

Propuesta de indicadores de Riesgos Operativos en una Institución Aseguradora: aplicación de modelos Six Sigma y EWMA

TOMÁS GREGORIO MORALES*
MAGNOLIA MIRIAM SOSA CASTRO**

RESUMEN

Ante la creciente exposición de las aseguradoras a eventos inesperados, medir el riesgo operativo es esencial. Este estudio propone indicadores para medir y controlar riesgos operativos (procesos, legal, tecnológico y reputacional) mediante una metodología que combina el enfoque de control estadístico de procesos de Six Sigma con la sensibilidad temporal del modelo EWMA. Se utilizan datos de 2002 a 2022, y los resultados arrojan indicadores consistentes para alertar y gestionar riesgos. Aunque la propuesta es replicable, una limitación es que los datos provienen solo de una aseguradora, sin posibilidad de comparación.

Palabras clave: Aseguradora, Riesgo operativo, Six Sigma, EWMA.
Códigos JEL: G29, B23, N2.

* Departamento de Sistemas del Posgrado de Ingeniería, Universidad Nacional Autónoma de México, Ciudad de México, México. Correo-e: Tomásgm232@gmail.com. ORCID: 0009-0008-5346-9378.

** Departamento de Economía, Universidad Autónoma Metropolitana-Iztapalapa, Ciudad de México, México. Correo-e: msosac87@hotmail.com. ORCID: 0000-0002-6597-5293..

ABSTRACT

Proposal for Operational Risk Indicators in an Insurance Company: Six Sigma and EWMA Approach

Given the increasing exposure of insurance companies to unexpected events, measuring operational risk is essential. The purpose of this study is to propose indicators for managing and monitoring operational risks (process, legal, technological, and reputational) in the insurance sector, using a methodology that combines the Six Sigma statistical process control approach with the time sensitivity of the EWMA model. Data from 2002 to 2022 is used, and the results provide consistent indicators for alerting and managing risks. Although the proposal is replicable, one limitation is that the data comes from only one insurer, with no possibility of comparison.

Key words: Insurance company, Operational risk, Six Sigma, EWMA.

JEL classification: G29, B23, N2..

INTRODUCCIÓN

La industria aseguradora es clave para la estabilidad, el desarrollo y el crecimiento económico y financiero, proporciona protección financiera, estabilidad económica, apoyo en la recuperación post-desastres, fomenta la inversión y contribuye al bienestar social.

Dado el complejo e incierto contexto financiero global y la ocurrencia de ciertos acontecimientos, como la crisis financiera global, ha sido necesario implementar una serie de normativas que permitan monitorear y controlar los riesgos. Así, se ha puesto mayor atención en el riesgo operativo, ya que su administración es un factor que contribuye a proteger contra pérdidas financieras, garantizar el cumplimiento normativo, mejorar la eficiencia operativa, proteger la reputación y fortalecer la resiliencia empresarial.

Los acuerdos de Basilea II y Basilea III, publicados en 2004 y 2010 respectivamente, instan a las instituciones financieras a adoptar una comprensión profunda y a implementar medidas para gestionar efectivamente el riesgo operativo, con el fin de prevenir posibles pérdidas. Por otro lado, Solvencia II establece la importancia para las entidades aseguradoras de entender este riesgo y de llevar a cabo su gestión de manera efectiva.

Basilea II define el riesgo operacional como el riesgo de pérdida resultante de una falta de adecuación o de un fallo de los procesos, el personal o los sistemas internos, o bien como consecuencia de acontecimientos

externos. El riesgo operativo corresponde a la pérdida potencial derivada del desapego a las políticas y procedimientos establecidos o fallas en la tecnología de información, en los recursos humanos o cualquier otro evento externo adverso relacionado con la operación. Dentro de dicha categoría se encuentra el riesgo de procesos operativos, legales, tecnológicos, estratégicos y reputacionales.

Dada la importancia del riesgo operativo, se ha desarrollado una gran cantidad de literatura en torno a su medición, gestión y prevención. Así, Vahos *et al.* (2021) desarrollaron un modelo para medir y estimar el impacto que han tenido las pérdidas netas ocasionadas por riesgo operativo en las empresas fiduciarias, con la finalidad de estudiar y analizar la evolución y el impacto que tiene en las utilidades.

Tripp *et al.* (2004) revisa las técnicas actuariales empleadas para medir el riesgo operativo. Se sugiere la categorización por tipos de riesgo, para analizar y proponer nuevos indicadores, así como nuevas métricas. Empleando un caso de estudio, se estiman los riesgos a partir de pruebas de estrés, escenarios, ajuste de curvas, modelización causal y ampliación del análisis financiero dinámico para incluir el riesgo operativo. Gracias a los hallazgos, se concluye que no hay una metodología que sea idónea para la medición de riesgos, por lo que se, se proponen técnicas a probar en futuras investigaciones.

Restrepo-Morales y Medina-Hurtado (2012) desarrollan un modelo para estimar la pérdida económica por eventos de riesgo operativo relacionados con robo de vehículos mediante el Valor en Riesgo Operativo (OpVaR). Para ello, estiman las funciones de distribución del número de carros robados y de las pérdidas monetarias asociadas a ello. Después emplean el método de simulación Monte Carlo para identificar la severidad de las pérdidas esperadas.

Martínez y Hernández (2012) realizaron el proceso para la cuantificación de la carga de capital del riesgo operacional mediante el análisis del proceso de recopilación de datos, su tratamiento y descripción estadística, donde identificaron las distribuciones de severidad y frecuencia, con lo que obtuvieron la distribución de pérdidas agregadas, combinado de ambas distribuciones, por lo que pudieron concluir que para medir niveles de riesgo, no es tan importante llegar a una cuantificación exacta del mismo, como el proceso de evaluación y control del riesgo.

Debido a que en ocasiones no se mide el riesgo operativo por falta de información, Hernández (2014) propuso que las compañías aseguradoras

cuenten con una definición de eventos de riesgo operacional para su identificación con el fin de que se vaya alimentando una base de datos que contenga la información necesaria para aplicar algunas metodologías estadísticas y actuariales para el desarrollo de un modelo para la medición del riesgo operacional.

Derivado de que el riesgo operativo ha cobrado gran importancia en las instituciones financieras, de acuerdo con la normativa de Basilea III, Chávez (2011) desarrolló una matriz de riesgos en donde describe la magnitud de la severidad, permitiendo poner límites y establecer las medidas pertinentes según sea necesario de acuerdo con el riesgo operativo estudiado. Igualmente, Chung *et al.* (2017) proponen una metodología de muestreo por importancia para estimar el riesgo operacional. La evidencia empírica sugiere que el método es eficaz y robusto y que provee estimaciones precisas con un alto nivel de confianza, permitiendo el cumplimiento de los criterios internacionales establecidos por Basilea II y III para bancos y Solvencia II para aseguradoras.

En esa misma línea, Cabezas (2016) estableció una metodología para gestionar el riesgo operativo mediante mecanismos alineados a lo contemplado en la normativa controlada; a fin de mitigar el riesgo, reducir o asumir el costo y tomar acciones inmediatas, permitiendo reducir la posibilidad de pérdidas financieras, crear ventajas competitivas e incrementar la eficiencia y productividad del negocio.

De igual manera, Núñez y Chávez (2018) describieron la naturaleza del riesgo operativo y la necesidad de su medición mediante modelos apropiados, para ello emplearon el modelo Poisson compuesto con la finalidad de modelar las frecuencias y representar las severidades de pérdida. La importancia de este artículo se debe a que presentaron una solución al modelado de variables de riesgo operativo con dependencia en la cola, la cual proviene de versiones complementarias (para el Log anidado) a los algoritmos de Michel para la versión de la DGPM para el Log.

Por su parte Dávila y Ortiz (2019) utilizaron las Redes Bayesianas (RB) para la estimación del riesgo operativo, indicando que las mismas proporcionan una mejor estimación a las condiciones particulares de la operación de la empresa. El modelo que utilizaron se percibe como un modelo dinámico ya que los resultados se ajustan conforme se registra la información estadística dentro de la base de datos interna, lo que implica que en el mediano y largo plazo se tendrá un mejor resultado en su cuantificación.

Una alternativa para generar información sobre el riesgo operativo es la exploración a través de encuestas. Así, Baquero (2022) trabajó en un modelo de gestión de riesgo operativo para instituciones financieras, para lo cual realizó entrevistas a expertos sobre las variables de ejecución riesgo operativo y prevención de lavado de activos. De acuerdo con el análisis realizado, pudo establecer un perfil financiero de clientes y socios que sirve como base para la identificación, medición, control y monitoreo de los riesgos, lo que ayuda a establecer prácticas para el cumplimiento de las normativas internas, a través del diseño e implementación de políticas, manuales y procedimientos.

Lloor y Peñaloza (2023), por su parte, también aplicaron una encuesta que recoge los cinco elementos COSO y cuatro componentes de la gestión del riesgo operativo, con la intención de identificar la relación directa entre el control interno y la gestión de riesgo operativo. Como parte de sus resultados identificaron que existe una relación directamente proporcional entre el control implementado y los riesgos evaluados, por lo que sugieren realizar una gestión de riesgos a partir del modelo COSO (2013) como herramienta gerencial para la toma de decisiones oportunas y efectivas.

Gracias a las numerosas ventajas de la metodología Six Sigma, ha sido ampliamente propuesta para la medición de riesgos en la industria financiera (Hayler y Nichols, 2007; Tarantino y Cernauskas, 2009), bancaria (Kiriakos *et al.*, 2009) y en la administración de portafolios (Mefford, 2017). Asimismo, el modelo EWMA también ha sido utilizado para medir el riesgo operacional en un banco islámico (Izhar, 2012), para modelar el riesgo operacional en compañías manufactureras (Kim, *et al.*, 2022) y para medir y controlar los riesgos y la calidad en el mercado financiero (Pan, 2003).

El objetivo de este trabajo es proponer indicadores de riesgos operativos en una institución de seguros, con la finalidad de que sirvan como controles para poder medir y monitorear dichos riesgos, considerando que existe una mayor preocupación por atender los riesgos financieros; sin embargo, se descuidan los riesgos asociados a las personas, procesos, tecnologías, normatividad y reputación.

La metodología que se propone son los modelos Six Sigma y EWMA (promedio exponencial medio ponderado) también denominado volatilidad dinámica. La principal contribución radica en que este trabajo busca fortalecer la gestión de los riesgos, por lo que puede ser tomado como base

en las demás instituciones de seguros; asimismo, este proyecto contribuye a la fortificación de una cultura de riesgos en materia de seguros y a la integración de los indicadores clave de riesgo como parte de los controles preventivos, que pueden ser implementados en las compañías en aras de evaluar los riesgos potenciales.

La estructura del trabajo es la siguiente: la sección siguiente describe la metodología y datos empleados, la sección dos analiza los resultados, la tercera presenta la discusión y, finalmente, se concluye el trabajo..

1. METODOLOGÍA Y DATOS

1.1. Datos

Riesgo de procesos operativos: Se utilizó la información de eventos relacionados con omisiones, errores, fallas, mala ejecución de las operaciones, desapego a políticas y manuales, de diciembre de 2018 hasta diciembre 2022.

Riesgo legal: Se usó la información del listado de sanciones impuestas a instituciones de seguros por la CNSF del periodo que comprende desde el año 2002 hasta el 2018, consultado en marzo 2023.

Riesgo tecnológico: Se consideró el reporte histórico de los *tickets* que se han registro dentro de la aseguradora, mismo que contiene reportes de fallas, deficiencias e interrupción por los equipos, aparatos y sistemas, desde enero de 2019 a diciembre de 2022.

Riesgo reputacional: Se utilizó la información que contiene el Buró de Entidades Financieras (BEF) respecto al desempeño de la institución, del periodo de enero 2014 a septiembre de 2022, consultado en mayo de 2023. El procesamiento de los datos se describe en el diagrama 1.

DIAGRAMA 1
METODOLOGÍA PARA LA PROPUESTA DE INDICADORES



Fuente: elaboración propia.

1.2. Metodología

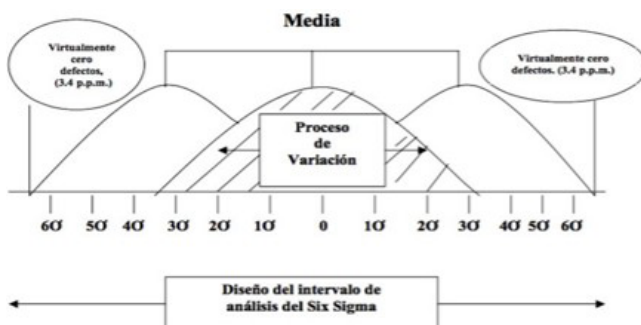
Six Sigma

Six Sigma contribuye a la mejora del proceso al definir estándares para la determinación de calidad de una operación. El enfoque se centra en el control estadístico de procesos y en el diseño de experimentos que proporciona una amplia gama de herramientas y técnicas para medir, analizar y mejorar procesos críticos para mantener el sistema bajo control, enfocando recursos para maximizar el beneficio o reducir costos (Reyes, 2020).

En este método, sigma (σ) representa la desviación estándar y se utiliza como indicador de la variabilidad de un proceso. Cuanto menor es su valor, menor es la dispersión y, por tanto, menor la probabilidad de que ocurran errores o resultados fuera de lo esperado. Así, un nivel sigma más alto refleja una mayor calidad, al reducir significativamente la posibilidad de defectos dentro del proceso.

Según Ortiz (2020), la distribución normal permite representar gráficamente los defectos en un proceso, facilitando el análisis de datos y apoyando decisiones orientadas a la mejora de la calidad. En una distribución normal, el área bajo la curva refleja los niveles de confianza en torno a la media. Un proceso con capacidad Six Sigma implica que sus límites de variación están a seis desviaciones estándar de la media, lo que se traduce en solo 3.4 defectos por millón y un rendimiento del 99.99% (ver figura 1).

FIGURA 1
REPRESENTACIÓN GRÁFICA DE LOS NIVELES DE LA MEJORA SIX SIGMA



Fuente: tomado de Implementación del modelo six sigma como estrategia de mejora en pymes de Latinoamérica, por Ortiz, (2020).

El uso de Six Sigma en la medición del riesgo operativo se justifica por su capacidad para identificar y reducir de manera sistemática la variabilidad en los procesos, permitiendo establecer límites de control precisos y basados en evidencia. A diferencia de otros enfoques más cualitativos, como el modelo COSO o la norma ISO 31000, Six Sigma aporta una rigurosidad estadística que fortalece la toma de decisiones al proporcionar métricas claras, reproducibles y orientadas a resultados.

Six Sigma permite no solo detectar desviaciones, sino también priorizar intervenciones a partir del análisis de causas raíz, lo cual es especialmente valioso en entornos donde los recursos son limitados y es necesario actuar con eficiencia. Su aplicación contribuye, además, a fomentar una cultura de mejora continua y prevención, aspectos clave para la sostenibilidad operativa de las aseguradoras.

EWMA

A diferencia de la desviación estándar, que asigna el mismo peso a todos los datos, el modelo EWMA otorga mayor relevancia a los datos más recientes, lo que lo hace más adecuado cuando la serie presenta cambios en el tiempo. Así, se propone incorporar esta metodología al enfoque Six Sigma, refinando el cálculo de la desviación estándar simple a una métrica ponderada, también conocida como volatilidad dinámica. Bajo esta metodología se utiliza un parámetro λ entre 0 y 1 para ajustar el peso de cada observación (De Lara, 2008).

En este estudio el modelo EWMA se aplica al análisis de distintos tipos de riesgo operativo (legal, tecnológico y reputacional) utilizando como base el número de incidencias registradas en cada caso. Esta metodología permite capturar de forma más sensible los cambios recientes en el comportamiento del riesgo, asignando mayor peso a los eventos más cercanos en el tiempo. A diferencia de la desviación estándar tradicional, EWMA refleja mejor la evolución dinámica del riesgo, lo cual es clave para establecer indicadores preventivos más ajustados a la realidad operativa de la aseguradora.

Partiendo del supuesto de que la media de los rendimientos es igual a cero, el modelo se representa de la siguiente forma:

$$\sigma_t^2 = \frac{1}{T} \sum_{i=0}^T r_{t-i}^2 \quad (1)$$

Multiplicado por un peso específico w se obtiene la siguiente expresión:

$$\sigma_t^2 = \frac{1}{T} \sum_{i=0}^T w i r_{t-1}^2 \quad (2)$$

$$\text{Si } w i = (1 - \lambda) \sum_{i=0}^T \lambda^{i-1} r_{t-1}^2$$

Por lo que, finalmente, se obtiene la siguiente expresión:

$$\sigma_{t-1}^2 = (1 - \lambda) r_t^2 + \lambda \sigma^2 \quad (3)$$

Donde:

λ = Factor de decaimiento

r = rendimientos

σ = volatilidad diaria

t = tamaño de la muestra

El modelo EWMA es propuesto para la medición de riesgos operativos con base en sus ventajas en relación con otros modelos, como Valor en Riesgo Operacional (OpVaR), modelos de distribución compuesta o Redes Bayesianas, entre las cuales destacan: sencillez, adaptabilidad a la variabilidad reciente y facilidad de implementación.

Dentro de las fortalezas del modelo EWMA destacan: i) suavizamiento de las fluctuaciones aleatorias en los datos, reduciendo el ruido (Ge *et al.*, 2015) y proporcionando una visión más clara de las tendencias subyacentes en el riesgo operacional; ii) flexibilidad, eficiencia y adaptación a diferentes contextos operativos (Sbrana y Pelagatti, 2024). Pueden ser ajustados para reflejar la volatilidad cambiante, lo que los hace más robustos en comparación con modelos que suponen una volatilidad constante (Alexander, 2008); iii) A pesar de su sofisticación, los modelos EWMA son relativamente fáciles de implementar y entender (Yang, 2016), lo que facilita su uso por parte de los profesionales de riesgos sin necesidad de conocimientos avanzados en estadística.

Así, se propone el uso combinado de Six Sigma y EWMA. Mientras Six Sigma permite identificar, cuantificar y clasificar la evolución en los procesos mediante desviaciones estándar, EWMA aporta una visión dinámica que otorga mayor peso a los eventos más recientes, capturando cambios sutiles y tendencias emergentes. Esta sinergia metodológica

permite generar indicadores de riesgo que no solo reflejan condiciones históricas, sino que también anticipan desviaciones operativas.

Dado el contexto actual que enfrenta la industria aseguradora, caracterizada por evolución gradual y multifactorial en los riesgos operativos, la integración de ambos enfoques permite combinar el control estadístico con sensibilidad temporal, mejorando la capacidad de alerta temprana y toma de decisiones oportunas. Esta combinación empírica, posibilita la generación de indicadores que sirvan de parámetros para la gestión de riesgos operativos.

2. RESULTADOS

2.1. *Riesgos operativos*

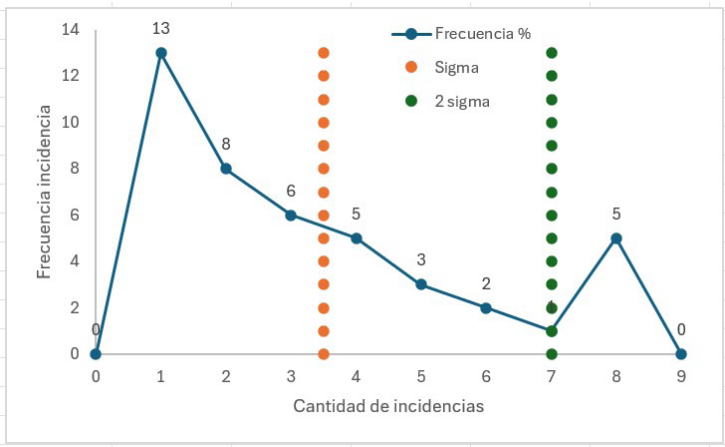
De acuerdo con los registros de la aseguradora relacionados con los reportes de errores, fallas y deficiencias en la operación, estos corresponden a un periodo comprendido de diciembre de 2018 hasta diciembre 2022, teniendo un total de 141 reportes y el análisis se presenta a continuación.

En la figura 2 se observa las veces que se han reportado incidencias por mes y su frecuencia, es decir, en el extremo izquierdo se percibe que 13 veces se reportaron una incidencia, en el medio de la figura se observa que 5 veces se reportaron 4 incidencias y al final se ve que 5 veces se reportaron 8 incidencias.

Respecto al modelo EWMA, no se utilizará para este tipo de riesgos, dado que su principal objetivo es calcular la volatilidad de una serie histórica y los datos que se están analizando para este riesgo corresponden a la frecuencia de incidencias sin considerar su fecha de ocurrencia o reporte, por lo que no se podrá asignar distinto peso a dicha frecuencia.

De acuerdo con lo anterior, la desviación estándar o sigma (σ) calculada corresponde a un valor de 3.568, que redondeado, el valor es 3.6, por lo que el valor de dos sigmas (2σ) es de 7.2 y visto gráficamente se representa en la Figura 2. Así, considerando el nivel σ se tiene un 62% de incidencias por debajo de está y al considerar el nivel de 2σ , hay un 88% por debajo, en otras palabras, con σ se espera hasta un máximo de 3 reportes por mes, con 2σ hasta 7 reportes por mes, quedando así 8 reportes que hasta el momento ha sido lo más que la aseguradora ha tenido conforme al registro histórico (ver figura 2).

FIGURA 2
CANTIDAD DE INCIDENCIAS



Fuente: elaboración propia con datos obtenidos de la aseguradora.

De conformidad por el apartado anterior y tomando como base los resultados de σ , la tabla 1 muestra los indicadores. Si se considera que el rango del apetito de riesgo de la tabla 1 es muy bajo, se puede tomar el valor de 2σ , por lo que la tolerancia quedaría 8 incidencias por mes, teniendo que ajustar la capacidad de riesgo, la cual no debería ser mayor que el rango de la tolerancia, por lo que este quedaría en 9 incidencias por mes, quedando el esquema de acuerdo con lo siguiente:

TABLA 1
PROPUESTAS PARA PROCESOS OPERATIVOS
PROPUESTA 1

Nivel de σ	Segmento	Indicador
1	Apetito de riesgo	De 1 a 3 incidencias por mes
2	Tolerancia al riesgo	De 4 a 7 incidencias por mes
-	Capacidad de riesgo	8 incidencias por mes

PROPUESTA 2

Nivel de σ	Segmento	Indicador
2	Apetito de riesgo	De 1 a 7 incidencias por mes
-	Tolerancia al riesgo	8 incidencias por mes
-	Capacidad de riesgo	9 incidencias por mes

Fuente: elaboración propia con datos obtenidos de la aseguradora.

Si bien la aseguradora tiene la capacidad para tomar la propuesta 2, se estaría abriendo la brecha para llegar hasta esta capacidad de reportes durante un mes, sin embargo, se debe buscar reducir la materialización de riesgos de procesos operativos, incentivando a la institución a tener una cultura de prevención de riesgos, por lo que la propuesta más adecuada para este tipo de riesgos es el número dos.

2.2. Riesgos Legales

Con la finalidad de realizar un análisis de información para la implementación de indicadores para la supervisión de riesgos legales, se utiliza la información del listado de sanciones impuestas a instituciones de seguros por infracciones a las disposiciones aplicables las instituciones de seguros¹.

De acuerdo con los registros obtenidos de la aseguradora a la fecha de elaboración del presente trabajo, esta tiene un corte al 31 de marzo de 2023 y presenta 93 sanciones para la institución, con un periodo que comprende desde el año 2002 hasta el 2018.

En la figura 3 se observa cómo se han comportado las multas desde el 2002 hasta el 2018. La multa con mayor monto asciende a \$20,352.62 dólares con fecha de 31/03/2013, por otro lado, la multa con menor monto corresponde a \$468.33 dólares con fecha de 31/12/2002.

Tomando el parámetro de la desviación estándar para poder realizar el diseño de los indicadores correspondientes, se pueden determinar los valores de sigma el valor sigma (σ), que conforme a la serie y cálculos realizados corresponde a \$3,554.85 dólares, el valor de dos sigmas (2σ) es de \$7,107.7 dólares, el valor de tres sigmas (3σ) corresponde a \$10,664 dólares y el valor de cuatro sigmas (4σ) es de \$14,219 dólares y visualmente se representa en la Figura 3.

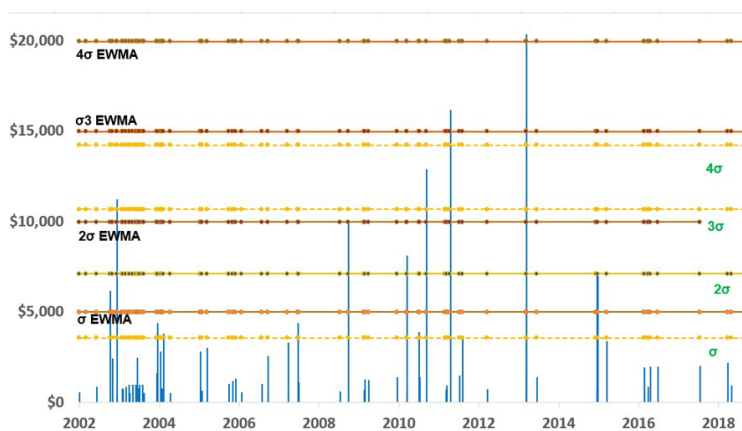
En cuanto al modelo EWMA, se puede realizar un cálculo de la desviación estándar (σ_{EWMA}), dado que se tiene una serie histórica conformado por los años y montos, por lo que se le dará mayor peso a las últimas multas y un menor peso a las observaciones más alejadas en el tiempo, esto asumiendo que la aseguradora tiene una mayor madurez que al inicio de las operaciones y de los cambios en la regulación.

¹ Publicadas en el siguiente enlace: <https://www.gob.mx/cnsf/documentos/sanciones-a-instituciones-de-seguros?idiom=es>

De acuerdo con los cálculos realizados el valor de sigma EWMA (σ_{EWMA}) corresponde a \$4,987.35 dólares, el valor de dos sigmas EWMA ($2\sigma_{EWMA}$) es de \$9,974 dólares, el valor de tres sigmas EWMA ($3\sigma_{EWMA}$) corresponde a \$14,962 dólares y el valor de cuatro sigmas EWMA ($4\sigma_{EWMA}$) es de \$19,949 dólares (ver figura 3).

En la figura 3 también se puede apreciar que los niveles de σ y σ_{EWMA} , son distintos, siendo el valor con EWMA mayor que el calculado con la desviación estándar, en un 40% más, dado que este modelo asigna un mayor peso a los últimos datos, por lo que podemos inferir que la desviación estándar subestima la volatilidad. En este sentido es más adecuado usar a σ_{EWMA} ya que su valor es más próximo a la operación actual de la aseguradora, pudiendo reflejar mayor madurez respecto a este riesgo.

FIGURA 3
COMPORTAMIENTO DE LAS MULTAS CON SIGMAS Y SIGMAS EWMA INTEGRADOS EN DÓLARES



Fuente: Elaboración propia con datos obtenidos de las sanciones a instituciones de seguros que emite la CNSF. Nota: Los precios se convirtieron a dólares a un tipo de cambio de \$18MXN/USD

De conformidad con el apartado anterior y tomando como base los resultados de σ_{EWMA} , en primera instancia se puede realizar la propuesta de indicadores que se presenta en la tabla 2.

De acuerdo con la tabla 2, 87% de las 77 sanciones se encuentra por debajo de σ_{EWMA} ; por otro lado, entre $2\sigma_{EWMA}$ y $3\sigma_{EWMA}$ se tiene un 10.4% de los datos en este rango y por último para en el rango de $4\sigma_{EWMA}$ se tiene

un 1.3%, por lo que el resto que corresponde a 1.1% es el que encuentra por encima de $4\sigma_{EWMA}$. En términos del monto total que corresponde a \$206,392 dólares, se tiene un 49.6% por debajo de σ_{EWMA} , 32.7% entre $2\sigma_{EWMA}$ y $3\sigma_{EWMA}$, 7.8% en el último nivel correspondiente a $4\sigma_{EWMA}$ y 9.9% por encima de este.

Con base en la tabla 2, se tiene que un 94% por debajo de $2\sigma_{EWMA}$, 3.8% en el rango de $3\sigma_{EWMA}$, por otro lado, para $4\sigma_{EWMA}$ se tiene un 1.1% en el rango y 1.1% por encima de este nivel, conforme a la cantidad de datos. En términos del monto total que corresponde a \$206,392 dólares, se tiene un 65.8 % por debajo de $2\sigma_{EWMA}$, 16.5% debajo de $3\sigma_{EWMA}$, 7.8% en el último nivel correspondiente a $4\sigma_{EWMA}$ y 9.9% por encima de este.

Comparando los dos resultados, se puede decir que la propuesta 2 para la medición del riesgo legal, tiene un rango muy holgado para el apetito de riesgo, dando poco margen a la tolerancia y capacidad de riesgo. Por otro lado, con la propuesta 1, a pesar de que pareciera que el rango de la tolerancia es pequeño en comparación con los otros, se observa que este es adecuado por la cantidad de datos y por monto erogado, dando un buen margen para la toma de acciones tanto para la tolerancia como para la capacidad del riesgo, por lo que la propuesta que se utilizará corresponde a lo indicado en la *Tabla 2 Propuesta 1 para medición del riesgo de legal*.

TABLA 2
PROPUESTAS PARA MEDICIÓN DEL RIESGO DE LEGAL
PROPUESTA 1

Nivel de σ_{EWMA}	Segmento	Indicador en dólares
1	Apetito de riesgo	De \$0 a \$4,987.33 por mes
2 - 3	Tolerancia al riesgo	De \$4,987.34 a \$14,962 por mes
4	Capacidad de riesgo	De \$14,963 a \$19,949.38 por mes

PROPUESTA 2

Nivel de σ_{EWMA}	Segmento	Indicador en dólares
1 - 2	Apetito de riesgo	De \$4,987.33 a \$9,974.66 por mes
3	Tolerancia al riesgo	De \$9,974.67 a \$14,962.00 por mes
4	Capacidad de riesgo	De \$14,963 a \$19,949.38 por mes

Fuente: elaboración propia con datos obtenidos de las sanciones a instituciones de seguros que emite la CNSF.

2.3. Riesgos Tecnológicos

Respecto a la información para el análisis del riesgo tecnológico, en este trabajo se considera el reporte histórico de los *tickets* que se han registrado dentro de la aseguradora, como se menciona con anterioridad los casos reportados no abarcan la amplia gama de errores e incidencias en materia de tecnologías de información; sin embargo, constituyen una amplia gama de reportes de fallas, deficiencias e interrupción por los equipos, aparatos y sistemas, sumando un total de 24,027 *tickets*, desde enero de 2019 a diciembre de 2022.

Respecto a la frecuencia con que se portan los *tickets*, se puede reconocer en la figura 4 que se han realizado más reportes en un rango de 1 a 4 *tickets* por día, siendo este un total de 275 casos, precedido del rango de entre 17 a 20 *tickets* con un total de 203 casos, por lo que se puede decir que el reporte de casos no es constante, ya se observa que se han reportado hasta 83 casos en un día, pero no así 70 casos; es decir, es un tanto irregular el comportamiento de los reportes.

Por otro lado, sin considerar el primer intervalo que va de 1 a 4.9, se puede identificar que el comportamiento de la figura 4 asimila a un comportamiento normal, característica primordial para el uso de seis sigma, sin embargo, más que buscar una eficacia operativa, el objetivo de este trabajo es proponer indicadores en materia de riesgo (KRI), por lo que se utilizará la información tal cual se presenta y con ello no sesgar los datos.

Los cálculos realizados con la información obtenida dieron como resultado que la desviación estándar (σ) corresponde a un valor de 12.3 y al tener reportes hasta de 83 incidencias en un día, se puede temer un nivel hasta de seis sigmas (6σ) siendo este de 73.8, el detalle de los resultados de sigma se presenta en la tabla 3 y los resultados dentro de la frecuencia de *tickets* se muestra en figura 4.

Respecto al modelo EWMA, se puede realizar un cálculo de la desviación estándar (σ_{EWMA}), dado que se tiene una serie histórica que contiene datos de forma diaria, lo que ayudará a verificar si la desviación estándar (σ) subestima o no a la volatilidad. De acuerdo con los cálculos realizados (ver figura 4) el valor de sigma $_{EWMA}$ (σ_{EWMA}) corresponde a 21.5, casi al doble del valor sigma (σ), por lo que aquí no se podrá tener un valor hasta seis sigmas (6σ), sino solo hasta tres sigmas $_{EWMA}$ ($3\sigma_{EWMA}$). Los resultados de cada nivel de sigma $_{EWMA}$ se presentan a la tabla 3.

TABLA 3
RESULTADOS RELACIONADOS CON EL NÚMERO DE
INCIDENCIAS

Resultados de Niveles de Sigma de Acuerdo con el Número de Incidencias

σ	2σ	3σ	4σ	5σ	6σ
12.3	24.6	36.9	49.2	61.5	73.8

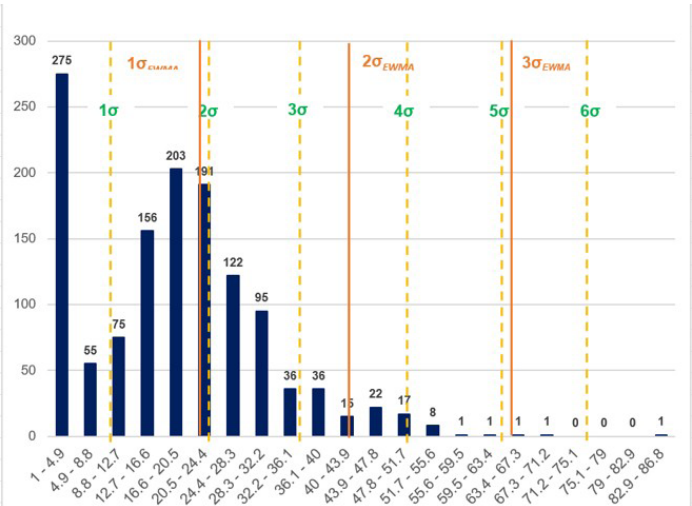
Resultados de Niveles de Sigma por Número de Incidencias

σ_{EWMA}	$2\sigma_{EWMA}$	$3\sigma_{EWMA}$
21.5	43.1	64.6

Fuente: elaboración propia con datos obtenidos de la aseguradora.

Con los resultados obtenidos (ver figura 4) se puede apreciar que los niveles de σ y σ_{EWMA} , son distintos, siendo el valor con EWMA más apropiado, dado que asigna un mayor peso a los últimos datos, por lo que podemos inferir que la desviación estándar subestima la volatilidad, en este sentido es más adecuado usar a σ_{EWMA} para la propuesta de indicadores del riesgo tecnológico.

FIGURA 4
FRECUENCIA DE TICKETS REPORTADOS POR DÍA CON SIGMAS Y SIGMAS EWMA
INTEGRADOS



Fuente: elaboración propia con datos obtenidos de la aseguradora.

Considerando los resultados de σ_{EWMA} , las propuestas de indicadores se presentan en la Tabla 4. De acuerdo con la tabla 4, un total de 863 días se encuentran dentro del apetito de riesgo; es decir, se han reportado tickets hasta un total de 22, lo que presenta 65.8% del total de días, asimismo con esta propuesta se tienen 396 días dentro de la tolerancia al riesgo, dado que se han reportado hasta 43 tickets lo que representa un 30.2% de los días y en materia de la capacidad de riesgo se tiene un total de 50 días que corresponde a 3.8%. En este sentido, los días restantes que corresponden al 0.2% de los datos estarían por arriba de la capacidad de riesgo propuesta, lo que quiere decir que son los datos que no se encuentran dentro de $3\sigma_{EWMA}$.

Por otro lado, si se quiere considerar el porcentaje fuera de la capacidad de riesgo, se pueden considerar las propuestas presentadas en la tabla 4.

Con las propuestas de la tabla 4, se tiene un 96% de días dentro del apetito de riesgo, 3.8% de los días dentro de la tolerancia y 0.2% de días dentro de la capacidad de riesgo. Si bien este resultado considera la totalidad de las incidencias que se han presentado en un día, se puede apreciar que los niveles de los segmentos son muy holgados, ya que en su mayoría recae dentro del apetito de riesgo, lo que no ayudaría a la aseguradora para su acción oportuna, por lo que se utiliza la propuesta indicada en la tabla 4. *Propuesta 1 para medición del riesgo tecnológico*, ya que sus niveles son más adecuados y ayudarán a una correcta gestión de los riesgos estudiados en este apartado.

TABLA 4
 PROPUESTAS PARA MEDICIÓN DEL RIESGO TECNOLÓGICO
 PROPUESTA 1

Nivel de σ_{EWMA}	Segmento	Indicador
1	Apetito de riesgo	De 0 a 22 tickets por día
2	Tolerancia al riesgo	De 23 a 43 tickets por día
3	Capacidad de riesgo	De 44 a 65 tickets por día

PROPUESTA 2

Nivel de σ_{EWMA}	Segmento	Indicador
1 - 2	Apetito de riesgo	De 0 a 45 tickets por día
3	Tolerancia al riesgo	De 44 a 65 tickets por día
--	Capacidad de riesgo	De 66 a 83 tickets por día

Fuente: elaboración propia con datos obtenidos de la aseguradora.

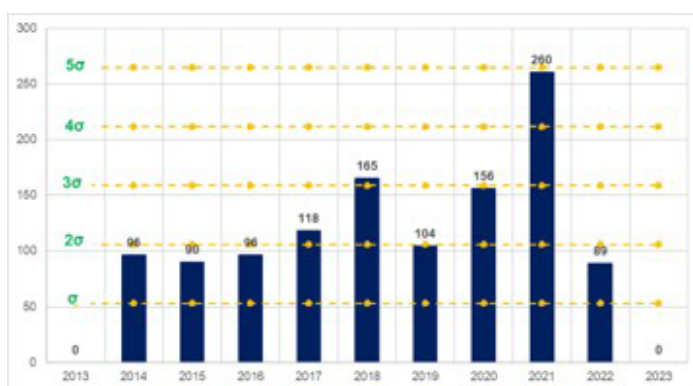
2.4. Riesgos reputacionales

Como se ha mencionado, al interior de la aseguradora no existe una base de información sobre situaciones que han conllevado a la materialización del riesgo reputacional; sin embargo, para la elaboración de la propuesta de indicadores para el riesgo reputacional se utiliza la información que contiene el Buró de Entidades Financieras (BEF) respecto al desempeño de la institución, del periodo de enero 2014 a septiembre de 2022, consultado en mayo de 2023².

Así, la multa con mayor monto asciende a \$15,237.83 dólares ocurrida en el año 2014, por otro lado, en los años 2016, 2018 y 2020 no se presentaron multas. En los datos se observa una tendencia a la baja a lo largo del tiempo; es decir, en los últimos años el monto de las multas se ha reducido significativamente. Dicho indicador habla de cierta madurez de la institución, que se debe mantener para continuar con un buen resultado en el IDATU y mantener la disminución de multas, ya que esto ayudará a tener una buena imagen en el sector.

De acuerdo con lo anterior la desviación estándar o sigma (σ) corresponde a un valor de 52.9; es decir 53 reclamaciones por año y al contar con reclamaciones hasta de 260 se puede tener un nivel hasta de cinco sigmas (5σ) siendo este de 265, el detalle de los resultados de sigma se presenta en la figura 5.

FIGURA 5
HISTÓRICO DE RECLAMACIONES POR AÑO CON SIGMAS INTEGRADOS



Fuente: elaboración propia con datos obtenidos del Buró de Entidades Financieras

² Disponible dentro del sitio: www.buro.gob.mx

Con relación al modelo EWMA, al igual que en los riesgos operativos no se utilizará para este tipo de riesgos, dado que su principal objetivo es calcular la volatilidad de una serie histórica y los datos que se están analizando corresponden a reclamaciones por año, misma que es un tanto esporádica, ya que no se define de forma específica su fecha exacta de ocurrencia sino las reclamaciones durante un trimestre.

De conformidad por el apartado anterior y tomando como base los resultados de σ , se presenta en la tabla 5 el esquema de indicadores. Sin embargo, si se considera que el rango del apetito de riesgo es muy bajo de acuerdo con la tabla 5, se puede tomar el valor de 2σ , por lo que la tolerancia quedaría en 4σ y la capacidad hasta 5σ ,

Comparando ambas propuestas, se puede tomar la segunda, es decir la que corresponde a la tabla 5. *Propuesta 2 para medición del riesgo reputacional*, dado que en la primera propuesta el apetito de riesgo es muy conservador y ningún año del histórico se encuentra en ese rango.

Se puede pensar que el apetito para la propuesta es muy laxo, dado que 7 de los 9 años se encuentran en ese nivel, sin embargo, este se puede ir ajustando conforme a la madurez que vaya obtenido la aseguradora, así mismo con la finalidad de tener un indicador más apropiado y que ayude a la toma de decisiones, se deberá ajustar el indicador para tenerlo de forma trimestral.

Derivado del estudio realizado en el apartado anterior, se propone medir este tipo de riesgo con base en la *Propuesta 1 para medición del riesgo de procesos operativos*.

TABLA 5
 PROPUESTA PARA MEDICIÓN DEL RIESGO REPUTACIONAL
 PROPUESTA 1

Nivel de σ	Segmento	Indicador
1	Apetito de riesgo	De 1 a 53 reclamaciones por año
2	Tolerancia al riesgo	De 54 a 106 reclamaciones por año
3 - 5	Capacidad de riesgo	De 106 a 265 reclamaciones por año

PROPUESTA 2

Nivel de σ	Segmento	Indicador
1 - 2	Apetito de riesgo	De 1 a 106 reclamaciones por año
3 - 4	Tolerancia al riesgo	De 107 a 212 reclamaciones por año
5	Capacidad de riesgo	De 212 a 265 reclamaciones por año

Fuente: elaboración propia con datos obtenidos del Buró de Entidades Financieras.

2.5. Indicadores propuestos para cada tipo de riesgo: semáforos

El principal objetivo de la implementación de indicadores para la medición de los riesgos (KRI), es contar con métricas que proporcionen una alerta respecto a la exposición al riesgo de forma oportuna. De esta manera se pueden planificar medidas correctivas y lograr mitigar cualquier factor de riesgo. A continuación se describen los indicadores propuestos para cada tipo de riesgo.

Respecto a la figura 6, panel a, es fácil reconocer que el apetito de riesgo propuesto corresponde a un nivel de 0 a 3 incidencias, la tolerancia al mismo corresponde a un valor de 4 a 7 incidencias y la capacidad corresponde a un nivel de 8, además conforme a la tabla 3.3 se propone que esta medición se lleve a cabo de forma mensual, con la finalidad de conocer si la operación se encuentra dentro de las métricas establecidas.

Respecto a este tipo de riesgo, el indicador que se propone para la aseguradora corresponde al de la *Propuesta 1 para medición del riesgo de legal*, conforme el análisis realizado, por lo que la forma en que se puede visualizar es de la siguiente manera:

En la figura 6, panel b, se observa que el apetito de riesgo que se sugiere corresponde a un rango que va \$0 a \$4,987.33 dólares por mes, de conformidad con los cálculos realizados en los apartados que anteceden, así mismo la tolerancia al riesgo sugerida será hasta una cantidad de \$14,962 dólares y la capacidad hasta por un monto de \$19,949.38 dólares.

En materia de los cálculos y estimaciones realizadas con la información de los *tickets* con los que cuenta la institución, el indicador que se propone para la aseguradora corresponde al de la *Propuesta 1 para medición del riesgo tecnológico*, conforme el análisis realizado, por lo que la forma en que se puede visualizar es de la siguiente manera:

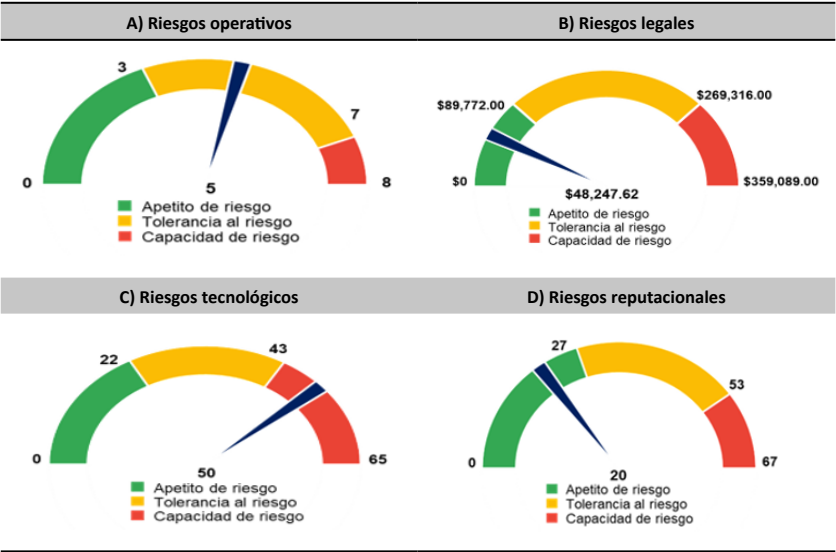
De acuerdo con la figura 6, panel c, se puede observar que el apetito de riesgo que se propone, corresponde a un rango de 0 a 22 *tickets* por día, la tolerancia al riesgo va de 23 a 43 *tickets* por día y por último la capacidad al riesgo tiene un rango de 44 de 65 *tickets* diarios, esto ya que, conforme al histórico de datos, estos riesgos son los que se presentan con mayor frecuencia dentro de la operación de la aseguradora.

El indicador que se propone a la aseguradora respecto a este tipo de riesgo, corresponde al de la *2 para medición del riesgo reputacional*, sin embargo, conforme el análisis realizado se sugiere que este indicador

sea medido de forma trimestral, por lo que la forma en que se puede visualizar es de la siguiente manera:

En la figura 6, panel d, se observa que la propuesta del apetito de riesgo para su monitoreo trimestral le corresponde tener de 0 a 27 reclamaciones, de conformidad con las estimaciones realizadas se sugiere una la tolerancia al riesgo que va de 28 a 53 reclamaciones y por último la capacidad a partir de 54 reclamaciones y hasta un total de 67 reclamaciones dentro del periodo establecido.

FIGURA 6
SEMÁFOROS DE RIESGOS OPERATIVOS



Fuente: elaboración propia con los resultados de la estimación

3. DISCUSIÓN

Los riesgos están presentes todo el tiempo en todas partes, tanto en personas como empresas; sin embargo, no existe una cultura sólida para atenderlos de forma oportuna. El riesgo operativo se encuentra inmerso dentro de los riesgos financieros y técnicos, ya que estos tienen procesos que seguir para su ejecución, colaboradores que los llevan a cabo, sistemas informáticos y una mala administración de estos puede generar sanciones o en su caso una mala imagen para la aseguradora.

Los resultados de la presente investigación permiten conocer el número de incidentes que una compañía aseguradora en específico puede soportar por tipo de riesgo operativo, con base en su tolerancia al riesgo. Igualmente, permiten establecer el periodo de tiempo en el cual dichos incidentes pueden ocurrir. Lo anterior es de suma importancia, ya que permite que la compañía mida el nivel de riesgo en el que incurre por cada categoría, visibilizando cuáles son sus áreas de oportunidad y poniendo en práctica medidas que permitan reducir y controlar la incidencia de riesgos.

Una de las principales limitaciones de la investigación es que solamente se cuenta con datos de una sola institución, por lo que no es posible comparar con otras instituciones.

Las aseguradoras deben instrumentar mecanismos que ayuden a tener una buena comunicación entre los colaboradores y las áreas de soporte, para ayudar al negocio a responder de manera más rápida y eficaz.

A pesar de la importancia de la medición de los riesgos, definir los parámetros para ello no es tan frecuente como debiera, en el caso de las instituciones de seguros esta ausencia de medición es más que notable; sin embargo, se debe recordar la idea de “Lo que no se mide, no se puede mejorar”, es así como en este trabajo se realizó el esfuerzo generar la propuesta de los indicadores que sirvan como controles para poder medir y monitorear dichos riesgos operativos de la aseguradora estudiada.

Los indicadores por sí solos no logran mitigar los riesgos, es decir, estos tienen el objetivo de alertar sobre la presencia y nivel de estos, por lo que no se debe dejar de lado contar con una buena gestión de los riesgos y de una adecuada cultura para la administración de los riesgos conforme a la estrategia de la institución.

Cabe señalar que, los factores externos, como los cambios regulatorios o económicos, pueden influir significativamente en los niveles de riesgo operativo y en los indicadores y controles que se hayan propuesto. Los cambios regulatorios pueden incluir nuevas leyes o regulaciones que imponen distintos estándares o niveles de cumplimiento, cumplir con la reglamentación, generalmente, implica inversión tecnológica, capacitación y consultoría, lo que genera costos en las organizaciones. Incumplir con las reglas podría generar sanciones o multas. Los cambios en las variables financieras (crisis, inflación, desempleo, tasa de interés, etcétera) modifican de manera importante los patrones de otros factores (costos, competitividad, incertidumbre, ineficiencia, entre otros), lo que

podría ocasionar que la tasa de incidencia de algún riesgo fuera mayor. Así, los sistemas, controles y métricas de gestión de riesgo deben estar en continua revisión y mejora para adaptarse a dichas coyunturas.

Contribuciones de los coautores: Conceptualización: Tomás Gregorio y Miriam Sosa; curación y análisis formal de los datos: Tomás Gregorio; investigación y metodología: Tomás Gregorio y Miriam Sosa; validación: Tomás Gregorio; visualización: Miriam Sosa; redacción del borrador original: Tomás Gregorio y Miriam Sosa; redacción, revisión y edición: Tomás Gregorio y Miriam Sosa.

Financiamiento: No hubo financiamiento.

REFERENCIAS

- Alexander, C. (2008). *Market risk analysis. Volume I. Quantitative methods in finance*. John Wiley & Sons.
- Baquero M. (2022). *Modelo De Gestión De Riesgo Operativo Para Instituciones Financieras*. [Tesis de Maestría], Universidad Católica del Ecuador. <https://repositorio.puce.edu.ec/server/api/core/bitstreams/6dbef8f2-fa6c-4674-a5fe-3e81c2914f05/content>
- Cabezas E. (2016). *Metodología e Implementación de un Sistema de Riesgo Operativo*. Proyecto de Graduación de: Magíster En Seguros Y Riesgos Financieros. Escuela Superior Politécnica del Litoral. Facultad de Ciencias Naturales Y Matemáticas. <https://www.dspace.espol.edu.ec/bitstream/123456789/34274/1/D-CD102194.pdf>
- Chávez B. (2011). *Diseño De Una Matriz De Rutas Estratégicas Para El Riesgo Operativo*. [Tesis de Licenciatura], Universidad Nacional Autónoma de México. <https://hdl.handle.net/20.500.14330/TES01000680574>
- Chung M. T., Hsieh M. H. & Chi Y. P. (2017). Computation Of Operational Risk For Financial Institutions. *Romanian Journal of Economic Forecasting*, 20(3), 77. <https://ideas.repec.org/a/rjr/romjef/vy2017i3p77-87.html>
- COSO (2013). *Control Interno – Marco Integrado. Resumen Ejecutivo*. <https://www.pj.gob.pe/wps/wcm/connect/8ba7cc8040809738ac41ed9515c1560a/3.-+COSO+2013+Resumen+Ejecutivo.pdf?MOD=AJPERES&CACHEID=8ba7cc8040809738ac41ed9515c1560a>
- Dávila A. G. & Ortiz A. F. (2019). Cálculo del Valor en Riesgo Operacional de una Empresa Aseguradora Mediante Redes Bayesianas. *Revista de métodos cuantitativos para la economía y la empresa*. 27, 30–54. <https://doi.org/10.46661/revmetodoscuanteconempresa.2737>
- De Lara A. (2008). *Medición y Control De Riesgos Financieros*, Limusa, 3ra. ed.
- Ge, X., Fan, Y., Li, J., Wang, Y. & Deng, S. (2015). Noise Reduction of Nuclear

- Magnetic Resonance (NMR) Transversal Data Using Improved Wavelet Transform And Exponentially Weighted Moving Average (EWMA). *Journal of Magnetic Resonance*, 251, 71-83.
- Gómez Castañeda, O. R. (2006). Basilea I y II. *Observatorio de la Economía Latinoamericana*, (56).
- Guamán Lozano, Á. G., Moyano Alulema, J. C., Cayán Martínez, J. C. & García Cabezas, E. F. (2023). *Six Sigma: pasos para la mejora continua de procesos*.
- Hayler R. & Nichols M. (2007). *Six Sigma for Financial Services: How Leading Companies Are Driving Results Using Lean, Six Sigma, And Process Management*. McGraw Hill Professional.
- Hernández J. (2014). *El Riesgo Operacional en las Instituciones de Seguros, una Propuesta de Medición Bajo el Entorno De Solvencia II*. [Tesis de Licenciatura, Universidad Nacional Autónoma de México]. <https://hdl.handle.net/20.500.14330/TES01000713982>
- Hubbard D. W. (2020). *The Failure of Risk Management: Why It's Broken and How to Fix It*. John Wiley & Sons.
- Instituto de Auditores Internos de España. (2013). *Definición e Implantación de Apetito de Riesgo. La fábrica de pensamiento*. <https://auditoresinternos.es/formacion/e-learning-definicion-e-implantacion-del-apetito-de-riesgo/>
- Izhar H. (2012). *Modelling Operational Risk Measurement in Islamic Banking: A Theoretical And Empirical Investigation* [Doctoral dissertation], Durham University.
- Kim S. H., Lee D. H. & Kim K. J. (2022). EWMA-PRIM: Process Optimization Based on Time-Series Process Operational Data Using The Exponentially Weighted Moving Average And Patient Rule Induction Method. *Expert Systems with Applications*, 195.
- Kiriakos R. S. I., Tahboub K. & Salhieh S. (2009). *Operational Risk Management with Six Sigma in Banking Industries*. University of Jordan.
- Loor M. & Peñaloza, V. (2023). Modelo COSO Como Herramienta de Gestión del Riesgo Operativo En el Sector Público Ecuatoriano. Una Mirada desde sus Actores. *Contabilidad y Negocios*, 18(35), 139–156. <https://doi-org.pbidi.unam.mx:2443/10.18800/contabilidad.202301.009>
- Martínez M. & Hernández R. (2012). Cuestiones Básicas para la Cuantificación del Riesgo Operacional de las Entidades Aseguradoras. *Anuario Jurídico y Económico Escurialense*.
- Mefford R. N., Tay N. S., Doyle B. & Ohara F. (2017). Portfolio Risk Management Using Six Sigma Quality Principles. *Quality Management Journal*, 24(2), 6-30. <https://doi.org/10.1080/10686967.2017.11918506>
- Núñez M. J. & Chávez G. J. (2018). Riesgo Operativo: Esquema de Gestión y Modelado de Riesgo (Operative risk: a design for risk development and modeling). *Análisis Económico*. 25(58), 123–157. <https://analisiseconomico.azc.uam.mx/index.php/rae/article/view/327>
- Organización Internacional de Normalización. (2013). *Gestión del Riesgo – Directrices* (ISO 31000). <https://www.iso.org/obp/ui#iso:std:iso:31000:ed-2:v1:es>
- Ortiz M. J. (2020). *Obtenido de: Implementación del Modelo Six Sigma como*

- Estrategia de Mejora en Pymes de Latinoamérica*. Repositorio Institucional Lumieres. <https://hdl.handle.net/20.500.11839/7868>.
- Pan X. (2003). *SPC for Quality and Risk: Monitoring Processes With Cross-Sectional and Serial Interdependence, And Higher Moments*. University of Rhode Island.
- Restrepo-Morales J. A. & Medina H. S. (2012). Estimation of Operative Risk For Fraud in the Car Insurance Industry. *Global Journal of Business Research*, 6(3), 73-83. https://www.researchgate.net/publication/228202536_Estimation_of_Operative_Risk_for_Fraud_in_the_Car_Insurance_Industry
- Reyes G. L. (2020). *Modelo de Integración entre la Filosofía Lean Six Sigma con el Balanced Scorecard para la Implementación Exitosa en Pymes*. [Tesis doctoral, Universidad Nacional Autónoma de México]. <https://ru.dgb.unam.mx/bitstream/20.500.14330/TES01000804557/3/0804557.pdf>
- Sbrana G. & Pelagatti M. (2024). Optimal Hierarchical EWMA Forecasting. *International Journal of Forecasting*, 40(2), 616-625. <https://doi.org/10.1016/j.ijforecast.2022.12.008>
- Tarantino A. & Cernauskas D. (2009). *Risk Management in Finance: Six Sigma and Other Next-Generation Techniques* (493). John Wiley and Sons. <https://doi.org/10.1002/9781119197812>
- Tripp M. H., Bradley H. L., Devitt R., Orros G. C., Overton G. L., Pryor L. M. & Shaw R. A. (2004). Quantifying Operational Risk in General Insurance Companies. Developed by a Giro working party. *British Actuarial Journal*, 10(5), 919-1012. <https://doi.org/10.1017/s1357321700002919>
- Vahos F., Bedoya D. & Boada, A. (2021). Modelaje y Simulación del Riesgo Operativo de las Instituciones Fiduciarias en Colombia. *Retos Revista de Ciencias de la Administración y Economía*, 11(22). 217-233. <https://doi.org/10.17163/ret.n22.2021.02>
- Yang S. F. (2016). An Improved Distribution-Free EWMA Mean Chart. *Communications in Statistics-Simulation and Computation*, 45(4), 1410-1427. <https://doi.org/10.1080/03610918.2013.763980>