



Vigilada Mineducación

**Implementación del modelo LDA para la medición del riesgo operacional:  
Un análisis del sector de los servicios de talento humano**

Implementation of the LDA model to measure operational risk: an analysis of  
the human talent services sector

Jorge Alberto Mejía Ortega  
*Mejia.jm12@gmail.com*

Trabajo presentado como requisito parcial para optar al título de magíster en  
Administración de Riesgos

Asesor  
Jorge Harley Guerrero Latorre

UNIVERSIDAD EAFIT  
ESCUELA DE ADMINISTRACIÓN  
MAESTRÍA EN ADMINISTRACIÓN DE RIESGOS  
MEDELLÍN  
2024

## Contenido

Introducción y planteamiento del problema .....	9
Objetivos .....	13
Objetivo general.....	13
Objetivos específicos .....	13
Marco teórico.....	14
Contexto del riesgo y el riesgo operacional .....	14
Conceptos y normatividad colombiana de los eventos de estudio.....	15
Conceptos modelo LDA y funciones de distribución de pérdidas.....	30
Valor en riesgo y cálculo del VaR .....	34
Metodología.....	38
Resultados .....	44
Conclusiones.....	57
Referencias .....	59
Anexos.....	67

## Lista de tablas

Tabla 1. Resumen de la normatividad colombiana revisada y analizada.....	28
Tabla 2. Severidad de las enfermedades generales.....	44
Tabla 3. Pruebas de bondad de ajuste de la severidad de las enfermedades generales.....	45
Tabla 4. Frecuencia de las enfermedades generales .....	46
Tabla 5. Pruebas de bondad de ajuste de la frecuencia de las enfermedades generales .....	47
Tabla 6. Pérdidas esperadas e inesperadas de LDA de las enfermedades generales .....	49
Tabla 7. Severidad de los accidentes de trabajo .....	49
Tabla 8. Pruebas de bondad de ajuste de la severidad de los accidentes de trabajo .....	51
Tabla 9. Frecuencia de los accidentes de trabajo.....	52
Tabla 10. Pruebas de bondad de ajuste de la frecuencia de los accidentes de trabajo .....	53
Tabla 11. Pérdidas esperadas e inesperadas LDA de los accidentes de trabajo .....	54
Tabla 12. Pérdidas esperadas e inesperadas LDA total .....	56

## Lista de figuras

Figura 1. Distribución de pérdidas agregadas .....	35
Figura 2. Simulación de Montecarlo .....	41
Figura 3. Histograma de la severidad de las enfermedades generales .....	45
Figura 4. Distribución empírica resultante para la severidad de las enfermedades generales .....	46
Figura 5. Histograma de las frecuencia de las enfermedades generales .....	47
Figura 6. LDA de las enfermedades generales .....	48
Figura 7. Histograma de la severidad de los accidentes de trabajo .....	50
Figura 8. Distribución empírica resultante para la severidad de los accidentes de trabajo ..	52
Figura 9. Histograma de la frecuencia de los accidentes de trabajo .....	53
Figura 10. LDA de los accidentes de trabajo .....	54
Figura 11. LDA total.....	55
Figura 12. Comparativo de modelos LDA .....	56

## **Lista de ecuaciones**

Ecuación 1. VaR .....	36
Ecuación 2. Pérdida total en intervalo de tiempo .....	40
Ecuación 3. Función de distribución de probabilidad acumulativa para la pérdida total ....	41
Ecuación 4. Valor de la pérdida agregada.....	41

## Abreviaturas

Abreviatura	Significado
EPS	Entidad promotora de salud
ARL	Administradora de riesgos laborales
LDA	<i>Loss distribution approach</i> - Distribución de pérdidas agregada
ANDI	Asociación Nacional de Industriales
RMG	Risk Management Group Basilea - Grupo de Administración de Riesgos Basilea
ISO	International Organization for Standardization - Organización Internacional de Normalización
COSO	Committee of Sponsoring Organizations of the Treadway Commission - Comité de Organizaciones Patrocinadoras de la Comisión Treadway
VaR	<i>Value at risk</i> – Valor en riesgo
ICBF	Instituto Colombiano de Bienestar Familiar
SENA	Servicio Nacional de Aprendizaje
OpVaR	<i>Operational value at risk</i> - Valor en riesgo operacional

## **Resumen**

El propósito de esta investigación es aplicar un modelo de distribución de pérdidas agregadas (*loss distribution approach*, LDA) para estimar y analizar el riesgo operacional en una empresa de talento humano. La metodología consiste en hacer una revisión de las políticas y las recomendaciones de la guía de riesgo de Basilea II para la implementación de estos modelos en las entidades financieras. Con base en esta guía de riesgo, se analiza la teoría mediante una revisión sistemática de la literatura del modelo LDA y la metodología de simulación Montecarlo. Finalmente se aplica un estudio de caso realizando la implementación del modelo en una empresa de talento humano con una ventana temporal de cinco años. Para la implementación del modelo LDA, se ajustan las funciones de distribución de frecuencia y severidad, con el fin de calcular las pérdidas agregadas de dos eventos de riesgo operacional asociados al riesgo en personas, los accidentes de trabajo y las enfermedades generales; con la metodología Montecarlo se obtienen las pérdidas esperadas y no esperadas de estos eventos. La investigación concluye con observaciones sobre el uso de estos modelos para medir el riesgo operacional en sectores distintos al financiero y el asegurador, con miras a un posible análisis de retención por parte de las empresas.

## **Palabras clave:**

Riesgo operacional, modelo de distribución de pérdidas (LDA), medición de riesgo, simulación Montecarlo.

## **Abstract**

The purpose of this research is to apply an aggregate loss distribution model (Loss distribution approach-LDA) to estimate and analyze operational risk in a human talent company. The methodology consisted of a review of the policies and recommendations of the Basel II risk guide for the implementation of these models in financial entities, based on this risk guide, the theory was analyzed through a systematic literature review of the model LDA and the Montecarlo simulation methodology. Finally, a case study was applied, implementing the model in a human talent company with a time window of 5 years. For the implementation of the LDA model, the frequency and severity distribution functions were adjusted to calculate the aggregate losses of two operational risk events associated with risk in people, work accidents and general diseases, with the Montecarlo methodology, it's obtained the expected and unexpected losses from these events. The research concludes with observations on the use of these models to measure operational risk in sectors other than finance and insurance with a view to a possible analysis of retention by companies.

## **Keywords:**

Operational risk, loss distribution model (LDA), risk measurement, Montecarlo simulation.

## **Introducción y planteamiento del problema**

Para el año 2016, se presentaron en Colombia en promedio 2018 casos de ausentismo laboral en cada empresa estudiada para el informe de seguimiento sobre salud y estabilidad en el empleo (ANDI, 2017). Durante los tres años analizados en el informe (2014, 2015 y 2016), de manera consecutiva, las incapacidades por enfermedad general continúan siendo la principal causa de ausentismo laboral (ANDI, 2017). Del total de casos que fueron reportados para realizar el análisis, el 76,1 % son asociados a las enfermedades generales y el 4,8 % corresponde a accidentes y enfermedades laborales (ANDI, 2017). El promedio de días de ausentismo laboral, en el año 2016, fue de 6,6 días hábiles por cada trabajador. El costo total de estos días de ausentismo es distribuido en varios factores que impactan en la nómina; el 16 % de este valor es destinado al pago de incapacidades entre uno y dos días, y los demás costos son distribuidos en una menor proporción para cubrir eventos de las incapacidades y licencias que no han sido asumidas por las EPS y las ARL, licencias por luto, calamidades domésticas y otro tipo de licencias (ANDI, 2017).

Para analizar y aplicar los modelos de distribución de pérdidas, el concepto de riesgo es importante, se puede definir como el resultado de la incertidumbre en los objetivos y, con relativa frecuencia, es expresado en términos de las fuentes de riesgos, los eventos que representan y sus derivadas consecuencias con las respectivas probabilidades (International Organization for Standardization, 2018). Las consecuencias, por su parte, son el resultado del evento y pueden ser expresadas en términos cualitativos o cuantitativos (International Organization for Standardization, 2018). Además, la probabilidad proviene de la aleatoriedad que impide la explicación de manera completa del comportamiento de un fenómeno observado por cualquier observante, quien es incapaz de explicar bajo una estructura completa el comportamiento del fenómeno, lo cual genera la incertidumbre, que al ser representada de manera cuantitativa y formal, da lugar a la construcción de la probabilidad (Landro, 2010).

La teórica clásica del riesgo ha ido evolucionando y su estudio adquiere cada vez más relevancia durante la gestión empresarial. En este ámbito es donde se evidencian aún más las necesidades de mitigación de amenazas que pueden transformarse en pérdidas y que

pueden ir desde lo económico hasta la afectación a las personas (Mejía *et al.*, 2017). Pero no es suficiente identificar los riesgos que pueden afectar una organización. Es necesario conocer la probabilidad de la ocurrencia de cada riesgo y conocer el impacto que pueden tener estos en los activos empresariales y en su capacidad de generar valor; esta etapa se dedica a evaluar un riesgo (Culp, 2002). La etapa de evaluación de riesgos se puede llevar a cabo de manera robusta, con la aplicación de métodos estadísticos (Culp, 2002). En numerosas empresas, las evaluaciones se efectúan de manera cualitativa y subjetiva sin el uso de métodos cuantitativos, aun cuando se recurre a herramientas numéricas como las escalas de Likert o el método Delphi (Crouhy *et al.*, 2001).

Las pérdidas son registradas por la materialización de riesgos, y entre ellas se encuentran las fallas en los procesos, las demandas por malas prácticas, las fallas en los controles y las fuentes externas ajenas a las entidades. Por tanto, existe en la actualidad un reconocimiento cada vez más amplio sobre las fuentes que afectan los ingresos, los riesgos inherentes al desarrollo de la actividad organizacional, que son llamados riesgos operacionales. Este debe ser medido e incorporado a los riesgos que afectan a toda clase de empresas (Jorion, 2010). Es importante otorgar una definición del concepto de riesgo operacional, para lo cual se debe mencionar cómo el acuerdo de Basilea II, donde se dan recomendaciones legales y de operación bancaria por parte del Comité de Supervisión Bancaria de Basilea, incorpora su evaluación para las entidades financieras como elemento fundamental, realizando así un cambio considerable, ya que previamente no era definido de manera clara ni atendido por los mercados de servicios financieros. En esta incorporación y en la literatura de la industria no existe una práctica común para la definición de este tipo de riesgos, pero lo que sí es transversal es la identificación de varios riesgos inherentes a los negocios realizados por las organizaciones y la consideración de poseer la característica de que sus pérdidas tienen el potencial de tener una gran magnitud. Con el fin de buscar una unificación de la definición, el Grupo de Gestión de Riesgos (RMG) del Comité de Basilea realizó una encuesta en el año 2000 y encontró que, si bien existía un amplio número de definiciones en las entidades, era común encontrar la siguiente definición: “El riesgo de pérdida directa o indirecta resultante de una falta de adecuación o de una falla de los procesos internos, personas y sistemas o de eventos externos” (Akkizidis y Bouchereau, 2009).

Varios autores señalan que existe una propensión a tener una baja inversión en sistemas para la toma de decisiones de riesgo operativo en las denominadas economías emergentes, dando así indicios de que las empresas no comprenden verazmente la exposición al riesgo que tienen; además, algunos de ellos resaltan que las investigaciones en riesgo operativo en estos mercados es poca (Mitra *et al.*, 2015). Aun así, la utilización de estas metodologías permitiría una mejor estimación de las pérdidas operacionales (Comité de Supervisión Bancaria de Basilea, 2006), y algunas de las clasificaciones establecidas por el Comité representan rubros o *core* de negocio en los sectores financieros.

Una de las categorías primarias que es usada y estimada por los bancos es la categoría riesgo en personas (Comité de Supervisión Bancaria de Basilea, 2006). En una empresa de servicios temporales eventos de pérdidas de este tipo ocurren diariamente y constituyen uno de los principales rubros de los gastos, ya sea por su retención o su transferencia. Poder tener una estimación de estos mejoraría la planeación financiera y el análisis de negocio interno de la compañía.

En esta investigación se acercan las metodologías de cuantificación del riesgo típicas del sector bancario y asegurador, en particular a la medición del riesgo operacional, a una empresa del sector de los servicios y específicamente a dos eventos de la clasificación riesgo en personas: accidentes de trabajo y enfermedades generales. Estudios como los de Mejía *et al.*, 2017) mencionan que grandes empresas del sector privado en Colombia establecen como el principal riesgo que gestionan esta clasificación de riesgos, el 75 % de 170 empresas de diferentes sectores encuestadas.

En este documento se encuentra, en primera instancia, una revisión de conceptos y teoría necesaria para la implementación del modelo basado en los considerandos de temas normativos que rigen los dos eventos a estudiar, incluyendo sus mecanismos de transferencia y disposiciones con respecto a dicha transferencia; luego, con las observaciones presentadas de los dos eventos durante cinco años se ajustan las funciones de distribución de frecuencia y severidad; a continuación se determina la función de distribución de pérdidas implementando la metodología Montecarlo para cada uno de los eventos; y finalmente se calculan las pérdidas esperadas y no esperadas en términos de

capital económico, examinando dichos resultados de manera aislada con relación a las pérdidas financieras del caso examinado, teniendo presente que la medición del impacto financiero (severidad) se realiza por medio del auxilio de incapacidad establecido por la ley colombiana, actualmente bajo la responsabilidad del empleador y transferido por este al sector asegurador. Es oportuno aclarar que para este trabajo se modela el hipotético escenario de la exclusión de los mecanismos de transferencia del riesgo al sector asegurador, buscando otorgar una medida del riesgo para la toma de decisiones.

# Objetivos

## Objetivo general

Implementar un modelo de distribución de pérdidas agregadas para cuantificar dos eventos de la clasificación del riesgo operacional y en el subgrupo riesgo en personas, que son los accidentes de trabajo y las enfermedades generales o de origen común.

## Objetivos específicos

- Estimar una función de distribución de frecuencia para los accidentes de trabajo y las enfermedades generales.
- Ajustar una función de distribución de severidad para los accidentes de trabajo y las enfermedades generales.
- Obtener una función de pérdidas agregadas para los accidentes de trabajo y las enfermedades generales.
- Obtener una función de pérdidas agregadas conjunta que tenga en cuenta los diferentes eventos.

## **Marco teórico**

### **Contexto del riesgo y el riesgo operacional**

El riesgo está estrechamente vinculado a la incertidumbre en eventos venideros, y es una realidad que no se puede eliminar por completo. Ante esta realidad, la manera de enfrentar el riesgo es por medio de un proceso de gestión adecuado. Esto implica identificar sus fuentes, medir la exposición y seleccionar las estrategias más adecuadas disponibles, con el fin de gestionarlo y controlarlo (Brito, 2018).

La incertidumbre y el riesgo son elementos inherentes a la vida, los países y las organizaciones. El análisis de la incertidumbre y el consecuente riesgo adquieren gran importancia si su ocurrencia afecta en gran medida los resultados, y se entiende la toma de decisiones como elemento crucial para alcanzar objetivos organizacionales o personales (Brito, 2018).

La norma ISO 31000 define el riesgo como “efecto de incertidumbre sobre los objetivos” (International Organization for Standardization, 2018). Por ello, la gestión de riesgos resulta de vital importancia en el direccionamiento estratégico y en la toma de decisiones intrínseca. Por otra parte, el Comité de Organizaciones Patrocinadoras de la Comisión de norma (COSO, por sus siglas en inglés) describe el proceso de gestión de riesgos empresariales como “la cultura, capacidades y prácticas, integradas con la estrategia y la ejecución, que las organizaciones confían para gestionar el riesgo en la creación, mantenimiento y realización de valor” (COSO, 2017), y en su versión anterior, siendo un poco más específico, menciona “un proceso, efectuado por el consejo de administración de una organización, personal de gestión y otros, aplicado en el establecimiento de estrategias diseñadas para identificar eventos potenciales que puedan afectar a la organización” (COSO II, 2004), y también estipula lo siguiente:

La administración de riesgos corporativos es también un proceso efectuado por el directorio, la administración y las personas de la organización, siendo aplicado desde la definición estratégica hasta las actividades del día a día, diseñado para identificar eventos potenciales que pueden afectar a la organización y administrar los riesgos dentro de su

apetito, al objeto de proveer una seguridad razonable respecto del logro de los objetivos de la organización (COSO II, 2004).

El acuerdo de Basilea definió el riesgo operativo u operacional como la posibilidad de que se materialicen pérdidas debido a inadecuaciones o fallos de los procesos, las personas y los sistemas internos o las pérdidas causadas por sucesos externos. La definición contempla el riesgo legal, sin incluir el riesgo estratégico ni el riesgo por pérdidas reputacionales (Comité de Supervisión Bancaria de Basilea, 2006).

Phillippe Jorion (2003) infiere, según información de British Bankers' Association Survey un grupo de clasificaciones dentro de este riesgo, las cuales son el riesgo en las personas, el riesgo en los procesos, los riesgos en los sistemas y los riesgos extremos. Adicional a esto, en cada una de estas clasificaciones desglosa un conjunto de eventos que pueden ser englobados en cada clasificación. Particularmente en este trabajo nos enfocamos en la medición cuantitativa de pérdidas esperadas y no esperadas de los eventos de riesgo en personas, pertenecientes a la clasificación riesgo en las personas (Jorion, 2003).

En este trabajo se adopta un enfoque en el riesgo operativo y operacional, en su clasificación riesgo en las personas, buscando aplicar una metodología de cuantificación a este tipo de riesgos para así realizar un acercamiento de este tipo de metodologías a esta clase de riesgos.

### **Conceptos y normatividad colombiana de los eventos de estudio**

Son varios los aportes complementarios al salario devengado por un empleado dependiente que establece la ley colombiana, los cuales son aportados según el caso por el empleado o el empleador; algunos tienen una estrecha relación, puesto que son establecidos para transferir o soportar los dos eventos objeto de estudio. A continuación, se realiza un esbozo de la normatividad asociada a los dos eventos, las responsabilidades y los aportes; estos últimos financian la denominada seguridad social integral, de la cual se desprenden varios sistemas y subsistemas que la administran, controlan o regulan, en términos del Artículo 48 de la Constitución Política de Colombia (Constitución Política de Colombia 1991, artículo 48) y Ley 100 de 1993 (Congreso de la República de Colombia, 1993, Ley 100):

*Artículo 48 de la constitución política de Colombia*

Artículo 48. La Seguridad Social es un servicio público de carácter obligatorio que se prestará bajo la dirección, coordinación y control del Estado, en sujeción a los principios de eficiencia, universalidad y solidaridad, en los términos que establezca la Ley.

### *Ley 100 de 1993*

Preámbulo: La Seguridad Social Integral es el conjunto de instituciones, normas y procedimientos, de que disponen la persona y la comunidad para gozar de una calidad de vida, mediante el cumplimiento progresivo de los planes y programas que el Estado y la sociedad desarrollen para proporcionar la cobertura integral de las contingencias, especialmente las que menoscaban la salud y la capacidad económica, de los habitantes del territorio nacional, con el fin de lograr el bienestar individual y la integración de la comunidad.

De la Ley 100 de 1993 y su contenido se encuentran entonces los siguientes sistemas:

#### *Sistema general de pensiones*

Según el artículo 1 del Decreto 4982 de 2007, el aporte al Sistema General de Pensiones equivale al 16 % del salario o ganancias obtenidas, siendo el 75 % responsabilidad del empleador y el 25 % del empleado. Para los trabajadores autónomos, la totalidad del aporte recae en ellos mismos (Presidencia de la República de Colombia, 2007, Decreto 4982). Con lo anterior se entiende entonces que el 4 % lo asume el trabajador y el 12 % el empleador (empresa, organización o entidad del Estado).

#### *Sistema general de seguridad social en salud*

Según el artículo 204 de la Ley 100 de 1993, la contribución al régimen contributivo de salud para un empleado dependiente corresponde al 12,5 % de su salario mensual, del cual el 8,5 % es responsabilidad del empleador y el 4 % recae en el empleado (Congreso de la República de Colombia, 1993, Ley 100, artículo 204).

#### *Sistema general de riesgos profesionales*

Según el artículo 2.2.4.3.5. del Decreto 1072 de 2015, se establece la tabla de cotizaciones

mínimas y máximas por clase de riesgo, las cuales inician en un mínimo de 0,348 % y un máximo de 6,960 % (Presidencia de la República de Colombia, 2015, Decreto 1072).

### *Sistema de Subsidio Familiar*

El Sistema de Subsidio Familiar es financiado por medio de las contribuciones denominadas parafiscales, las cuales son obligatorias según lo establecido por la ley y deben ser asumidas por los empleadores. Las contribuciones son estipuladas en función de la nómina total de trabajadores y tienen como finalidad no solo beneficiar a los empleados, sino también financiar el funcionamiento del ICBF, el SENA y las cajas de compensación familiar. Lo anterior, teniendo como base jurídica lo establecido en el artículo 29 del Decreto 111 de 1996 (Presidencia de la República de Colombia, 1996, Decreto 111). En cuanto a su monto para el caso del aporte al ICBF, la Ley 89 de 1988, en su artículo 1, dispone que “a partir del 1.º de enero de 1989 los aportes para el Instituto Colombiano de Bienestar Familiar —ICBF— ordenados por las leyes 27 de 1974 y 7.ª de 1979, se aumentan al tres por ciento (3 %) del valor de la nómina mensual de salarios” (Congreso de la República de Colombia, 1974, Ley 27; Congreso de la República de Colombia, 1979, Ley 7), y en cuanto a los aportes al porcentaje de contribución parafiscal destinado a las cajas de compensación familiar y al SENA, basados en lo establecido en los numerales 1 y 2 del artículo 12 de la Ley 21 de 1982 (Congreso de la República de Colombia, 1982, Ley 21), un 4 % se destina al pago del subsidio familiar por medio de las cajas de compensación, mientras que un 2 % se asigna al SENA para financiar sus programas y actividades, para una totalidad del 9 % en parafiscales.

En el reglamento del sector del trabajo expedido por la normatividad colombiana se define todo accidente sucedido de manera repentina que tenga como causa el trabajo u ocurra en el lugar de trabajo, provocando en el empleado una lesión de tipo orgánica, posible perturbación de tipo funcional o psiquiátrica, invalidez o la muerte, será considerado un accidente de trabajo (Ministerio del Trabajo, 2015).

Además, existe un grupo de beneficios que debe recibir el empleado por cuenta del empleador y que se contemplan en este trabajo, los cuales son las cesantías, las vacaciones

y los intereses a las cesantías:

### *Cesantías*

Las cesantías —o el auxilio de cesantía— son una prestación social que se encuentra reglamentada en el artículo 249 del Código Sustantivo del Trabajo —CST— y radica en el pago de un mes de salario por cada año de labor o proporcionalmente al tiempo laborado (Presidencia de la República de Colombia, 1950, Código Sustantivo del Trabajo).

### *Vacaciones*

El trabajador por derecho recibe quince días hábiles continuos de descanso por cada año de labor, o la proporción cuando se tenga menos de un año de trabajo y se dé por terminado el contrato de trabajo, según el Decreto 1054 de 1938 en su artículo 1 (Presidencia de la República de Colombia, 1938, Decreto 1054).

### *Intereses a las cesantías*

El empleador pagará al trabajador los intereses de las cesantías, ya sea a una tasa anual fija del 12 % o de manera proporcional según el tiempo trabajado en el año; lo anterior, según el artículo 99 de la Ley 50 de 1990 (Congreso de la República de Colombia, 1990, Ley 50).

En otro orden de ideas, la Ley 1562 de 2012 (Sistema General de Riesgos Laborales), en su artículo 3, define un accidente de trabajo como todo suceso repentino que sobrevenga por causa o con ocasión del trabajo, produciendo en el trabajador una lesión orgánica, una perturbación funcional o psiquiátrica, una invalidez o la muerte (Congreso de la República de Colombia, 2012, Ley 1562).

El Código Sustantivo del Trabajo tiene como propósito lograr la justicia en las relaciones de trabajadores y empleadores, siguiendo una coordinación económica y el equilibrio social. En el ámbito territorial de Colombia, el mencionado Código, en el artículo 193, establece la obligatoriedad a los empleadores de pagar las prestaciones de ley, con ciertas

excepciones. Entre estas prestaciones se establecen:

a) Asistencia médica, farmacéutica, quirúrgica y hospitalaria hasta por seis (6) meses, comprendidos los exámenes complementarios, como radiografías, consulta de especialistas, las prescripciones terapéuticas completas, como transfusiones y fisioterapia, y el suministro de aparatos de ortopedia y prótesis que sean necesarios (Presidencia de la República de Colombia, 1950, Código Sustantivo del Trabajo).

Además de las prestaciones económicas antes señaladas, el Decreto 1295 de 1994, mediante el cual se determinan la organización y la administración del Sistema General de Riesgos Profesionales, en su artículo 7.º, Prestaciones económicas, indica que todo trabajador a quien le sobrevenga un accidente de trabajo o una enfermedad profesional tiene derecho a recibir el siguiente conjunto de prestaciones económicas (Presidencia de la República de Colombia, 1994, Decreto 1295):

- Subsidio por incapacidad temporal.
- Indemnización por incapacidad permanente parcial.
- Pensión de invalidez.
- Pensión de sobrevivientes.
- Auxilio funerario.

Es importante señalar que el presente estudio tendrá como objeto el subsidio por incapacidad temporal mencionado en esta norma, puesto que es la información que en primera instancia pueden tener disponibles las empresas. Su estimación permitirá dimensionar su costo directo asociado, siendo el elemento más tangible y frecuente para la mayoría de las empresas con relación a los accidentes de trabajo.

Retomando lo indicado por el Código Sustantivo del Trabajo, se deja a potestad del empleador la contratación de algunas de las prestaciones (artículos 206, 207 y 208). También en el artículo 219 se da la potestad al empleador para que pueda asegurar, por su

cuenta y costo, con una empresa aseguradora, los riesgos asociados a accidentes de trabajo y enfermedad profesional de sus empleados, sin desvirtuar que es él quien debe al empleado o sus eventuales beneficiarios las prestaciones de ley:

Artículo 219. Seguro por riesgos profesionales. El empleador puede asegurar, íntegramente a su cargo, en una compañía de seguros, los riesgos por accidentes de trabajo y enfermedad profesional de sus trabajadores; pero en todo caso, el empleador es quien debe al trabajador o a sus beneficiarios las prestaciones que en este Capítulo se establecen (Presidencia de la República de Colombia, 1950, Código Sustantivo del Trabajo).

Por su parte, el Decreto 1295 de 1994 define que la incapacidad temporal por accidente laboral se entiende como un cuadro agudo de enfermedad que ostenta un afiliado al sistema que le impide desempeñar su capacidad laboral en un tiempo dado (Presidencia de la República de Colombia, 1994, Decreto 1295) y como valor de las prestaciones económicas por condición en mención:

Todo afiliado a quien se le defina una incapacidad temporal, recibirá un subsidio equivalente al 100 % de su salario base de cotización, calculado desde el día siguiente al que ocurrió el accidente de trabajo, o se diagnosticó la enfermedad profesional, y hasta el momento de su rehabilitación, readaptación o curación, o de la declaración de su incapacidad permanente parcial, invalidez total o su muerte. El pago se efectuará en los períodos en que el trabajador reciba regularmente su salario.

El período durante el cual se reconoce la prestación de que trata el presente Artículo será máximo 180 días, que podrán ser prorrogados hasta por períodos que no superen otros 180 días continuos adicionales, cuando esta prórroga se determine como necesaria para el tratamiento del afiliado, o para culminar su rehabilitación.

Cumplido el período previsto en el inciso anterior y no se hubiese logrado la curación o rehabilitación del afiliado, se debe iniciar el procedimiento para determinar el estado de invalidez.

La Ley 100 de 1993 (Congreso de la República de Colombia, 1993, Ley 100) y la Ley 776 de 2002 (Congreso de la República de Colombia, 2002 Ley 776) dan indicaciones y

conceptos sobre las otras prestaciones económicas derivadas de un accidente de trabajo o una enfermedad laboral de la siguiente forma:

*Ley 100 de 1993*

Artículo 86. Auxilio funerario. La persona que compruebe haber sufragado los gastos de entierro de un afiliado o pensionado tendrá derecho a percibir un auxilio funerario equivalente al último salario base de cotización, o al valor correspondiente a la última mesada pensional recibida, según sea el caso, sin que pueda ser inferior a cinco (5) salarios mínimos legales mensuales vigentes, ni superior a diez (10) veces dicho salario.

El auxilio deberá ser cubierto por la respectiva administradora o aseguradora, según corresponda.

Las administradoras podrán repetir contra la entidad que haya otorgado el seguro de sobrevivientes respectivo, en el cual se incluirá el cubrimiento de este auxilio.

La misma acción tendrán las compañías de seguros que hayan pagado el auxilio de que trata el presente Artículo y cuyo pago no les corresponda por estar amparado este evento por otra póliza diferente.

Artículo 47. Beneficiarios de la Pensión de Sobrevivientes. Son beneficiarios de la pensión de sobrevivientes:

- a) En forma vitalicia, el cónyuge o la compañera o compañero permanente supérstite.

*Ley 776 de 2002*

Artículo 5.º. Se considera como incapacitado permanente parcial al afiliado que, como consecuencia de un accidente de trabajo o de una enfermedad profesional, presenta una disminución definitiva, igual o superior al cinco por ciento (5 %), pero inferior al cincuenta por ciento 50 % de su capacidad laboral, para lo cual ha sido contratado o capacitado.

Artículo 10. Monto de la pensión de invalidez. Todo afiliado al que se le defina una invalidez tendrá derecho, desde ese mismo día, a las siguientes prestaciones económicas, según sea el caso:

a) Cuando la invalidez es superior al cincuenta por ciento (50 %) e inferior al sesenta y seis por ciento (66 %), tendrá derecho a una pensión de invalidez equivalente al sesenta por ciento (60 %) del ingreso base de liquidación;

b) Cuando la invalidez sea superior al sesenta y seis por ciento (66 %), tendrá derecho a una pensión de invalidez equivalente al setenta y cinco por ciento (75 %) del ingreso base de liquidación;

c) Cuando el pensionado por invalidez requiere el auxilio de otra u otras personas para realizar las funciones elementales de su vida, el monto de la pensión de que trata el literal anterior se incrementa en un quince por ciento (15 %).

Artículo 11. Muerte del afiliado o del pensionado por riesgos profesionales. Si como consecuencia del accidente de trabajo o de la enfermedad profesional sobreviene la muerte del afiliado, o muere un pensionado por riesgos profesionales, tendrán derecho a la pensión de sobrevivientes las personas descritas en el Artículo 47 de la Ley 100 de 1993, y su reglamentario.

Artículo 12. Monto de la pensión de sobrevivientes en el sistema general de riesgos profesionales. El monto mensual de la pensión de sobrevivientes será, según sea el caso:

a) Por muerte del afiliado el setenta y cinco por ciento (75 %) del salario base de liquidación;

b) Por muerte del pensionado por invalidez el ciento por ciento (100 %) de lo que aquel estaba recibiendo como pensión.

Cuando el pensionado disfrutaba de la pensión reconocida con fundamento en el literal c) del Artículo 10 de la presente ley la pensión se liquidará y pagará descontando el quince por ciento (15 %) que se le reconocía al causante.

Artículo 16. Auxilio funerario. La persona que compruebe haber sufragado los gastos de entierro de un afiliado o de un pensionado por invalidez del Sistema de Riesgos Profesionales tendrá derecho a recibir un auxilio funerario igual al determinado en el Artículo 86 de la Ley 100 de 1993.

El auxilio deberá ser cubierto por la respectiva entidad administradora de riesgos profesionales. En ningún caso puede haber doble pago de este auxilio.

La Ley 1562 de 2012, mediante el artículo 5, modificó el sistema de riesgos laborales y estableció otro grupo de disposiciones en materia de salud ocupacional, y establece en su artículo 2 los casos de obligatoria afiliación al Sistema General de Riesgo Laborales, del cual vale la pena mencionar la primera consideración: trabajadores dependientes nacionales o extranjeros, que tengan contrato de trabajo en todas sus modalidades. Además, en su artículo 5 dispone el ingreso base de liquidación con base para la liquidación de prestaciones económicas para cada uno de estos casos; para el caso de accidente de trabajo, como el promedio de los últimos seis meses antes de la ocurrencia del accidente de trabajo, y en el caso de enfermedad laboral el promedio del último año (Congreso de la República de Colombia, 2012, Ley 1562).

Para las cotizaciones al sistema por accidente de trabajo o enfermedad laboral el Decreto 1072 de 2015 dispone en el artículo 2.2.4.3.5, Tabla de cotizaciones mínimas y máximas, el cual establece la cotización por clase de riesgo:

Artículo 2.2.4.3.5. Tabla de cotizaciones mínimas y máximas. En desarrollo del Artículo 27 del Decreto 1295 de 1994, se adopta la siguiente tabla de cotizaciones para cada clase de riesgo:

*Tabla de cotizaciones mínimas y máximas*

Clase de riesgo	Valor mínimo	Valor inicial	Valor máximo
I	0,348 %	0,522 %	
II	0,435 %	1,044 %	
III	0,783 %	2,436 %	

IV	1,740 %	4,350 %	
V	3,219 %	6,960 %	

Toda empresa que ingrese por primera vez al Sistema General de Riesgos Laborales cotizará por el valor correspondiente al valor inicial de la clase de riesgo que le corresponda (Presidencia de la República de Colombia, 2015, Decreto 1072).

De manera complementaria, el Decreto 768 de 2022, adoptó la tabla de clasificación de actividades económicas para el Sistema General de Riesgos Laborales, permitiendo definir según la actividad empresarial la clase de riesgo aplicada (Presidencia de la República de Colombia, 2022, Decreto 768).

En el Decreto 780 del 6 de mayo de 2016, artículo 3.2.1.10, Ingreso base de cotización durante las incapacidades o la licencia de maternidad, se menciona que serán contribuidos por parte de la administradora de riesgos laborales los valores de los aportes a los sistemas de seguridad social en salud y pensiones que fuesen causados en el caso de no ocurrido el evento, y su valor será calculado según el tiempo de incapacidad derivada de enfermedad o accidente de carácter laboral. Así mismo, en su parágrafo 1, establece que serán reconocidas las incapacidades temporales a partir del día siguiente de la materialización del accidente de trabajo o del diagnóstico de la enfermedad laboral, en el Sistema General de Riesgos Laborales por las administradoras de riesgos laborales (Presidencia de la República de Colombia, 2016, Decreto 780).

Por lo que se refiere a las enfermedades generales, el artículo 2.2.3.1.3 del Decreto 1427 de 2022 define la enfermedad general como la “afectación de la salud de una persona, que compromete su bienes físico o mental, derivados de eventos ajenos a su actividad” (Ministerio de Salud y Protección Social, 2022, Decreto 1427).

Por otra parte, en el artículo 227 del Código Sustantivo del Trabajo se instaura un auxilio en cabeza del empleador por incapacidad derivada de enfermedad no profesional para desempeñar labores por parte del trabajador, el cual deberá ser pagado hasta por ciento

ochenta días, de la siguiente manera: las dos terceras (2/3) partes del salario en los primeros noventa (90) días y la mitad del salario en el tiempo faltante. Nuevamente y de manera paralela al explicado caso del accidente de trabajo, se reitera que también en caso de enfermedad general será el auxilio económico derivado de la incapacidad el objeto de estudio en el presente documento (Presidencia de la República de Colombia, 1950, Código Sustantivo del Trabajo).

Se debe tener en cuenta que para el Sistema de Seguridad Social en Salud, el cual se rige por la Ley 100 de 1993 (Congreso de la República de Colombia, 1993, Ley 100) y el Decreto Único Reglamentario del Sector Salud 780 de 2016 (Presidencia de la República de Colombia, 2016, Decreto 780), se establece que los dos primeros sean pagados por el empleador y a partir del tercer día la empresa promotora de salud —EPS— cancele la incapacidad al 66,67 % hasta el día noventa; a partir del día noventa y uno se pagaría por la misma entidad al 50 %, dejando la salvedad de que para el caso en que el trabajador devengue el salario mínimo legal, será esta la cuantía a pagar, pues las proporciones contempladas se aplican para trabajadores que devenguen salarios superiores al mínimo legal mensual vigente (Ministerio de Trabajo, 2019).

Con respecto al contrato de trabajo, pasados 180 días de incapacidad por origen común, en el numeral 15 del artículo 62 del Código Sustantivo del Trabajo, donde se establecen las causales de terminación del trabajo por justa causa, se establece:

La enfermedad contagiosa o crónica del trabajador, que no tenga carácter de profesional, así como cualquiera otra enfermedad o lesión que lo incapacite para el trabajo, cuya curación no haya sido posible durante ciento ochenta (180) días. El despido por esta causa no podrá efectuarse sino al vencimiento de dicho lapso y no exime al empleador de las prestaciones e indemnizaciones legales y convencionales derivadas de la enfermedad (Presidencia de la República de Colombia, 1950, Código Sustantivo del Trabajo).

Por otra parte, en el Decreto 780 del 6 de mayo de 2016, el artículo 3.2.1.10 determina que, en el evento de incapacidad por origen común o licencia de maternidad, los aportes al sistema de salud y pensión serán por parte del empleador y los empleados, aunque

permitiendo al empleador que una vez asuma el valor del aporte a pensión pueda repetir contra las respectivas EPS, al igual que descontar aquellos aportes al sistema de pensión por cuenta de los empleados, y también se indica que será de cargo de los trabajadores independientes el total de los aportes al sistema de pensiones causados durante el periodo de incapacidad o licencia de maternidad (Presidencia de la República de Colombia, 2016, Decreto 780).

Para el caso de los aportes parafiscales la Ley 21 de 1982, en su artículo 17, dispone:

Artículo 17. Para efectos de la liquidación de los aportes al Régimen del Subsidio Familiar, Servicio Nacional de Aprendizaje (SENA), Escuela Superior de Administración (ESAP), Escuelas Industriales e Institutos Técnicos, se entiende por nómina mensual de salarios la totalidad de los pagos hechos por concepto de los diferentes elementos integrantes del salario en los términos de la Ley Laboral, cualquiera que sea su denominación y además, los verificados por descansos remunerados de ley y convencionales o contractuales (Congreso de la República de Colombia, 1982, Ley 21).

Con lo anterior se entiende que todo empleador debe pagar aportes parafiscales según el valor nómina mensual de salarios, donde se incluirán los trabajadores incapacitados, aunque para los días incapacitados sus registros salariales serán en valor cero, porque durante una incapacidad no se recibe salario, el concepto según la normatividad es considerado un subsidio por incapacidad temporal.

Además, y siendo un elemento subyacente en la incapacidad de los dos casos, la legislación no contempla la incapacidad médica como causal de terminación o suspensión del contrato de trabajo, razón por la que no habrá lugar a que el empleador se descuente ese periodo en el pago de las vacaciones y cesantías de sus trabajadores. Lo anterior, justificado en los artículos 4 de la Ley 50 de 1990 (Congreso de la República de Colombia, 1990, Ley 50) y el artículo 53 del Código Sustantivo del Trabajo (Presidencia de la República de Colombia, 1950, Código Sustantivo del Trabajo), que señalan las causales establecidas por la ley colombiana para la suspensión del contrato de trabajo:

*Ley 50 de 1990*

Artículo 4. El Artículo 51 del Código Sustantivo del Trabajo quedará así: Artículo 51. Suspensión. El contrato de trabajo se suspende:

1. Por fuerza mayor o caso fortuito que temporalmente impida su ejecución.
2. Por la muerte o inhabilitación del empleador, cuando este sea una persona natural y cuando ello traiga como consecuencia necesaria y directa la suspensión temporal del trabajo.
3. Por suspensión de actividades o clausura temporal de la empresa, establecimiento o negocio, en todo o en parte, hasta por ciento veinte (120) días por razones técnicas o económicas u otras independientes de la voluntad del empleador, mediante autorización previa del Ministerio de Trabajo y Seguridad Social. De la solicitud que se eleve al respecto el empleador deberá informar en forma simultánea, por escrito, a sus trabajadores.
4. Por licencia o permiso temporal concedido por el empleador al trabajador o por suspensión disciplinaria.
5. Por ser llamado el trabajador a prestar servicio militar. En este caso el empleador está obligado a conservar el puesto del trabajador hasta por treinta (30) días después de terminado el servicio. Dentro de este término el trabajador puede reincorporarse a sus tareas, cuando lo considere conveniente, y el empleador está obligado a admitirlo tan pronto como este gestione su reincorporación.
6. Por detención preventiva del trabajador o por arresto correccional que no exceda de ocho (8) días por cuya causa no justifique la extinción del contrato.
7. Por huelga declarada en la forma prevista en la ley.

#### *Código Sustantivo del Trabajo*

Artículo 53. Efectos de la suspensión. Durante el período de las suspensiones contempladas en el Artículo 51 se interrumpe para el trabajador la obligación de prestar el servicio prometido, y para el {empleador} la de pagar los salarios de esos lapsos, pero durante la suspensión corren a cargo del {empleador}, además de las obligaciones ya surgidas con anterioridad, las que le correspondan por muerte o por enfermedad de los

trabajadores. Estos períodos de suspensión pueden descontarse por el {empleador} al liquidar vacaciones, cesantías y jubilaciones.

Para el caso de los pagos de los aportes a la ARL durante la incapacidad es importante la interpretación del Decreto 780 del 6 de mayo de 2016 en su artículo 3.2.1.10 (Presidencia de la República de Colombia, 2016, Decreto 780), puesto que se ha de considerar que no se mencionan los aportes por riesgos de tipo laboral a las entidades ARL durante los tiempos de la incapacidad, y esto se debe a que no hay lugar para su pago, por cuanto el empleado no se encuentra expuesto a los riesgos laborales de su ocupación al no encontrarse laborando (Ministerio del Trabajo, 2019). Particularmente, en el artículo 2.2.4.2.1.6. del Decreto 1072 de 2015, Contenido del formulario de novedades, se menciona que durante una novedad por incapacidad del trabajador no se producen importes a cargo del empleador al Sistema General de Riesgos Laborales.

En las empresas colombianas estos dos eventos son reportados a entidades gubernamentales, y esta información es necesaria para realizar la evaluación de sistemas de gestión en SST (seguridad y salud en el trabajo), presentar reportes ante el ministerio encargado y las administradoras de riesgos laborales (Ministerio del trabajo, 2015). En en el capítulo XXIII de la Circular 041 del 2007 de la Superintendencia Financiera de Colombia se determinan las reglas para la administración de riesgos operativos. En dicho capítulo se establecen los campos mínimos que corresponden a la información de los eventos del riesgo operativo (Superintendencia Financiera de Colombia, 2007). Examinando estos dos requisitos se encuentra un símil entre los elementos que estos reportes deben tener.

A continuación, se presenta una tabla con el resumen de la normatividad revisada hasta el momento:

*Tabla 1. Resumen de la normatividad colombiana revisada y analizada*

Nº	Normatividad	Descripción del contenido
1	Artículo 48 de la Constitución Política de Colombia	Constitución de la seguridad social en Colombia como servicio público de carácter obligatorio; además, se describen sus principios.

2	Ley 100 de 1993	Por la cual se crea el sistema de seguridad social integral y se dictan otras disposiciones.
3	Ley 89 de 1988	Por el cual se asignan recursos al Instituto Colombiano de Bienestar Familiar y se dictan otras disposiciones.
4	Ley 50 de 1990	Por la cual se introducen reformas al Código Sustantivo del Trabajo y se dictan otras disposiciones.
5	Ley 776 de 2002	Normas sobre la organización, la administración y las prestaciones del Sistema General de Riesgos Profesionales.
6	Ley 1562 de 2012	Por la cual se modifica el Sistema de Riesgos Laborales y se dictan otras disposiciones en materia de salud ocupacional.
7	Decreto 1072 de 2015	Decreto Único Reglamentario del Sector Trabajo.
8	Decreto 1295 de 1994	Se determinan la organización y la administración del Sistema General de Riesgos Profesionales.
9	Decreto 768 de 2022	Por el cual se actualiza la tabla de clasificación de actividades económicas para el Sistema General de Riesgos Laborales y se dictan otras disposiciones.
10	Decreto 780 de 2016	Por medio del cual se expide el Decreto Único Reglamentario del sector de la salud y la protección social.
11	Decreto 1427 de 2022	Por el cual se sustituye el título 3 de la Parte 2 del Libro 2 del Decreto 780 de 2016, se reglamentan las prestaciones económicas del Sistema General de Seguridad Social en Salud y se dictan otras disposiciones.
12	Artículo 1 del Decreto 4982 de 2007	Aportes al Sistema General de Pensiones y sus responsables.
13	Artículo 29 del Decreto 111 de 1996	Fuentes de financiación del Sistema de Subsidio Familiar y su finalidad.
14	Numerales 1 y 2 del artículo 12 de la Ley 21 de 1982	Contribución parafiscal destinada a las cajas de compensación familiar y al SENA.
15	Artículo 249 del Código Sustantivo del Trabajo	Definición de cesantías.
16	Artículo 1 del Decreto 1054 de 1938	Derecho de los trabajadores a las vacaciones.
17	Circular 041 del 2007	Modificación al Capítulo XXIII, denominado “Reglas relativas a la administración del riesgo operativo - SARO” de la Circular Externa 100 de 1995.

Fuente: Elaboración propia.

## **Conceptos modelo LDA y funciones de distribución de pérdidas**

Basilea II propone tres metodologías para la medición de capital por riesgo operacional: el enfoque de indicador básico, el enfoque estándar y el enfoque de medición avanzada. En el enfoque de medición avanzada se tienen tres caminos: el modelo de medición interna, los cuadros de mando y el modelo de distribución de pérdidas (Feria *et al.*, 2007).

En el sector financiero la aplicación del indicador básico y el enfoque estándar son los que más llaman la atención para su implementación, ya que para estos el costo de inversión es menor. Pero en el de venir se disipará su atención, debido a que no cuentan con los elementos para una apropiada gestión del riesgo (Kraujalis *et al.*, 2006).

Se han usado métodos tomados de técnicas de valoración en seguros, métodos actuariales o también llamados métodos estadísticos, que tienen su base en datos de eventos de pérdidas para evaluar el riesgo operacional (Arbeláez *et al.*, 2006). La dificultad con estos métodos es la disponibilidad de información que evidencie la realidad de la entidad financiera, ya que el acuerdo establece que debe tenerse un periodo de por lo menos cinco años (Arbeláez *et al.*, 2006; Franco y Murillo, 2008).

Los modelos de distribución de pérdidas han sido utilizados por el sector asegurador durante varios años y son utilizados por implementaciones actuariales (Bühlmann, 1970). Estos modelos utilizan datos de pérdidas de la operación para estimar las funciones de distribución de frecuencia y severidad de los eventos. Luego, cada clasificación o para cada evento se genera una función de distribución de pérdida “empírica” a través de la simulación de años hipotéticos (Doerig, 2000). El modelo LDA realiza la estimación por separado de la severidad y la frecuencia, y la función de distribución de las pérdidas es hallada por medio de N-convoluciones de la distribución de severidad, donde N es un número aleatorio de las observaciones obtenidas de la distribución de frecuencia, y estas simulaciones son obtenidas mediante la metodología Montecarlo, pero antes se requiere una parametrización de las dos distribuciones (Chapelle *et al.*, 2005).

Esta metodología ha sido implementada en publicaciones de autores como Frachot *et al.*

(2001); Baud *et al.* (2002); Frachot *et al.* (2003); Chernobai y Rachev (2007); Neslehova *et al.* (2005); Dutta y Perry (2007); Akkizidis y Bouchereau (2005); Degen *et al.* (2007); y Macías *et al.* (2016).

En específico, la metodología Montecarlo ha sido muy utilizada en la literatura para cuantificar los modelos de distribución de pérdidas agregadas (Samad-Khan y Gittleson, 1998). Además, esta metodología permite incluir variaciones en el tiempo, colas pesadas, volatilidad y escenarios extremos, e incluso correlaciones entre variables (Jorion, 2007).

Entonces se debe establecer una variable aleatoria que defina el número de sucesos materializados del tipo de evento, en un horizonte de tiempo. Dicha variable poseerá una función de masa discreta, que representa la frecuencia de las pérdidas y una función de distribución de probabilidades que brindará la probabilidad de ocurrencia de cada una de esas frecuencias (Feria *et al.*, 2007) y también una función de distribución de la severidad de los eventos.

Cuando se obtienen los parámetros de las distribuciones teóricas, se compara el grado de ajuste de estas con los datos reales; en este caso se implementan distintos contrastes estadísticos para calcular la bondad de ajuste (Moscadelli, 2004). Se utilizan en este punto algunos test estadísticos, como el Anderson-Darling (A-D) o el Kolmogorov-Smirnov (K-S) (Chernobai *et al.*, 2005) o la prueba de chi-cuadrado de Pearson o la prueba binomial (Ramírez y Polack, 2020), entre otras.

Para dar este paso, teniendo presente que el análisis a realizar para conseguir resultados aceptables de la muestra en comparación con la población es de estadística inferencial, e infiriendo que sea una muestra representativa, se debe proceder con pruebas de bondad de ajuste según 1) la variable de estudio, 2) la distribución que caracteriza las mediciones de las variables, la homogeneidad de sus varianzas en sus grupos, el impacto de los residuos y el tamaño de la muestra, y 3) el poder de la prueba a usar (Gómez *et al.*, 2003). Para cumplir con este objetivo se puede considerar el siguiente listado como guía para la valoración de datos cuantitativos:

Evaluación de las características de los datos.

1. Nivel de medida de la variable de interés.
2. Valorar la distribución.
  - Medidas de tendencia central.
  - Sesgo y curtosis.
  - Valoración visual.
  - Examinar los diagramas de las probabilidades de la distribución.
  - En determinados casos, procesos de transformación de variables y observación de los resultados.
3. Homogeneidad de las varianzas.
4. Tamaño de muestra y subgrupos.
5. Establecer qué prueba estadística, paramétrica o no paramétrica, es la considerada idónea.

Al probar una hipótesis relacionada con uno o varios parámetros de una población que sigue una distribución normal, se emplean pruebas estadísticas paramétricas, como la t de Student, de uso común. Por otro lado, si no se requiere realizar inferencias sobre los parámetros de la población, como su media y dispersión, se les conoce como pruebas no paramétricas o de distribución libre, toda vez que no hacen supuestos de la distribución de población de donde proviene la muestra (Gómez *et al.*, 2003).

Es importante considerar que es recomendable el uso de pruebas no paramétricas en los casos en los que los datos de la muestra no cumplen con los supuestos de normalidad y

homocedasticidad; además, con respecto al tamaño de la muestra para detectar no normalidad, se evidencia que al analizar diferentes tamaños de muestras los resultados o eficacias de las pruebas pueden variar (Pedrosa *et al.*, 2015). La prueba de bondad de ajuste más común para datos discretos es la chi-cuadrado, puesto que fue creada para comparar la posible diferencia entre las frecuencias observadas de la distribución de la variable frente a las esperadas, contrastando una determinada hipótesis (Pearson, 1900) y para casos de datos continuos Kolmogorov Smirnov, puesto que requiere que la variable sea cuantitativa y continua (Lilliefors, 1967) y Anderson Darling prueba que le da un mayor peso a las colas.

Por lo tanto, para abordar la información construida en este trabajo, se parte de los pasos de evaluación de las características de los datos, y luego de la valoración de estos elementos se procede a escoger el tipo de prueba de bondad de ajuste más adecuada según los resultados.

Se ha establecido como una buena candidata para modelar la frecuencia la función Poisson y es usada con frecuencia para su modelación (Frachot *et al.*, 2003; Carrillo y Suárez, 2006). En ella se establece una lambda ( $\lambda$ ), que representa el número de eventos ocurridos en un tiempo determinado (Arroyo *et al.*, 2014). Para la severidad el comité de Basilea II proponía el uso de la distribución lognormal (Banco de Pagos Internacionales, 2003). Pero la distribución seleccionada depende de cuál se ajusta mejor al histórico de pérdidas (Feria *et al.*, 2007). Además, existe otro grupo de funciones de distribución paramétricas que pueden ser probadas y que han sido utilizadas por algunos autores, como lo son Pareto (Fontnouvelle *et al.*, 2007), Weibull (Böcker y Kluppelberg, 2005) y gamma (Mignola y Ugocioni, 2005). No obstante, la elección final procederá de los análisis de los datos y de los resultados de las pruebas de bondad de ajuste.

Finalmente, cuando podamos encontrar las funciones de distribuciones que más se ajusten a la distribución empírica, podremos combinar las dos distribuciones para obtener la función de distribución de pérdidas, mediante convolución con la metodología Montecarlo (Medina y Restrepo, 2013). La simulación o metodología Montecarlo permitirá, a través de la generación de números aleatorios que se encuentran correlacionados, replicar las distribuciones de probabilidad o los procesos estocásticos para los eventos que se están

estudiando (ANDI, 2017). Se debe tener en cuenta que el riesgo esperado está vinculado a la parte central de las distribuciones, mientras que el riesgo no esperado se concentra de manera separa del centro de la distribución y en la cola de la misma (Castro, 2015).

El modelo LDA implica algunos supuestos, dos de los cuales fueron estipulados por Frachot *et al.* (2004) y Macías *et al.* (2016):

- Los valores de frecuencia y severidad son variables aleatorias independientes.
- Los valores de severidad por RO (riesgo operativo) para un mismo evento se distribuyen igual.
- Los valores de severidad para un mismo evento de riesgo son independientes.

Estos supuestos tendrán un efecto significativo en el análisis, puesto que un individuo puede tener múltiples eventos de accidentes de trabajo e incapacidad de tipo general derivados de una misma causa; no obstante, con el fin de mantener los supuestos del modelo y ante el alcance del presente estudio, no se dispondrá de causalidad o correlación entre los eventos analizados.

### **Valor en riesgo y cálculo del VaR**

A comienzos de los años noventa, el sector bancario comenzó a adoptar la implementación del valor en riesgo (VaR) para realizar mediciones de riesgo de una cartera. En ese sentido, fue reconocido por el Acuerdo de Basilea II en 1996 (Banco de Pagos Internacionales-BIS, 2011), y a partir de ese momento se convirtió en una medida bastante prevalente en la gestión de riesgos del sistema bancario.

El VaR se define como la máxima pérdida esperada para una cartera en un período de tiempo determinado, con un nivel de confianza generalmente establecido en el 95 % o el 99 %. Aunque su interpretación es simple, su estimación puede ser compleja debido al impacto que tienen las suposiciones sobre las distribuciones de pérdidas en su cálculo (Scheller y Auer, 2018); aun así, no ha perdido su importancia ni su utilidad para la toma de decisiones en la gestión de riesgos empresariales, aunque típicamente ha mantenido un enfoque,

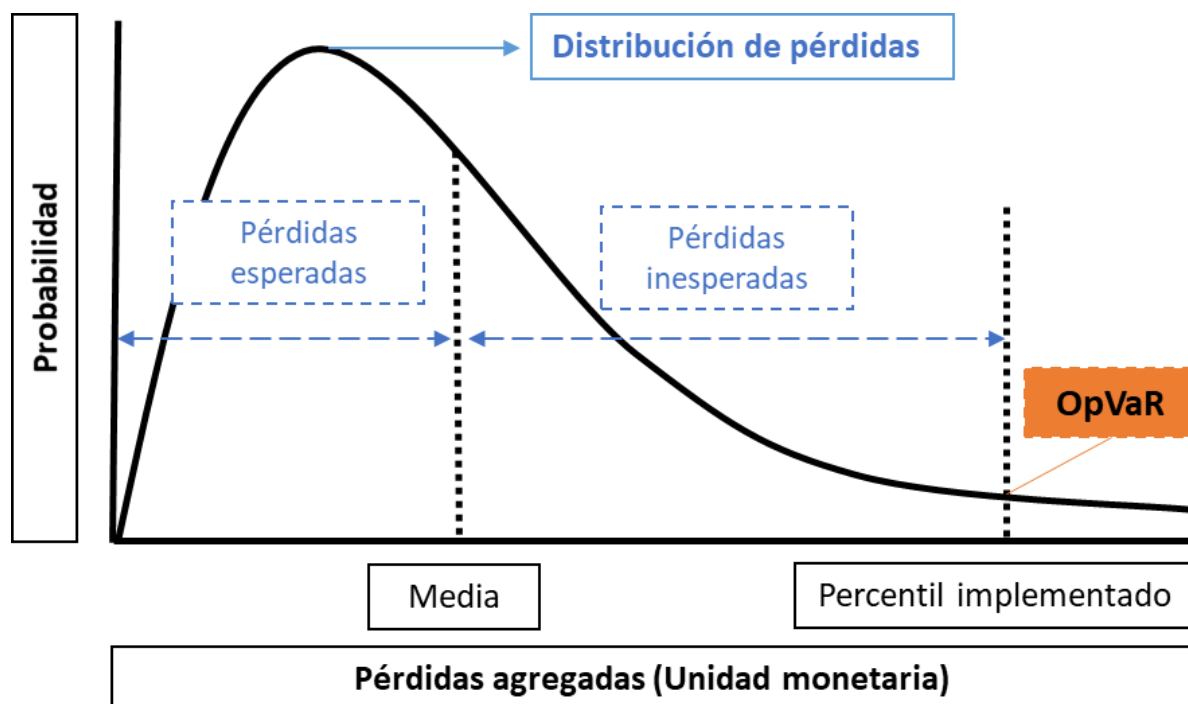
justificado por su propia definición, en el análisis de eventos típicamente financieros.

Teniendo presente el enfoque de este estudio, se parte de la definición práctica del VaR como la máxima pérdida posible en un nivel de confianza y periodo de tiempo, calculado con base en el  $(1 - \alpha)$  %, concierne al  $\alpha$ -ésimo cuantil ( $q\alpha$ ), siendo así el menos malo de los  $(1 - \alpha)$  100 % de los peores casos de una distribución de pérdidas agregadas (Melo y Becerra, 2006), desde una perspectiva probabilística es entonces un cuantil (un intervalo) de la distribución de pérdida modelada.

Su cálculo implica consideraciones de tiempo, puesto que su estimación y su presentación cambian según esta variable. En términos de mejores prácticas y normatividad, el Comité de Basilea II recomienda el cálculo del VaR con un nivel de confianza del 99 %, según datos históricos de un año, 250 días hábiles, y período de tenencia de 10 días (Jorion, 1999).

Ilustrativamente, en una función de distribución se puede representar de la siguiente forma:

*Figura 1. Distribución de pérdidas agregadas*



Fuente: Elaboración propia.

Para efectos de su cálculo, en este trabajo se reitera que se utiliza el método de simulación

Montecarlo basado en la información histórica de los eventos de acuerdo con la distribución asumida, y para mejorar la precisión de los *outputs* se aplica el método de simulación Bootstrap.

El VaR puede ser calculado por medio de la función de distribución acumulada inversa, identificando el cuantil vinculado a una probabilidad dada una distribución:

*Ecuación 1.VaR*

$$VaR_{1-\alpha} = F_X^{-1}(1 - \alpha)$$

Donde  $F_X^{-1}(1 - \alpha)$  representa la función inversa de la función de distribución acumulada, para este caso de las pérdidas asociadas a los eventos de accidentes de trabajo y enfermedad general.

Por medio de la metodología Bootstrap se realizan procesos de ajuste de distribución de la probabilidad y se encuentra el intervalo de confianza de la media partiendo de los resultados del método de simulación Montecarlo. La metodología Bootstrap se trata de un método mediante el cual se pueden buscar diferentes objetivos al analizar datos, entre los cuales resaltan la estimación de intervalos de confianza (IC) o la prueba de significación estadística, lo que permite aproximar la distribución de muestreo de un estadístico y de sus características mediante un proceso que consiste en crear un gran número de muestras reponiendo a los datos observados (Ledesma, 2008).

Desde el concepto mismo, el Bootstrap tiene su enfoque en el remuestreo de datos o *resampling*, en el cual se ubica una variedad de técnicas que utilizan procesos de simulación para estimar probabilidades por medio de experimentos que se realizan con los datos de muestra (Rudner y Shafer, 1992). El término *remuestreo* alude a que los métodos tienen como base la extracción de un gran número de muestras repetidas de la muestra base, y de sus resultados se realizan descripciones e inferencias estadísticas, siendo entonces una técnica utilizada como estrategia para resolver cuestiones de probabilidad y estadística aplicada (Simon, 1997).

Esta metodología se utiliza en el estudio aplicando un símil a los pasos establecidos por

(Melo y Becerra, 2006) para la media. En ese sentido, el símil de los pasos sería el siguiente:

- 1) Se construyen  $B$  submuestras de un tamaño  $S$ , ( $t = 1, 2, \dots, S$ ), donde las pérdidas poseen la misma probabilidad de ser seleccionadas ( $p = 1/S$ ); en otros términos, un muestreo aleatorio simple con reemplazamiento.
- 2) Para las  $B$  submuestras se calcula el parámetro de estudio por simulación Montecarlo de manera individual.
- 3) Para finalizar, un estimador del parámetro es calculado como la media de los resultados en las  $B$  submuestras.

## Metodología

La metodología que se implementa en este trabajo investigativo es cuantitativa explicativa. Cuantitativa ya que se busca realizar una estimación de la magnitud de un fenómeno y su probabilidad de ocurrencia (Hernández *et al.*, 2017).

Para complementar esta idea se debe tener en cuenta que el modelo LDA tiene como propósito estimar la función de distribución de pérdidas. El proceso se realiza ajustando y combinando las funciones de distribución de probabilidad de la frecuencia y la severidad de un evento, y luego se obtienen los percentiles para valorar el riesgo operativo. Los percentiles, también conocidos como OpVaR, permiten calcular las pérdidas esperadas y no esperadas de los eventos de riesgo operativo (Macías *et al.*, 2016).

Para realizar este procedimiento se recolectaron los datos de dos tipos de eventos de una empresa de talento humano con aproximadamente 16.000 empleados activos al año, con una ventana de cinco años para los dos tipos de eventos examinados:

- 1) Enfermedades generales.
- 2) Accidentes de trabajo.

Para el modelo LDA la primera variable será el conteo del número de eventos presentados durante cada mes en esos años, y para el caso de la severidad de dichos eventos, los costos diarios asociados.

Esta recolección de datos fue tomada de los reportes realizados por la empresa al Ministerio del Trabajo de Colombia y sus registros internos, evitando de esta manera cualquier sesgo personal presentado en la investigación (Hernández *et al.*, 2017).

En cuanto a los datos salariales y al estar estos en años distintos, se realiza una transformación de los mismos con el fin de obtener un valor estimado de las pérdidas en un año de referencia y de manera más acorde con la realidad actual, puesto que la normatividad revisada indica que en todo momento se debe cumplir con pagos según el salario mínimo mensual legal vigente. El proceso de transformación consiste en lo siguiente:

1. Se indexarán los salarios por medio del índice de precio al consumidor en Colombia.
2. En caso de que el resultado sea inferior al salario mínimo legal vigente del año 2023 (año de referencia en que se realiza el ejercicio), se llevará a cabo una transformación del salario mínimo legal vigente, evitando así realizar un ejercicio con valores salariales ficticios, ya que no son permitidos en Colombia.
3. Se realizará el cálculo diario del salario resultante de los dos pasos anteriores, y para tal objetivo se toman como base meses de 30 días.

La transformación de los datos permitiría tener la base para estimar la función de distribución de pérdidas por evento. Luego de organizar los datos se ejecuta un análisis exploratorio para calcular las medidas de tendencia central, dispersión, asimetría y curtosis, y complementariamente se presentan los histogramas, lo que permite identificar los aspectos más esenciales del proceso generador de datos asociado a los tipos de eventos estudiados, y así tomar decisiones sobre la implementación de las metodologías. En el caso del valor en riesgo, las medidas de asimetría y curtosis son muy importantes, pues por medio de ellas se pueden identificar distribuciones con colas pesadas y, por lo tanto, se le debe brindar especial atención.

Para obtener el número de eventos por mes se realizará un conteo del número de sucesos presentados por mes para cada tipo de evento, variable base para determinar la frecuencia de la ocurrencia de los eventos.

Se considera pertinente aclarar que teniendo presentes las prestaciones económicas del Decreto 1295 de 1994, en su artículo 7.º, Prestaciones económicas, donde se indica que son varios los componentes de las prestaciones económicas, siendo uno de los componentes para reconocer el subsidio por incapacidad temporal, partiendo del enfoque de este estudio y de la información que está disponible para la empresa, la severidad del modelo a construir será modelada a partir de esta prestación con carga a la empresa.

Continuando con lo indicado en el párrafo anterior, para el caso del capital económico o severidad y teniendo presente que esta variable para los eventos en análisis está compuesta

por dos elementos: salario y tiempo en que dure la incapacidad, el resultado de este componente será la severidad por evento, es decir, se multiplica el valor del salario diario por el número de días que tardó la incapacidad y se le agregan aquellas cargas que correspondan.

A continuación, se ajustan las funciones de distribución de frecuencia y severidad que según los test estadísticos representan mejor los datos históricos de número de eventos en un mes y capital económico perdido en dichos eventos (Chernobai *et al.*, 2005).

En cada proceso de ajuste de distribución se realiza un análisis Bootstrap, con el que se genera una distribución de probabilidad para los valores de cada parámetro de la distribución de probabilidad inicialmente ajustada. El proceso se lleva a cabo realizando muestras de un conjunto de valores de una distribución ajustada y realizando reajustes de esos valores; así, cada ajuste en el análisis Bootstrap generara un nuevo valor para cada parámetro ajustado del tipo de distribución.

Luego se procede con la estimación del modelo LDA para cada evento por separado, se calculan las pérdidas esperadas y no esperadas para dichos eventos y finalmente un análisis de los resultados de los dos eventos por separado (Macías *et al.*, 2016). Esta parte se construye por medio de convolución de las dos distribuciones caracterizadas, frecuencia y severidad, lo cual puede ser descrito de la siguiente manera: sea  $N$  variable aleatoria, la cual representa el número de eventos ocurrido en un período de tiempo  $(t$  y  $t+\tau)$ , el cual posee una distribución de probabilidad asociada  $p(n)$ , y sea la variable  $X$  una variable aleatoria que determina el monto de la pérdida para el evento  $n$ , cuya función de densidad es  $F(x)$ . Entonces, teniendo presente la independencia entre la frecuencia y la severidad, como parte de los supuestos del modelo LDA, estará entonces determinada la pérdida total  $S$  en el intervalo temporal  $(t, t+\tau)$  por la relación (Klugman *et al.*, 2004):

*Ecuación 2. Pérdida total en intervalo de tiempo*

$$S = X_1 + X_2 + X_3 + \dots + X_N$$

La suma aleatoria  $S$  sigue una distribución de probabilidad acumulativa continua dada por (Klugman *et al.*, 2004):

Ecuación 3. Función de distribución de probabilidad acumulativa para la pérdida total

$$F_S(x) = P_r(S \leq x) = \sum_{n=0}^{\infty} P_n * P_r(S \leq x \setminus N = n)$$

$$F_S(x) = \sum_{n=0}^{\infty} P_n F^{*n}(x)$$

Entonces el valor de la pérdida agregada estará dado por (Klugman *et al.*, 2004):

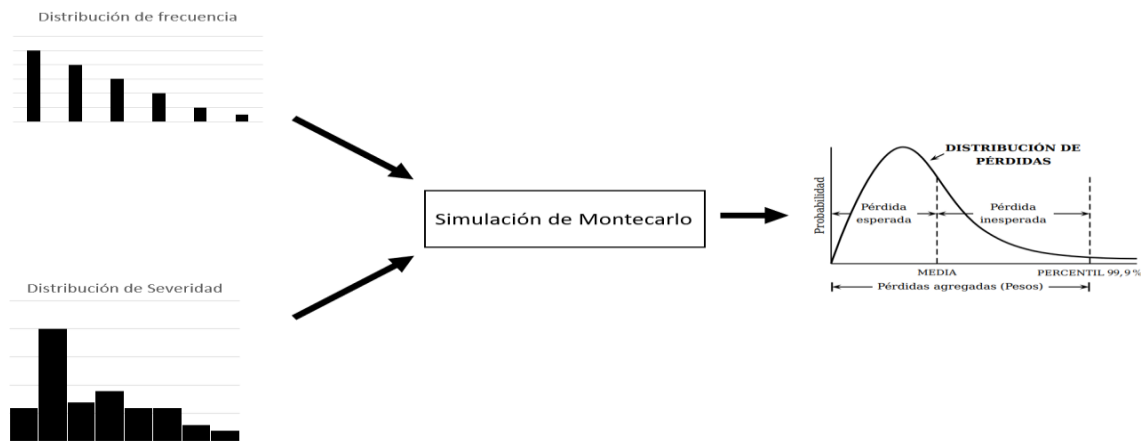
Ecuación 4. Valor de la pérdida agregada

$$S(x) = \{P(n) \text{ para } x = 0\}$$

Donde  $F^{*n}(x)$  determina la probabilidad de que la cantidad agregada de (n) pérdidas sea (x), teniendo presente que el asterisco señala la convolución en la función F y  $F^{*n}$  es n veces la convolución de F consigo misma.

Para obtener  $S(x)$ , este documento utiliza la simulación de Montecarlo, que implica un método que simula escenarios de variables aleatorias, como la simulación de pérdidas económicas por tipos de eventos (Medina y Restrepo, 2013). Para la ejemplificación de lo descrito a continuación se representa gráficamente el proceso:

Figura 2. Simulación de Montecarlo



Fuente: Elaboración propia.

Además, teniendo presente que se busca establecer una función de pérdida que contemple todas las cargas salariales y las prestaciones de la normatividad colombiana que le corresponden al empleador según cada tipo de evento de manera desagregada, por una parte, y conjunta, por otra, se considera oportuno hacer referencia a las propiedades de la esperanza matemática de una función de una variable aleatoria. Para dar claridad sobre lo anterior, sea  $P$  la variable aleatoria de pérdida según el tipo de evento, si  $y(P)$  es la función que describe mencionada variable aleatoria y existe  $E[y(P)]$ , y sean  $c$  y  $e$  dos constantes o números reales cualesquiera, existe entonces  $E[c*y(P)]$  y  $E[c*y(P)+e]$  y son equivalentes a  $E[y(P)] = c* E[y(P)]$  y  $E[c*y(P)+e] = c* E[y(P)] +e$ , toda vez que la esperanza matemática es un operador lineal. Con respecto a la estimación de la función de pérdidas que agregue los dos tipos de eventos y partiendo de las propiedades de la esperanza matemática, sea  $S$  otra variable aleatoria distinta de  $X$ , tal que existe  $f(S)$ , tal que existen  $E[y(P)]$  y  $E[f(S)]$ , entonces también existe  $E[y(P)+f(S)]$  y es igual a  $E[y(P)]+ E[f(S)]$ ; por lo tanto, se podrá realizar la suma de las funciones de distribución de pérdidas de cada tipo de evento para obtener una función que exprese el valor esperado de la totalidad de los dos tipos de eventos (Vargas, 1995).

Además, la investigación tiene un alcance explicativo. Según Hernández *et al.* (2017), “los estudios explicativos van más allá de la descripción de conceptos o fenómenos o del establecimiento de relaciones entre conceptos; es decir, están dirigidos a responder por las causas de los eventos y fenómenos físicos o sociales” (Hernández *et al.*, 2017, p. 95).

Con ello se debe entender que la aplicación del modelo LDA busca comprender la relación entre los dos eventos estudiados y las pérdidas de las empresas dentro del sector estudiado, así como posibles decisiones de retención en caso de ser posible. Además, con este ejercicio se podría analizar entonces cuál de estos eventos tienen más peso sobre el castigo financiero de las empresas y permitir que la toma de decisiones en cuanto a las inversiones de mitigación se realice de manera más informada.

Como se analiza en los estudios revisados, la aplicación del modelo LDA ha sido muy utilizada por sectores como el asegurador (Bühlmann, 1970), y el sector financiero comenzó

su uso luego de las determinaciones del Comité de Supervisión Bancaria de Basilea (2006). Lo que se pretende con el análisis de los resultados de esta investigación, en un caso de estudio diferente al de los campos asegurador y bancario, es observar cómo encaja el modelo LDA en el conocimiento existente y futuro de la aplicación de este tipo de modelos para la medición y la cuantificación del riesgo operativo.

Jorion (2010) comenta que actualmente se percibe un aumento en el reconocimiento de las fuentes de volatilidad de los ingresos conexos no únicamente con la financiación de las empresas, sino con aquellos que están vinculados al desarrollo de la actividad empresarial, a los que llama *riesgo operacional*, y menciona que estos deben ser medidos e incorporados en los portafolios de riesgo para los activos en cualquier clase de compañía. Estos resultados buscan acercar la academia al estudio de la cuantificación de riesgos en las empresas donde no es usual la implementación de modelos robustos. Este acercamiento permitirá que las mismas empresas de sectores diferente al asegurador y el bancario sean conscientes de la importancia de la conservación de información para la toma de decisiones, hecho que limita el uso de este tipo de modelos.

Para dar este paso que comenta el autor es necesario mostrar la aplicación de estas metodologías en varios casos, y estructurar los métodos de reporte y conservación de la información, ya que es uno de los inconvenientes para su uso (Mora, 2010), lo que muestra que son metodologías al alcance de cualquier organización.

Se espera que los resultados de este estudio sean un aporte para que el sector académico cuente con una implementación estructurada de la manera en que se deberían llevar los métodos robustos de medición a otros sectores y se constituyen iniciativas para la aplicación de este tipo de modelos en otros sectores, donde ya se encuentra información disponible acerca de eventos de pérdidas, para permitir así que su cuantificación sea más acertada.

## Resultados

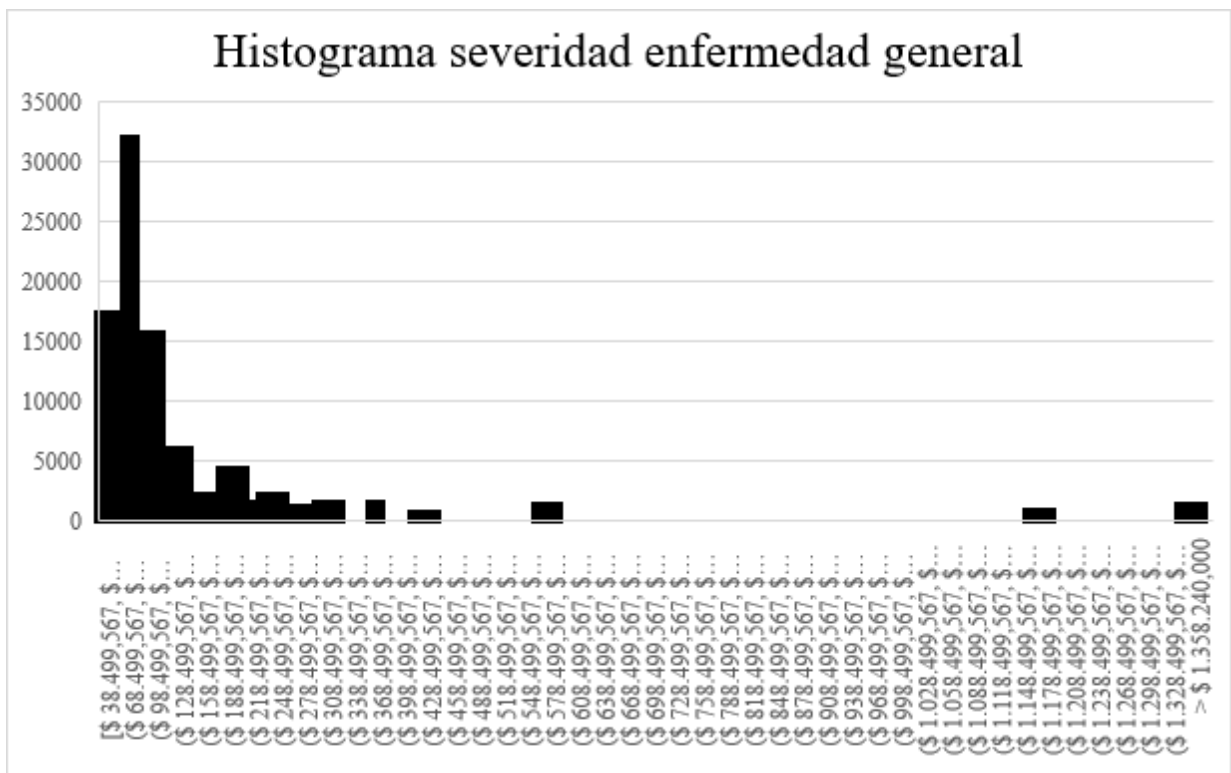
A continuación, se exponen los resultados por cada tipo de evento, inicialmente de los eventos de enfermedades generales, partiendo en cada caso de un análisis estadístico general de las variables de severidad y frecuencia, y posteriormente realizando los respectivos ajustes de distribución:

*Tabla 2. Severidad de las enfermedades generales*

Severidad de las enfermedades generales	
Media	\$199.173,41
Error típico	\$1.253,59
Mediana	\$88.517,71
Moda	\$78.508,62
Desviación estándar	\$386.355,64
Varianza de la muestra	1,49271E+11
Curtosis	178,1170563
Coefficiente de asimetría	9,37312897
Rango	\$16.444.227,95
Mínimo	\$38.499,57
Máximo	\$16.482.727,52
Suma	\$18.918.884.712,98
Cuenta	94987

Fuente: Elaboración propia.

Figura 3. Histograma de la severidad de las enfermedades generales



Fuente: Elaboración propia.

Para el caso de las enfermedades generales y las pruebas de bondad de ajuste de la severidad, se obtienen los siguientes resultados utilizando el programa @Risk:

Tabla 3. Pruebas de bondad de ajuste de la severidad de las enfermedades generales

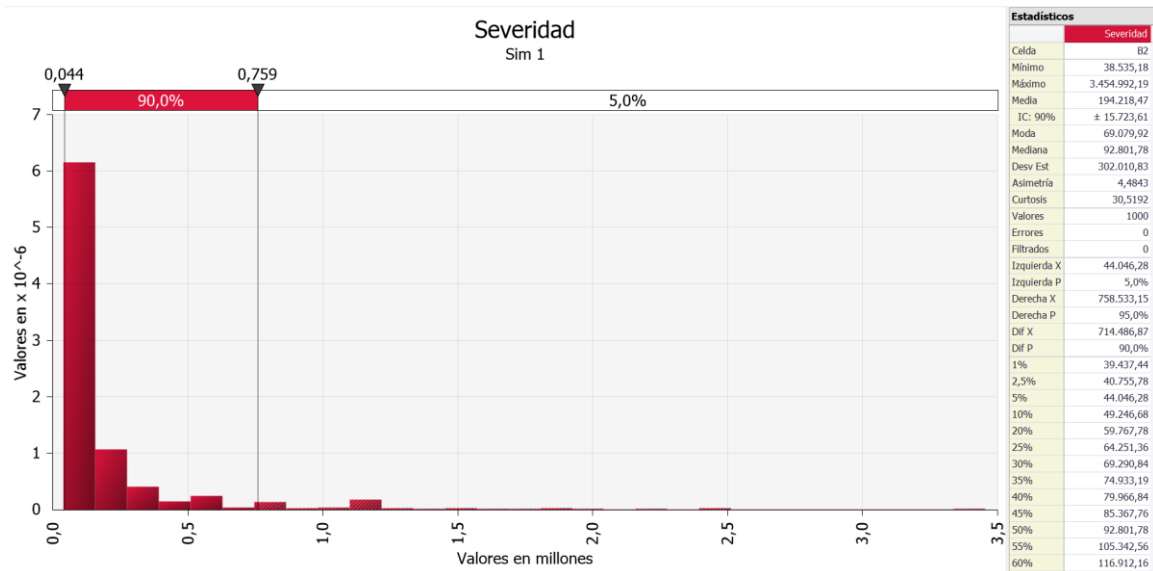
		Pearson5(1,94;170795,48)	Loglogistic(0;105510,65;2,17)	Invgauss(19973,41;157739,79)	Lognorm(169385;179102,6)	Weibull(0,911;187226,93)	Gamma(1,07;186760,12)	Expon(199173,41)	Levy(0;88025,805247)	Pert(0;0;16484928,87)	Triang(0;39088,73;16483315,15)	Uniform(0;16482901,05)
Valor p*	Prueba Anderson-Darling	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	Prueba Kolmogorov-Smirnov	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Valor	Criterio de información Akaike (AIC)	2.438.647,68	2.451.673,52	2.456.674,92	2.458.288,08	2.505.916,85	2.507.781,20	2.508.025,66	2.512.080,42	2.860.891,73	3.027.261,32	3.156.958,42

Fuente: Elaboración propia con resultados de @Risk.

Como se indica en la tabla anterior, se ajustaron las distintas distribuciones paramétricas y se observó que ninguna de las distribuciones pasa la prueba de bondad (Anderson – Darling y Kolmogorv – Smirnov) de ajuste para aceptar la hipótesis nula para un nivel de significancia del 5 %; por tal razón, y con el objetivo de realizar la simulación, se recurrió

a la distribución general que se obtiene directamente de los datos muestrales y que está caracterizada por las parejas de datos  $F(X_i, P_i)$ , representada por la siguiente gráfica que ilustra la distribución empírica resultante para la severidad de las enfermedades generales:

Figura 4. Distribución empírica resultante para la severidad de las enfermedades generales



Fuente: Resultados de @Risk.

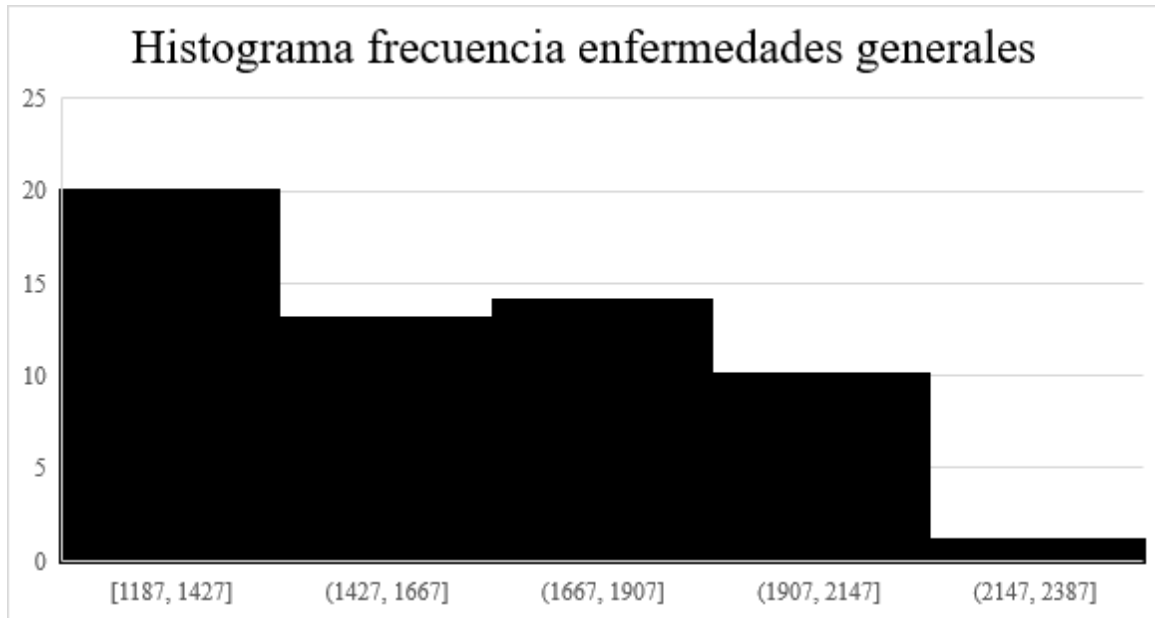
Para el caso de la frecuencia se tienen los siguientes resultados:

Tabla 4. Frecuencia de las enfermedades generales

Frecuencia de las enfermedades generales	
Media	1627,603448
Error típico	34,38660437
Mediana	1617
Moda	1733
Desviación estándar	261,8805768
Varianza de la muestra	68581,43648
Curtosis	-1,158525464
Coficiente de asimetría	0,145912103
Rango	963
Mínimo	1187
Máximo	2150
Suma	94401
Cuenta	58

Fuente: Elaboración propia.

Figura 5. Histograma de las frecuencia de las enfermedades generales



Fuente: Elaboración propia.

En cuanto a la prueba de bondad de ajuste, los principales resultados son los siguientes, para el caso de la frecuencia de las enfermedades generales:

Tabla 5. Pruebas de bondad de ajuste de la frecuencia de las enfermedades generales

		Uniform(1187;2150)	Negbin(40;0,023987)	Geomet(0,000614)	Poisson(1627,603448)
Valor p*	Prueba Chi-cuadrado	0,024	0,012	0,000	0,000
Valor	Criterio de información Akaike (AIC)	801,265	812,911	975,911	2938,893

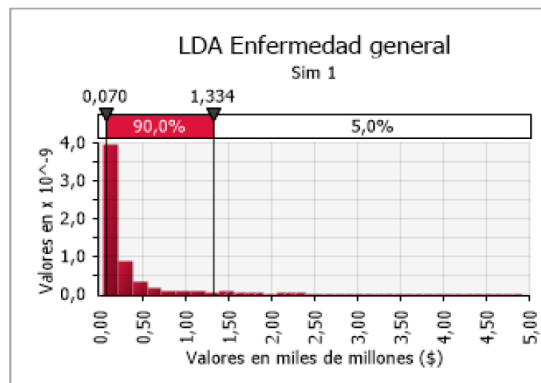
Fuente: Elaboración propia con resultados de @Risk.

Al igual que la severidad, para la frecuencia se observa que en los distintos estadísticos de la prueba chi-cuadrado en los que no se obtienen P-valores altos y a un nivel de significancia del 5 % no se puede aceptar la hipótesis nula; no obstante, a un nivel de significancia del 1 % se encuentra significancia; además, la forma funcional teórica coincide en varios de los estadísticos de forma con los datos empíricos. Como complemento de lo anterior, y con el fin de obtener el mejor ajuste de todos los resultados, se utiliza como criterio de selección el criterio de información AIC o Akaike, que es un método que permite comparar diferentes

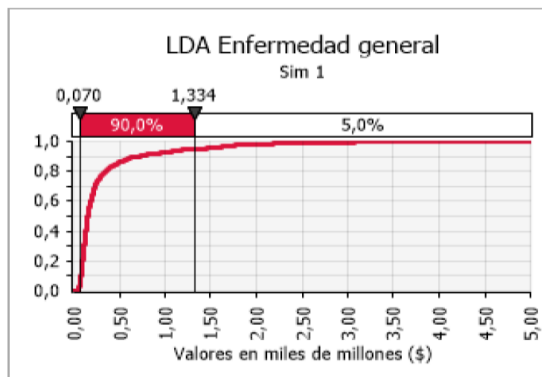
modelos sobre un resultado determinado, es una extensión del principio de máxima verosimilitud, siendo esta última utilizada típicamente para estimar los parámetros de un modelo cuando se han formulado la estructura y la dimensión. La idea que lo fundamenta es la posibilidad de combinar en un único procedimiento el proceso de estimación con la determinación estructural y dimensional, y la regla de elección es que cuanto más pequeño sea el valor de AIC, mejor será el modelo (Cavanaugh y Neath, 2019); por tanto, se elige esta distribución para realizar las simulaciones de frecuencia Uniform (1187;2150).

A partir de las dos distribuciones empíricas, de severidad y de frecuencia, se construye una nueva variable aleatoria para las pérdidas económicas, variable central del presente estudio. A continuación se exponen el resultado de la estimación y los respectivos percentiles de la distribución, donde se puede identificar el VaR a diferentes niveles:

Figura 6. LDA de las enfermedades generales



Estadísticos de resumen	
Estadístico	Valor
Mínimo	\$47.359.950,09
Máximo	\$4,916E+009
Media	\$323.570.121,55
Desv. estándar	\$505.651.106,25
Varianza	2,557E+017
Asimetría	4,4749
Curtosis	29,8489
Mediana	\$155.009.958,68
Moda	\$100.856.887,72
X izquierda	\$70.012.399,23
P izquierda	5%
X derecha	\$1,334E+009
P derecha	95%



Percentiles	
Percentil	Valor
1%	\$53.040.591,13
2,5%	\$62.216.329,72
5%	\$70.012.399,23
10%	\$79.344.559,93
20%	\$98.001.595,64
25%	\$105.699.310,99
50%	\$155.009.958,68
75%	\$279.850.713,74
80%	\$347.296.430,99
90%	\$700.623.409,52
95%	\$1,334E+009
97,5%	\$1,796E+009
99%	\$2,385E+009

Fuente: Resultados de @Risk.

Además del ejercicio de Bootstrap se encuentra el intervalo de confianza de la media de la

fusión con un resultado de +/- \$ 26.325.748,71. Las pérdidas esperadas e inesperadas (ver tabla 6) para la distribución de pérdidas económicas en el evento de enfermedad general para los percentiles que típicamente se utilizan, 95 % y 99%, corresponderán al VaR operacional, considerando en principio el cuerpo de la distribución y no el comportamiento de las colas:

*Tabla 6. Pérdidas esperadas e inesperadas de LDA de las enfermedades generales*

Enfermedades generales							
Percentil	Pérdidas esperadas - intervalo de confianza	Pérdidas esperadas	Pérdidas esperadas + intervalo de confianza	OpVar	Pérdidas inesperadas (OpVaR – Pérdidas esperadas + Valor intervalo de confianza)	Pérdidas inesperadas (OpVaR – Pérdidas esperadas)	Pérdidas inesperadas (OpVaR – Pérdidas esperadas – Valor intervalo de confianza)
Percentil 95%	\$ 297.244.372,84	\$ 323.570.121,55	\$ 349.895.870,26	\$ 1.334.000.000,00	\$ 984.104.129,74	\$ 1.010.429.878,45	\$ 1.036.755.627,16
Percentil 99%	\$ 297.244.372,84	\$ 323.570.121,55	\$ 349.895.870,26	\$ 2.385.000.000,00	\$ 2.035.104.129,74	\$ 2.061.429.878,45	\$ 1.764.185.505,61

Fuente: Elaboración propia.

El valor en riesgo es un valor estadístico del riesgo operativo que estima la pérdida máxima que podría materializarse en este caso por el auxilio derivado de la incapacidad con origen en una enfermedad general, en el caso de estudio por un tiempo de un mes y con un nivel de probabilidad o confianza.

Si la entidad se aprovisionara según uno de los términos que Basilea II acepta como carga de capital, el cual sería la diferencia entre el VaR operacional y las pérdidas esperadas, complementariamente se podría utilizar uno de los elementos del intervalo de confianza para este aprovisionamiento. Para este caso en un mes el VaR es de \$ 1.334.000.000,00 con un 95 % de confianza, lo que significa que la pérdida máxima esperada será de este valor en el 95 % de los casos o en término de los meses 19 de cada 20 ( $1/20=5\%$ ), o en otros términos, solo en 1 mes de cada 20 la pérdida que ocurra será superior a \$1.334.000.000,00. Para el caso del percentil 99 %, la interpretación es similar, solo que esta vez es en 99 de cada 100 y la pérdida será igual o inferior a \$2.385.000.000,00 o solo en 1 mes de cada 100 ( $1/100=1\%$ ) se espera superar el valor. A continuación, se realizan los pasos implementados anteriormente para el caso de los accidentes de trabajo:

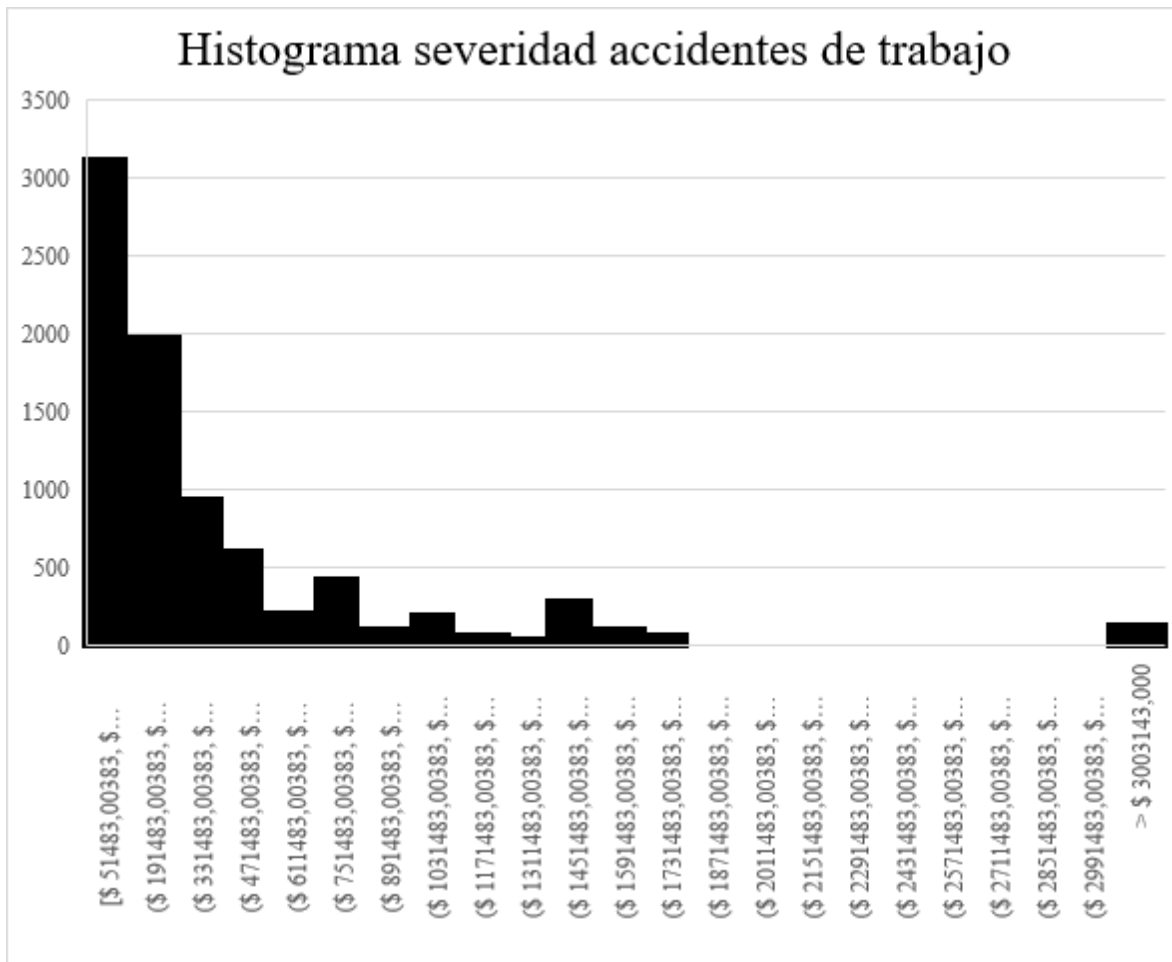
*Tabla 7. Severidad de los accidentes de trabajo*

Severidad de los accidentes de trabajo	
Media	\$511.770,30

Error típico	\$ 9.021,92
Mediana	\$260.746,94
Moda	\$156.440,94
Desviación estándar	\$830.457,45
Varianza de la muestra	6,8966E+11
Curtosis	289,432353
Coefficiente de asimetría	10,88271748
Rango	\$31.959.235,74
Mínimo	\$ 51.483,00
Máximo	\$32.010.718,74
Suma	\$4.336.229.760,76
Cuenta	8473

Fuente: Elaboración propia.

*Figura 7. Histograma de la severidad de los accidentes de trabajo*



Fuente: Elaboración propia.

En cuanto a la severidad de los accidentes de trabajo, las pruebas de bondad de ajuste indican:

Tabla 8. Pruebas de bondad de ajuste de la severidad de los accidentes de trabajo

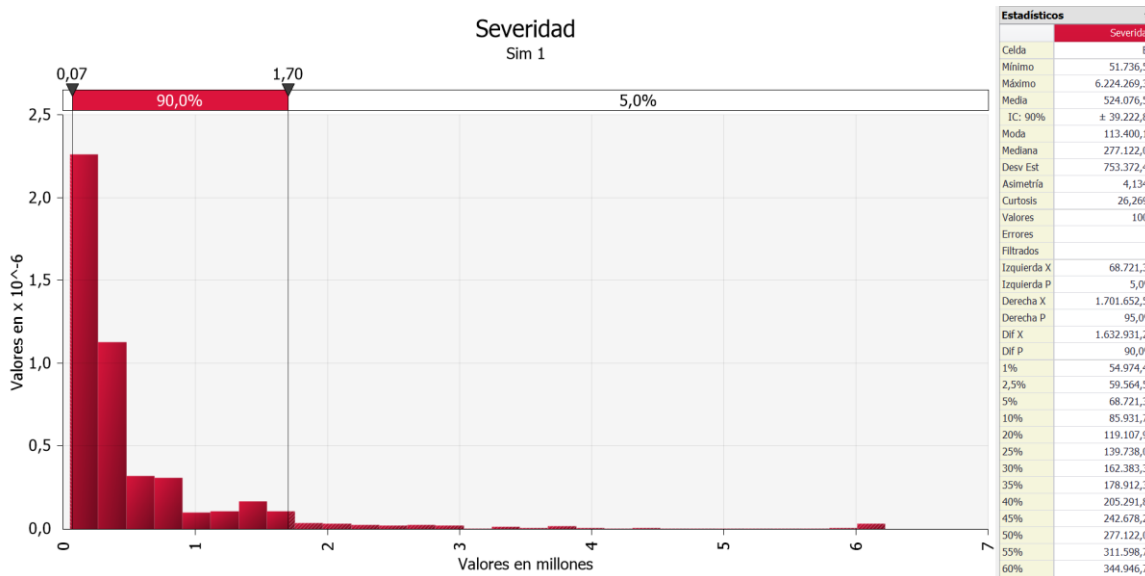
	Pearson6(21,11;1,53;154,01,68)	Pearson5(1,44;291694,21)	Invgauss(511,770,3;334879,31)	Lognorm(47,2884,93;583856,82)	Loglogistic(0,278811,71;1,82)	Weibull(0,93,7,492683,98)	Gamma(1,06,483710,05)	Expon(4837,10,05)	Levy(0,2024,22,919074)	Pert(0,0;320,26910,89)	Triang(0,521,44,57;32032,676,92)	Uniform(0;3,2014497,16)	
Valor p*	Prueba Anderson-Darling	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
Valor p*	Prueba Kolmogorov-Smirnov	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
Valor	Criterio de información Akaike (AIC)	236.427,66	236.440,75	236.630,85	236.978,66	237.106,07	239.635,67	239.698,93	239.713,87	240.894,25	266.759,16	281.386,63	292.857,68

Fuente: Elaboración propia con resultados de @Risk.

Al no existir significancia estadística en los ajustes de las pruebas utilizadas para datos continuos (Anderson Darling y Kolmogorov – Smirnov), se procede con la distribución

empírica que está representada por la siguiente gráfica:

Figura 8. Distribución empírica resultante para la severidad de los accidentes de trabajo



Fuente: Resultados de @Risk.

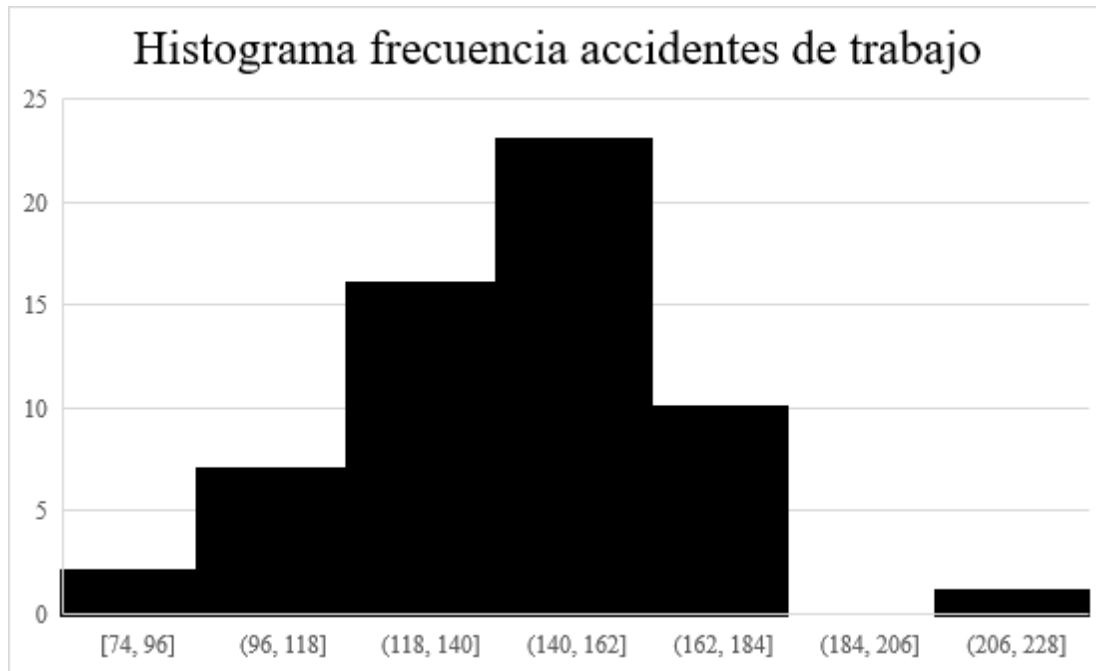
Para el caso de la frecuencia se tienen los siguientes resultados:

Tabla 9. Frecuencia de los accidentes de trabajo

Frecuencia de los accidentes de trabajo	
Media	143,542373
Error típico	3,25663662
Mediana	144
Moda	149
Desviación estándar	25,0147005
Varianza de la muestra	625,735243
Curtosis	0,24773907
Coefficiente de asimetría	-0,1885242
Rango	133
Mínimo	74
Máximo	207
Suma	8469
Cuenta	59

Fuente: Elaboración propia.

Figura 9. Histograma de la frecuencia de los accidentes de trabajo



Fuente: Elaboración propia.

Para la frecuencia de los accidentes de trabajo, los resultados de ajuste son los siguientes:

Tabla 10. Pruebas de bondad de ajuste de la frecuencia de los accidentes de trabajo

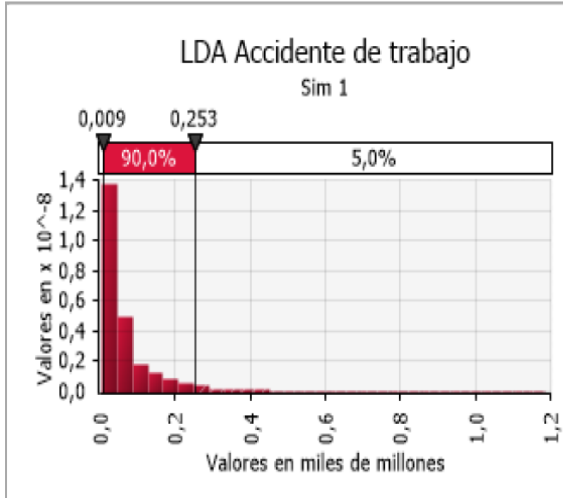
		Negbin(41;0,222171)	Uniform(74;207)	Poisson(143,542373)	Geomet(0,006918)
Valor p*	Prueba Chi-cuadrado	0,873	0,000	0,000	0,000
Valor	Criterio de información Akaike (AIC)	552,847	582,159	662,610	706,543

Fuente: Elaboración propia.

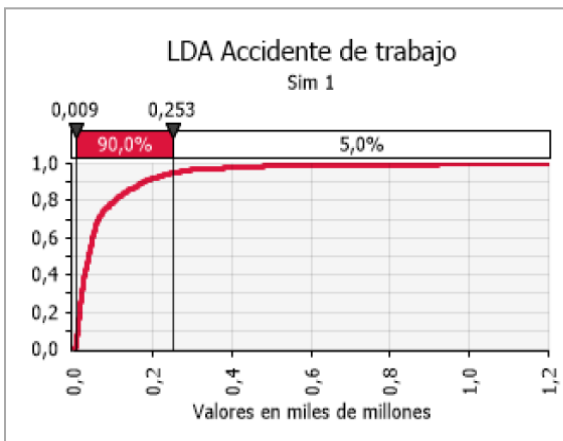
Para la frecuencia de los accidentes de trabajo la prueba de bondad de ajuste chi-cuadrado muestra un único ajuste significativo, y sumado a lo anterior se observa que también posee el menor resultado en el criterio de información Akaike, por lo que se escoge entonces la función de distribución NegBin (41;0,22217).

Se construye a través una nueva variable aleatoria para las pérdidas económicas, y a continuación se exponen los principales resultados:

Figura 10. LDA de los accidentes de trabajo



Estadísticos de resumen	
Estadístico	Valor
Mínimo	5.046.764,32
Máximo	1,187E+009
Media	75.546.104,97
Desv. estándar	113.385.369,40
Varianza	1,286E+016
Asimetría	4,6150
Curtosis	32,8121
Mediana	39.349.048,33
Moda	15.801.274,48
X izquierda	9.203.343,56
P izquierda	5%
X derecha	253.114.650,77
P derecha	95%



Percentiles	
Percentil	Valor
1%	7.073.690,35
2,5%	8.195.671,98
5%	9.203.343,56
10%	12.002.887,45
20%	16.695.353,46
25%	19.402.194,81
50%	39.349.048,33
75%	78.985.959,44
80%	104.219.690,58
90%	176.144.589,57
95%	253.114.650,77
97,5%	376.791.258,93
99%	551.800.415,88

Fuente: Resultados de @Risk.

También, mediante el ejercicio de Bootstrap se encuentra el intervalo de confianza de la media con un resultado de +/- \$ 5.903.190,37.

Tabla 11. Pérdidas esperadas e inesperadas LDA de los accidentes de trabajo

Accidentes de trabajo							
Percentil	Pérdidas esperadas - intervalo de confianza	Pérdidas esperadas	Pérdidas esperadas + intervalo de confianza	OpVar	Pérdidas inesperadas (OpVaR – Pérdidas esperadas + Valor intervalo de confianza)	Pérdidas inesperadas (OpVaR – Pérdidas esperadas)	Pérdidas inesperadas (OpVaR – Pérdidas esperadas – Valor intervalo de confianza)
Percentil 95 %	\$69.642.914,60	\$75.546.104,97	\$81.449.295,34	\$253.114.650,77	\$171.665.355,43	\$177.568.545,80	\$183.471.736,17
Percentil 99 %	\$69.642.914,60	\$75.546.104,97	\$81.449.295,34	\$551.800.415,88	\$470.351.120,54	\$476.254.310,91	\$406.611.396,31

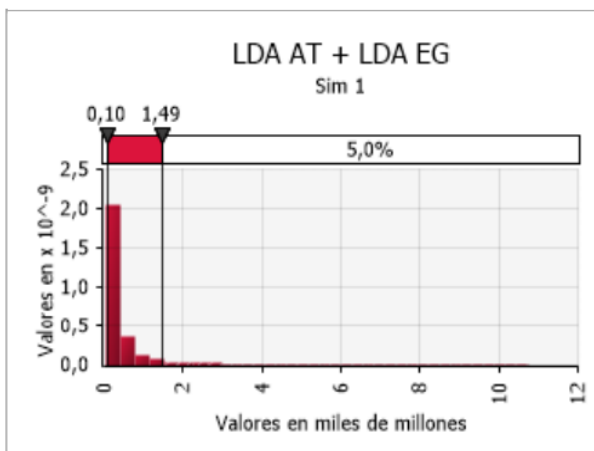
Fuente: Elaboración propia.

De manera similar, si la entidad se aprovisionara para la carga de capital según los términos

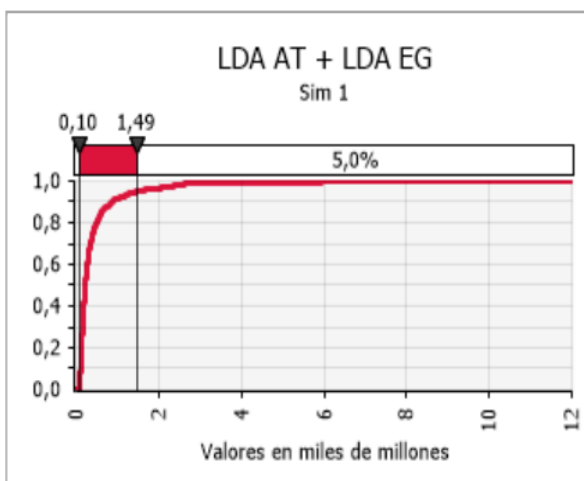
de requerimiento basados en modelos internos de Basilea II, es decir, la diferencia entre el VaR operacional y las pérdidas esperadas, para este caso en un mes el VaR es de \$253.114.650,77 con un 95 % de confianza, lo que significa que la pérdida máxima esperada será de este valor en el 95 % de los casos o en término de los meses, 1 de cada 20 o (1/20=5 %), y en el caso del percentil 99 en 99 de cada 100 meses la pérdida será igual o inferior a \$551.800.415,88 o solo en 1 mes de cada 100 (1/100=1 %) se puede superar el valor.

Luego de los modelos de pérdidas agregadas construidos de manera separada para cada evento, se procedió con la suma de los resultados probabilísticos de cada evento, para poder obtener el resultado agregado en un modelo de pérdida agregada conjunta, simulado bajo las mismas condiciones de los eventos anteriores; a continuación se exponen los resultados:

Figura 11. LDA total



Estadísticos de resumen	
Estadístico	Valor
Mínimo	59.964.216,65
Máximo	1,074E+010
Media	432.329.207,45
Desv. estándar	710.026.215,78
Varianza	5,041E+017
Asimetría	7,1555
Curtosis	79,2114
Mediana	224.351.732,19
Moda	141.323.612,55
X izquierda	101.323.971,82
P izquierda	5%
X derecha	1,488E+009
P derecha	95%

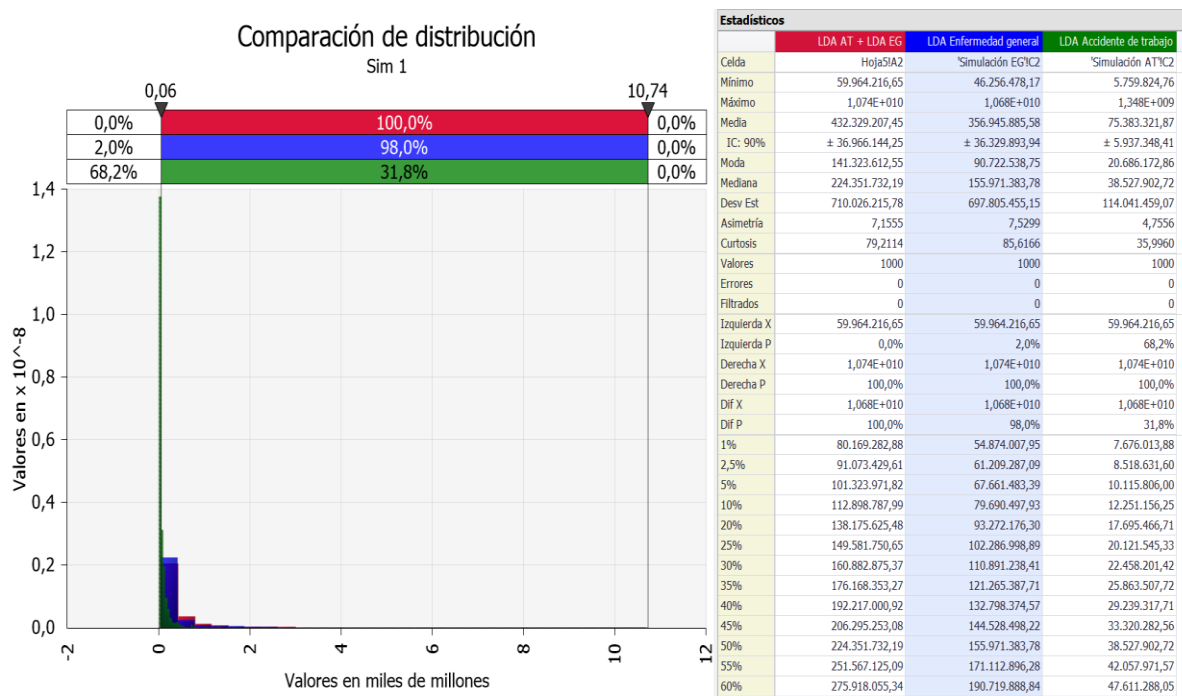


Percentiles	
Percentil	Valor
1%	80.169.282,88
2,5%	91.073.429,61
5%	101.323.971,82
10%	112.898.787,99
20%	138.175.625,48
25%	149.581.750,65
50%	224.351.732,19
75%	412.926.830,87
80%	494.503.485,64
90%	863.975.845,25
95%	1,488E+009
97,5%	2,234E+009
99%	2,744E+009

Fuente: Resultados de @Risk.

A continuación, la representación gráfica de los dos eventos y de su suma:

Figura 12. Comparativo de modelos LDA



Fuente: Resultados de @Risk.

Mediante el ejercicio de Bootstrap se encuentra el intervalo de confianza de la media con un resultado de +/- \$36.966.144,25. Para este resultado final los resultados en términos de pérdidas esperadas, OpVaR y pérdidas inesperadas son los siguientes:

Tabla 12. Pérdidas esperadas e inesperadas LDA total

LDA AT + LDA EG							
Percentil	Pérdidas esperadas - intervalo de confianza	Pérdidas esperadas	Pérdidas esperadas + intervalo de confianza	OpVar	Pérdidas inesperadas (OpVaR – Pérdidas esperadas + Valor intervalo de confianza)	Pérdidas inesperadas (OpVaR – Pérdidas esperadas)	Pérdidas inesperadas (OpVaR – Pérdidas esperadas – Valor intervalo de confianza)
Percentil 95 %	\$395.363.063,20	\$432.329.207,45	\$469.295.351,70	\$1.488.000.000,00	\$1.018.704.648,30	\$1.055.670.792,55	\$1.092.636.936,80
Percentil 99 %	\$395.363.063,20	\$432.329.207,45	\$469.295.351,70	\$2.744.000.000,00	\$2.274.704.648,30	\$2.311.670.792,55	\$1.916.307.729,35

Fuente: Elaboración propia.

## Conclusiones

En el caso de estudio que tiene como fundamento realizar un análisis del riesgo operacional a través de la práctica de modelos de distribución de pérdidas en el sector de la gestión y la provisión de talento humano para los eventos de accidente de trabajo y enfermedad general y del derivado auxilio económico por incapacidad temporal que determina la normatividad Colombiana, luego de la realizada revisión genérica de la amplia regulación que les atañe a estos eventos, se pudo evidenciar la clara responsabilidad derivada de la relación laboral que corre por cuenta del empleador del mencionado auxilio, así como el señalamiento de algunas otras responsabilidades accesorias a estos eventos y aquellos mecanismos de transferencia de riesgos disponibles y regulados por la norma. Aun así, la comprensión del comportamiento de estos eventos por parte del sector empresarial puede permitir considerar y proponer diferentes posibles soluciones a las establecidas por la norma. Esta consideración, desde el punto de vista de la eficiencia, desde una perspectiva netamente financiera y desde la gestión de riesgos de estos eventos, puesto que es claro que los principios, el fundamento y el objetivo de la seguridad social en Colombia poseen un enfoque social y de derecho irrenunciable para las personas; lo anterior, con base en el artículo 48 de la Constitución Política de Colombia.

La modelación por medio de la simulación Montecarlo, aplicada al método de pérdidas agregadas para la sumatoria del valor económico del auxilio derivado de una incapacidad temporal, ya sea por enfermedad general o por accidente de trabajo con 1.000 iteraciones y 100 simulaciones, muestra que el 99 % de los eventos tendrá un valor igual o inferior a \$572.900.727,72 en un mes para el caso de estudio y las pérdidas agregadas esperadas en un mes son de \$387.749.043,74. Con los anteriores resultados la empresa que suministró los datos podría comenzar a analizar y comparar estos resultados con sus aportes reales a la seguridad social, particularmente a las entidades que administran los subsistemas de salud (EPS) y riesgos laborales (ARL). Lo anterior, al margen de lo indicado inicialmente en este apartado de conclusiones, aunque considerando que estas entidades también tienen incentivos comerciales para que sean elegidas por los empleados y los empleadores, y donde un acercamiento con razonabilidad demostrada puede jugar a favor de condiciones de reinversión o beneficios provechosos para quienes las eligen.

Una sugerencia que se considera a partir de este estudio es el inicio del análisis de los datos siniestrales derivados de estos eventos con un enfoque económico, puesto que en la mayoría de los casos se deja el análisis a los profesionales de la salud laboral, como los médicos laborales y los profesionales en seguridad y salud en el trabajo, cuya formación no tiene este enfoque. Lo anterior, bajo la consideración de que los impactos financieros ya están transferidos a las entidades del sistema y, por tanto, no se encuentra un raciocinio para analizarlos desde el punto de vista económico. En la misma medida, los resultados de este estudio permiten considerar un acercamiento a estos análisis buscando evaluar y comparar los resultados de los programas de prevención de las organizaciones y sus presupuestos.

A partir de este análisis también se pueden considerar la participación o la retención del riesgo por medio de los denominados mecanismos alternativos de transferencia de riesgos (ART, por sus siglas en inglés) para entidades donde el volumen del negocio pueda compensar su implementación, claro está, luego de los análisis y la ponderación de ejercicios similares a los ejecutados.

Para posibles próximos trabajos se debe considerar la modelación del VaR de los eventos en estudio y debe complementarse con información de las otras cargas que están en cabeza del empleador y que no fueron parte de este trabajo por su limitante en información, toda vez que este tipo de información es registrada y resguardada por las entidades administradoras de recursos y prestadoras de servicios. Así mismo, se recomienda ajustar al modelo que consideren dependencia de varianzas y dependencia de los eventos.

## Referencias

- Akkizidis, I., y Bouchereau, V. (2005). *Guide to optimal operational risk & basel II*. CRC Press.
- Asociación Nacional de Industriales (ANDI) (2017). *Informe de seguimiento sobre salud y estabilidad en el empleo*.
- Arbeláez, J. C., Franco, L. C., Betancur, C., Murillo, J. G., Gallego, P. A., Henao, V. M., y Varela, D. C. (2006). Riesgo operacional: reto actual de las entidades financieras. *Revista de Ingenierías Universidad de Medellín*, 5(9), 97-110. <https://doi.org/1692-3324>.
- Arroyo, I., Bravo, L. C., Llinás, H., Muñoz, F. L. (2014). Distribuciones Poisson y Gamma: Una discreta y continua relación. *Prospectiva*, 12(1), 99-107.
- Banco de Pagos Internacionales (BIS) (2003). *Buenas prácticas para la gestión y supervisión del riesgo operacional*. Banco Internacional de Pagos.
- Banco de Pagos Internacionales (BIS). (2011). *81.º informe anual*. [https://www.bis.org/publ/arpdf/ar2011\\_es.pdf](https://www.bis.org/publ/arpdf/ar2011_es.pdf)
- Baud, N., Frachot, A., y Roncalli, T. (2002). How to avoid over-estimating capital charge for operational risk? *Groupe de Recherche Operationnelle*, 1-10.
- Böcker, K., y Kluppelberg, C. (2005). Operational VaR: a closed-form approximation, *RISK Magazine*, 18(12), 90-93.
- Brito, D. (2018). El riesgo empresarial. *Revista Científica de la Universidad de Cienfuegos*, 10, 269-277.
- Bühlmann, H. (1970). *Mathematical methods in risk theory*. Springer.
- Carrillo, S., y Suárez, A. (2006). Medición efectiva del riesgo operacional. *Estabilidad Financiera*, (11), 61-89.

- Castro, C. (2015). La administración cuantitativa del riesgo financiero en la provisión de un plan de salud. *Revista Gerencia y Políticas de Salud*, 14(28), 51-62. <https://doi.org/10.11144/Javeriana.rgyps18-28.lacr>.
- Cavanaugh, J. E., y Neath, A. A. (2019). The Akaike information criterion: Background, derivation, properties, application, interpretation, and refinements. *Wiley Interdisciplinary Reviews: Computational Statistics*, 11(3), 1-11. <https://doi.org/10.1002/wics.1460>.
- Chapelle, A., Crama, Y., Hübner, G., y Peters, J.-P. (2005). *Measuring and managing operational risk in the financial sector: An integrated framework*. Université de Liège. <https://doi.org/10.2139/ssrn.675186>.
- Chernobai, A., y Rachev, S. (2007). Applying robust methods to operational risk modeling. *Journal of Operational Risk*, 1, 27-41. [https://statistik.econ.kit.edu/download/doc\\_secure1/RobustOprisk\\_20060305ed.pdf](https://statistik.econ.kit.edu/download/doc_secure1/RobustOprisk_20060305ed.pdf).
- Chernobai, A., Rachev, S., y Fabozzi, F. (2005). *Composite goodness-of-fit tests for left-truncated loss samples*. University of California.
- Comité de Supervisión Bancaria de Basilea (2006). *Convergencia internacional de medidas y normas de capital*. Banco de Pagos Internacionales. <https://doi.org/10.1017/S0250569X00016873>.
- Congreso de la República de Colombia (1974). Ley 27 de 1974. Por la cual se dictan normas sobre la creación y sostenimiento de centros de atención integral de preescolar, para los hijos de empleados y trabajadores de los sectores públicos y privados.
- Congreso de la República de Colombia (1979). Ley 7 de 1979. Por la cual se dictan normas para la protección de la niñez, se establece el Sistema Nacional de Bienestar Familiar, se reorganiza el Instituto Colombiano de Bienestar Familiar y se dictan otras disposiciones.
- Congreso de la República de Colombia (1982). Ley 21 de 1982. Por la cual se modifica el régimen del Subsidio Familiar y se dictan otras disposiciones.

Congreso de la República de Colombia (1990). Ley 50 de 1950. Por la cual se introducen reformas al Código Sustantivo del Trabajo y se dictan otras disposiciones.

Congreso de la República de Colombia (1991). Consititución Política de Colombia de 1991.

Congreso de la República de Colombia (1993). Ley 100 de 1993. Por la cual se crea el sistema de seguridad social integral y se dictan otras disposiciones.

Congreso de la República de Colombia (2002). Ley 776 de 2002. Por la cual se dictan normas sobre la organización, administración y prestaciones del Sistema General de Riesgos Profesionales.

Congreso de la República de Colombia (2012). Ley 1562 de 2012.  
<https://doi.org/http://wsp.presidencia.gov.co/Normativa/Leyes/Documents/ley156211072012.pdf>.

Congreso de la República de Colombia (2013). Ley 1562 de 2012. Por la cual se modifica el Sistema de Riesgos Laborales y se dictan otras disposiciones en materia de salud ocupacional.

Committee of Sponsoring Organizations of the Treadway Commission II (COSO II). (2004). *Gestión de riesgos corporativos. Marco integrado. Técnicas de aplicación*. <https://es.slideshare.net/slideshow/cosoerm-178341341/178341341>.

Committee of Sponsoring Organizations of the Treadway Commission (COSO). (2017). *Compliance risk management: applying the COSO ERM framework*. COSO.  
<https://doi.org/10.4337/9781800889576.00008>

Crouhy, M., Galay, D. y Mark, R. (2001). *Risk management*. McGraw Hill.

Culp, C. L. (2002). *The risk management process. Business strategy and tactics*. John Wiley and Sons.  
<https://books.google.es/books?hl=es&lr=&id=2A81gjG9swMC&oi=fnd&pg=PR5&dq=culp+2002+risk+management&ots=AV9TZtihvV&sig=X-oX1nFhzQxbTr2JWETckSrpKyQ#v=onepage&q=culp%202002%20risk%20manage>

ment&f=false.

- de Fontnouvelle, P. De, Rosengren, E., & Jordan, J. (2007). Implications of alternative operational risk. En M. Carey y R. M. Stulz (eds.), *National bureau of economic research* (pp. 475-511). University of Chicago Press.
- Degen, M., Embrechts, P., y Lambrigger, D. D. (2007). The quantitative modeling of operational risk: Between G-and-H and EVT. *ASTIN Bulletin*, 37(02), 265-291. <https://doi.org/10.2143/AST.37.2.2024067>.
- Doerig, H.-U. (2000). *Operational risks in financial services: an old challenge in a new environment*. Credit Suisse Group.
- Dutta, K., y Perry, J. (2007). A tale of tails: An empirical analysis of loss distribution models for estimating operational risk capital. *FRB of Boston Working Paper*, (06-13). <https://doi.org/10.2139/ssrn.918880>.
- Feria, J. M., Jiménez, E. J., y Martín, J. L. (2007). *El modelo de distribución de pérdidas agregadas (LDA): una aplicación al riesgo operacional*. Consejería de Innovación, Ciencia y Empresa de la Junta de Andalucía.
- Frachot, A., Georges, P., y Roncalli, T. (2001). *Loss distribution approach for operational risk*. Groupe de Recherche Operationnelle.
- Frachot, A., Moudoulaud, O., y Roncalli, T. (2003). *Loss distribution approach in practice*. Groupe de Recherche Operationnelle. <https://doi.org/10.1111/mec.13005>.
- Frachot, A., Roncalli, T., y Salomon, E. (2004). The correlation problem in operational risk. *Operational Risk's Newsletter*, (38052), 1-13. [http://papers.ssrn.com/sol3/papers.cfm?abstract\\_id=1032594](http://papers.ssrn.com/sol3/papers.cfm?abstract_id=1032594).
- Franco, L. C., y Murillo, J. G. (2008). Loss distribution approach (LDA): Metodología actuarial aplicada al riesgo operacional. *Revista Ingenierías Universidad de Medellín*, 7(13), 143-156.

- Gómez, M., Danglot, C. y Vega, L. (2003). Sinopsis de pruebas estadísticas no paramétricas. Cuándo usarlas. *Revista Mexicana de Pediatría*, 70(2), 91-99. <https://www.ugr.es/~fmocan/MATERIALES%20DOCTORADO/Sinopsis%20de%20pruebas%20estadisticas%20no%20parametricas.pdf>.
- Hernández, R., Fernández, C., y Baptista, M. del P. (2017). *Metodología de la investigación*. McGraw Hill Education.
- International Organization for Standardization (2018). Norma Internacional ISO 31000. En *Administración/Gestión de riesgos. Lineamientos guía*. <https://auto-q-consulting.com.mx/Muestra24.IATF.2020/Norma.ISO.31000.2018.Espanol.pdf>.
- Jensen, W., y Alexander, M. (2016). Statistics for engineering and the sciences. *Journal of Quality Technology*, 48(3), 297-299.
- Jorion, P. (1999). Valor en riesgo. Limusa, Noriega Editores.
- Jorion, P. (2003). *Financial risk manager*. John Wiley & Sons.
- Jorion, P. (2007). *Value at risk: the new benchmark for managing financial risk*. McGraw-Hill. <https://thuviensso.hoasen.edu.vn/handle/123456789/10569>.
- Jorion, P. (2010). *Financial risk manager handbook*. Global Association of Risk Professionals. [https://books.google.es/books?hl=es&lr=&id=bGQxlDjujmc&oi=fnd&pg=PR5&dq=Financial+Risk+Manager+Handbook+jorion+2010&ots=3oNZ\\_FXBAT&sig=JRQjGk9QfOKM3NSVVmsVP2rjvhQ](https://books.google.es/books?hl=es&lr=&id=bGQxlDjujmc&oi=fnd&pg=PR5&dq=Financial+Risk+Manager+Handbook+jorion+2010&ots=3oNZ_FXBAT&sig=JRQjGk9QfOKM3NSVVmsVP2rjvhQ).
- Klugman, S. A., Panjer, H. H., y Willmot, G. E. (2004). *Loss models from data to decisions*. John Willey & Sons.
- Kraujalis, Š., Karpavičienė, E., y Cvilikas, A. (2006). The specifics of operational risk assessment methodology recommended by Basel II. *Engineering Economics*, 3(48), 7-17.

- Landro, A. (2010). *Acerca de la probabilidad. Parte I: La interpretación del concepto de azar y la definición de probabilidad*. Ediciones Cooperativas.
- Ledesma, R. (2008). Introducción al Bootstrap: Desarrollo de un ejemplo acompañado de software de aplicación. *Tutorials in Quantitative Methods for Psychology*, 4(2), 51-60. <https://doi.org/10.20982/tqmp.04.2.p051>.
- Lilliefors, H. (1967). On the kolmogorov-smirnov test for normality with mean and variance unknown. *Journal of the American Statistical Association*, 62, 399-402. <https://doi.org/10.2307/2283970>.
- Macías, G., Parra, S., y Carvajal, L. H. (2016). Modelo LDA para medición avanzada de riesgo operacional. *Innovar*, 28(68), 9-27. <https://doi.org/10.15446/innovar.v28n68.70335>. Introducci.
- Medina, S., y Restrepo, J. (2013). Estimación de la utilidad en riesgo de una empresa de transmisión de energía eléctrica considerando variables económicas. *Cuadernos de Economía*, 32(59), 103-137.
- Mejía, R. C., Núñez, M., y Martins, I. (2017). *Administración de riesgos empresariales en Colombia, México y Argentina*. Eafit.
- Melo, y Becerra, O. (2006). *Medidas de riesgo, características y técnicas de medición: una aplicación del VaR y el ES a la tasa interbancaria de Colombia*. Universidad del Rosario.
- Mignola, G., y Ugocioni, R. (2005). Tests of extreme value theory. *Technical Focus EVT*, 32-35.
- Ministerio del Trabajo (2015). Decreto 1072 de 2015. <http://www.mintrabajo.gov.co/documents/20147/0/DUR+Sector+Trabajo+Actualizado+a+15+de+abril++de+2016.pdf/a32b1dcf-7a4e-8a37-ac16-c121928719c8>.
- Ministerio del Trabajo (2019). Respuesta Radicado N.º 02EE2019410600000051803. Obligaciones del empleador en incapacidades superiores a 180 días.

Ministerio de Salud y Protección Social (2022). Decreto 1427 de 2022. Por el cual se sustituye el Título 3 de la Parte 2 del Libro 2 del Decreto 780 de 2016, se reglamentan las prestaciones económicas del Sistema General de Seguridad Social en Salud y se dictan otras disposiciones.

Mitra, S., Karathanasopoulos, A., Sermpinis, G., Dunis, C., y Hood, J. (2015). Operational risk: Emerging markets, sectors and measurement. *European Journal of Operational Research*, 122-132.

Mora, A. (2010). Cuantificación del riesgo operativo en entidades financieras en Colombia. *Cuadernos de Administracion*, 23(41), 185-211. [http://revistas.javeriana.edu.co/index.php/cuadernos\\_admon/article/view/3609](http://revistas.javeriana.edu.co/index.php/cuadernos_admon/article/view/3609).

Moscadelli, M. (2004). *The analysis of the data collected by the Basel Committee*. Bank of Italy.

Neslehova, J., Embrechts, P., y Chávez-Demoulin, V. (2005). *Infinite mean models and the LDA for operational risk*. <https://people.math.ethz.ch/~embrecht/ftp/manuscript.pdf>.

Pearson, K. (1900). On a criterion that a given system of deviations from the probable in the case of correlated system of variables is such that it can be reasonably supposed to have arisen from random sampling. *Philosophical Magazine*, 50, 157-75

Pedrosa, I., Juarros, J., Robles, A., Basteiro, J., y García, E. (2015). Pruebas de bondad de ajuste en distribuciones simétricas, ¿qué estadístico utilizar? *Universitas Psychologica*, 14(1), 245-254. <https://doi.org/10.11144/Javeriana.upsy13-5.pbad>.

Presidencia de la República de Colombia (1938). Decreto 1054 de 1938. Por el cual se reglamenta el artículo 2 de la Ley 72 de 1931 sobre vacaciones remuneradas de los trabajadores del servicio oficial.

Presidencia de la República de Colombia (1950). Decreto 2663 de 1950. Código Sustantivo del Trabajo.

Presidencia de la República de Colombia (1994). Decreto 1295 de 1994. Por el cual se

determina la organización y administración del Sistema General de Riesgos Profesionales.

Presidencia de la República de Colombia (1996). Decreto 111 de 1996. Por el cual se compilan la Ley 38 de 1989, la Ley 179 de 1994 y la Ley 225 de 1995 que conforman el estatuto orgánico del presupuesto.

Presidencia de la República de Colombia (2007). Decreto 4982 de 2007. Por el cual se establece el incremento en la cotización para el Sistema General de Pensiones a partir del año 2008, de conformidad con las leyes 1122 de 2007 y 797 de 2003.

Presidencia de la República de Colombia (2015). Decreto 1072 de 2015. Por el cual se expide el Decreto Único Reglamentario del Sector Trabajo.

Presidencia de la República de Colombia (2022). Decreto 768 de 2022. Por el cual se actualiza la Tabla de Clasificación de Actividades Económicas para el Sistema General de Riesgos Laborales y se dictan otras disposiciones.

Presidencia de la República de Colombia (2016). Decreto 780 de 2016. Por medio del cual se expide el Decreto Único Reglamentario del Sector Salud y Protección Social.

Ramírez, A., y Polack, A. M. (2020). Estadística inferencial. Elección de una prueba estadística no paramétrica en investigación científica. *Horizonte de la Ciencia*, 10(19), 191-208. <https://doi.org/10.26490/uncp.horizonteciencia.2017.13.360>.

Rudner, L. M., y Shafer, M. M. (1992). Resampling: a marriage of computers and statistics. *Practical Assessment, Research & Evaluation*, 3(5). <http://PAREonline.net/getvn.asp?v=3&n=5>.

Samad, A., y Gittleson, D. (1998). *Measuring operational risk*. Global Trading.

Scheller, F. y Auer, B. (2018). *Quantitative Finance*, 18(12), 2005-2022. <https://doi.org/10.1080/14697688.2018.1459806>.

Simon, J. (1997) Resampling: The new statistics. Resampling Stats. [www.resample.com](http://www.resample.com).

Superintendencia Financiera de Colombia (2007). Circular 041 de 2007. Reglas relativas a la administración del riesgo operativo.  
<http://www.amvcolombia.org.co/attachments/data/20080516111511.pdf>.

Vargas, A. (1995). *Estadística descriptiva e inferencial*. Universidad de Castilla La Mancha.

## **Anexos**

Anexo 1. Resultados del programa @Risk