

Modelo LDA para medición avanzada de riesgo operacional*

Gloria Inés Macías Villalba

Ph. D. en Finanzas

Docente tiempo completo, Universidad Autónoma de Bucaramanga

Bucaramanga, Colombia

Grupo de Investigación en Ingeniería Financiera

gmacias@unab.edu.co

<https://orcid.org/0000-0001-5897-181X>

Sergio Andrés Parra Hormiga

Especialista en Gestión de Portafolios de Inversión y Valoración de Empresas

Docente tiempo completo, Fundación Universitaria de San Gil

San Gil, Colombia

Grupo de Investigación en Ingeniería Financiera

Grupo de Innovación y Desarrollo Tecnológico IDENTUS (Unisangil)

sparra@unisangil.edu.co

<http://orcid.org/0000-0002-8668-0347>

Luz Helena Carvajal Herrera

Especialista en Diseño de Soluciones Financieras

Docente hora cátedra, Universidad Autónoma de Bucaramanga

Bucaramanga, Colombia

Grupo de Investigación en Ingeniería Financiera

lcarvajal@unab.edu.co

<http://orcid.org/0000-0003-4399-9953>

ADVANCED OPERATIONAL RISK MEASUREMENT WITH LDA MODEL

ABSTRACT: This paper presents the simulated results after the application of an operational risk measurement model, and the benefits obtained when an adequate process is followed to identify risk-generating sources. This serves as support to the control stage through the monitoring of indicators to mitigate operational risks. The main approach of this study lies on one of the advanced operational risk measurement models suggested by Basilea, specifically the loss distribution approach (LDA), applied to three types of operational risk events in one of the business lines of a financial institution in Colombia. Operational Value-at-Risk (OpVaR) quantification was made under two comparison methods, and determined by the characteristics of distributions in the calculation of expected and unexpected losses for each event. Results show an estimate of the range of values that may be the point of reference for the organization in order to maintain a required economic capital that covers future exposures to operational risk.

KEYWORDS: Frequency distribution, aggregate losses distribution, severity distribution, expected and unexpected losses, operational risk.

MODELO LDA PARA MEDIÇÃO AVANÇADA DE RISCO OPERACIONAL

RESUMO: o propósito deste documento é apresentar os resultados simulados da aplicação de um modelo de medição de risco operacional (ro), assim como os benefícios que são obtidos quando se utiliza um processo adequado que permita identificar as fontes geradoras de risco, que sirvam de suporte à etapa de controle mediante o seguimento de indicadores para a mitigação de riscos operacionais. A abordagem principal está em um dos modelos avançados de medição do ro sugeridos por Basilea, especificamente, a abordagem de distribuição de perdas (LDA, por sua sigla em inglês), aplicado a três tipos de eventos de ro em uma das linhas de negócio para uma entidade financeira na Colômbia. A quantificação com Valor em Risco Operacional (OPVaR) utiliza dois métodos que servem de comparação, e são determinados pelas características das distribuições no cálculo das perdas esperadas e não esperadas de cada evento, com a estimativa de um intervalo de valores que poderá ser o referencial para a entidade ao manter um capital econômico requerido que cubra exposições futuras por ro.

PALAVRAS-CHAVE: distribuição de frequência, distribuição de perdas agregadas, distribuição de severidade, perdas esperadas e não esperadas, risco operacional.

LE MODÈLE LDA POUR LA MESURE AVANCÉE DU RISQUE OPÉRATIONNEL

RÉSUMÉ: Le but de ce document est de présenter les résultats simulés de l'application d'un modèle de mesure du risque opérationnel (ro) et les bénéfices obtenus lorsqu'on utilise un processus adéquat pour identifier les sources qui génèrent des risques, et qui servent de support à la phase de contrôle à travers le suivi des indicateurs pour l'atténuation des risques opérationnels. L'accent est mis sur l'un des modèles avancés de mesure de ro proposés par Bâle, en particulier l'approche de distribution des pertes (LDA, son sigle en anglais), appliquée à trois types d'événements d'OR dans l'un des secteurs d'activité pour une institution financière en Colombie. La quantification avec Valeur en Risque Opérationnel (OPVaR) emploie deux méthodes qui servent de comparaison, et peut se déterminer par les caractéristiques des distributions dans le calcul des pertes attendues et inattendues de chaque événement, avec l'estimation d'une gamme de valeurs qui pourra être la référence pour l'entité en gardant un capital économique requis pour couvrir les expositions futures de ro.

MOTS-CLÉ: distribution des fréquences, distribution des pertes agrégées, distribution de sévérité, pertes attendues et inattendues, risques opérationnels.

CITACIÓN: Macías Villalba, G. I., Parra Hormiga, S. A., & Carvajal Herrera, L. H. (2018). Modelo LDA para medición avanzada de riesgo operacional. *Innovar*, 28(68), 9-27. doi: 10.15446/innovar.v28n68.70335.

ENLACE DOI: <https://doi.org/10.15446/innovar.v28n68.70335>.

CLASIFICACIÓN JEL: G20, G21, G28.

RECIBIDO: octubre 2015. **APROBADO:** octubre 2016.

DIRECCIÓN DE CORRESPONDENCIA: Gloria Inés Macías Villalba. Carrera 47 N.º 33*-53 Apartamento 1204. Edificio Paseo de las Américas. Barrio Álvarez. Bucaramanga, Colombia.

RESUMEN: El propósito de este documento es presentar los resultados simulados de la aplicación de un modelo de medición de riesgo operacional (ro) y los beneficios que se obtienen cuando se utiliza un proceso adecuado que permita identificar las fuentes generadoras de riesgo, que sirvan de soporte a la etapa de control mediante el seguimiento de indicadores para la mitigación de riesgos operacionales. El enfoque principal está en uno de los modelos avanzados de medición del ro sugeridos por Basilea, específicamente el enfoque de distribución de pérdidas (LDA, por su sigla en inglés), aplicado a tres tipos de eventos de ro en una de las líneas de negocio para una entidad financiera en Colombia. La cuantificación con valor en riesgo operacional (OPVaR) utiliza dos métodos que sirven de comparación, y se determina por las características de las distribuciones en el cálculo de las pérdidas esperadas y no esperadas de cada evento, con la estimación de un intervalo de valores que podrá ser el referente para la entidad al mantener un capital económico requerido que cubra exposiciones futuras por ro.

PALABRAS CLAVE: distribución de frecuencia, distribución de pérdidas agregadas, distribución de severidad, pérdidas esperadas y no esperadas, riesgo operacional.

Introducción

La administración de riesgos ha sido un tema que inició su relevancia en la década de los ochenta, periodo en el que las entidades del sector financiero

* El artículo se deriva del proyecto "Modelos de medición de Riesgo Operativo y de Liquidez aplicados a entidades bancarias y cooperativas financieras en el mercado colombiano". Fue financiado por la Universidad Autónoma de Bucaramanga y la Fundación Universitaria de San Gil.

fueron impactadas por el comportamiento de las tasas de interés, los valores de mercado y los *default* de crédito. Estas instituciones se dieron a la tarea de cuantificar los cambios en los valores de su portafolio por la volatilidad de los precios de los títulos en el mercado y, sobre estas variaciones, diseñaron e implementaron estrategias para reducir los efectos negativos de los cambios sobre las ganancias, utilizando los principios y postulados teóricos de las finanzas modernas.

Sin embargo, las pérdidas se registraron por otras fuentes de riesgo, dentro de las que estaban presentes las fallas en los procesos, los controles, los sistemas, las demandas por malas prácticas, junto a otras fuentes externas como desastres naturales y eventos ajenos al control de la entidad. En consecuencia, existe actualmente un reconocimiento creciente sobre las fuentes de volatilidad de los ingresos relacionados no solo con la financiación de las empresas, sino conectados con el desarrollo de la actividad empresarial —llamado *riesgo operacional*—, que debe ser medido e incorporado en el portafolio de riesgo de los activos de todo tipo de empresas (Jorion, 2010).

Los modelos de negocio tienen como característica la incorporación de nuevos y mejores procesos, así como el uso de tecnología e innovación, lo que permite la competencia por el mercado. En esta dinámica, las empresas han vuelto visibles los riesgos operacionales, que no eran un tema de agenda principal para las directivas de las empresas y no aparecían como una preocupación de la política de gobernabilidad. No obstante, las pérdidas de mayor impacto para los estados de resultados financieros han estado relacionadas con eventos de riesgo por la operación, sobre los cuales debe contarse con el capital suficiente para cubrirlo sin exponer la supervivencia de la empresa.

El Comité de Basilea de Supervisión Bancaria (CBSB) es el principal Foro de Cooperación Internacional en materia de regulación bancaria que se fundamenta en mejorar el control del marco regulatorio y de supervisión de los bancos o entidades financieras a nivel internacional. El propósito del CBSB es brindar confianza a los consumidores financieros y, para ello, se fundamenta en los siguientes objetivos:

- Fortalecer la seguridad y solidez del sistema financiero.
- Fomentar la igualdad competitiva.
- Construir métodos más amplios para el manejo de los riesgos.
- Tener enfoques de suficiencia de capital que sean apropiadamente sensibles al grado de riesgo.

Tal como lo propone el CBSB en sus dos últimos lineamientos, Basilea II y III y (CBSB, 2004, 2010), la administración

del riesgo operacional (en adelante, RO) requiere de un sistema adecuado de supervisión y regulación. En el sistema financiero, los entes de vigilancia deben hacer una labor adecuada de acompañamiento y supervisión que mantenga en alerta el mercado para evitar desastres que pongan en peligro tanto a inversionistas como a todo el sistema de ahorro de las familias.

En el ámbito privado, las empresas deben estar preparadas para intercambiar activos y riesgos en condiciones de escasez y acondicionarse para hacer frente a los eventos propios de su operación, las condiciones de mercado, el crédito y la gestión de liquidez (Venegas-Martínez, 2008).

La gestión o administración de riesgos financieros surge en etapas que son necesarias para alcanzar los objetivos. Estas etapas, como las propuestas por el Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación (Icontec, 2011), hacen parte de un proceso sistémico que busca integrar las líneas de negocio, los procesos operacionales y comerciales, y los diversos factores y eventos de riesgo. Tal proceso, además, tiene lugar desde un claro conocimiento del negocio, así como desde la identificación, análisis y evaluación de la exposición de riesgos, que incluye la medición tanto cualitativa como cuantitativa y, por tanto, el establecimiento del tratamiento adecuado; de este modo, se finaliza con el seguimiento a través de indicadores de análisis de la mitigación del riesgo, es decir, la disminución futura de los impactos económicos sobre los resultados financieros del negocio.

Para el desarrollo del presente documento, el enfoque se realiza en la etapa de análisis del RO, con una medición cuantitativa que determine las pérdidas esperadas y no esperadas, que permita establecer el capital requerido por la entidad en los tres tipos de eventos de riesgo analizados.

Revisión de la literatura

Gestión del riesgo operacional

La administración del RO es un desafío para la alta gerencia y, por supuesto, para los profesionales que se especializan en gestionar los riesgos financieros de las entidades. Por esta razón, aportar material de consulta y de aproximaciones prácticas en la medición será provechoso para aplicar y perfeccionar la modelación en la estimación de pérdidas esperadas y no esperadas.

La *NTC-ISO 31000* (Icontec, 2011) indica que la gestión del riesgo se enmarca en una arquitectura que comprende los principios, el marco de referencia y el proceso de gestión del riesgo. Los principios se fundamentan en la



importancia que tiene para las empresas aplicar la arquitectura para gestionar el riesgo, y uno de los principios hace referencia a la creación de valor. Dicha gestión vincula el riesgo con la gerencia de valor de las empresas, porque su aporte en la creación de valor es un aspecto importante para los grupos de interés, debido a que contribuye en el logro de los objetivos.

Por otro lado, el comportamiento de la empresa en su contexto deriva en actividades que originan el ingreso, que están vinculadas con la variación de precios de su portafolio de servicios y con la variación de los clientes que atiende; por esto, la empresa emprende acciones para mitigar las caídas de estas dos variables y termina incorporando riesgos al negocio.

Según King (2001), para comprender las causas de riesgo, la relación con la actividad empresarial y el equilibrio entre riesgo y rentabilidad, es necesario:

- 1) La comprensión de los riesgos operacionales que permita centrar la gestión en las formas de reducir la pérdida

permanente y mejorar la eficiencia y la calidad de los procesos operacionales.

- 2) El uso eficiente del capital de una empresa, pues ello implica la optimización de la compensación riesgo/retorno de las decisiones de asignación de capital dentro de la empresa.
- 3) La satisfacción de los *stakeholders* mediante la gestión integral de riesgos y su medición, para evitar situaciones inesperadas de gran impacto sobre la continuidad del negocio.
- 4) El establecimiento de niveles de responsabilidad directivo con buenas prácticas y adecuadas políticas de gobernanza.

El sector financiero no es ajeno a estas situaciones, por lo que se hace necesario generar cultura en las entidades; de ahí que el CBSB publicara en el 2006 una guía con los elementos que se deben tener en cuenta para llevar a cabo las buenas prácticas de gobierno corporativo, basadas en

los principios propuestos con anterioridad por la Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económicos (OCDE, 2004).

Por otra parte, para el 2003, el Banco de Pagos Internacionales (BIS) publicó un documento sobre buenas prácticas para la gestión y supervisión del RO, en el que se brindan principios para ser utilizados por las entidades bancarias y los entes supervisores, de tal forma que aporten a una gestión eficaz del RO, reconociendo que el método que se aplique depende del tamaño, naturaleza y complejidad en sus operaciones. Posteriormente, el BIS (2011) actualizaría el documento en cuestión, haciendo énfasis en la necesidad de generar una cultura sólida de RO.

En el contexto colombiano, la Superintendencia Financiera de Colombia (Superfinanciera) divulgó, en agosto de 2010, el *Documento Conceptual de Gobierno Corporativo*, que presenta un manual con los diferentes aspectos que deben tener en cuenta las entidades financieras para fortalecer el cumplimiento de los objetivos enfocados en la seguridad, estabilidad y confianza de los consumidores financieros. En el mismo documento, la Superfinanciera afirma que las prácticas de gobierno corporativo cubren la mejora en términos de rentabilidad y la correcta gestión de riesgos, de tal forma que se mantengan en los niveles adecuados y acordes con sus perfiles de riesgo.

Medidas de riesgo operacional

La modelación del riesgo financiero debe aportar al negocio una estimación o capacidad de predicción de aquel para tomar medidas y contrarrestarlo. Establecer una medida objetiva y relevante para estos riesgos es un paso crítico hacia su gestión, porque es necesaria una retroalimentación consistente y confiable para cambiar el comportamiento. No obstante, el riesgo operacional es difícil de medir y de predecir, así como también es difícil de identificar las causas, debido a la naturaleza de las dos fuentes principales de las fluctuaciones (frecuencia y severidad).

Generalmente, las pérdidas por RO no se pueden medir directamente a causa de:

- La alta frecuencia de las pérdidas de bajo impacto que no se registran adecuadamente.
- La baja frecuencia de las pérdidas de alto impacto, cuya muestra es difícil de recolectar.

Hacerle frente a estos problemas requiere de un marco para la medición del riesgo operacional que alinee las medidas de riesgo con medidas de desempeño.

Modelos de medición de riesgo operacional

En el acuerdo de Basilea II, el CBSB (2004) recomienda tres metodologías presentadas para la medición del RO que, en orden de sofisticación y sensibilidad al riesgo, son las siguientes: 1) el método de indicador básico, 3) el método estándar y 3) el método de medición avanzada (AMA, por su sigla en inglés). El enfoque de estos métodos es evolutivo, y se motiva a las entidades para que desarrollen prácticas y sistemas cada vez más avanzados en la medición de este riesgo.

Método de indicador básico

El método de indicador básico es una primera estimación de las pérdidas esperadas por RO; por lo tanto, se convierte en un punto de partida para el cálculo del requerimiento de capital, y se genera la cultura de incluir este riesgo en el indicador de solvencia de la entidad. Las entidades bancarias, para cubrir las exposiciones por RO, deben determinar un porcentaje fijo del 15% —llamado alfa (α)— de los ingresos brutos anuales medios de los tres últimos años.

Método estándar

Para el método estándar, las actividades de los bancos se dividen en ocho líneas de negocio, con valores de β fijados por el CBSB para cada línea de negocio, como se muestra en la tabla 1.

Tabla 1.
Cálculo del requerimiento de capital por método estándar según CBSB.

Línea de negocio	Beta sugerido
Finanzas corporativas (β_1)	18%
Negociación y ventas (β_2)	18%
Banca minorista (β_3)	12%
Banca comercial (β_4)	15%
Liquidación y pagos (β_5)	18%
Servicios de agencia (β_6)	15%
Administración de activos (β_7)	12%
Intermediación minorista (β_8)	12%

Nota. Porcentajes sugeridos por Basilea para cada línea de negocio. Fuente: CBSB (2004).

El beta representa una aproximación de la relación entre el historial de pérdidas por RO en cada línea de negocio, así como el nivel agregado de ingresos brutos de dicha línea, obteniendo así los ingresos de cada línea de negocio y no de la entidad bancaria en su conjunto.

Los métodos de medición avanzada

Para el cálculo del requerimiento de capital, las entidades utilizan modelos de medición interna, desarrollados por la entidad financiera con previa aprobación del ente supervisor. Estos modelos internos deben contener criterios cualitativos y cuantitativos que sean aplicables a este tipo de AMA. Según CBSB (2004), entre los criterios cualitativos y cuantitativos establecidos para el uso de estos métodos, se encuentran los siguientes aspectos:

a. Cualitativos:

- Diseño y aplicación del marco de gestión del riesgo.
- Medición interna del RO.
- Sistema de información periódica con exposiciones al riesgo y el historial de pérdidas.
- Sistema de gestión documentado.
- Auditoría externa o control interno.

b. Cuantitativos:

- Modelos sólidos y coherentes para determinar las pérdidas esperadas y no esperadas, con un proceso creíble, transparente, bien documentado y comprobable.
- Datos internos, con información de por lo menos cinco años de observación, vinculados a las actividades del negocio.
- Datos externos, con poca frecuencia y alto impacto.
- Análisis de escenarios, basados en opiniones de expertos en gestión de riesgo o directivos con experiencia.
- Factores relacionados con el entorno de negocio y con el control interno.
- Cobertura del riesgo y uso de seguros como forma de tratamiento, con cobertura límite del 20%.

Modelo *Loss Distribution Approach*

El *Loss Distribution Approach* (LDA) es una técnica estadística que tiene su origen en aplicaciones actuariales desarrollada por la industria de seguros (Bühlmann, 1970) y se apoya en el enfoque de *Value at Risk* (VaR).

El propósito del modelo es determinar la función de la distribución de pérdidas agregadas, combinando la distribución de probabilidad de frecuencia y la función de probabilidad para severidad, para obtener el percentil que valore las pérdidas por RO de una entidad, ya sea por el tipo de evento o la línea de negocio. El percentil estima un valor denominado *OPVaR*, con el que se pueden calcular las

pérdidas esperadas y no esperadas por RO; además, es una medición de tipo estadístico y, por consiguiente, requiere el establecimiento de unos parámetros para así determinar la amplitud de la desviación de los datos que se encuentran entre la pérdida esperada (media de la distribución) y el *OPVaR*.

Entre los parámetros recomendados por CBSB (2006) que se deben establecer están:

- Intervalo o nivel de confianza del 99,9%.
- Plazo o unidad de tiempo: sugiere que la estimación debe ir referida a un horizonte temporal de un año.
- Moneda de referencia: el *OPVaR* de una línea de negocio se expresa en unidades monetarias.
- Hipótesis sobre la distribución de la variable: el CBSB (2003), en Basilea II se proponía la distribución *log-normal* para aproximar la severidad y la distribución *poisson* para la frecuencia; sin embargo, las distribuciones seleccionadas deben ser las que mejor se ajusten al histórico de pérdidas observadas.

El LDA ha sido ampliamente utilizado en el sector financiero del entorno internacional, ya que provee una técnica adecuada a la necesidad de presentar el requerimiento del capital económico sugerido por Basilea y solicitado por los entes supervisores de los países miembros. En diferentes trabajos se ha utilizado el LDA para el cálculo del requerimiento de capital por la exposición a riesgo operacional (Chernoval, Svetlozar y Fabozzi, 2007; Frachot, Georges y Roncalli, 2001; Jöhnemark, 2012; Shevchenko y Peters, 2013, entre otros).

En Colombia, el LDA tiene menos vigencia en su aplicación; sin embargo, existen trabajos realizados por varios autores que aportan a su avance. Mora-Valencia (2010), por ejemplo, calcula las pérdidas por RO, utilizando dos metodologías: la primera, con la aplicación del modelo propuesto por Böcker y Klüppelberg (2010), con ajuste de distribuciones subexponenciales; la segunda, con la teoría de valor extremo. Por su parte, Franco-Arbeláez y Murillo-Gómez (2008) aplican el LDA para los siete tipos de eventos por RO a una entidad comisionista de bolsa, con el fin de estimar la carga de capital. También Bernal-Gaviria (2013) utiliza la literatura y normativa del sector financiero del LDA, y lo contextualiza a una PYME. Finalmente, Arias-Pineda (2010) utiliza el proceso del LDA con los datos de la cola de la distribución y desarrolla la teoría de valor extremo.

Para el desarrollo del modelo LDA se hace necesario contar con una base de datos suficiente que permita realizar los análisis necesarios a la distribución de pérdidas desde los

dos elementos fundamentales que sustentan el modelo: la frecuencia y la severidad.

La variable *frecuencia* corresponde al número de eventos que se da en un intervalo de tiempo definido, y se expresa como $P_{i,j}(n) = \text{Prob}(N_{i,j} = n)$. Esta variable es una distribución discreta, y las más utilizadas son *binomial negativa*, *Poisson* y *geométrica*. Según algunos autores (Frachot y Salomon, 2004; Mignola y Ugocioni, 2005; Carrillo y Suárez, 2006), la distribución de *Poisson* (utilizada con éxito en las técnicas actuariales de seguros) es una candidata con muchas ventajas para modelar la frecuencia, pues se caracteriza por un único parámetro: λ , que presenta por término medio el número de sucesos ocurridos en un año.

La variable *severidad* o *impacto de las pérdidas* corresponde al valor de la pérdida individual, y se representa como $F_{i,j}(x) = \text{Prob}(x_{i,j} = x)$. Esta variable forma una distribución continua, y las más utilizadas para RO son *log-normal*, *exponencial*, *Weibull* y *Gumbel*. Pero existen más distribuciones paramétricas para realizar el ajuste de la severidad. Así, Fontnouvelle, Rosengren y Jordan (2004) proponen la *distribución de Pareto*, mientras que Böcker y Klüppelberg (2005) proponen la *Weibull*; por otra parte, Carrillo y Suárez (2006) añaden a estas la *Gamma*, coincidiendo con Mignola y Ugocioni (2005).

La combinación de las *distribuciones de frecuencia* y *severidad* es lo que genera la distribución de *pérdidas agregadas* y se realiza mediante una convolución con simulaciones de Montecarlo, por ejemplo. La convolución se da por el proceso que se genera al mezclar la *distribución de frecuencia*, que es una variable aleatoria discreta, con la *distribución de severidad*, que es una variable aleatoria continua.

El procedimiento para el LDA se lleva a cabo con algunos supuestos que se trabajan en las ciencias actuariales (los supuestos dos y tres fueron propuestos por Frachot, Roncalli y Salomon (2004)):

- **Supuesto 1.** Los valores de frecuencia y severidad de las pérdidas por RO son variables aleatorias independientes
- **Supuesto 2.** Los valores de severidad de las pérdidas por RO para un mismo evento de riesgo se distribuyen idénticamente
- **Supuesto 3.** Los valores de severidad de las pérdidas por RO para un mismo evento de riesgo son independientes

Una de las discusiones que se ha generado en torno al LDA es que se centra en el cuerpo de la distribución, es decir, se orienta a determinar la pérdida de los eventos que ocurren

con mayor frecuencia y bajo impacto; sin embargo, de acuerdo con las características de la distribuciones de pérdidas para RO, con presencia de alta curtosis y asimetría a la derecha, se hace necesario complementar el modelo con otros que le den importancia a las colas de la distribución.

Cabe resaltar que, para la obtención de la distribución de pérdidas agregadas, se proponen cuatro posibles técnicas:

- La transformada rápida de Fourier (Klugman, Panjer y Willmot, 2004).
- El algoritmo recursivo de Panjer (Panjer, 1981).
- El enfoque de simulación por Montecarlo (Klugman, Panjer y Willmot, 2004).
- La aproximación de la pérdida simple (Böcker y Klüppelberg, 2005).

Metodología

Los datos de pérdidas por RO proceden de una entidad financiera con un nivel de activos que no supera los 800 mil millones de pesos. Las operaciones que realiza se concentran en la banca personal y minorista, y es esta línea en donde se concentra la aplicación del LDA, con una ventana de observación de cinco años. En la línea que realiza su principal actividad (Línea de negocio 1), se destacan tres tipos de eventos:

- Evento 1: Ejecución y Administración de Procesos.
- Evento 2: Fraude Externo.
- Evento 3: Fraude Interno.

Una vez organizados y depurados los datos de pérdidas, se realiza un análisis estadístico general, de formas de la distribución, de datos atípicos, de evaluación de normalidad y de característica asintótica de extremos, en las siguientes categorías:

- Total de pérdidas de la entidad en pesos.
- Línea de negocio de mayor participación en las operaciones de la entidad.
- Tipo de evento en la línea de negocio de mayor participación.

Para el análisis estadístico, se revisaron las metodologías utilizadas por diferentes autores, entre otros, la de Jiménez-Rodríguez (2011).

Análisis estadístico distribución de pérdidas totales de la entidad

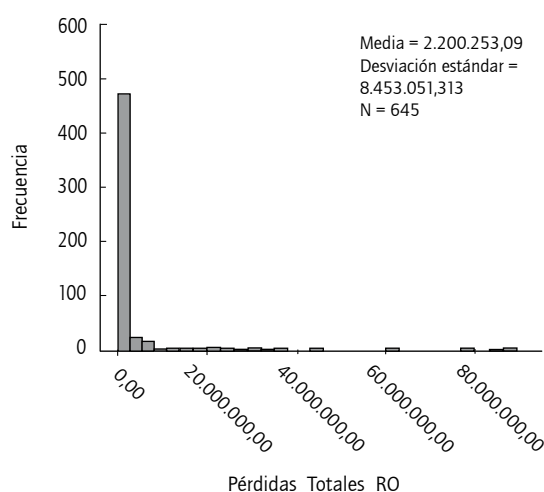
Un resumen estadístico de los datos de pérdida se presenta en la tabla 2.

Tabla 2.
Estadística descriptiva de pérdidas totales RO.

Medida	Valor
Media	\$2.200.253
Mediana	\$149.990
Moda	\$75.000
Desviación estándar	\$8.453.051
Curtosis	60,058
Asimetría	7,145
Mínimo	\$20.394
Máximo	\$87.832.994
Rango	\$87.812.600

Nota. Resultados de análisis de datos. Fuente: elaboración propia

La información estadística muestra que la media es muy superior a la mediana, un indicio de asimetría positiva. El intervalo de movimiento de las pérdidas es muy amplio, oscila entre 20 mil y 88 millones de pesos, lo que genera una alta dispersión. El 50% de los eventos presenta pérdidas inferiores a \$150.000, lo que lleva a pensar en una distribución con colas pesadas. Esta información se confirma con los resultados de curtosis y coeficiente de asimetría que muestran la forma de la distribución, con un exceso de curtosis de 60.058 y dirección a la derecha por la asimetría positiva en 7.145, que se puede observar en la gráfica 1.



Gráfica 1. Histograma de pérdidas totales RO. Fuente: elaboración propia.

En cuanto a la normalidad de la distribución, la prueba de Kolmogorov-Smirnov (κ -s), considerada como un test robusto para evaluar las condiciones de la distribución de

pérdidas, indica que no hay razones para suponer que los datos de pérdidas por RO se acercan al comportamiento de una distribución normal. Para un nivel de confianza del 95%, la prueba κ -s se encuentra por debajo de la significancia para la prueba, que es del 5%, rechazando la hipótesis de normalidad de la distribución, como lo demuestra la tabla 3.

Tabla 3.
Prueba de normalidad pérdidas totales RO.

Prueba de normalidad			
	Kolmogorov-Smirnova		
	Estadístico	gl	Sig.
Pérdidas_Totales_ro	0,398	645	0,000%
a. Corrección de significación de Lilliefors			

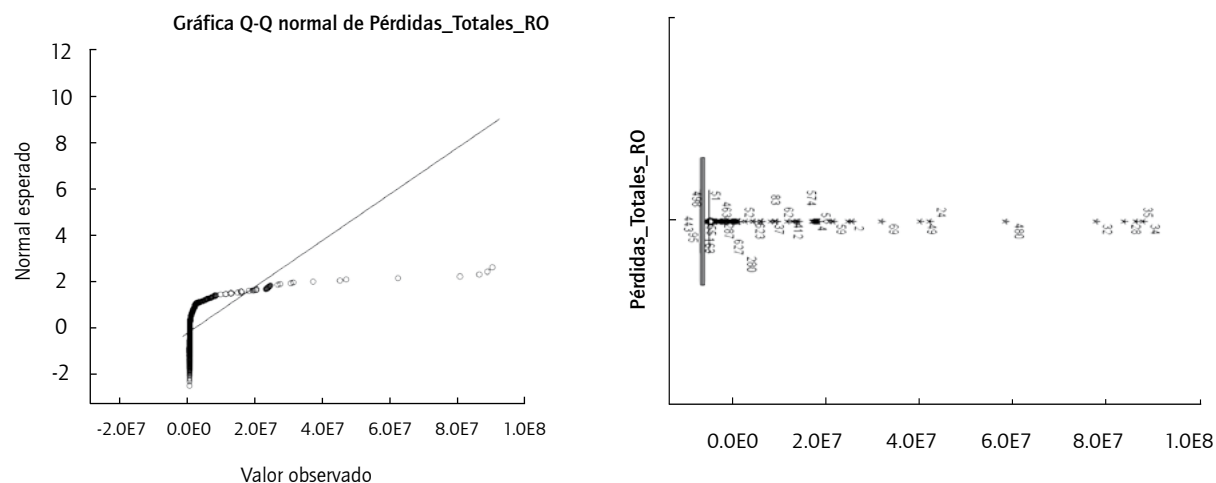
Nota. gl: Grados de libertad; sig.: Significancia o p valor. Fuente: Resultados SPSS. Elaboración propia

El gráfico Q-Q o cuantil cuantil muestra que los datos de pérdidas por RO se alejan de la diagonal que representa la distribución teórica normal. Además, hay una tendencia a agruparse los datos hacia la izquierda, lo que demuestra el problema de la asimetría y curtosis. Esto también se refleja en el gráfico de caja, donde se aprecia gran cantidad de datos alejados del grupo y se encuentran a la derecha de la distribución, los que podrían ser considerados como datos atípicos (gráfica 2).

En el análisis de las pérdidas totales por RO se observa un comportamiento de alta asimetría y curtosis, lo que conlleva a evaluar si la distribución es asintótica de extremos y a revisar las características de los cuartiles en la tabla 4.

Los valores mínimos, máximos y cuartiles permiten evaluar la dispersión de los datos o la forma como están distribuidos. Con un rango total de \$87.833.000 y un rango intercuartílico de \$663.000, se evidencia la alta dispersión de los datos en las colas de la distribución. Las diferencias entre el *cuartil 1* (Q1) y el valor mínimo, por una parte, y entre el *cuartil 3* (Q3) y el máximo valor, por otra, determinan el nivel de dispersión que se encuentra en la cola derecha. Mientras que en la cola izquierda el resultado es de \$40.200, en la derecha el resultado es \$87.110.000.

Para establecer la concentración de pérdidas pequeñas, se revisa el Q3, encontrando que el 75% de las pérdidas por RO son inferiores a \$723.750, y el 25% es superior a este valor con un máximo de 88 millones de pesos. Además, en el análisis de los cuartiles y valores máximos, se encuentra que estas distribuciones de pérdidas son asintóticas y pertenecen a la estadística de valores extremos, con datos de pérdidas con poca frecuencia y alta severidad.



Gráfica 2. q-q y Caja de pérdidas totales por RO. *Nota.* La gráfica q-q (izquierda) compara los datos observados con la distribución teórica normal y en el diagrama de Caja (derecha) se observa la distribución de los datos en los cuartiles. Fuente: elaboración propia.

Tabla 4.
Características asintóticas pérdidas totales RO.

Mín	Q1	Q2	Q3	Máx	Rango	Rango intercuartílico
0%	25%	50%	75%	100%	Máx-Mín	$q3-q1$
\$20.394	\$60.599	\$149.990	\$723.750	\$87.832.994	\$87.812.600	\$663.151

Nota. Datos para análisis de dispersión en el centro y las colas de la distribución. Fuente: elaboración propia

Análisis estadístico de la distribución de pérdidas de la línea de negocio de mayor participación para la entidad (línea de negocio 1)

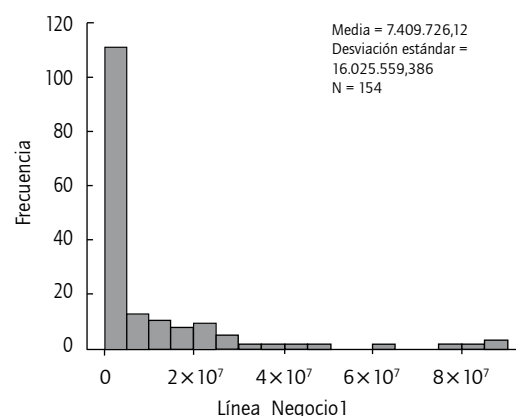
Un resumen de los datos estadísticos de la distribución de pérdidas se encuentra en la tabla 5.

Tabla 5.
Estadística descriptiva de pérdidas para la línea de negocio 1.

Medida	Valor
Media	\$7.409.726
Mediana	\$738.750
Moda	\$75.000
Desviación estándar	\$16.025.559
Curtosis	12,857
Asimetría	3,429
Rango	\$87.810.825
Mínimo	\$22.169
Máximo	\$87.832.994

Nota. Resultados análisis de datos. Fuente: elaboración propia.

La información muestra nuevamente que la media es un valor muy alto, comparado con la mediana; es decir, la tendencia de la distribución es a tener asimetría a la derecha con una alta dispersión, que se evidencia en la desviación estándar y en el rango o intervalo de movimiento de los datos. El histograma que se presenta en la gráfica 3 muestra las características prominentes en este tipo de distribución,



Gráfica 3. Histograma de pérdidas para la línea de negocio 1. Fuente: elaboración propia

Es claro que la alta dispersión de los datos de pérdidas por π_0 para esta línea de negocio se presenta en la parte superior de la distribución; por su parte, el test de normalidad κ -s confirma que, al presentar datos muy dispersos a la derecha, no se comporta como una distribución normal (tabla 6).

Tabla 6.
Test de normalidad de pérdidas para la Línea de negocio 1.

Pruebas de normalidad			
	Kolmogorov-Smirnova		
	Estadístico	gl	Sig.
Línea_Negocio1	0,322	154	0,000%
a. Corrección de significación de Lilliefors			

Fuente: elaboración propia.

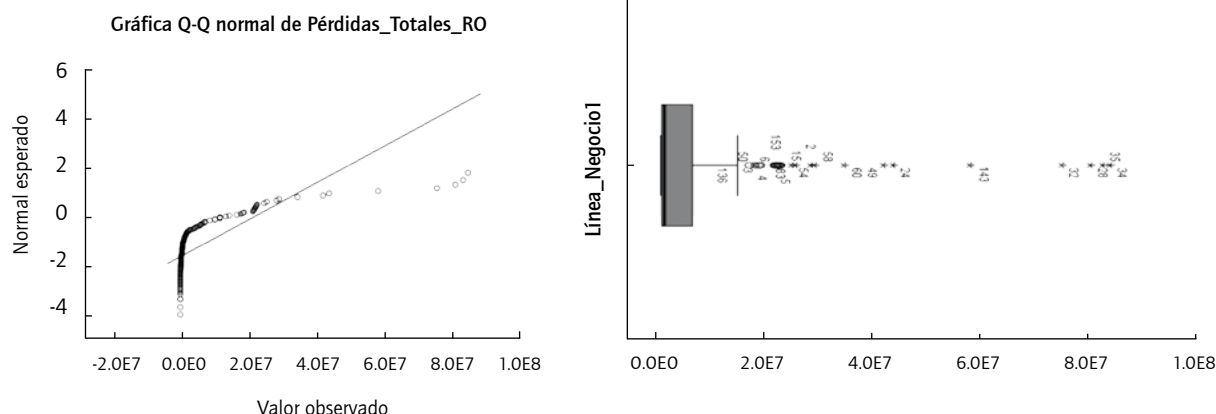
Los gráficos de q-q y caja también evidencian que existen datos muy dispersos a la derecha, como se observar en la gráfica 4.

Con relación al análisis de la distribución, desde el punto de vista de los cuartiles para determinar qué tan asintótica es hacia la derecha, se aprecia en la tabla 7.

Los valores mínimos, máximos y cuartiles permiten determinar el comportamiento de los datos extremos para esta línea de negocio. Con un rango de 88 millones de pesos y un rango intercuartílico de 6 millones de pesos, se evidencia la alta dispersión de los datos en las colas. Pero al calcular la diferencia entre el q1 y el valor mínimo y la diferencia entre el q3 y el máximo valor, se observa que esta dispersión está hacia la derecha de la distribución con valores muy extremos.

Análisis estadístico de distribución de pérdidas por tipos de eventos

En este análisis se destacan tres eventos representativos por su impacto financiero en la línea de negocio seleccionada, así como se realiza una revisión de los datos estadísticos para determinar las características de cada una de las distribuciones y el comportamiento asintótico de las pérdidas totales (alta curtosis y asimetría a la derecha), tal y como se presenta en la tabla 8.



Gráfica 4. Q-Q y caja de pérdidas para la Línea de negocio 1. *Nota.* La gráfica Q-Q (izquierda) compara los datos observados con la distribución teórica normal y en el diagrama de caja (derecha) se observa la distribución de los datos en los cuartiles para la Línea de negocio 1. Fuente: elaboración propia.

Tabla 7.
Características asintóticas pérdidas π_0 para la Línea de negocio 1.

Mín	q1	q2	q3	Máx	Rango	Rango intercuartílico
0%	25%	50%	75%	100%	Máx-Mín	q3-q1
\$22.169	\$184.500	\$738.750	\$6.236.214	\$87.832.994	\$87.810.825	\$6.051.714

Nota. Datos para análisis de dispersión en el centro y las colas de la distribución.

Fuente: elaboración propia.

Tabla 8.
Estadísticos pérdidas RO por tipos de eventos.

Estadística Descriptiva	Evento 1	Evento 2	Evento 3
Media	\$4.184.192	\$16.535.032	\$7.590.168
Mediana	\$546.461	\$2.171.474	\$3.268.073
Moda	\$75.000	\$1.200.000	\$7.500.000
Desviación estándar	\$11.553.084	\$25.090.913	\$10.646.648
Curtosis	31,403	2,784	4,183
Asimetría	5,105	1,894	1,987
Rango	\$86.350.079	\$87.689.916	\$43.555.460
Mínimo	\$22.169	\$143.078	\$30.000
Máximo	\$86.372.247	\$87.832.994	\$43.585.460

Nota. Resultados análisis de datos. Fuente: elaboración propia.

Los tres tipos de eventos presentan características similares a la distribución de pérdidas totales por RO, exceso de curtosis y asimetría a la derecha; sin embargo, el evento 1 tiene la de mayor dispersión y el evento 2, la mayor desviación estándar. Estos aspectos se pueden observar en el histograma de la gráfica 5.

Los resultados de las pruebas de normalidad con el test κ -s de cada uno de los eventos seleccionados se encuentran en la tabla 9.

Tabla 9.
Test de normalidad pérdidas RO de los Eventos 1, 2 y 3.

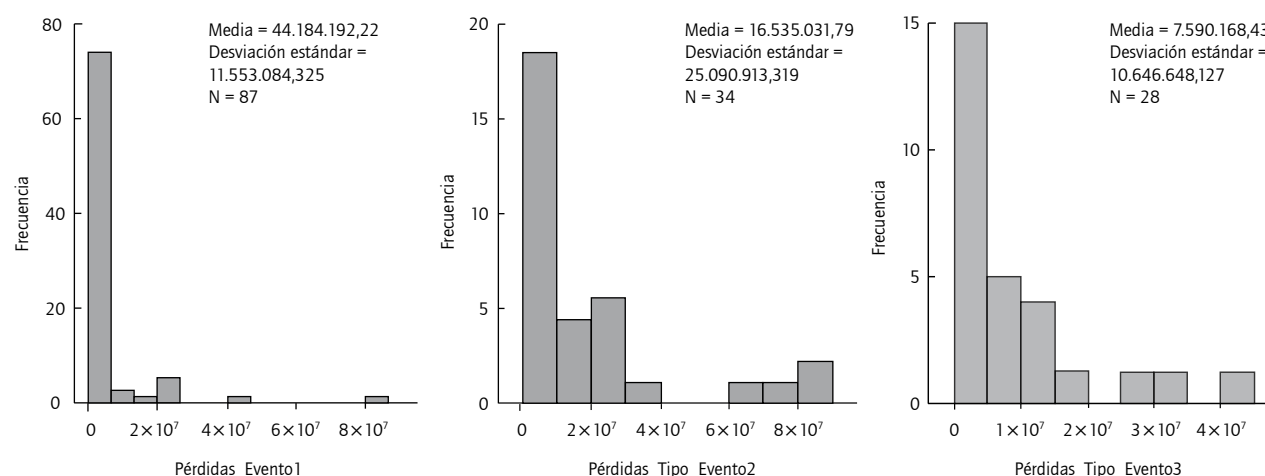
k-s	Evento 1	Evento 2	Evento 3
Estadístico	0,359	0,257	0,239
p-valor	0,0000%	0,0005%	0,0010%

Fuente: elaboración propia.

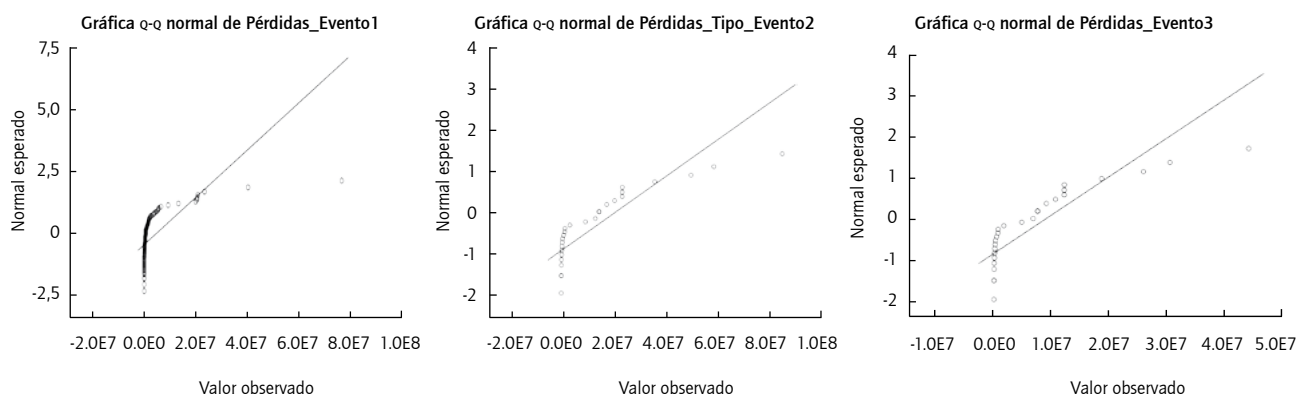
En ninguno de los casos, las distribuciones se comportan como una normal; el p -value es inferior al nivel de significancia del 5%, lo que significa que en los análisis para el cálculo de pérdidas esperadas y no esperadas por RO no es posible asumir distribuciones normales.

Los gráficos de Q-Q y Caja ratifican estas características, aunque más pronunciadas en el Evento 1. Las gráficas 6 y 7 muestran que en los tres casos existen datos alejados del grupo hacia la derecha de la distribución.

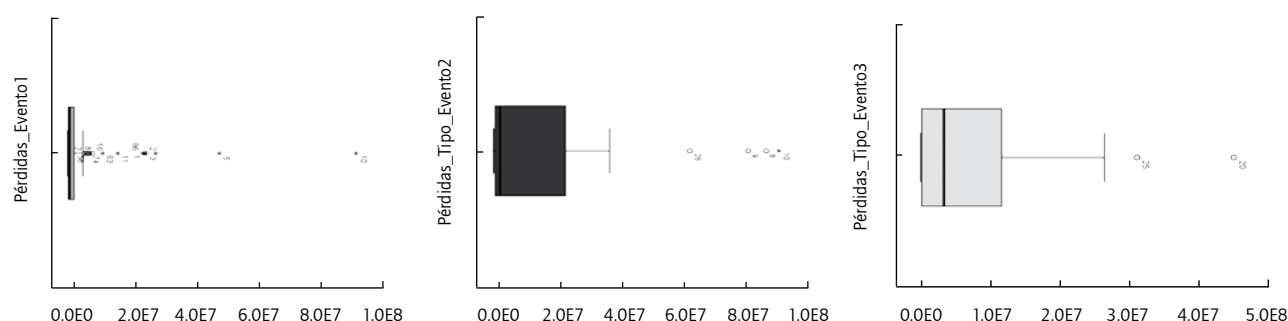
Ahora, una revisión de los cuartiles para los tres eventos se muestra en la tabla 10. De acuerdo con esta tabla, la tendencia de las pérdidas por RO siguen siendo sesgadas a la derecha de la distribución, especialmente en el evento 1; es así como, al comparar el rango intercuartílico con el rango total, la dispersión se percibe más hacia las colas, mientras que cuando se revisa la diferencia entre los valores



Gráfica 5. Histogramas pérdidas RO de los eventos 1, 2 y 3. Fuente: elaboración propia.



Gráfica 6. Q-Q pérdidas RO de los eventos 1, 2 y 3. *Nota.* Se presenta la gráfica q-q para los tres eventos en la línea de negocio 1, y compara los datos observados con la distribución teórica normal. Fuente: elaboración propia.



Gráfica 7. Caja y Bigotes de pérdidas por RO para los eventos 1, 2 y 3. *Nota.* En el diagrama de Caja se observa la distribución de los datos en los cuartiles para los tres eventos. Fuente: elaboración propia.

mínimos y q1, comparado con la diferencia entre q3 y valor máximo, esta dispersión aparece hacia la cola derecha de las distribuciones.

Con los análisis estadísticos se puede concluir lo siguiente:

- En los diferentes grupos de pérdidas por RO se presentan distribuciones de alta dispersión con rango amplio y desviación estándar muy superior a la media.
- En las distribuciones de pérdidas para RO agrupadas por pérdidas totales, líneas de negocio y tipos de eventos se presentan características similares en cuanto a la forma de la distribución, alta curtosis y asimetría a la derecha
- Ninguna de las distribuciones analizadas presenta normalidad.

Tabla 10.
Análisis de cuartiles pérdidas RO eventos 1, 2 y 3.

	Mín	q1	q2	q3	Máx	Rango	Rango intercuartílico
	0%	25%	50%	75%	100%	Máx-Mín	q3-q1
Evento 1	\$22.169	\$125.456	\$546.461	\$2.080.677	\$86.372.247	\$86.350.079	\$1.955.222
Evento 2	\$143.078	\$639.339	\$2.171.474	\$22.477.196	\$87.832.994	\$87.689.916	\$21.837.857
Evento 3	\$30.000	\$157.500	\$3.268.073	\$11.679.000	\$43.585.460	\$43.555.460	\$11.521.500

Nota. Datos para análisis de dispersión en el centro y las colas de la distribución de los tres eventos. Fuente: elaboración propia.

- En las diferentes distribuciones se muestra una alta dispersión de los datos en el extremo superior (75% a 100%).
- En los estadísticos de orden analizados como mínimos, máximos, cuartiles, rango y mediana se muestran comportamientos de distribuciones asintóticas de extremo.

riesgo, se aplica el LDA. La metodología en el desarrollo de este modelo se esquematiza en la figura 1.

Además, la misma metodología se presenta en la gráfica 8.

Resultados

Con los tres eventos representativos de la línea de negocio de mayor participación para la entidad descrita en la metodología, se determinan los parámetros de las distribuciones de *frecuencia* y *severidad*, como componentes

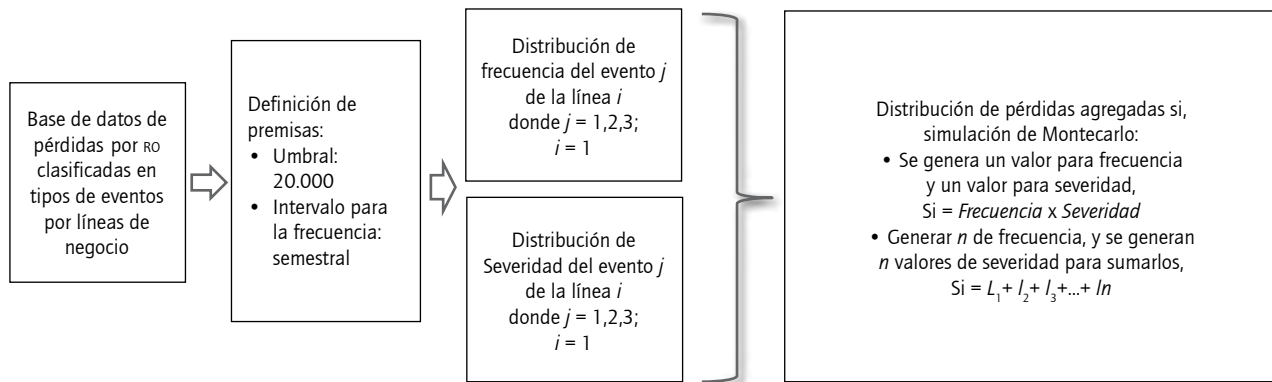
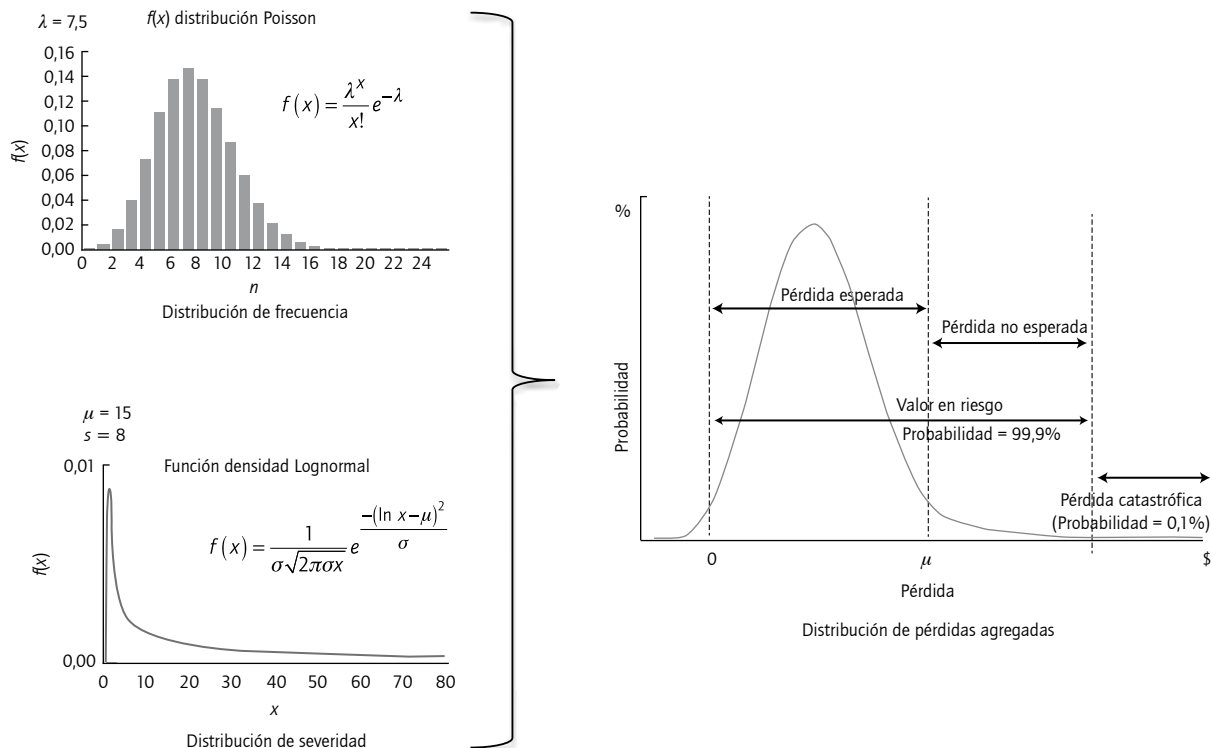


Figura 1. Esquema del proceso de LDA. Fuente: elaboración propia.



Gráfica 8. Esquema del LDA. Nota. Modelo LDA: distribución de frecuencia y severidad de las pérdidas por RO, que se combinan para obtener la distribución de pérdidas agregadas. Fuente: elaboración propia.

fundamentales para determinar las pérdidas esperadas y no esperadas por RO.

Las distribuciones de mayor ajuste para *frecuencia* y *severidad* de cada uno de los eventos se presenta en la tabla 11, en la que se aprecian las distribuciones de *frecuencia* de mejor ajuste para los tipos de evento analizados son la *binomial negativa* y la *geométrica*, que son algunas de las mencionadas por diferentes autores e investigadores mencionados con antelación en los temas relacionados con la medición del RO. Para la distribución de *severidad*, en todos los casos de eventos por riesgo operacional analizados, la distribución lognormal es la que mejor se ajusta.

La distribución de pérdidas agregadas se obtiene de la convolución entre *frecuencia* y *severidad* por los dos métodos descritos en la metodología:

Método 1

Utilizando las herramientas del simulador de riesgo (*Risk Simulator*), se generan múltiples iteraciones M (5.000, 10.000, ...) para las dos distribuciones que identifican el evento de riesgo: *frecuencia* (F) y *severidad* (S), y la distribución de pérdidas agregadas $LDA = F \times S$.

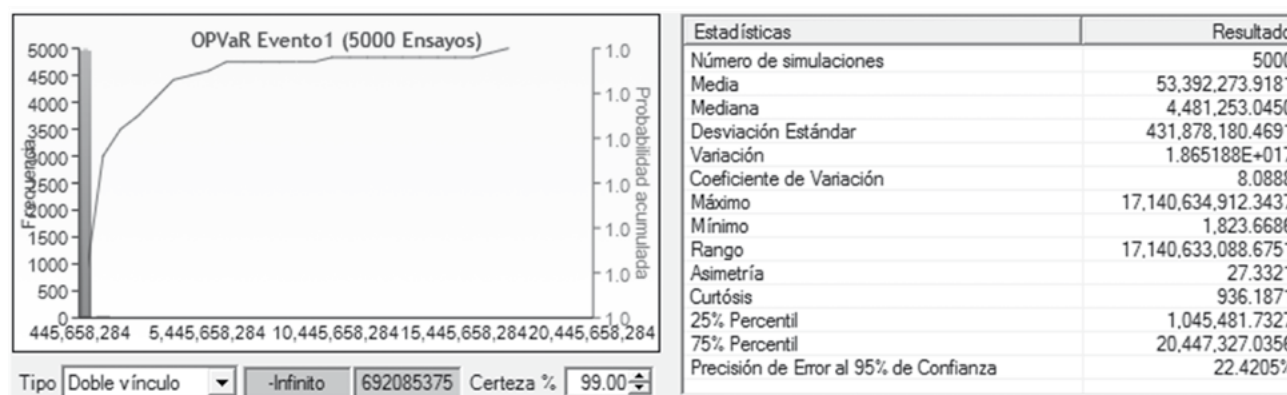
Para el cálculo de la pérdida esperada y no esperada se obtiene el OpVaR con el percentil seleccionado, que en este caso es de 95%, 99% y 99.9% de confianza. Los resultados obtenidos para los tres eventos de RO se presentan en las gráficas 9, 10 y 11.

Para el cálculo de las pérdidas esperadas (EL) y no esperadas (UL), se utilizan las relaciones de la tabla 12:

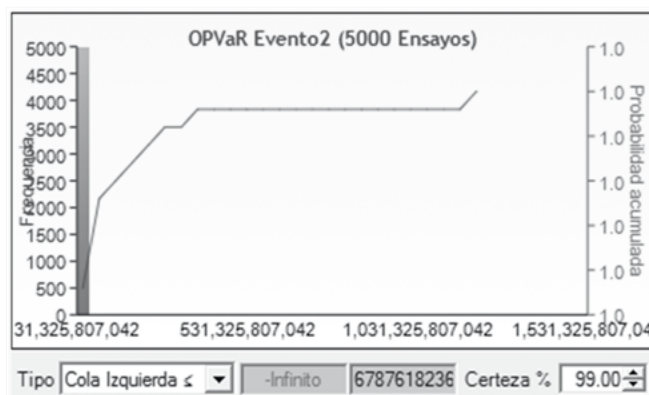
Tabla 11.
Distribuciones de frecuencia y severidad por tipo de evento.

Evento	Frecuencia			Severidad		
		Parámetros			Parámetros	
Evento 1	Distribución	Probabilidad		Distribución	Media	Desv. Estándar
	Geométrica	0,0717		Logarítmica Normal	3.765.605	25.618.335
Evento 2		Parámetros			Parámetros	
	Distribución	Éxito Requerido	Probabilidad	Distribución	Media	Desv. Estándar
	Binomial Negativa	13	0,797	Logarítmica Normal	172.013.028	8.344.800.314
Evento 3		Parámetros			Parámetros	
	Distribución	Éxito Requerido	Probabilidad	Distribución	Media	Desv. Estándar
	Binomial Negativa	1	0,186	Logarítmica Normal	72.339.671	2.405.976.797

Nota. Para cada tipo de evento se seleccionó la distribución de frecuencia y severidad de mejor ajuste.
Fuente: elaboración propia.

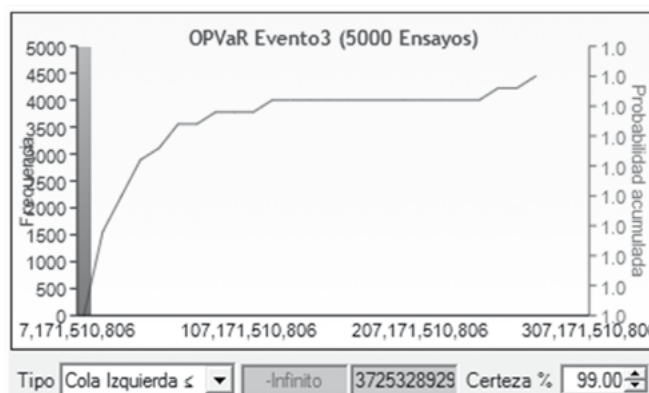


Gráfica 9. Distribución de pérdidas agregadas del simulador de riesgo para el evento 1. Fuente: elaboración propia.



Estadísticas	Resultado
Número de simulaciones	5000
Media	791,533,598.1020
Mediana	7,981,222.3280
Desviación Estándar	18,765,423,355.0252
Variación	3.521411E+020
Coefficiente de Variación	23.7077
Máximo	1.204839E+012
Mínimo	0.0000
Rango	1.204839E+012
Asimetría	55.2091
Curtosis	3,428.2482
25% Percentil	961,960.6538
75% Percentil	55,399,760.7618
Precisión de Error al 95% de Confianza	65.7131%

Gráfica 10. Distribución de pérdidas agregadas del simulador de riesgo para el evento 2. Fuente: elaboración propia.



Estadísticas	Resultado
Número de simulaciones	5000
Media	359,664,456.9897
Mediana	3,211,415.1492
Desviación Estándar	5,987,169,821.3324
Variación	3.584620E+019
Coefficiente de Variación	16.6465
Máximo	275,827,338,676.9880
Mínimo	0.0000
Rango	275,827,338,676.9880
Asimetría	36.8200
Curtosis	1,543.4936
25% Percentil	152,275.1856
75% Percentil	29,805,134.5907
Precisión de Error al 95% de Confianza	46.1410%

Gráfica 11. Distribución de pérdidas agregadas del simulador de riesgo para el evento 3. Fuente: elaboración propia.

Tabla 12.
Relación de pérdidas.

OPVaR EL+UL	Pérdida esperada (EL)	Pérdida no esperada (UL)
Percentil según el nivel de confianza	Media de la distribu- ción de pérdidas agre- gadas: μ	OPVaR - EL

Nota. Cálculo de las pérdidas esperadas y no esperadas.
Fuente: elaboración propia.

Teniendo en cuenta las definiciones anteriores, las pérdidas asociadas para cada tipo de evento analizado se aprecian en las tablas 13, 14 y 15.

Según las pérdidas semestrales por RO, el evento 1 es el que exige menor valor para el capital económico y la pérdida esperada no supera el 40% del OPVaR, con nivel de confianza del 95%; sin embargo, esta relación se reduce aceleradamente para el 99% y 99,9%.

El evento 2 es el que presenta mayor pérdida esperada y no esperada; además, la pérdida esperada es casi el 90% del OPVaR con nivel de confianza del 95%, y se disminuye al 11% para el 99%.

En conclusión, para todos los eventos, al aumentar el nivel de confianza el OPVaR se incrementa entre 4 y 16 veces, lo que se obtiene por las características que presentan estas distribuciones, con asimetría en la cola derecha y alta curtosis, es decir, distribuciones asintóticas de extremo derecho.

Método 2

Se realiza la simulación de Montecarlo utilizando programación en el *software* de Matlab, de acuerdo con las distribuciones de *frecuencia* y *severidad* para cada evento de riesgo. La metodología utilizada tiene en cuenta la propuesta por Franco-Arbeláez (2009). En esta simulación, se utilizan los siguientes pasos para programar el algoritmo:

- Se ingresan los parámetros de las distribuciones de frecuencia y severidad para cada evento de RO.
- Se genera un valor n de la distribución de frecuencia.
- Con base en el valor de n , se generan n valores aleatorios de la distribución de severidad $L_1, L_2, L_3, \dots, L_n$.

Tabla 13.

Pérdidas esperadas y no esperadas con simulador de riesgo evento 1, metodología 1.

Nivel de Confianza	OPVaR EL+UL	EL	UL	Ratio EL/OPVaR
95%	\$155.829.197	\$53.392.274	\$102.436.923	34,3%
99%	\$692.085.375	\$53.392.274	\$638.693.101	7,7%
99,9%	\$5.419.122.582	\$53.392.274	\$5.365.730.308	1,0%

Fuente: elaboración propia.

Tabla 14.

Pérdidas esperadas y no esperadas con simulador de riesgo evento 2, metodología 1.

Nivel de Confianza	OPVaR EL+UL	EL	UL	Ratio EL/OPVaR
95%	\$889.887.108	\$791.533.598	\$98.353.510	88,9%
99%	\$6.787.618.237	\$791.533.598	\$5.996.084.639	11,7%
99,9%	\$110.765.995.715	\$791.533.598	\$109.974.462.117	0,7%

Fuente: elaboración propia.

Tabla 15.

Pérdidas esperadas y no esperadas con simulador de riesgo evento 3, metodología 1.

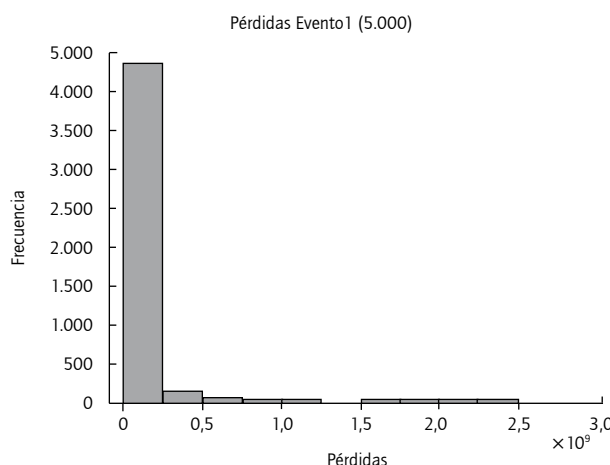
Nivel de Confianza	OPVaR EL+UL	EL	UL	Ratio el/OPVaR
95%	\$496.535.346	\$359.664.457	\$136.870.889	72,4%
99%	\$3.725.328.929	\$359.664.457	\$3.365.664.472	9,7%
99,9%	\$64.201.589.892	\$359.664.457	\$63.841.925.435	0,6%

Nota. Tablas 13, 14 y 15 son resultados de la simulación de Montecarlo.

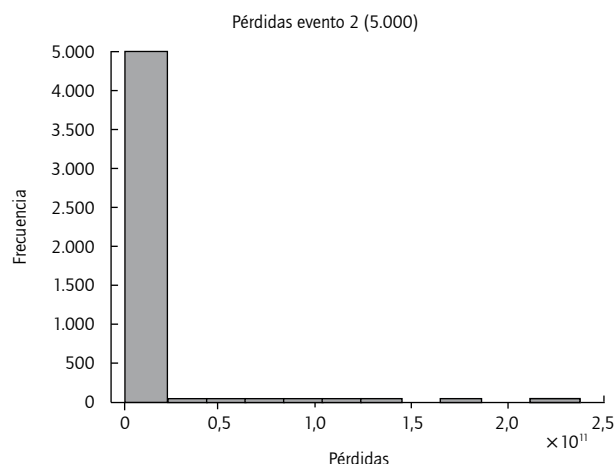
Fuente: elaboración propia.

- Se suman los valores de severidad y se forma la variable S_i , donde $S_i = L_1, L_2, L_3, \dots, L_n$.
- Los tres pasos anteriores se repiten un número de veces grande M (5.000, 10.000,...)
- Con los M resultados de S_i , se obtiene una distribución de pérdidas agregadas que finalmente generan el valor de las pérdidas esperadas y no esperadas por riesgo operacional al 95%, 99% o 99,9% de confianza.

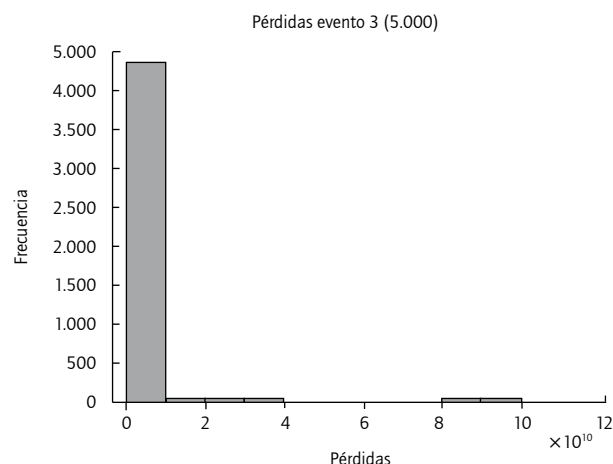
Las distribuciones de pérdidas agregadas para cada tipo de evento se presentan en las gráficas 12, 13, y 14.



Gráfica 12. Distribución de pérdidas agregadas para el Evento 1. Fuente: elaboración propia.



Gráfica 13. Distribución de pérdidas agregadas para el evento 2. Fuente: elaboración propia.



Gráfica 14. Distribución de pérdidas agregadas para el evento 3. Fuente: elaboración propia.

Las gráficas 12, 13 y 14 presentan distribuciones de pérdidas agregadas con alta asimetría a la derecha y, de acuerdo con los datos de la tabla 17, el evento 2 presenta el mayor valor de las pérdidas por RO para los tres niveles de confianza, mientras que el Evento 1, el menor valor.

Los resultados de las pérdidas esperadas y no esperadas para cada evento se muestran en las tablas 16, 17 y 18:

Por otra parte, la relación entre las pérdidas esperadas y el OPVaR para el 95% de confianza presentan valores más homogéneos que oscilan entre el 25% y 30%, comparado

con los resultados del método 1. En la medida que se incrementa el nivel de confianza, el incremento del OPVaR está entre 3 y 6 veces, lo que significa un nivel de pérdidas más bajo que la primera metodología.

Confrontando los dos métodos con simulación de Montecarlo, los resultados de OPVaR obtenidos se presentan en la tabla 19.

Con la base de datos trabajada y analizada para los tres tipos de riesgo y los resultados de la tabla 19, en la que se comparan los dos métodos, se puede recapitular lo siguiente:

Tabla 16.
Pérdidas esperadas y no esperadas con Matlab de riesgo para el evento 1, método 2.

Nivel de Confianza	OPVaR EL+UL	EL	UL	Ratio EL/OPVaR
95%	\$187.042.605	\$51.037.300	\$136.005.305	27,3%
99%	\$390.265.843	\$51.037.300	\$339.228.543	13,1%
99,9%	\$1.350.849.416	\$51.037.300	\$1.299.812.116	3,8%

Fuente: elaboración propia.

Tabla 17.
Pérdidas esperadas y no esperadas de riesgo para el evento 2, método 2.

Nivel de Confianza	OPVaR EL+UL	EL	UL	Ratio EL/OPVaR
95%	\$1.774.779.092	\$540.503.809	\$1.234.275.283	30,5%
99%	\$8.052.164.279	\$540.503.809	\$7.511.660.470	6,7%
99,9%	\$50.146.270.720	\$540.503.809	\$49.605.766.911	1,1%

Fuente: elaboración propia.

- Para un nivel de confianza del 95%, el evento 1 presentó la menor variación en pérdidas, con un rango entre 156 y 187 millones, es decir, una variación del 20% aproximadamente, mientras que los eventos 2 y 3 presentaron diferencias de pérdidas que oscilan entre 890 y 1.775 millones, y 496 y 1.026 millones, respectivamente, es decir, superan un 90% la variación. Para un nivel de confianza del 99%, estos diferenciales de pérdidas por los dos métodos presentan menos variación: 77,34% para el evento 1; 18,6% para el evento 2, y 13,7% para el evento 3.
- Siguiendo lo recomendado por Basilea, con un 99,9% de confianza, las diferencias son significativas para los tres eventos; los dos métodos reflejan resultados distantes, así: 120,9%, en el evento 2; 301%, en el evento 1, y el mayor diferencial en el evento 3, con el 325%. Es decir, a mayor pérdida, mayor será la variación con un máximo nivel de confianza.
- Los resultados anteriores reflejarían provisiones semestrales por pérdida operacional, utilizando el acumulado individual y el promedio para los tres eventos y los dos métodos, correspondiente a un mínimo de \$2.265 millones, con un 95% de nivel de confianza; \$11.942 millones con un nivel de confianza del 99%, y un escenario extremo de \$123.491 millones, para el 99,9% de confianza.

No obstante, no es posible decir que un método es mejor que el otro hasta que sea posible realizar pruebas como el *backtesting* para comparar lo estimado a partir del modelo con lo realmente ocurrido, con el fin de evaluar la precisión de los modelos. Al comparar las pérdidas calculadas con los valores que realmente se dieron en un periodo determinado, se puede validar el modelo y determinar su nivel de precisión (D&A Consultores, 2005).

Conclusiones

La etapa de cuantificación de riesgos financieros se ha convertido en una pieza importante para determinar el nivel de capital regulatorio que debe mantener todo tipo de entidad financiera. Por esta razón, el análisis de RO utiliza diversas técnicas de modelación, como es el caso de la simulación de Montecarlo, con el propósito de obtener un intervalo de valores múltiples que permitan aproximarse a niveles más amplios, dentro de los que podrían aparecer pérdidas futuras por eventos y líneas relacionados con las diversas fuentes de riesgo por la operación.

Las pérdidas totales por RO, denominadas *OPVaR*, se dividen en pérdidas esperadas y no esperadas. La pérdida esperada está representada por la media de la distribución agregada y estima valores de pérdida con mayor probabilidad de ocurrencia; mientras que la pérdida no esperada

Tabla 18.

Pérdidas esperadas y no esperadas con Matlab de riesgo para el evento 3, método 2.

Nivel de Confianza	OPVaR EL+UL	EL	UL	Ratio EL/OPVaR
95%	\$1.026.303.002	\$261.907.166	\$764.395.836	25,5%
99%	\$4.236.290.231	\$261.907.166	\$3.974.383.064	6,2%
99,9%	\$15.097.172.041	\$261.907.166	\$14.835.264.875	1,7%

Nota. Tablas 16, 17 y 18 son resultados de la simulación de Montecarlo.

Fuente: elaboración propia.

Tabla 19.

Comparación resultados OPVaR dos métodos.

	95%		99%		99,9%	
OPVaR	Método 1	Método 2	Método 1	Método 2	Método 1	Método 2
Evento 1	\$155.829.197	\$187.042.605	\$692.085.375	\$390.265.843	\$5.419.122.582	\$1.350.849.416
Evento 2	\$889.887.108	\$1.774.779.092	\$6.787.618.237	\$8.052.164.279	\$110.765.995.715	\$50.146.270.720
Evento 3	\$496.535.346	\$1.026.303.002	\$3.725.328.929	\$4.236.290.231	\$64.201.589.892	\$15.097.172.041

Nota. Método 1: Simulador de Riesgo; Método 2: Matlab.

Fuente: elaboración propia.

representa posibles eventos de menor probabilidad de ocurrencia, pero con valores de pérdidas muy altos que llegan a impactar significativamente el capital de la entidad.

Establecer intervalos de pérdida es una medida de prevención para las entidades, lo que significa una métrica de alerta roja en el caso de no contar con los controles adecuados de mitigación y exige, por tanto, el monitoreo y seguimiento tanto de las diversas líneas de negocio como de los eventos de riesgo que tengan mayor impacto y frecuencia.

Los resultados de OPVaR facilitan a las diferentes áreas o encargados de procesos de las entidades contar con una medida de fundamento teórico y aplicado técnicamente, así como estimar valores de referencia que sustenten las decisiones de inversión para control, comparado con los beneficios que obtendría, reconociendo la importancia de mantener políticas de autoevaluación de controles implementados y de control de indicadores de seguimiento.

Los resultados del LDA, se considera de un valioso valor técnico por tratarse de uno de los métodos de medición avanzada, con una fortaleza estadística y soporte computacional de *software* para simulación (Risk Simulator y Matlab), así como el ajuste a las distribuciones de *frecuencia* y *severidad*, para diferentes niveles de confianza, eventos de riesgo y líneas de negocio. Estas condiciones pueden garantizar un modelo estimado con valor predictivo importante partiendo de información depurada y suficiente.

Las distribuciones de pérdidas por riesgo operacional de esta entidad, agrupadas por línea de negocio y tipos de eventos, presentan características de alta curtosis y asimetría a la derecha. Además, los estadísticos de orden analizados como cuartiles, mediana, rango y rango intercuartílico evidencian la alta dispersión de los datos que se encuentran en la cola superior con características de distribuciones asintóticas de extremo. Por lo tanto, se hace necesario realizar análisis que permitan modelar la cola derecha de la distribución para aplicar técnicas que se ajusten al comportamiento de estos datos, como la teoría de valor extremo, la teoría de cópulas, entre otras.

El propósito de este trabajo fue proporcionar elementos técnicos para uno de los modelos avanzados que puede ser implementado a nivel interno por cualquier tipo de entidad del sector financiero colombiano, que va a dar soporte para facilitar las decisiones a los niveles directivos de la entidad y hacer parte de las buenas prácticas de los gobiernos corporativos.

Referencias bibliográficas

- Arias-Pineda, G. L. (2010). Modelos de pérdidas agregadas (LDA) y de la teoría del valor extremo para cuantificar el riesgo operativo teoría y aplicaciones. [Tesis de maestría]. Medellín: Universidad EAFIT. Recuperado el 8 de julio del 2015, de <https://repository.eafit.edu.co/handle/10784/136>
- Banco de Pagos Internacionales [BIS]. (2003). *Buenas prácticas para la gestión y supervisión del riesgo operacional*. Basilea: Banco Internacional de Pagos.
- Banco de Pagos Internacionales [BIS]. (2006). *Observed Range of Practice in Key Elements of Advanced Measurement Approaches AMA*. Suiza: BIS.
- Banco de Pagos Internacionales [BIS]. (2011). *Principles for the Sound Management of Operational Risk*. Basilea: BIS.
- Bernal-Gaviria, S. (2013). *Repository.eia*. Obtenido de Modelo cuantitativo para la gestión de riesgos operativos. Recuperado el 18 de julio del 2015, de repository.eia.edu.co/bitstream/11190/767/1/ADMO0872.pdf
- Böcker, K., & Klüppelberg, C. (2005). *Cutting edge*. Recuperado el 10 de septiembre del 2015, de <http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.178.5006&rep=rep1&type=pdf>
- Böcker, K., & Klüppelberg, C. (2010). Multivariate models for operational risk. *Quantitative Finance*, 10(8), 855-869. doi: 10.1080/14697680903358222
- Bühlmann, H. (1970). *Mathematical Methods in Risk Theory*. Berlín: Springer.
- Carrillo, S., & Suárez, A. (2006). Medición Efectiva del Riesgo Operacional. *Estabilidad Financiera*, 11, 61-89.
- Chernoval, A., Svetlozar T., R., & Fabozzi, F. (2007). *Operational Risk. A Guide to Basel II Capital Requirements, Models, an Analysis*. New Jersey: Wiley.
- Comité de Basilea de Supervisión Bancaria [BCSB]. (2004). *Bank for International Settlements*. BCSB. Recuperado el 16 de agosto del 2013, de <https://www.bis.org/publ/bcbs107esp.pdf>
- Comité de Basilea de Supervisión Bancaria [BCSB]. (2006). *Bank for International Settlements*. BCSB. Recuperado el 8 de agosto del 2013, de https://www.bis.org/publ/bcbs188_es.pdf
- Comité de Basilea de Supervisión Bancaria [BCSB]. (2006). *Bank for International Settlements*. BCSB. Recuperado el 25 de junio del 2014, de https://www.bis.org/publ/bcbs128_es.pdf
- Comité de Basilea de Supervisión Bancaria [BCSB]. (2010). *Bank for International Settlements*. BCSB. Recuperado el 8 de agosto del 2013, de https://www.bis.org/publ/bcbs188_es.pdf
- D&A Consultores. (2005). *La Cuantificación del Riesgo Operacional*. Recuperado el 5 de julio de 2014, de [http://www.riesgooperacional.com/docs/34%20sro-int-prmia\(1\).pdf](http://www.riesgooperacional.com/docs/34%20sro-int-prmia(1).pdf)
- Díaz-Arias, T. (1992). *El actuario y su historia*. Recuperado el 27 de mayo del 2015, de <https://www.actuariayfinanzas.net/images/sampled/El-Actuario-y-su-historia.pdf>
- Fontnouvelle, P., Rosengren, E., & Jordan J., E. (2004). *Implications of alternative Operational Risk Modeling Techniques*. NBER Working Paper No. 11103.
- Frachot A, R., & Salomon, E. (2004). *The Correlation Problem in Operational Risk*. Paper 38052. Recuperado el 17 de julio del 2015, de https://papers.ssrn.com/sol3/papers.cfm?abstract_id=1032594

- Frachot, A., Georges, P., & Roncalli, T. (2001). *Loss Distribution Approach for Operational Risk*. Recuperado el 10 de septiembre del 2015, de http://papers.ssrn.com/sol3/papers.cfm?abstract_id=1032523
- Frachot, A., Roncalli, T., & Salomon, E. (2004). *The Correlation Problem in Operational Risk*. Recuperado el 17 de julio del 2015, de http://www.maths-fi.com/malliavin/The_Correlation_Problem_in_Operational_Risk_01_23_2004.pdf.
- Franco-Arbeláez, C. (2009). *Análisis y comparación de alternativas para cuantificar el riesgo operacional*. Recuperado el 9 de septiembre del 2014, de https://repository.eafit.edu.co/bitstream/handle/10784/135/LuisCeferino_FrancoArbelaez_2010.pdf?sequence=3
- Franco-Arbeláez, L. C., & Murillo-Gómez, J. G. (2008). Loss distribution approach (LDA): Metodología actuarial aplicada al riesgo operacional. *Revista Ingenierías*, 7(13), 143-156.
- Icontec. (2011). *Norma Técnica Colombiana ISO 31000. Gestión del riesgo. Principios y directrices*. Bogotá: Icontec.
- Jiménez-Rodríguez, E. J. (2011). *El riesgo operacional, metodologías para su medición y control*. Madrid: Publicaciones Delta.
- Jöhnemark, A. (2012). *Modeling Operational Risk*. [Tesis de Maestría]. Stockholm: Royal Institute of Technology School of Engineering Sciences.
- Jorion, P. (2010). *Financial Risk Manager Handbook (Global Association of Risk Professionals)*. Nueva Jersey: John Wiley & Sons.
- King, J. L. (2001). *Operational Risk. Measurement and Modelling*. New York: Wiley.
- Klugman, S., Panjer, H., & Willmot, G. (2004). *Loss Models: From data to Decisions*. New York: Wiley. doi:10.1002/9780470391341
- Mignola, G., & Ugocioni, R. (2005). *Test of Extreme-Value Theory Applied to Operational Risk Data*. Recuperado el 10 de septiembre del 2015, de <http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.452.1732&rep=rep1&type=pdf>
- Mora-Valencia, A. (2010). Cuantificación del riesgo operativo en entidades financieras en Colombia. *Cuadernos de Administración*, 23(41), 185-212.
- Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económicos [OCDE]. (2004). *Principios de Gobierno Corporativo de la OCDE*. OCDE.
- Panjer, H. (1981). Recursive Evaluation of a Family of Compound Distributions. *ASTIN Bulletin*, 12(1), 22-26. doi:10.1017/S051503610006796
- Shevchenko, P., & Peters, G. (2013). Loss Distribution Approach for Operational Risk Capital Modelling under Basel II: Combining Different Data Sources for Risk Estimation. *The Journal of Governance and Regulation*, 2(3), 33-57.
- Superintendencia Financiera de Colombia [Superfinanciera]. (2010). *Documento Conceptual de Gobierno Corporativo*. Recuperado el 23 de julio del 2013, de <https://www.superfinanciera.gov.co/SF-Cant/GobiernoCorporativo/doccongb200810pub.pdf>
- Venegas-Martínez, F. (2008). *Riesgos financieros y económicos*. México: Cengage Learning Editores.