticas Comerciales	Daños a Activos Físicos	Interrupción de Operaciones y Fallos en Sistemas	Ejecución, Entrega y Gestión de Proceso	Total
Banca Corporativa								
Negociación y Ventas								
Banca Minorista								
Banca Comercial o de Empresas								
Pagos y Liquidaciones								
Servicios de Sucursales o de Agencias								
Gestión de Activos								
Intermediación Minorista								
total								

Fuente: (Feria Domínguez & Jiménez Rodríguez, 2008).

Tabla 2. Matriz de Distribución de Pérdidas, Caso PYME

	Fraude Interno	Fraude Externo	Prácticas de Empleo y Seguridad Laboral	Clientes, Productos y Prácticas Comerciales	Daños a Activos Físicos	Interrupción de Operaciones y Fallos de Sistemas	Ejecución, Entrega y Gestión de Proceso	Total
Negociación y Ventas al por Mayor								
Negociación y Ventas al por Menor								
Gestión de Inventarios								
Distribución y Transporte								
total								

Fuente: (Elaboración propia).

esencial para el desarrollo y funcionamiento del modelo una estimación más exacta respecto al historial de pérdidas (Comité de Supervisión Bancaria de Basilea, 2006). Igualmente las entidades

deben realizar estimaciones del riesgo operacional utilizando datos externos relevantes (ya sean públicos o del sector) que incluyan información sobre pérdidas efectivas, las actividades de

negocio donde se produjo el evento, las causas y las circunstancias, por lo que se debe utilizar también el análisis de escenarios y opiniones de expertos con el fin de incorporar estos datos en una forma adecuada (Comité de Supervisión Bancaria de Basilea, 2006).

5. Modelar distribuciones para la frecuencia y para la severidad

Los datos que se registraron en una empresa por líneas de negocio y tipos de eventos (matriz) son útiles para modelar la frecuencia o de la severidad (impacto), en la cual se busca ajustar distribuciones estadísticas especiales a los datos de la empresa, es decir el historial de pérdidas. Es importante resaltar que los resultados presentados en este trabajo provienen de una serie de datos generados aleatoriamente mediante parámetros de una distribución PERT con el fin de evidenciar la aplicación del modelo debido a que proporciona un mayor peso a eventos más probables (Ordóñez, 2010). Los datos utilizados tienen un horizonte de tiempo mensual, de esta manera 36 escenarios son suficientes para modelar las variables (Comité de Supervisión Bancaria de Basilea, 2006).

La frecuencia es una variable aleatoria discreta que representa el número de eventos observados durante un perio-

do de tiempo establecido, con una determinada probabilidad de ocurrencia (Feria Domínguez y Jiménez Rodríguez, 2008); para este caso particular se han tenido en cuenta dos opciones que resultan ser viables para este tipo de datos y que se presentaron en la sección 3 (marco de referencia): la distribución Poisson y la distribución Binomial.

En el caso de la distribución Poisson es de significancia el sentido que la esperanza y la varianza de la distribución sean igual al parámetro λ (lambda), lo que hace que la serie de datos de ocurrencias que cumplen dichas características similares puedan ser modelados bajo esta distribución (Feria Domínguez y Jiménez Rodríguez, 2008). En el campo del riesgo operativo, para variables aleatorias X_1, X_2, \dots, X_n que siguen una distribución Poisson con parámetros $\lambda_1, \lambda_2, \dots, \lambda_n$, la suma de dichas variables también seguirá una distribución Poisson con parámetro $\lambda_1 + \lambda_2 + \dots + \lambda_n$, lo cual es útil para generar la matriz de distribución de pérdidas (Panjer, 2006). Uno de los aspectos claves es la obtención del parámetro de la distribución, por lo que en este caso se realiza el Método de Máxima Verosimilitud (MMV) que permite la estimación de parámetros de la distribución (Berenson y Levine, 1982).

$$P(X|\lambda) = \frac{e^{-\lambda} \lambda^x}{x!} \quad (5)$$

Parámetro Estimado - Distribución de Poisson:

$$\bar{x} = \hat{\lambda} \tag{6}$$

En este caso se identifica que el parámetro λ estimado se aproxima a la media muestral de la serie de datos.

Para el uso de la distribución Binomial también es viable analizar la relación entre la esperanza y la varianza, pues en el caso en que la segunda es menor dicha distribución podrá ajustarse a los datos fácilmente (Feria Domínguez y Jiménez Rodríguez, 2008); por su parte, la distribución Binomial asegura que hay una proporción de éxito constante para cada uno de los eventos de riesgo independientes la cual debe ser estimada bajo el método MMV (Berenson y Levine, 1982).

$$P(X | m, p) = \frac{m!}{x!(m-x)!} p^x(1-p)^{m-x} \tag{7}$$

Parámetro Estimado - Distribución Binomial:

$$\frac{\bar{x}}{m} = \hat{p} \tag{8}$$

El parámetro de proporción o probabilidad de éxito de la distribución Binomial p estimado se aproxima a la relación entre la media muestral y el número de ocurrencias o eventos generados.

Pese a que las distribuciones sugieren indicios fáciles de calcular sobre la posible escogencia de una de éstas (si la media muestral es similar a la varianza, se opta por la Poisson, y si la varianza es mucho menor a la media muestral, se debe elegir la Binomial), (Feria Do-

mínguez y Jiménez Rodríguez, 2008), es necesario realizar una prueba de mayor complejidad y más detallada que permita determinar con mayor exactitud aquella que mejor se ajuste a los datos. Una prueba de bondad de ajuste para distribuciones, que se ajustan a datos discretos, que brinda gran confiabilidad es la Prueba Chi – Cuadrado (Berenson y Levine, 1982).

En definitiva lo que se intenta capturar es cuán diferentes son las frecuencias observadas y las pronosticadas, por lo que el estadístico es:

$$\chi^2 = \sum_{i=1}^k \frac{(O_i - E_i)^2}{E_i} \tag{9}$$

Donde:

O_i: Frecuencia observada en el intervalo i.

E_i: Frecuencia esperada en el intervalo i.

y

$$E_i = nP_i \tag{10}$$

$$E_i \geq 5 \tag{11}$$

Donde:

n : Número de observaciones O_i totales.

P_i: es la probabilidad que ocurra el evento en el intervalo i bajo la hipótesis nula.

La hipótesis nula H₀ se rechaza, si el estadístico de prueba $\chi^2 > \chi^2(\alpha, v)$, $v = k - p - 1$

y por último:

k: Número de intervalos de clase.

p: Número de parámetros estimados.

α : Nivel de significancia, que en todos los casos es del 5%, lo que quiere decir que se tiene una confianza en la prueba del 95%.

La severidad es una variable aleatoria continua que representa la magnitud, en términos monetarios, de una serie de eventos de riesgo observados durante un periodo de tiempo establecido, con una determinada probabilidad de ocurrencia (Feria Domínguez y Jiménez Rodríguez, 2008), para este caso particular se han tenido en cuenta dos opciones que resultan ser viables para este tipo de datos y que se presentaron en la sección 3 (marco de referencia): la distribución Lognormal y la distribución Weibull.

En el caso de la distribución Lognormal se emplean algunos parámetros fáciles de hallar, la media y la desviación estándar. Este modelo proviene de una distribución normal, en el cual los valores de la variable aleatoria son de la forma $y = Ln(x)$. La distribución Lognormal tiene un rango que varía desde $0 \leq x \leq \infty$ (Berenson y Levine, 1982), por lo que es de utilidad para modelar la severidad o magnitud de las pérdidas ocasionadas por riesgo operativo, así mismo tiene mucho sentido que dicho rango de valores sea establecido de dicha forma, pues las pérdidas generadas por los eventos de riesgo no pueden ser nega-

tivas debido a que en este caso significarían valores a favor lo que no tiene sentido en el modelo (Feria Domínguez y Jiménez Rodríguez, 2008). Así mismo, los parámetros de la distribución Lognormal, μ (media) y σ (desviación), se estiman mediante el Método de Máxima Verosimilitud (MMV).

$$P(X|\mu,\sigma) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma x} e^{-\frac{(Ln x - \mu)^2}{2\sigma^2}} \quad (12)$$

Parámetro Estimado - Distribución Lognormal:

$$\frac{\sum_{i=1}^n Ln x_i}{n} = \hat{\mu} \quad (13)$$

El parámetro μ referente a la media se estima para la distribución lo que determina una relación entre la sumatoria de los logaritmos naturales o neperianos de los valores x_i respecto al número de observaciones o de eventos muestrales n .

El segundo parámetro de la distribución Lognormal σ^2 , la desviación al cuadrado, relaciona los cuadrados de la diferencia entre los logaritmos naturales de los valores de pérdidas respecto al promedio con respecto al número total de observaciones realizadas:

$$\frac{\sum_{i=1}^n (Ln x_i - \hat{\mu})^2}{n} = \hat{\sigma}^2 \quad (14)$$

La distribución Weibull es el caso general para la distribución exponencial y al igual que la distribución Lognormal cuenta con dos parámetros, α y β , los

cuales representan los parámetros de escala y de forma respectivamente. Así mismo se cuenta con restricciones para los mismos en los cuales ambos deben ser mayores que 0, $\alpha, \beta > 0$ con el fin de garantizar que los datos generados por medio de una simulación sean mayores que 0. La distribución Weibull en el parámetro de forma nos informa sobre la dispersión alrededor de la media cuando éste es de la forma $\hat{\alpha}=1/\alpha^\beta$. Los parámetros de la distribución Weibull pueden estimarse por medio del método MMV.

$$P(X|\alpha,\beta) = \alpha\beta x^{\beta-1} e^{-\alpha x^\beta} \quad (15)$$

Parámetro Estimado - Distribución Weibull:

$$\frac{n}{\sum_{i=1}^n x_i^\beta} = \hat{\alpha} \quad (16)$$

En este aspecto se evidencia la relación existente entre ambos parámetros por lo que el valor de α (alfa) dependerá de lo que sea β ; sin embargo en términos generales, el valor de alfa estimado relaciona el número de observaciones en la muestra respecto a la sumatoria de las potencias β -ésimas de los valores observados.

$$\frac{\sum_{i=1}^n \ln(x_i)}{n} = \left(\frac{\hat{\beta} \sum_{i=1}^n x_i^{\hat{\beta}-1}}{\sum_{i=1}^n x_i^{\hat{\beta}}} - \frac{1}{\hat{\beta}} \right) \quad (17)$$

La estimación de este parámetro deja una ecuación con la variable de forma implícita en la misma por lo que no se

puede despejar. Para resolver esta ecuación y encontrar el valor β se realiza otro procedimiento matemático mediante aproximaciones numéricas o se utiliza un software específico que permite mediante iteraciones resolver la ecuación.

Para las distribuciones que relacionan variables aleatorias continuas se vuelve complejo establecer un criterio específico que permita identificar, cuál de las distribuciones es más adecuada de acuerdo a los valores o relaciones que existen entre los parámetros (Feria Domínguez y Jiménez Rodríguez, 2008), por lo que se emplea el método del Test de Kolmogorov que permite identificar, mediante un proceso ordenado, aquella distribución que mejor se ajusta a los datos observados (Berenson y Levine, 1982).

El Test de Kolmogorov o Kolmogorov – Smirnov calcula la máxima desviación, en términos absolutos entre la función de distribución de los datos muestrales y aquella correspondiente a la función de densidad para el conjunto de valores de la variable aleatoria; dicho contraste estadístico descansa en la hipótesis de que el valor de la función de densidad muestral se encuentra asintótica y distribuida según una normal (Feria Domínguez y Jiménez Rodríguez, 2008). El estadístico Kolmogorov está determinado así:

$$D = \max [Fs(x_i) - S(x_i)] \quad (18)$$

Donde:

$F_s(x_i)$: es la probabilidad de que ocurra la observación de acuerdo a la distribución de probabilidad específica.

$S(x_i)$: es la probabilidad de ocurrencia de observar valores menores o iguales, la cual se puede calcular mediante la siguiente fórmula:

$$S(Zi) = \frac{i}{n} \quad (19)$$

Siendo i la posición de la observación ordenada y n el total de observaciones.

Al igual que la prueba Chi – Cuadrado, el Test de Kolmogorov se realiza mediante la aplicación de una prueba de bondad, en la cual se debe poner a colación una serie de hipótesis que se deben contrastar según si se acepta o se rechaza el modelo de acuerdo a un nivel de significancia, por lo que la hipótesis nula (H_0) se debe aceptar siempre y cuando:

$$KS(n,a) > D \quad (20)$$

Ambas metodologías se aplican para cada una de las celdas de la matriz de pérdidas operacionales o matriz de riesgo con el fin de especificar para cada relación (línea de negocio y tipo de riesgo) las ecuaciones correspondientes a frecuencia y severidad. Este proceso es recomendable realizarlo en una hoja de cálculo, o mediante otro software especializado, de esta manera las fórmulas y condiciones de las pruebas puedan ser programadas y por otro lado, todo el historial de datos pueda ser almacenado. De esta maneja expertos en riesgo o un integrante de la organización pue-

da conocer los resultados y aplicarlos, sin necesidad de tener conocimientos avanzados en matemáticas.

A continuación se presenta una serie de gráficos correspondientes a histogramas de frecuencias y severidades según dos tipos de riesgo ejemplares (Fraude Externo y Daños a Activos Físicos) para la línea de negocio “Distribución y Transporte”, expuesto en el ejemplo de la Tabla 2 y su interpretación. Cabe aclarar, que de acuerdo al software o herramienta utilizada, la presentación de los gráficos puede variar, aunque aquí se utilizó el software @Risk, como se mencionó en la sección 2 (diseño metodológico) de este trabajo.

Con una confianza del 95% el número de ocurrencias para el tipo de evento “Fraude Externo” dentro de la línea de negocio “Distribución y Transporte” se encuentra entre 3 y 14 eventos de riesgo.

Con una confianza del 95% la severidad para el “Fraude Externo” dentro de esta línea de negocio (Distribución y Transporte) se encuentra entre \$370.000 y \$3.750.000.

Con una confianza del 95% el número de ocurrencias para el tipo de riesgo “Daños a Activos Físicos” dentro de la línea de negocio “Distribución y Transporte” se encuentra entre 2 y 11 eventos de riesgo.

Con una confianza del 95% la severidad para “Daños a Activos Físicos” dentro

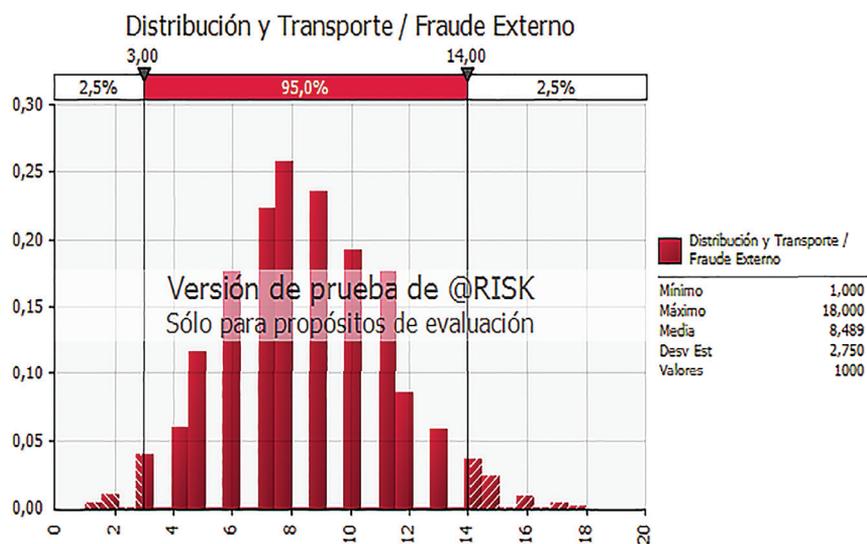


Figura 1. Histograma de Frecuencias para el Fraude Externo, Caso PYME

Fuente: Elaboración propia

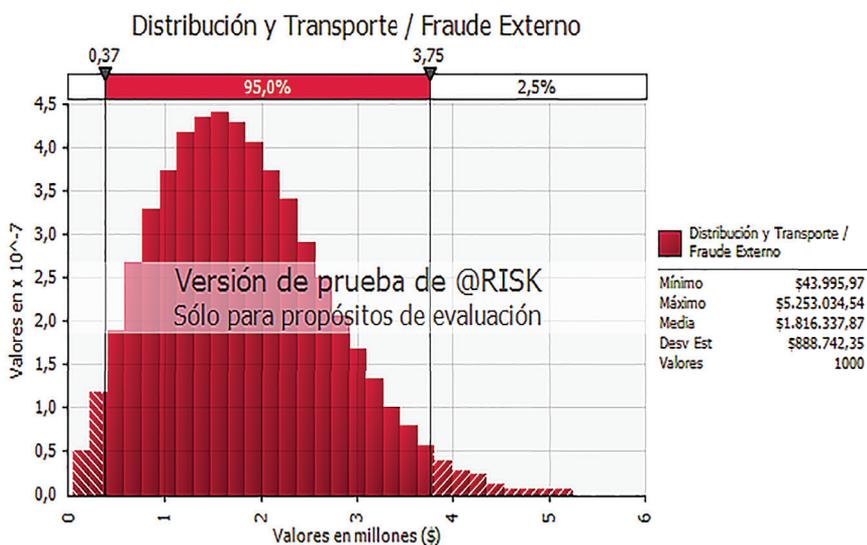


Figura 2. Histograma de Severidades para el Fraude Externo, Caso PYME

Fuente: Elaboración propia

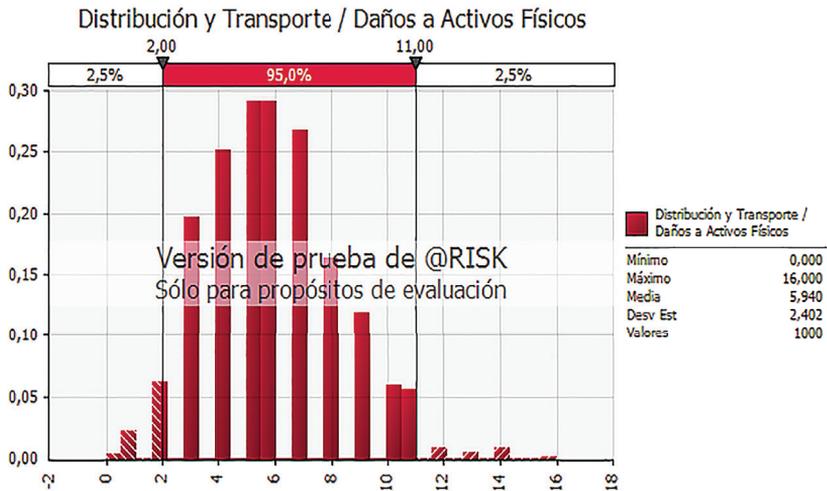


Figura 3. Histograma de Frecuencias Daños a Activos Físicos, Caso PYME

Fuente: Elaboración propia

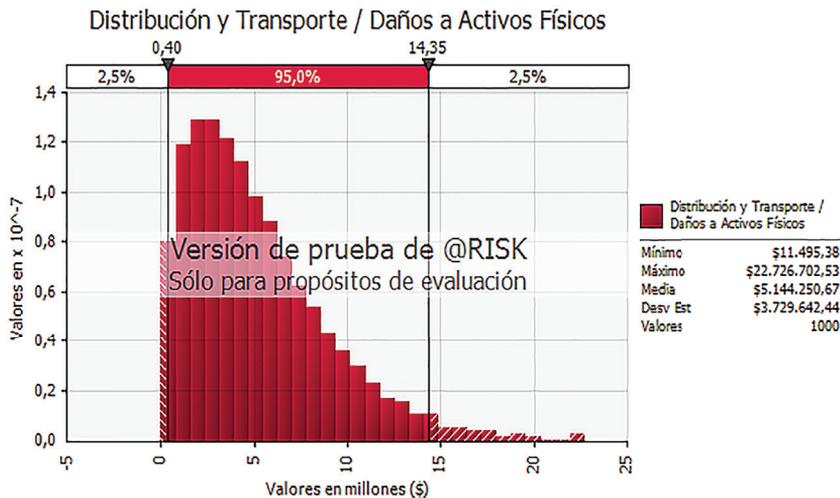


Figura 4. Histograma de Severidades Daño a Activos Físicos, Caso PYME

Fuente: Elaboración propia

de la “Distribución y Transporte” se encuentra entre \$400.000 y \$14.350.000.

Se puede observar que los rangos o intervalos de confianza son amplios

frente a la severidad del riesgo, tanto en “Fraude Externo” como “Daños a Activos Físicos”, según las gráficas mostradas. Sin embargo, se evidencia una acumu-

lación importante de datos en ciertas partes de la distribución, lo que refleja una probabilidad de ocurrencia mayor en comparación a las colas de la distribución. Esta situación no quiere decir que las organizaciones deban enfocar sus esfuerzos en donde hay mayor probabilidad de ocurrencia, sino poder evidenciar que, aunque con pocas probabilidades de materialización de los riesgos, existe una remota oportunidad para que un riesgo se materializa y cause grandes perjuicios. Por esta misma razón, en conjunto con los intervalos de confianza, es necesario, analizar gráficas que permitan identificar la máxima

pérdida (esperada) por causa de riesgos operativos (OpVaR).

6. Distribución de pérdidas agregadas

En términos generales, la obtención de la distribución de pérdidas agregadas consiste en la combinación de los valores de las distribuciones seleccionadas para la Frecuencia y la Severidad en cada una de las líneas de negocio y tipos de riesgo operacional asociada al mismo (Feria Domínguez y Jiménez Rodríguez, 2008), la cual se conoce como la Convolución.

Tabla 3. Simulación de la Frecuencia, Caso PYME

	Fraude Interno	Fraude Externo	Prácticas de Empleo y Seguridad Laboral	Clientes, Productos y Prácticas Comerciales	Daños a Activos Físicos	Interrupción de Operaciones y Fallos de Sistemas	Ejecución, Entrega y Gestión de Proceso	Total
Distribución y Transporte	6	9	3	5	3	9	10	45

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 4. Simulación de la Severidad, Caso PYME

	Fraude Interno	Fraude Externo	Prácticas de Empleo y Seguridad Laboral	Clientes, Productos y Prácticas Comerciales	Daños a Activos Físicos	Interrupción de Operaciones y Fallos de Sistemas	Ejecución, Entrega y Gestión de Proceso	Total
Distribución y Transporte	\$ 111.834	\$ 2.818.859	\$ 359.709	\$ 119.184	\$23.022.271	\$ 183.546	\$ 119.909	\$ 26.735.312

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 5. Simulación de Pérdidas Agregadas, Caso PYME

	Fraude Interno	Fraude Externo	Prácticas de Empleo y Seguridad Laboral	Clientes, Productos y Prácticas Comerciales	Daños a Activos Físicos	Interrupción de Operaciones y Fallos de Sistemas	Ejecución, Entrega y Gestión de Proceso	Total
Distribución y Transporte	\$ 671.004	\$ 25.369.731	\$ 1.079.127	\$ 595.920	\$ 69.066.813	\$ 1.651.914	\$ 1.199.090	\$ 99.633.599

Fuente: Elaboración propia.

La Convolución es la cuantía total de cada una de las severidades de acuerdo al número de veces de ocurrencia. Se puede realizar mediante diferentes enfoques prácticos que permiten la agregación de las pérdidas, tales como: Algoritmo de Panjer o Modelación y Simulación Montecarlo (Feria Domínguez y Jiménez Rodríguez, 2008).

Los resultados se deben tabular dentro de la matriz de pérdidas agregadas con el fin de visualizar las filas o columnas críticas en donde el riesgo operacional tiene grandes cantidades de pérdidas agregadas con el fin de identificar un control adecuado, ya sea para la frecuencia o para la severidad, con el fin de mitigar o reducir estos valores.

El enfoque de la Simulación o Muestreo Montecarlo es una metodología útil

para realizar el proceso de convolución dentro del modelo de riesgo, pues estima la distribución de pérdidas agregadas utilizando un número suficiente de escenarios hipotéticos, generados aleatoriamente a partir de las distribuciones de frecuencia y severidad (Feria Domínguez y Jiménez Rodríguez, 2008), sus características y según los parámetros establecidos. En este punto también se presenta la incertidumbre sobre la cantidad óptima de escenarios que deben simularse con el fin de generar un rango para las pérdidas, en términos generales, los resultados no varían de forma significativa para cantidad de iteraciones mayores que 1.000, por lo que este número es el mínimo adecuado para la simulación.

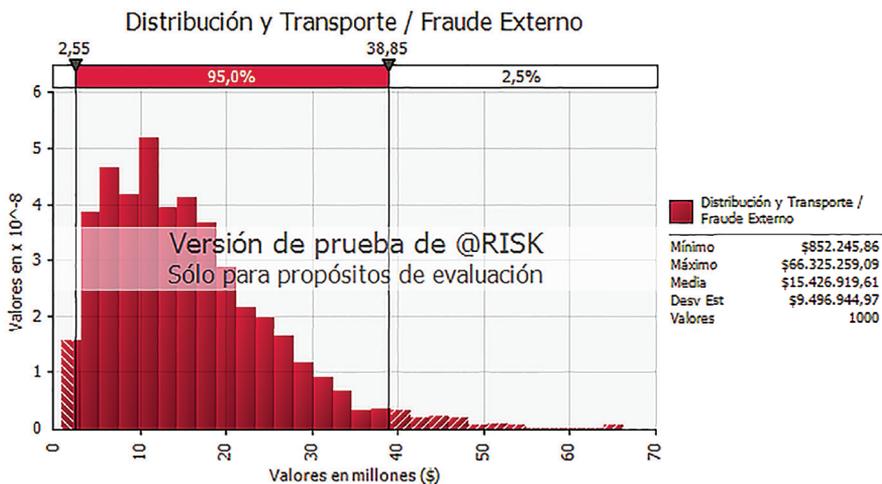


Figura 5 Histograma de Pérdidas Agregadas para el Fraude Externo, Caso PYME.

Fuente: Elaboración propia.

Con una confianza del 95% las Pérdidas Agregadas para el tipo de riesgo “Fraude Externo” dentro de la línea de negocio “Distribución y Transporte” se encuentra entre \$2.550.000 y \$38.850.000. Con una confianza del 95% las Pérdidas Agregadas para “Daños a Activos Físicos” dentro de la “Distribución y Transporte” se encuentra entre \$1.760.000 y \$95.620.000.

El modelo genera una serie de resultados para el total de las pérdidas agregadas para toda la empresa, en la cual se relacionan todas las líneas de negocio con todos los tipos de riesgo operativo vinculados en la matriz de pérdidas con el fin de generar una totalización global de las pérdidas originadas por el riesgo operacional.

A partir de estos resultados también se pueden generar intervalos de riesgo según una confianza establecida o la determinación de percentiles de riesgo, ya sea del 99.5% o 99,9% el cual hace referencia al OpVaR (Feria Domínguez y Jiménez Rodríguez, 2008), ya que el OpVaR está definido como el percentil 99,9 de la distribución de pérdidas agregadas (Comité de Supervisión Bancaria de Basilea, 2006).

Para ambos casos el objetivo principal es encontrar la estimación a partir de la información muestral, donde se encuentre un posible valor o el verdadero valor de un parámetro, en este caso las pérdidas agregadas, con una probabilidad o confianza de $(1-\alpha)*100$ (Berenson y Levine, 1982).

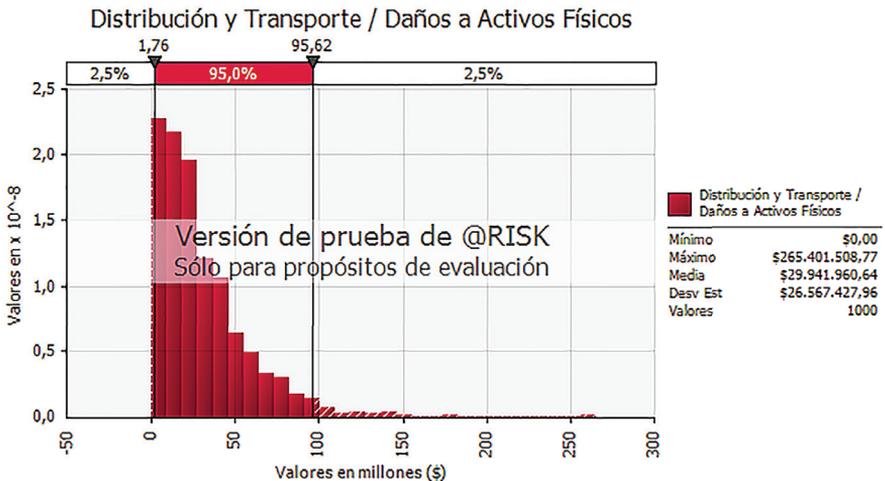


Figura 6 Histograma de Pérdidas Agregadas para Daños a Activos Físicos, Caso PYME.

Fuente: Elaboración propia.

Para los intervalos de confianza del 95%, es muy probable que las pérdidas agregadas se encuentren entre dichos valores establecidos, pues desde el punto de vista estadístico, en dicho intervalo se encuentran las pérdidas esperadas del modelo, puesto que alrededor de la media muestral se encuentran los histo-

gramas con mayores probabilidades de ocurrencia.

Para los intervalos de confianza regulares las colas de la distribución están dadas por $(\frac{\alpha}{2}, 1 - \frac{\alpha}{2})$ con el fin de mantener una igualdad de probabilidad para las mismas.

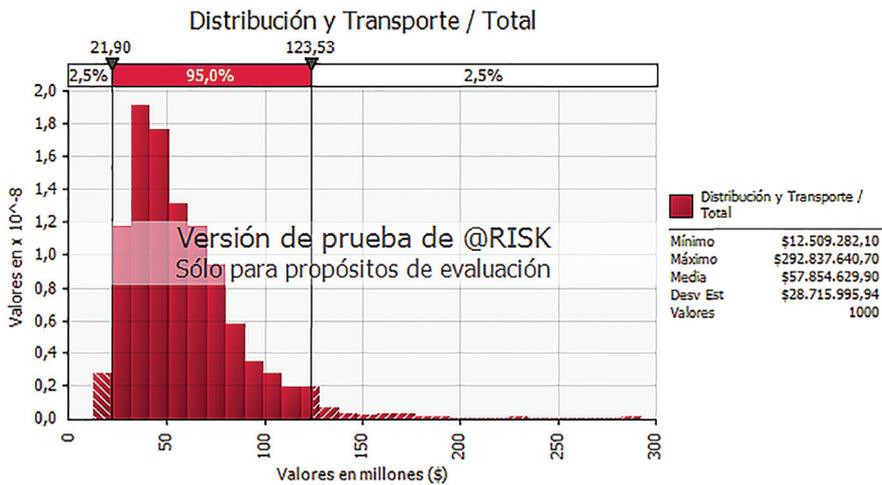


Figura 7. Histograma de Pérdidas Agregadas, Caso PYME.

Fuente: Elaboración propia.

Con una confianza del 95% las Pérdidas Agregadas dentro de la línea de negocio “Distribución y Transporte” se encuentran entre \$21.900.000 y \$123.530.000.

Por otra parte el OpVaR, desde un punto de vista estadístico, es un caso particular de los intervalos de confianza el cual en términos de riesgos operativos hace referencia a la máxima pérdida potencial en la que podría incurrir una determinada línea de negocio o la compañía en su totalidad, bajo cierto nivel de confianza y en un determinado tiem-

po, típicamente un año (OpVaR de la compañía), (Feria Domínguez y Jiménez Rodríguez, 2008). Es un valor referente que una empresa, en este caso una PYME, debe realizar esfuerzos, destinar ciertos recursos y aplicar medidas que permitan a lo mínimo cubrir o mitigar el OpVar, el cual se desglosa en los diferentes eventos de riesgo.

Para el OpVar las colas establecidas son de la forma $(0, 1 - \alpha)$ con el fin de establecer un valor de probable ocurrencia,

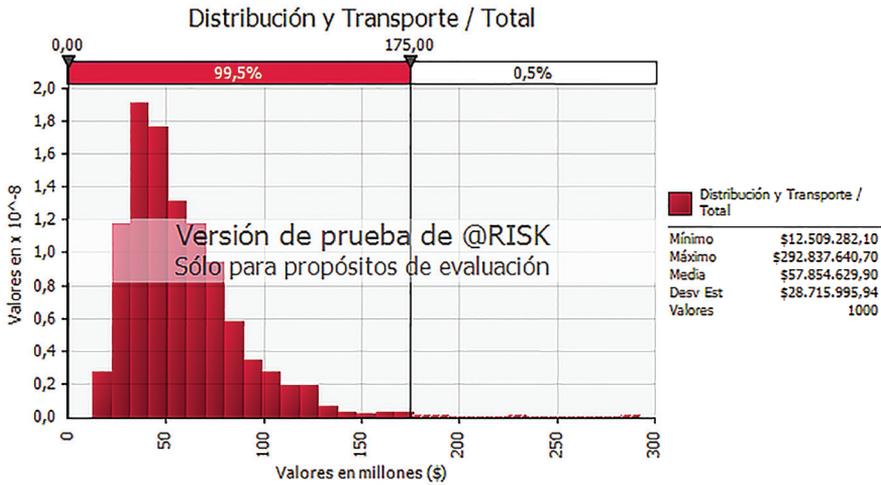


Figura 8. Histograma de Pérdidas Agregadas OpVaR, Caso PYME.

Fuente: Elaboración propia.

pero que se encuentra más lejano a la media.

Con una confianza del 99,5% el valor del OpVaR para la línea de negocio “Distribución y Transporte” es de \$175.000.000.

7. Validación del modelo propuesto

La validación del modelo propuesto se puede realizar a través de un proceso de *Back Testing* o mediante la aplicación del Test de Kupiec, en el cual se comparan las pérdidas operacionales estimadas con las pérdidas reales obtenidas, con el fin de obtener una medida de calidad de las predicciones, que permite tomar decisiones sobre la necesidad de aceptar o rechazar el modelo para su

posterior ajuste o modificación (Giménez Martínez, 2006).

Los pasos para realizar el Back Testing son:

Se realiza la diferencia D entre la pérdida real y la pérdida estimada (por el modelo) para cada periodo de tiempo.

$$D = \text{Pérdida estimada} - \text{Pérdida real} \quad (20)$$

Se calcula un indicador binario (BI), cuando la diferencia es mayor que 0 (Parámetro Estimado - Back Testing):

$$BI(i) = \begin{cases} 1, & \text{si } D > 0 \\ 0, & \text{e. o. c} \end{cases} \quad (21)$$

Se calcula la cantidad total de violaciones (V) relativas al total de observaciones realizadas (T): violaciones totales (VT):

$$VT = \sum_{i=1}^n BI(i) = \text{Count}[BI=1] \quad (22)$$

$$PVT = \frac{\sum_{i=1}^n BI(i)}{\sum_{i=1}^n BI(i) + \sum_{i=1}^n (1 - BI(i))} \quad (23)$$

Donde:

PVT: Proporción de violaciones totales.

Se calcula la violación esperada del modelo para un nivel de significancia establecido:

$$\text{Violaciones Esperadas} = p * n \quad (24)$$

Donde:

$p = 1 - \alpha$, siendo α el nivel de significancia.

n : es el número de periodos temporales de los datos.

Tabla 6. Validación del Modelo Back Testing, Caso PYME

VIOLACIONES TOTALES	23
PROPORCIÓN DE VIOLACIONES	2,3 %
Confianza	95 %
n	1000
p	5%
VIOLACIONES ESPERADAS	50
	SE ACEPTA EL MODELO

Fuente: Elaboración propia.

Por último, el modelo puede ser aceptado si:

$\text{Violaciones esperadas} > \text{Violaciones totales}$,
 $p > \text{Proporción de Violaciones}$.

El Test de Kupiec, basado en la distribución Binomial, representa una validación del modelo mucho más complejo, en la cual se establecen ciertas hipótesis (nula o alternativa) con el fin de aceptar o rechazar el modelo. La prueba de bondad por medio del Test de Kupiec relaciona que el parámetro de proporciones \check{p} sea estadísticamente igual al parámetro p . El nivel de confianza para esta prueba afecta el valor del estadístico de prueba, pues $p = 1 - \alpha$ (Giménez Martínez, 2006).

Las hipótesis correspondientes para realizar el Test de Kupiec son de la forma:

Hipótesis Nula (H_0): El valor de las Proporciones de Violaciones del Modelo se acerca a $1 - \alpha$, es decir $p = \check{p}$.

Hipótesis Alternativa (H_a): El valor de las Proporciones de Violaciones del Modelo no se acerca a $1 - \alpha$, es decir $p \neq \check{p}$.

Estadístico de Prueba - Test de Kupiec, LRuc:

$$LRuc1 = -2Ln[(1-p)^{T-V} (p)^V] \quad (25)$$

y

$$LRuc2 = 2Ln \left[\left(1 - \frac{V}{T} \right)^{T-V} \left(\frac{V}{T} \right)^V \right] \quad (26)$$

y

$$LRuc = LRuc1 + LRuc2 \quad (27)$$

Donde:

LR: es la proporción logarítmica ("logarithm of the ratio").

uc: significa cobertura sin condición ("unconditional coverage").

Financiera de Colombia, 2006). Este proceso debe ser estricto y exhaustivo, pues se debe contar con un número significativo de datos e información confiable que permita ajustar el modelo de acuerdo a un perfil de riesgo adecuado, y que permite identificar eventos puntuales que se correlacionen entre sí y mejorar el panorama para realizar los ajustes estadísticos.

De acuerdo con lo anterior, una de las principales cuestiones que se lleva a cabo y se realiza previo a la aplicación de un modelo cuantitativo es, identificar el número de datos históricos necesarios u óptimos para que el modelo, mediante la simulación o cualquier otra técnica de convolución (p.ej. Algoritmo de Panjer) (Feria Domínguez y Jiménez Rodríguez, 2008) genere resultados confiables conformes al perfil de riesgo de la empresa.

Desde un punto de vista estadístico siempre se presume, que entre mayor cantidad de datos históricos es mucho mejor, sin embargo es probable que los factores dentro y fuera de los entornos empresariales sean muy variables en lapsos de tiempos muy cortos causado por variables políticas, económicas, sociales o netamente internas. En términos generales, esta limitación también ayuda a complementar la idea de que las PYMES puedan emplear un modelo que se agregue en términos globales o de acuerdo al nivel de detalle requerido.

Los resultados obtenidos, aplicando el enfoque LDA, tanto en intervalos de confianza como para el OpVaR, tienen una metodología aceptable y sencilla de cálculo, por lo que es viable que dicho modelo cuantitativo puede ser una herramienta de gestión y medición del riesgo operativo para toda entidad empresarial, ya sea que se dedique a una actividad financiera, industrial o comercial.

Se concluye, si se aplica todo el proceso establecido dentro del modelo cuantitativo para la gestión de riesgos operativos se puede lograr una visión más completa sobre el entorno organizacional, por lo que se puede decir, que el cálculo y el procedimiento metodológico del modelo es un *proceso* más que un resultado estadístico, ya que una cuantificación exacta del riesgo puede llegar no ser tan importante como soportar, si dicha magnitud es adecuada para la empresa en cuestión (Feria Domínguez y Jiménez Rodríguez, 2008). Por consiguiente, el objetivo primordial debe ir encaminado a controlar el riesgo y mitigarlo.

Si bien la experiencia y las aptitudes de expertos en riesgo puede diferir del trabajo operativo que realizan los empleados de una empresa, la cuantificación de los riesgos operacionales es un asunto que abarca la totalidad empresarial; la tecnología y todas las herramientas que proporcionan las TIC, especialmente software para computadores como

p.ej. @Risk, pueden facilitar el manejo de dichos modelos estadísticos, ya que estas herramientas, del punto de vista del usuario, abstraen de los detalles matemáticos y estadísticos, lo que facilita considerablemente la ejecución de un modelo cuantitativo.

Finalmente se concluye que las mediciones a través de un modelo se tienen que repetir periódicamente, ya que el control y la gestión del riesgo operativo son más importantes para una organización que una cuantificación exacta.

Sin embargo, trabajos en el futuro deben aplicar el modelo propuesto con datos reales de una empresa para validar más el modelo.

Referencias

- Berenson, M., Levine, D. (1982). *Estadística para Administración y Economía*. México D.F: Nueva Editorial Interamericana.
- Comité de Basilea sobre Supervisión Bancaria (s.f.). Resumen de la Enmienda que incorpora los Riesgos de Mercado al Acuerdo de Capital (enero de 1996). Consultado el 5 de noviembre de 2014 y disponible en Resumen de la Enmienda que incorpora los Riesgos de Mercado al Acuerdo de Capital: www.sib.gob.gt
- Comité de Supervisión Bancaria de Basilea (2006). *Convergencia Internacional de Medidas y Normas de Capital. Comité de Basilea II*.
- Delfiner, M., Pailhé, C. (2009). *Técnicas Cualitativas para la Gestión del Riesgo Operacional*. Disponible en <http://mpr.ub.uni-muenchen.de/15809/>
- Feria Domínguez, J. M., y Jiménez Rodríguez, E. J. (2008). El OpVaR como medida del Riesgo Operacional. *Boletín de Estudios Económicos*. Nro. 193 (LXIII), pp. 135-159.
- Giménez Martínez, J. I. (2006). Sistema de Medición Cuantitativa del Riesgo Operacional en Entidades Financieras. Disponible en Trabajo de grado Universidad Pontificia Comillas: <http://www.iit.upcomillas.es/pfc/resumenes/44a23d4b18a47.pdf>.
- Mejía Quijano, R. C. (2006). Administración de Riesgos, un enfoque empresarial. En R. C. Mejía Quijano, *Administración de Riesgos, un enfoque empresarial*. Medellín: Fondo Editorial Universidad EAFIT.
- Mora Valencia, A. (2011a). Riesgo operativo I: Una revisión de la literatura. Disponible en Borrador de administración # 46: <http://repository.cesa.edu.co/handle/10726/269>.
- Mora Valencia, A. (2011b). Riesgo operativo II: una revisión de literatura – continuación. Disponible en Borrador de administración # 54: <http://repository.cesa.edu.co/handle/10726/286>.
- Ordóñez, J. (2010). *Usando @Risk en Análisis de Riesgo*. Lima, Perú: Palisade.
- Panjer, H. H. (2006). *Operational Risk, Modeling Analytics*. New Jersey: John Wiley & Sons, Inc.

- Romero, L. R. (2009). Riesgo Operacional: Implementación del Método Estándar y Estándar Alternativo en Basilea II. Disponible en Superintendencia de Bancos e Instituciones Financieras Chile: https://www.sbif.cl/sbifweb3/internet/archivos/publicacion_8527.pdf.
- Shevchenko, P. V. (2011). Modelling Operational Risk Using Bayesian Inference. Berlin: Springer.
- Superintendencia Financiera de Colombia (2006). Reglas relativas a la Administración del Riesgo Operativo Circular Externa 048. Disponible en <https://www.superfinanciera.gov.co>: <https://www.superfinanciera.gov.co/jsp/loader.jsf?!Servicio=Publicaciones&ITipo=publicaciones&IFuncion=loadContenidoPublicacion&id=20144>.
- Superintendencia Financiera de Colombia (2007). Circular Externa 041 de 2007. Bogotá: Superintendencia Financiera de Colombia.