

Cuantificación del Requerimiento de Capital de los Riesgos Operacionales en la Industria Aseguradora

Estudiante: Alejandro Palacio Vásquez

Asesor: Kristin Bustos Morón Idárraga

**Maestría en Ciencias de los Datos y Analítica
Universidad EAFIT**

18 de mayo de 2021

Resumen

En este trabajo se propone una metodología de cuantificación del requerimiento de capital de los riesgos operacionales, bajo el marco internacional de referencia Solvencia II, que involucra variables relevantes de las compañías aseguradoras y de la materia del riesgo. Dicha metodología eleva el estándar cuantitativo de este riesgo que es principalmente subjetivo y tiene como fin, ayudar en el camino y objetivo que tienen las compañías aseguradoras de continuar generando confianza hacia sus clientes por medio de una adecuada estimación del Capital Basado en Riesgos para su gestión.

1. Introducción

1.1. Introducción e Historia

El seguro es un contrato, representado por una póliza, en el que una persona o una empresa recibe protección financiera o reembolso contra pérdidas por parte de una compañía de seguros o aseguradora. El seguro constituye la forma más perfecta y técnicamente eficaz para la cobertura de riesgos -transformando los individuales en colectivos- y transfiriéndolos a una organización -el asegurador- estructurada con la técnica y operativa adecuadas para garantizar su compensación, en caso de ocurrir el evento [1].

En pocas palabras, los seguros son un medio de protección contra pérdidas financieras y son un mecanismo de financiación y gestión de riesgos que las personas y las empresas

utilizan principalmente para protegerse contra el riesgo de una pérdida contingente o incierta en el futuro.

En general, la industria y las compañías aseguradoras existen desde hace mucho tiempo, de hecho, existen registros e historias de cómo en épocas pasadas, civilizaciones como la Babilonia o la China utilizaban el concepto de fondo para generar coberturas ante los diferentes riesgos que se podían presentar en los viajes que realizaban sus barcos con mercancías [2].

En el primer caso, los Babilonios, existía el denominado “Código de Hammurabi” que constaba de una serie de cláusulas dedicadas al tema de "préstamo a la gruesa ventura", que era un tipo de seguro marítimo en el que un comerciante recibía un préstamo para financiar su envío, con la condición de que le pagaría al prestamista una suma adicional (prima de riesgo) a cambio de que el prestamista cancelara el préstamo en caso de que el envío fuera robado o se perdiera en el mar. En resumen, el comerciante recibía el dinero para financiar el viaje de su mercancía, pero si esta se extraviaba, no tenía que pagar el préstamo.

En el segundo caso, los Chinos, constituyeron un mecanismo de transferencia de riesgos muy interesante ya que no involucraba la componente financiera o de cuantificación de primas de riesgo, el mecanismo de transferencia que utilizaban era lo que hoy en día se conoce como mutualidad o simplemente diversificación. Para que los comerciantes de la época pudiesen asegurar sus mercancías que viajaban en barcos y reducir los riesgos, decidieron intercambiar los bienes con otros barcos, es decir, distribuían la carga de un solo barco entre varios barcos de modo que cada barco que viajaba llevaba fracciones de las mercancías de los comerciantes, por lo que, si alguna de las embarcaciones se hundía o naufragaba, todos los comerciantes perdían un poco.

El mecanismo de transferencia de los Chinos, si bien era muy ingenioso, detonaba una serie de complicaciones logísticas y de operación, que con el pasar de los años llevó a que la industria de los seguros de manera eficiente se estructurara por medio de contratos financieros, siendo los romanos pioneros en esto años después, desarrollando cada vez maneras más sofisticadas de asegurar las embarcaciones del mediterráneo.

Continuando un poco con la historia, ya en la época moderna y en años recientes, se le atribuye el desarrollo del mercado asegurador como hoy en día se concibe a un evento desafortunado que ocurrió en Londres cerca del año 1.660 cuando un incendio de grandes magnitudes destruyó gran parte de los hogares de la ciudad [3].

A partir de este momento, se estructuraron por decreto gubernamental diferentes compañías aseguradoras en Inglaterra que hoy en día son insignia de la industria y que por ellas es tan famoso este país en este asunto.

Hoy en día la industria aseguradora a nivel mundial es una industria que mueve cerca de 6 billones de dólares al año, alcanzando una penetración de seguros, entendida como primas de seguros/PIB, promedio en el mundo del 6 % donde existen economías más desarrolladas que otras, obteniendo indicadores de penetración promedio del 10 % mientras que en Latinoamérica este indicador ronda el 3 % [4].

Las compañías de seguros se han instalado a lo largo del mundo, coexistiendo grandes jugadores con participaciones internacionales, así como pequeños jugadores locales que inclusive, apalancados en herramientas tecnológicas y de innovación, han desatado grandes tendencias y disrupciones con las denominadas InsurTech.

Existen dos grupos principales de negocios o de soluciones en el mundo asegurador, los negocios de **Vida** y los negocios de **No Vida**. Estos negocios buscan asegurar y proteger a las personas y a las empresas de pérdidas económicas, tanto grandes como pequeñas, que pueden resultar de daños a sus propiedades, a su salud o de la responsabilidad por daños o lesiones causadas a terceros.

A continuación, se resaltan las soluciones más tradicionales dentro de cada grupo:

Vida	No Vida
Seguros de Vida	Autos
Salud	Hoger e Incendio
Rentas Vitalicias	Terremoto
Accidentes Personales	Maquinaria e Ingeniería
Riesgos Laborales	Todo Riesgo Construcción
Invalidez	Cumplimiento y Arrendamiento
Enfermedades Graves	Responsabilidad Civil

También es relevante mencionar que la industria aseguradora a nivel mundial es un actor fundamental en las economías de los países, pues moviliza una cadena de proveedores bastante extensa y genera un amplio impacto en la sociedad. Comenzando por los diferentes proveedores que brindan las asistencias a sus clientes, las compañías de tecnología que habilitan su operación, las alianzas donde se venden los seguros, que van desde intermediarios hasta grandes corredores o cadenas de retail, los mercados financieros en los que se invierten las compañías aseguradoras, los diferentes impactos socioambientales y los reguladores y su mirada atenta.

1.2. Fundamentales de la Industria

Mucho se ha estudiado también acerca de qué es lo que mueve la industria aseguradora en el mundo, qué es lo que hace que las personas y las empresas adquieran estas protecciones, más allá de la gestión o transferencia de sus propios riesgos [1]. Existen entonces diferentes fundamentales, que son la razón de ser del negocio, y que han perdurado a lo largo de los años para que la industria continúe desarrollándose, estos son:

1. **Riesgo:** Representa la materia prima de la industria y en sentido amplio se asocia a todas aquellas situaciones que vulneren o afecten la vida, la salud y el patrimonio de las personas y las empresas. Desde el punto de vista del patrimonio se entiende como las amenazas a las que están expuestos los bienes y el capital de las personas y empresas. Respecto a la salud y la vida, se entiende el riesgo como todas aquellas

situaciones que surgen producto de la fragilidad del ser humano en todo su ciclo vital. El riesgo es objetivo, racional, en cierta forma medible y caracterizable

2. **Incertidumbre:** Es la parte subjetiva y de percepción que frente al riesgo tienen las personas. La incertidumbre es la que impulsa a la movilización, a emprender acciones en torno a un riesgo. Mientras que el riesgo es objetivo, la incertidumbre es subjetiva, emocional y propia de cada individuo. Así, el riesgo puede existir, pero su existencia no es condición suficiente para que las personas tomen acciones en torno a él
3. **Información:** Conjunto de datos, estadísticas e historia sobre la que se basan las aseguradoras para medir, tarifar y gestionar el riesgo. Conectando con la historia que vimos en la sección 1.1, es interesante destacar como en el mundo de los Babilonios, se re tarifaba continuamente la cobertura que ofrecían los prestamistas a los comerciantes, es decir, el precio que se les daba por darles la opción de no pago ante un evento desafortunado de sus mercancías. Dicha tarifación se realizaba en función de datos e historia, llevando un conteo claro del comportamiento del riesgo se construían distribuciones de pérdidas sobre las que se cuantificaba el precio de la transferencia. En el mundo moderno de seguros esta técnica sigue siendo muy utilizada en las tarifaciones de seguros, sin embargo, este es un fundamental que está cambiando pues los nuevos negocios exigen información diferente y modelos matemáticos diferentes para llegar a las tarifas.
4. **Mutualidad:** Generar eficiencias a partir de la unión entre varias personas con características similares que permitan solventar y responder frente a la materialización de un riesgo. Yendo más al detalle, la mutualidad es el mecanismo de cobertura más tradicional que utilizan las compañías de Seguros, la cobertura consiste en la “ley de los grandes números” que desde el punto de vista de la compañía aseguradora, se entendería como que el Riesgo a grandes pérdidas es menor si se tienen asegurados muchos vehículos en una ciudad a si se tienen unos pocos, por poner un ejemplo. Conectando también con la historia de la sección 1.1, el mecanismo de transferencia de riesgos de los Chinos se basaba en crear una mutualidad, donde a mayor número de barcos, mayor la diversificación de los productos de los comerciantes y por ende menor riesgo
5. **Confianza:** Parte de la convicción y seguridad de un grupo de individuos con intereses en común. Esta confianza está solventada por el respaldo estatal, la historia y el capital. Aquí la pregunta de fondo es ¿qué lleva a las personas y a las empresas a decidir comprarle un seguro a una compañía aseguradora? Sin duda hay muchas posibles respuestas y lo veremos en secciones posteriores que esto es gran parte del centro de este trabajo. Las compañías aseguradoras deben demostrar cierta solidez, solidez entendida como concepto robusto, donde se abarcan temas reputacionales y también temas financieros. Esta demostración de solidez parte de la cuantificación de una serie de elementos, sobre la que profundizaremos, y cuyo resultado termina siendo altamente relacionado con la confianza que las personas y empresas depositan en las compañías

6. **Intermediación:** Implica la unión de puntas con intereses comunes, facilitar el contacto, la gestión e incluso el entendimiento. La intermediación de seguros es la capacidad que tienen las compañías de lograr interactuar con el entorno y con las diferentes personas y empresas, son los puntos de contacto que existen, y son altamente relevantes para poder entender las necesidades y materializarlas en productos y ofertas
7. **Capital:** El último fundamental pero no por ende el menos importante, se refiere al acceso y gestión de los recursos financieros para respaldar las obligaciones y habilitar el desarrollo del negocio. Foco de este trabajo, además de su alta relación con el fundamental de confianza, el capital en las compañías aseguradoras es el mínimo requisito para poder operar, para poder ofrecer respaldo a sus clientes y para poder, continuamente, habilitar el desarrollo de nuevos negocios. Se presentará en futuras secciones una profundización sobre el tema y se hará énfasis en un capítulo especial del tema donde se pretende impactar con este trabajo

Como se mencionó anteriormente, estos elementos son inherentes a la industria y son necesarios para que exista y funcione. Todo parte del *Riesgo*, un hecho puntual, que genera *Incertidumbre*. Dicha incertidumbre moviliza a las personas y a las empresas a tomar decisiones frente al riesgo, creando *Mutualidades* que, por medio de la *Intermediación*, son gestionadas por compañías aseguradoras, donde las personas y las empresas depositan su *Confianza* dado los estándares de *Capital* y de gestión de estas.

1.3. Gestión de Riesgos

Como se presentó en la sección anterior 1.2, los Riesgos son la “materia prima” de las compañías aseguradoras y se definió, qué son los Riesgos a la luz de las personas y las empresas y cómo se generan diferentes incertidumbres que buscan ser transferidas a las compañías aseguradoras.

“Risk is a measure of adverse deviation from the expectation, expressed at a level of uncertainty (probability)” [5]

Ahora, desde el punto de vista de la compañía aseguradora, pensemos por un instante en su razón de ser: retener riesgos de las personas y las empresas a cambio de primas (producción para las compañías aseguradoras). De entrada, las compañías aseguradoras entonces incurren en una distribución de pérdidas, lo que quiere decir que los resultados de sus negocios son de naturaleza incierta y que requieren de una cuantificación. La distribución de pérdidas mencionada hace referencia a que las obligaciones que las compañías aseguradoras adquieren son de naturaleza incierta; pensemos por un instante en un seguro cualquiera, por ejemplo, el de un vehículo. La compañía aseguradora asegura al cliente, retiene su riesgo, el cliente paga una prima y adquiere la cobertura. Ahora, ¿cuándo ocurre el siniestro? ¿cuándo va a sufrir el siniestro, es decir, cuándo se va a chocar la persona en el vehículo? La respuesta: no se sabe, puede ser al día de tomar el seguro, al mes, al año o que nunca pase. Las compañías aseguradoras entonces

se basan en esto para realizar las tarifaciones de los seguros, en teoría, el valor esperado de la obligación de cara a los clientes se debe constituir en un pasivo, una reserva técnica, y cualquier desviación que exista por encima de dicho valor esperado son los accionistas quienes deben suplir el pago con capital. La estimación de dicho capital es algo sumamente importante en la industria, por lo que se complementara más adelante en la sección 1.4.

Las compañías aseguradoras entonces, por su actividad, incurren en una serie de Riesgos propios que se deben gestionar y que, por ende, se han estructurado diferentes mecanismos de Gestión de Riesgos al interior de las compañías para su gestión [6].

Sin embargo, es importante resaltar que los mecanismos de gestión de riesgos hasta el momento han surgido de manera reactiva, en el sentido de que han tenido que ocurrir eventos extremos inesperados para que las compañías tomen decisiones en este sentido. Por ejemplo, luego de la segunda guerra mundial, se dio inicio al estudio de la gestión de riesgos [7] dado que se creía que ante la crisis financiera y humanitaria la mayoría de las compañías pertenecientes al sistema financiero no lograrían sobrevivir por lo que los reguladores propusieron una serie de “mínimos” de gestión. La historia se repitió y en la primera década del año 2000, hubo dos eventos bastante significativos que nuevamente pusieron en tela de juicio las prácticas de las compañías y de la industria en general: el 11 de septiembre de 2001 y la crisis financiera del 2008. A raíz de este último, el estándar en materia de gestión de riesgos aumentó y ahora las compañías y diferentes industrias cuentan con estos marcos de actuación con mucha mayor profundidad y relevancia.

Estos marcos de actuación se conocen en el mundo como “Enterprise Risk Management” (ERM) y se definen como el proceso en el que las compañías identifican, miden, gestionan y divulgan todos sus riesgos críticos o claves a los diferentes grupos de interés. Normalmente, estos marcos de ERM constan de 10 criterios fundamentales para su correcta actuación:

1. Alcance generalizado de toda la empresa
2. Incluir todas las categorías de riesgos
3. Foco en los riesgos priorizados
4. Conexión entre los diferentes tipos de riesgo
5. Métricas agregadas
6. Influir en la toma de decisiones
7. Balance entre el riesgo-retorno
8. Divulgación correcta de los riesgos
9. Cuantificar impactos en el valor de la compañía
10. Foco en los principales grupos de interés

Sin embargo, la historia y diferentes estudios presentados en [8] ha demostrado que estos marcos de gestión tienen tres desafíos principales a la hora de ser implementados:

1. Inhabilidad de cuantificar los riesgos estratégicos y los riesgos operacionales (subconjunto del segundo criterio)
2. Definiciones poco claras de apetito de riesgo (subconjunto del quinto criterio)
3. No hay suficiente influencia de la gestión de riesgos en la toma de decisiones (subconjunto del sexto criterio)

Estos desafíos tienen varias implicaciones puesto que la gestión de riesgos tradicional centra la atención y la gestión en el conjunto de riesgos que comúnmente son fáciles de observar y en las debilidades de los controles de estos, por lo que no revela ni se anticipa ante los riesgos más importantes. Por lo tanto, las instituciones que siguen el enfoque tradicional de gestión de riesgos pueden desconocer sus riesgos más importantes y sus implicaciones, además, pueden volverse sobre controladas en las áreas donde tienen el menor riesgo, pero permanecen significativamente sub controladas en las áreas donde se encuentra la mayor exposición [5].

Haciendo énfasis en el primer desafío, los Riesgos dentro de una compañía pueden tener diferentes clasificaciones. Una que es muy tradicional de hacer es la separación entre los riesgos estratégicos y riesgos operacionales y se define de la siguiente manera:

- **Riesgos Estratégicos:** Eventos internos, externos y tendencias que pueden generar una desviación positiva o negativa sobre la trayectoria de generación de valor en el largo plazo esperada de crecimiento de la organización y el valor para los accionistas. Son inherentes a la estrategia, sus supuestos y atributos
- **Riesgos Operacionales:** Eventos internos y externos que pueden afectar el funcionamiento y resultados esperados de la operación de la compañía

Esta clasificación divide el universo de Riesgos que una compañía aseguradora debe gestionar entre estos dos grandes mundos de riesgos estratégicos y operacionales, que, en el fondo, tienen otro elemento interesante a analizar y es que se podría considerar que los primeros, los estratégicos, son riesgos principalmente subjetivos mientras que los segundos, los operacionales, son principalmente objetivos. La clasificación entre subjetivos y objetivos, obedece a la disponibilidad de información para cuantificar siendo los primeros, subjetivos, aquellos donde existe poca información histórica para cuantificar, pero sí existen expertos con conocimiento para aproximar, mientras que, en los segundos, los objetivos, es en el sentido contrario.

Ahora, algo relevante es profundizar en los riesgos operacionales. Dichos riesgos son aquellos que impactan directamente el día a día de la organización y en el caso de las compañías aseguradoras, alineados con altos estándares de Gestión como el Solvencia II (sobre el que profundizaremos en la sección 1.4) [9], los principales riesgos operacionales a gestionar son presentados a continuación:

1.3.1. Riesgos Técnicos o de Portafolio de Negocio

El Riesgo Técnico o de Portafolio de Negocio se refiere principalmente a las posibles pérdidas que las compañías aseguradoras podrían experimentar en consecuencia de una insuficiencia técnica de primas (tarifa) o insuficiencia de reservas técnicas. Estas insuficiencias se ven condicionadas no sólo por errores en tarificación o suscripción que se evidencian sobre todo cuando hay desviaciones de siniestralidad sino por desvíos que puedan experimentar per se las variables técnicas del negocio asegurador por factores internos y externos a la compañía. Esta categoría de riesgo se encuentra compuesto por el riesgo de primas, el riesgo de reservas y el riesgo CAT y los riesgos asociados a obligaciones de largo plazo como cancelaciones, longevidad y mortalidad.

1.3.2. Riesgos de Mercado

Corresponde al riesgo de no cumplir con las obligaciones pactadas con el cliente producto del descalce que existe en la duración de los activos y pasivos, y la volatilidad de los mercados financieros que ocasionan movimientos adversos en el Balance de las compañías aseguradoras. La exposición a este riesgo se deriva de movimientos de variables financieras como precios de las acciones, tasas de interés, tipos de cambio, spreads de riesgo de crédito o precios de los bienes inmuebles generando cambios en el valor de mercado de los activos y pasivos de las compañías aseguradoras y por lo tanto afectado su nivel de capital o NAV (Net Asset Value).

1.3.3. Riesgos de Crédito

Se define como la probabilidad de sufrir cambios en el valor de los activos que tengan las compañías aseguradoras con sus contrapartes debido al cambio en la capacidad de pago de sus obligaciones pactadas con la compañía y un posible incumplimiento del pago de estas, en los eventos inesperados.

1.3.4. Riesgos Operacionales

El Riesgo Operacional, es el riesgo de pérdida derivada por deficiencias, fallas o inadecuaciones en los procesos, la tecnología, la infraestructura, la información y el talento humano o bien, por la ocurrencia de eventos externos adversos. El riesgo operacional representa un caso especial porque las fallas operativas pueden manifestarse de tal manera que pueden camuflarse dentro de la materialización de un riesgo de mercado, crédito o de suscripción, el riesgo operacional impregna todos los aspectos del universo de riesgos. En este sentido, y con el fin de no duplicar esfuerzos en el entendimiento del riesgo, esta categoría de riesgo operacional aborda únicamente los riesgos operativos, en la medida en que estos no hayan sido explícitamente cubiertos en otras categorías de riesgo [10].

1.4. Solvencia II

Solvencia II es un marco normativo de referencia internacional [11], desarrollado por la comisión de seguros europea, que tiene como fin, estandarizar la gestión de riesgos de las compañías aseguradoras con el objetivo de reducir los riesgos que asumen las compañías para aumentar su competitividad y mejorar el tipo y la calidad de los productos y servicios que ofrecen las compañías a las diferentes personas y empresas.

Solvencia II tiene como fin cuidar los intereses de los asegurados, por lo que más allá de estandarizar la gestión de riesgos y las prácticas, el interés está en cuantificar aquellos riesgos que habitan en los balances de las aseguradoras y que puedan dejarlas en un estado de insolvencia.

Este marco normativo, está regido por tres pilares fundamentales [12]:

- **Pilar I:** asociado a la cuantificación de un Capital Basado en Riesgos (CBR), busca cuantificar correctamente los riesgos asociados a los activos y pasivos de las compañías, para determinar en un apetito de riesgos definido, el CBR necesario para operar
- **Pilar II:** asociado a la gestión de riesgos derivada de la cuantificación del CBR, cuál es el gobierno que deben tener las compañías de Seguros en materia de ERM, cuál es la estructura de los equipos de gestión de riesgos, realizar pruebas de solvencia dinámicas (ORSA) para evaluar la posición de capital en el tiempo
- **Pilar III:** asociado a la estandarización y correcta divulgación de la información capturada en los primeros 2 pilares. Este pilar está más orientado hacia los reguladores y a lograr tener un mercado eficiente

Entrando en materia y profundizando un poco en el Pilar I, este pilar es el de mayor interés para este trabajo, pues conecta con el propósito y con lo que se ha venido presentando hasta el momento. Recordando un poco lo que se menciona en la sección anterior 1.3, la actividad principal de las compañías aseguradoras es retener riesgos a cambio de primas lo que implica que las compañías aseguradoras incurran en una distribución de pérdidas para evaluar su negocio.

Dicha distribución de pérdidas, ilustrada en la figura 1 establece que el valor esperado de las obligaciones de las compañías aseguradoras yace en el pasivo de estas, representado por el valor de las provisiones o reservas técnicas mientras que, cualquier desviación o volatilidad por encima de estas provisiones o valor esperado afecta el Capital de la compañía y son los accionistas los llamados a capitalizar dicho valor.

La estimación de este Capital en exceso del pasivo es el interés principal del Pilar I del marco de Solvencia II y de los diferentes reguladores a nivel mundial, y establece un apetito de riesgos en el sentido de que, la estimación del capital se debe hacer en función a los riesgos que las aseguradoras incurren y se deben estimar dichas volatilidades en un percentil 99.5 que representa la ocurrencia de 1 evento cada 200 años. A esto se le conoce como Capital Basado en Riesgos, cuya composición se presenta en la figura 2 y abarca los principales riesgos operacionales que fueron presentados en la sección 1.3.

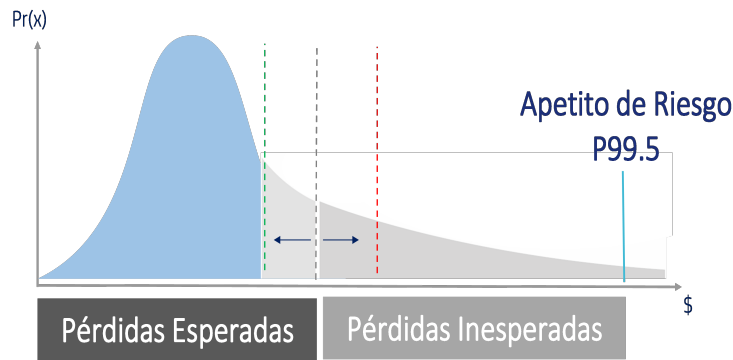


Figura 1: Distribución de Pérdidas de una Compañía Aseguradora

Antes de profundizar un poco en la formulación del CBR bajo el estándar de Solvencia II, es importante conectar la relevancia de este tema bajo el contexto de los fundamentales de la industria aseguradora que fueron presentados en la sección 1.2.

La estimación del CBR, que representa el capital mínimo que las compañías aseguradoras deben tener para poder operar, impacta de manera directa dos de los fundamentales que hablamos: *confianza* y *capital*. Resulta que, en el fondo, las personas y las empresas depositan su confianza en una compañía aseguradora porque destacan su solidez, y esta solidez se puede evaluar desde un punto de vista patrimonial.

De hecho este es el interés principal de los reguladores de seguros en el mundo y es la razón de existencia de un marco como Solvencia II, por eso existan reglas de juego claras sobre la estimación del CBR y que las compañías aseguradoras deban presentar mensualmente el denominado “Margen de Solvencia” (que se calcula como Activos Disponibles / CBR) tiene en el fondo el cuidado de este fundamental de la industria, confianza, de que las personas y las empresas confíen en estas compañías y su capacidad de solvencia ante pérdidas muy inesperadas en percentiles extremos, además que cuidar la generalidad del sistema financiero pues este tipo de regulaciones existen también para otras compañías del sector financiero, como los bancos y los fondos de pensiones.

Desde el punto de vista de la compañía aseguradora, contar con una estimación muy robusta de cuánto capital requiere para operar es fundamental a la hora de hacer gestión de capital propia, poder tener eficiencias para maximizar el retorno a sus accionistas al tiempo que se garantiza la solidez de cara a los clientes es el objetivo de todo esto.

1.4.1. Formulación Capital Basado en Riesgos

El requerimiento de Capital Basado en Riesgo (CBR) de una compañía bajo el estándar de Solvencia II, está compuesto por una fórmula estándar previamente definida que hace una aproximación modular para la integración de los diferentes riesgos. El requerimiento de capital agrega: un requerimiento de capital para el riesgo operacional, un ajuste y un

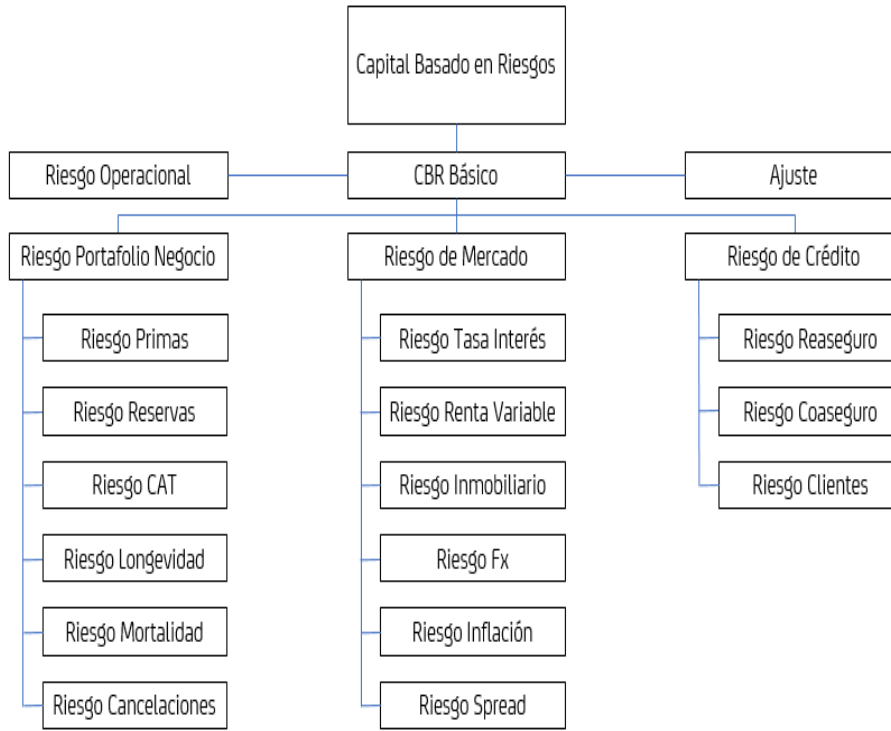


Figura 2: Composición del Capital Basado en Riesgos

requerimiento de capital básico que, a su vez, se compone de los diferentes módulos de riesgos operacionales que las compañías deben cuantificar.

$$CBR = CBR_{básico} + RC_{op} + Ajuste. \quad (1)$$

Donde, $CBR_{básico}$ es el requerimiento de capital "básico" de las compañías aseguradoras, es decir, aquel que agrega correlacionadamente los módulos de riesgos de portafolio de negocio, riesgos de mercado y riesgo de crédito. RC_{op} es el requerimiento de capital asociado al módulo de riesgo operacional y $ajuste$ es el ajuste que las compañías pueden realizar relacionado con los módulos técnicos.

El $CBR_{básico}$ agrega correlacionadamente los requerimientos de capital de los módulos de riesgos de portafolio de negocio, riesgos de mercado y riesgo de crédito sin contar aun con el ajuste y tampoco sin considerar el requerimiento de capital asociado al riesgo operacional, de la siguiente manera:

$$\sqrt{\sum_{ij} Corr_{ij} \times RC_i \times RC_j} \quad (2)$$

Donde, $Corr_{ij}$ son las entradas de la matriz de correlación que se presenta en la tabla 1 y RC_i, RC_j son el requerimiento de capital de los riesgos individuales.

	Vida	No Vida	Crédito	Mercado
Vida	1.00	0.00	0.25	0.25
No Vida	0.00	1.00	0.50	0.25
Crédito	0.25	0.50	1.00	0.25
Mercado	0.25	0.25	0.25	1.00

Cuadro 1: Matriz de Correlaciones

Para la cuantificación de los diferentes módulos que hacen parte del CBR, el marco de referencia Solvencia II en el QIS5 [9] propone una serie de metodologías según el tipo de riesgo. En general y conectando con las definiciones de Riesgos hechas en 1.3, los riesgos de portafolio de negocio, de mercado y de crédito son riesgos principalmente objetivos, por lo que existen muchas fuentes de información con bases de datos históricas del comportamiento de las variables subyacentes, que permiten realizar estimaciones robustas de los métodos por medio de la construcción de distribuciones de pérdidas.

Por ejemplo, para los riesgos técnicos o de portafolio de negocio, la propuesta metodológica es la construcción de una distribución de pérdidas agregadas (ALD por sus siglas en inglés) que se logra por medio de la convolución de una distribución de frecuencia y una distribución de severidad. Para los riesgos de mercado y de crédito, la volatilidad en precio de los diferentes activos hace relativamente sencillo la aproximación a la distribución de volatilidad de estos para poder realizar la estimación del requerimiento de capital asociado.

El problema entonces se encuentra en el riesgo operacional, la forma de abordar el riesgo operacional y cómo se plantea en este marco de referencia muestra que se trata de un riesgo principalmente subjetivo, en la sección 4 se profundizará en el camino metodológico para cuantificar dicho riesgo, pero es relevante destacar que se cuantifica en función de una única variable del estado de resultados de las compañías, que no se utiliza información que permita ver realmente el riesgo en las compañías, no se conecta con la gestión de riesgos, no usa información del riesgo y realiza estimaciones que no conectan con los estados financieros de las compañías.

Este trabajo tiene como fin proponer una metodología de cuantificación del requerimiento de capital de los riesgos operacionales, que involucre variables relevantes de las compañías aseguradoras y de la materia del riesgo, que eleve el estándar cuantitativo de este riesgo que es principalmente subjetivo y que ayude en el camino que tienen las compañías aseguradoras de continuar generando confianza hacia sus clientes por medio de una adecuada estimación del Capital Basado en Riesgos para su gestión.

2. Estado del Arte

La gestión y la cuantificación del Riesgo Operacional ha tenido avances significativos en los últimos años, algunos por proactividad por parte de las compañías que se enfrentan a él y algunos avances se han asociado más a cambios drásticos en las diferentes normativas y regulaciones que han incrementado la presión sobre las compañías aseguradoras por tener un marco comprensivo de gestión del Riesgo Operacional. Hoy en día las compañías aseguradoras o en general aquellas pertenecientes a los sistemas financieros, cuentan con un equipo de Gestión de Riesgos Operacionales dentro de su estructura organizacional, sin embargo, en general en la literatura, se encuentra cómo el avance de la gestión y cuantificación de este riesgo no se ha movido con tanta velocidad como sí lo hicieron los otros tipos de riesgos como el de portafolio de negocio, mercado o crédito [13].

En [5], presentan una profundización en los principales cambios que la gestión de los riesgos operacionales ha tenido en los últimos años, haciendo un paralelo entre la gestión tradicional y la gestión moderna.

Profundizando en esto y en general en la literatura, se plantea que las dificultades para que dicho estándar de gestión y medición del Riesgo Operacional no haya avanzado a la misma velocidad que los diferentes riesgos se deben a varias causas [14]. Partiendo de las categorizaciones que realizamos anteriormente en la sección 1.3, el Riesgo Operacional es un riesgo principalmente subjetivo, por lo que no existen bases de datos con información histórica debido a que no existe en la práctica, una recolección de un historial de pérdidas de esta índole lo suficiente para llevar a cabo las diferentes modelaciones. Las bases de datos que se tienen son insuficientes, inexactas y hasta ahora existe poca experiencia con el modelado empírico del riesgo operacional [15].

Es por esto por lo que las diferentes empresas e inclusive los reguladores, bajo el estándar de Solvencia II, han propuesto diversas aproximaciones para lograr cuantificar el Riesgo Operacional [16]. Hasta el momento, existen tres principales caminos para aproximarse a dicho objetivo [17]:

1. La primera clase se basa en modelos estadísticos y en datos históricos como entrada principal para la calibración de las distribuciones de pérdidas. Sin embargo y como vimos, la información en este frente ha sido muy compleja de recolectar históricamente por lo que, se han propuesto diferentes caminos para aproximar la construcción de dicha distribución de pérdidas. Un camino muy utilizado, haciendo referencia a la teoría de los valores extremos, es la estimación paramétrica por medio de distribuciones de probabilidad teóricas de una distribución de frecuencia y una distribución de severidad para los diferentes tipos de pérdidas operacionales individuales y su posterior agregación, por medio de una matriz de correlaciones o mediante el uso de cópulas.
2. La segunda clase también utiliza los modelos estadísticos presentados en el camino anterior para la cuantificación, pero involucra el uso de medidas cualitativas para calibrar los resultados del modelo. Las características claves de estos modelos son

los análisis de escenarios y tarjetas de puntuación, para capturar la esencia de los diferentes tipos de riesgos y la manera en que las compañías utilizan los diferentes mecanismos de gestión de riesgos para prevenir estas afectaciones.

3. La tercera y última clase se basa en la modelación del riesgo operacional vía el modelado funcional de los diferentes procesos y tipos de riesgo operacional. Esta clase de modelación se basa en la clara definición de los procesos funcionales del riesgo y en la modelación conectada de los mismos. Si bien estos modelos permiten una aproximación bastante confiable de la cuantificación del riesgo, son modelos muy exigentes en términos de la recopilación de datos y del empoderamiento necesario en las diferentes personas que hacen parte las compañías, para poder contar con expertos que permitan realizar la validación del modelo.

Un punto importante de partida para entender el estándar de cuantificación actual del requerimiento de capital por el Riesgo Operacional en la industria aseguradora es el marco de referencia internacional Solvencia II. Dicho marco, en su documento publicado QIS5 [9] establece lo siguiente:

El riesgo operacional es el riesgo de pérdida derivada por deficiencias, fallas o inadecuaciones en los procesos, la tecnología, la infraestructura, la información y el talento humano o bien, por la ocurrencia de eventos externos adversos. Es importante resaltar que dentro del marco de Solvencia II, el riesgo operacional incluye el riesgo legal, pero no el riesgo de reputación ni los derivados de decisiones estratégicas, al considerar que estos últimos no son riesgos gestionables con capital.

Conectando con lo anterior, en la literatura se han estudiado y propuesto las diversas fuentes de riesgo operacional que pueden llevar a que se materialicen pérdidas financieras en las compañías aseguradoras. A continuación, se presentan en resumen las principales halladas en [18]:

- **Procesos Internos:** hacen referencia a la posibilidad de pérdidas financieras relacionadas con el diseño inapropiado de los procesos críticos o con políticas y procedimientos inadecuados o inexistentes que puedan tener como consecuencia el desarrollo deficiente de las operaciones y servicios o la suspensión de estos. Se consideran, entre otros, los riesgos asociados a los fallos en los modelos utilizados, los errores en las transacciones, la evaluación inadecuada de contratos o de la complejidad de productos, operaciones y servicios, los errores en la información contable, la incorrecta compensación, liquidación o pago, la insuficiencia de recursos para el volumen de operaciones, la inadecuada documentación de transacciones, así como el incumplimiento de plazos y presupuestos planeados
- **Personas:** son las posibles pérdidas financieras asociadas a la negligencia, error humano, sabotaje, fraude, robo, paralizaciones, apropiación de información sensible, blanqueo de dinero, inapropiadas relaciones interpersonales y ambiente laboral desfavorable, falta de especificaciones claras en los términos de contratación del personal, entre otros factores. Se incluyen pérdidas asociadas con insuficiencia de personal o personal con destrezas inadecuadas, entrenamiento y capacitación inadecuada y/o

prácticas débiles de contratación

- **Tecnología:** la posible pérdida financiera surge como consecuencia del uso de inadecuados sistemas de información y tecnologías relacionadas que pueden afectar el desarrollo de las operaciones y servicios que realiza las compañías al atentar contra la confidencialidad, integridad, disponibilidad y oportunidad de la información. Se pueden considerar los riesgos derivados de fallos en la seguridad y continuidad operativa de los sistemas de tecnología, errores en el desarrollo e implementación de dichos sistemas y su compatibilidad e integración, problemas de calidad de información y fallos para alinear dichas plataformas con los objetivos del negocio
- **Eventos Externos:** es la posibilidad de pérdidas derivadas de la ocurrencia de eventos ajenos al control de la empresa que pueden alterar el desarrollo de sus actividades, afectando a los procesos internos, personas y tecnología. Se pueden considerar los riesgos que implican las contingencias legales, los fallos en los servicios públicos, la ocurrencia de desastres naturales, atentados y actos delictivos, así como los fallos en servicios críticos provistos por terceros. Otros riesgos asociados con eventos externos incluyen los riesgos legales asociados a cambios repentinos en las regulaciones, así como el riesgo político o de país

Algo importante es que los riesgos operacionales tienen una característica especial y es que las fallas o pérdidas operativas se pueden manifestar de tal manera que pueden camuflarse dentro de la materialización de un riesgo de mercado, crédito o de suscripción, por lo que el riesgo operacional impregna todos los aspectos del universo de gestión de riesgos. En este sentido, y con el fin de no duplicar el capital requerido que deben tener las compañías aseguradoras, dentro del marco de Solvencia II, el módulo de riesgo operacional está diseñado para abordar los riesgos operacionales, en la medida en que estos no hayan sido explícitamente cubiertos en otros módulos del CBR.

Con el fin de desarrollar el cálculo para el requerimiento de capital del riesgo operacional, se presentan a continuación los inputs necesarios para llevar a cabo la metodología propuesta en el marco de Solvencia II.

- Primas emitidas de la compañía aseguradora del año actual
- Primas emitidas de la compañía aseguradora del año inmediatamente anterior
- Provisiones técnicas de la compañía aseguradora del año actual

Solvencia II propone una fórmula estándar, basada en las variables mencionadas anteriormente, para cuantificar el requerimiento de capital en el módulo de Riesgo Operacional. La metodología propuesta se basa en el primer camino presentado anteriormente, pero es una manera muy aproximada de obtener la distribución de pérdidas, en teoría, Solvencia II con su fórmula estándar, aproxima la distribución de pérdidas del riesgo operacional. Mucho se ha criticado de esta aproximación porque no logra capturar otras variables que son de alto interés para las compañías aseguradoras y que tampoco premia, o castiga, los diferentes mecanismos de gestión de riesgos que las compañías pueden tener, como lo presenta el segundo camino metodológico que vimos anteriormente.

La fórmula propuesta en Solvencia II para cuantificar el requerimiento de capital en el módulo de Riesgo Operacional es la siguiente:

$$RC_{op} = \max(\max(0; FactorRiesgo \times PrimasEmitidas_{añoactual} - 1,10 \times PrimasEmitidas_{añoanterior}) + FactorRiesgo \times PrimasEmitidas_{añoactual}; FactordeRiesgo \times Provisiones_{añoactual}) \quad (3)$$

Donde, RC_{op} es el requerimiento de capital del módulo de riesgo operacional dentro del CBR y el $FactorRiesgo$, de acuerdo con la fórmula estándar de Solvencia II, es del 4% para soluciones de vida y 3% para las demás soluciones.

Es importante resaltar que existe también la restricción de que el requerimiento de capital por riesgo operacional no podrá ser superior al 30% del CBR Básico calculado para el mismo periodo de análisis en las compañías aseguradoras

3. Datos

Para desarrollar la metodología de cuantificación del requerimiento de capital de los riesgos operacionales propuesta en este trabajo, se trabajó con una base de datos de información histórica de compañías aseguradoras en Latinoamérica obtenida de LatinoInsurance.

La base de datos trabajada consta de **3.640** observaciones, asociadas a **646** compañías aseguradoras de los siguientes países de Latinoamérica:

1. Argentina
2. Brasil
3. Chile
4. Colombia
5. El Salvador
6. México
7. Panamá
8. República Dominicana
9. Uruguay

Los datos fueron recolectadas a lo largo de seis años (2014-2019) y constan de una variable independiente, el requerimiento de capital asociado al riesgo operacional (variable y), y 15 variables independientes que se presentan a continuación:

- **Primas Emitidas x_1** : Representan la producción de las compañías aseguradoras en un año. Es una variable altamente significativa pues muestra el volumen de la compañía

en términos de transacciones, clientes, exposición y posicionamiento en los mercados. De cara a lo que se ha presentado hasta el momento, es la variable crítica del cálculo del requerimiento de capital de riesgo operacional bajo el marco de Solvencia II

- **Primas Retenidas x_2 :** Las compañías aseguradoras tienen varios mecanismos de transferencia de riesgos, uno de ellos es a través de las compañías reaseguradoras. Las compañías reaseguradoras son los seguros de las aseguradoras y existen dos tipos de contratos principales que se celebran entre ambas partes: los contratos proporcionales y los no proporcionales. Son los contratos proporcionales en los que se pacta un % de transferencia de riesgo y, por ende, las compañías aseguradoras deben ceder en esa misma proporción las primas emitidas a las compañías reaseguradoras. En conclusión, las primas retenidas son las primas que “quedan” en las compañías aseguradoras luego de aplicar los contratos de cesión proporcional a las reaseguradoras
- **Siniestros Pagados x_3 :** Los siniestros representan los pagos que las compañías de seguros hacen a sus asegurados. Desde el punto de vista del cliente, son las reclamaciones hechas a las compañías. La siniestralidad es un término muy propio de la industria aseguradora, y refleja en qué tanta magnitud la compañía está devolviéndole valor a sus asegurados vía el reconocimiento y acompañamiento permanente en las soluciones
- **Comisiones de Intermediación x_4 :** Un actor fundamental en las compañías aseguradoras son los canales. Los canales de distribución son quienes se encargan, principalmente, de realizar las ventas de los seguros a los diferentes públicos de interés. Existen varios tipos de Canales en las compañías de seguros, a destacar el denominado canal tradicional o corredor y el canal de afinidad. El primero son los asesores tradicionales de seguros y el segundo son un negocio que realiza la compañía aseguradora con un tercero para vender por medio de este los seguros. La composición en canales de las compañías aseguradoras son indicios relevantes del modelo operativo y de la estructura de gastos que puede tener la compañía, además de las diferentes interacciones y exposiciones. Las comisiones de intermediación reflejan dicha composición, son las comisiones que las aseguradoras le pagan a sus canales, una comisión relativamente baja muestra una composición de canal principalmente en el tradicional mientras que una comisión relativamente alta muestra una composición principalmente en el canal afinidad, lo cual responde a que en el segundo, se tiene el contacto directo con el cliente dentro de su cotidianidad y la carga operativa de las pólizas recae principalmente en ellos
- **Gastos Administrativos x_5 :** El gasto administrativo de las compañías de seguros recoge todos los egresos relacionados con personal, tecnología y fuerza comercial. El gasto se relaciona a menudo con el modelo operativo de las compañías, qué tan dinámicas son y que tanto realizan inversiones para modificar el perfil de riesgos y las diferentes exposiciones que pueden existir a estos
- **Ingreso Financiero x_6 :** El resultado técnico de las compañías aseguradoras es la posición financiera final que obtienen las compañías asociadas únicamente a la componente del negocio asegurador. El RT, se calcula como las primas menos los siniestros,

las comisiones y los gastos, y refleja que tan bien afinada está la compañía en términos de tarifa, reservas, siniestralidad y estructura de costos. Un buen RT va en sintonía con una compañía “menos riesgosa” ya que demuestra, de cierta manera, la capacidad que tiene para aprovechar los recursos que administra

- **Resultado Técnico (RT) x_7 :** Algo interesante de las compañías aseguradoras es que los buenos resultados de su negocio no dependen únicamente de la componente técnica o aseguradora. Como existe tanta incertidumbre alrededor de los pagos (siniestros) que se deben hacer, las compañías aseguradoras constituyen unas reservas (provisiones técnicas) con el fin de administrar dichos recursos mientras se materializan los eventos. Estas reservas son invertidas por medio de un portafolio de inversiones en el mercado de capitales y el rendimiento de estos recursos es el ingreso financiero, actor clave para los resultados de una compañía aseguradora
- **Utilidad Neta x_8 :** La utilidad neta consolida los resultados financieros de las compañías aseguradoras de un año. Es el último rubro dentro del estado financiero de pérdidas y ganancias (PyG) de las compañías e involucra los resultados que se condensan en el RT, ingreso financiero y pago de impuestos
- **Número de Empleados x_9 :** Son el número de empleados que tiene la compañía aseguradora. Es relevante recordar que uno de los factores de riesgo operacional, como vimos en la sección referencia, es el talento humano y hace referencia a las fallas que puedan existir en la operación asociadas a esta variable. La hipótesis es que, a mayor número de empleados, mayor es la exposición en ese sentido
- **Número de Clientes x_{10} :** Es el número de clientes que tiene la compañía aseguradora y puede representar, dependiendo de la cantidad, el número de interacciones y la capacidad que deben tener las compañías aseguradoras para garantizar una correcta operación y continuidad del negocio. Se puede estar asociando a los temas de fraude
- **Razón Combinada x_{11} :** La razón combina (COR por sus siglas en inglés) es un indicador ampliamente utilizado en la industria aseguradora. Es una razón de egresos sobre ingresos y busca medir qué tan eficiente es la compañía aseguradora en función de los ingresos que percibe. Un COR por encima de 100 % representa una compañía más riesgosa que una que tiene el mismo indicador por debajo de dicho valor
- **Compañía de Vida x_{12} :** Es una variable binaria que indica en 0 si la compañía aseguradora es una compañía de seguros de no vida y 1 en el caso contrario
- **Exposición CAT x_{13} :** Es una variable binaria que indica en 0 si el país al que pertenece la compañía aseguradora no tiene exposición a eventos naturales catastróficos y 1 en el caso contrario
- **Concentración Solución x_{14} :** Es una variable binaria que indica en 0 si la compañía de seguros está concentrada en productos o seguros asociados a Daños (Hogar, Incendio, Terremoto, entre otros) y 1 si la compañía está concentrada en soluciones de Autos
- **Concentración Canal x_{15} :** Es una variable binaria que indica la concentración en

canales de la compañía aseguradora, es 0 si la compañía está concentrada en el canal tradicional o asesor y 1 si la compañía está concentrada en el canal afinidad

Vale aclarar que la variable dependiente y las variables independientes continuas, están en miles de dólares.

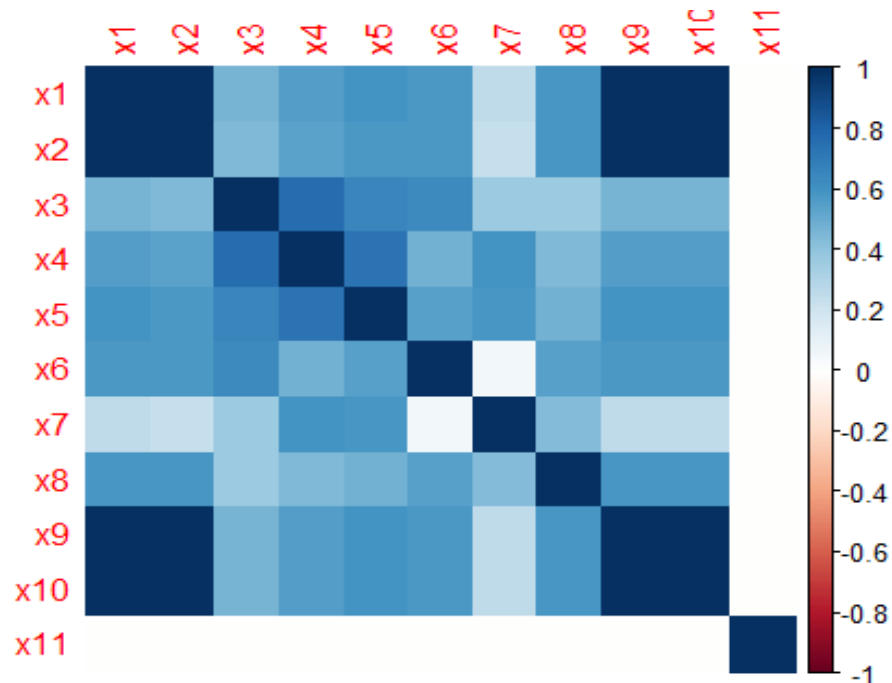


Figura 3: Correlaciones Variables Continuas

Realizando un análisis de correlaciones sobre las variables continuas (de la 1 a la 11) presentado en la figura 3, observamos que existe una alta correlación positiva entre la variable 1 y la variable 2, o sea entre la prima emitida y la prima retenida y que también existe una alta correlación positiva entre la variable 9 y la 10, es decir, entre el número de empleados y el número de clientes de las compañías. En ambos casos la magnitud y la dirección de la relación tiene sentido pues es conocido que la prima retenida es una función de la prima emitida y que, en el caso de las compañías en Latinoamérica, los modelos operativos están diseñados para maximizar el alcance y la escala de la compañía, por lo que el crecimiento en número de empleados obedece, en la mayoría de los casos, al crecimiento en primas y por ende en el número de clientes. Se destaca también la correlación baja que existe entre las variables 6 y 7, es decir, entre el resultado técnico y el ingreso financiero lo anterior es algo bastante interesante, pues como lo comentamos anteriormente, el negocio asegurador per se recoge sus resultados en el resultado técnico y la componente financiera del negocio, fruto del retorno asociado al portafolio de inversiones, se observa en el ingreso financiero.

La variable dependiente continua tiene el comportamiento presentado en la figura 4, dicha

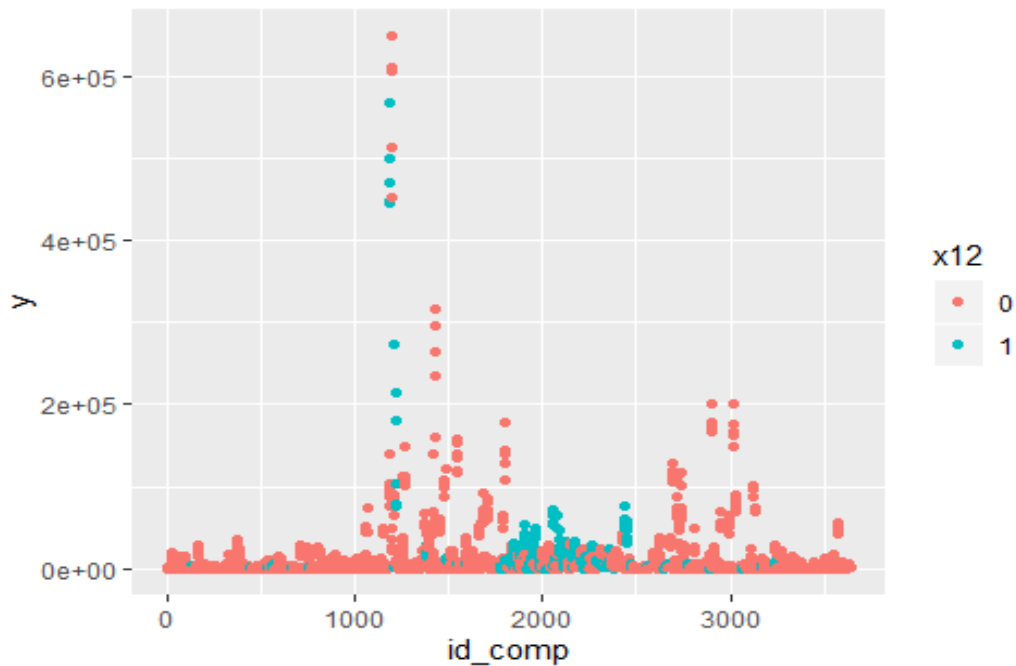


Figura 4: Comportamiento Variable Dependiente

gráfica muestra para todas las observaciones que se tienen de las compañías separadas entre aquellas de Vida y No Vida. Como se puede observar, existen unos datos bastante superiores a los demás y dichos datos representan a las compañías aseguradoras en Brasil, donde existe el mayor volumen de primas del mercado y donde existen grandes jugadores que lideran los números en general en la región.

4. Metodología

La metodología de trabajo para obtener la cuantificación del requerimiento de capital de los riesgos operacionales, partiendo de la base de datos que se presentó anteriormente, es la siguiente:

Como se presentó en la sección 3, la base de datos cuenta con varias variables explicativas o potenciales regresores, son en total quince (15) variables independientes con las que se busca explicar el fenómeno y de las cuales, once (11) son variables continuas y cuatro (4) son variables binarias. Por lo que, en una primera instancia, se buscará dar respuesta al problema de selección de variables utilizando varios de los métodos más conocidos en esta materia, con el fin de obtener con un buen nivel de confianza las principales variables y regresores que explican el fenómeno.

Dichos métodos son presentados a profundidad en la sección 4.1 y cabe resaltar que, el

objetivo de en una primera instancia dar solución al problema de selección de variables, es estudiar y determinar las influencias significativas que ejercen las distintas variables sobre la variable de salida, buscando determinar esencialmente la cantidad de variables que logren, de manera óptima, predecir el comportamiento de la variable respuesta. Lo que se busca con esto es analizar la capacidad predictiva general del modelo en la manera que se optimizan los recursos para la consecución de la información.

Del paso anterior la idea es obtener por cada uno de los métodos de regularización utilizados, el conjunto de variables o regresos explicativas para entrenar en cada caso un modelo lineal generalizado (GLM) que trabaje con dichas variables sumado a la variable independiente del requerimiento de capital de los riesgos operacionales (*CBR RO*). El objetivo es obtener el mejor modelo que nos permita cuantificar el riesgo operacional de las compañías aseguradoras en función de las variables más relevantes identificadas.

Para entrenar el modelo GLM, se realizará una serie de particiones aleatorias [19] de la base de datos donde se propone trabajar con el 67% de los datos como entrenamiento y el restante 33% como validación o testeo. En cada partición y para cada modelo se analizarán los coeficientes encontrados, el comportamiento gráfico, así como el Root MSE para identificar cuál de ellos es el mejor.

Los modelos trabajados hasta el momento son aquellos obtenidos por medio de las diferentes técnicas de selección de variables por lo que, el paso siguiente, es proponer un modelo basado no sólo en esta información sino en la experiencia de los autores con el fin de contrastar los resultados obtenidos de este con los anteriores. El modelo propuesto contará con una serie de conexiones que serán detalladas y explicadas más adelante y que buscan conectar los resultados cuantitativos con la lógica por detrás del funcionamiento de la industria para lograr de manera asertiva, posicionar los resultados en las compañías de seguros.

Vale mencionar que todo el trabajo será realizando en el software R.

4.1. Modelos Evaluados para la Selección de Variables

4.1.1. Lasso (Least Absolute Shrinkage and Selection Operator)

Como método de regresión regularizada, este modelo genera un análisis de regresión que realiza selección de variables y regularización para mejorar la exactitud e interpretabilidad del modelo estadístico producido por este [20].

Donde, en la fórmula, se tiene integrada la restricción que tiene la función para la penalización de los coeficientes de la función por medio del parámetro λ . Para lograr de esta forma estabilizar las estimaciones y predicciones y, por ende, realizar la selección de variables.

Lasso reduce la variabilidad de las estimaciones por la reducción de los coeficientes y al mismo tiempo produce modelos más interpretables y simples por la reducción de algunos coeficientes a cero.

$$\hat{\beta}^{lasso} = \underset{\beta}{\operatorname{argmin}} \left\{ \sum_{i=1}^n (y_i - \beta_0 - \sum_{j=1}^K x_{ij} \beta_j)^2 + \lambda \sum_{j=1}^K |\beta_j| \right\} \quad (4)$$

Utilizando Lasso, es posible obtener un modelo con buena precisión y que sea interpretable, pero este método también tiene varias limitaciones como lo son las siguientes:

- En el caso $P > n$ Lasso selecciona a lo sumo n variables antes de saturarse, debido a la naturaleza del problema de optimización convexa y esto podría ser una limitación para un método de selección de variables. Además, Lasso no está bien definido a menos que el límite de la norma L1 de los coeficientes sea menor que un cierto valor.
- Si existe un grupo de variables entre las cuales las correlaciones por parejas son muy altas, entonces Lasso tiende a seleccionar sólo una variable del grupo, sin importarle cuál de ellas selecciona.
- Para el caso $n > P$, si existe una alta correlación entre los predictores, se ha observado que, en general, la predicción a través de regresión Ridge resulta más óptima que la obtenida a través de Lasso.

4.1.2. Lars

“Least Angle Regression” [21] es un modelo que puede verse como un especie de forward stepwise regression, ya que usa una estrategia similar de ir agregando variables al modelo, basado en la correlación con los residuales.

Estructura del algoritmo

1. Estandarizar los predictores para que tengan media cero y norma unitaria, se calculan los residuales.
2. Se encuentra el predictor X_j que tenga mas correlación con r
3. Se mueve B_j desde un valor de 0 hasta su coeficiente en mínimos cuadrados, $\langle X_j, r \rangle$ Hasta que otro competidor X_k tenga tanta correlación con el residual como tiene X_j .
4. Se mueve B_j y B_k en la dirección definida por el coeficiente conjunto de mínimos cuadrados, del residual, hasta que otro competidor X_l tenga tanta correlación como la actual sobre los residuales.
5. se continua hasta que todos los predictores estén en el modelo

4.1.3. Elastic Net

Hui Zou and Trevor Hastie [22] proponen en 2005 una nueva técnica de regularización y selección de variables conocido como Elastic Net, la cual retiene las ventajas de Lasso, hace automáticamente selección de variables y contracción continua, y al mismo tiempo supera algunas de sus limitaciones. Con este nuevo método se puede seleccionar grupos de variables correlacionadas. Este método es particularmente útil cuando el número de predictores (P) es mucho más grande que el número de las observaciones (n). En primer lugar, los autores definen Naive Elastic Net (red elástica simple) que es un método de mínimos cuadrados penalizado utilizando una penalización nueva de Elastic Net.

Donde, su función de penalización es la siguiente:

$$\lambda \sum_{j=1}^K (\alpha |\beta_j| + (1 - \alpha) \beta_j^2). \quad (5)$$

Siendo esto, una combinación entre los modelos de regresión entre lasso y ridge. Donde al final lo que hace la regresión es la selección de variables como el Lasso y reduce los coeficientes de los predictores correlacionados como lo hace Ridge. De igual forma, tiene considerables ventajas computacionales sobre las penalizaciones Lq.

4.1.4. BMA

Bayesian Model Averaging (BMA) es una aplicación de inferencia bayesiana para los problemas de selección de modelos que se enfoca en explicar la incertidumbre del modelo [23]. En particular, se considera la problemática de selección de variables, dada la incertidumbre de los regresores, en un marco de regresión donde existen K variables explicativas, lo que implica $M = M_1, M_2, \dots, M_{2^k}$ posibles modelos indexados por los parámetros θ_m , $m = 1, 2, \dots, 2^k$.

Generalmente, en la práctica estadística, se suele ignorar la incertidumbre del modelo y los analistas de datos seleccionan un modelo, perteneciente a alguna clase de modelos, para proceder con el supuesto de que el modelo seleccionado es el generador de los datos. Lo anterior ignora la incertidumbre en la selección del modelo, lo que lleva a inferencias estadísticas o construcción de modelos que pueden estar muy confiadas pero que presentan errores en la calibración de este.

BMA proporciona un mecanismo coherente para tener en cuenta esta incertidumbre del modelo al derivar las estimaciones de los parámetros, marginando a los modelos para derivar densidades posteriores en los parámetros del modelo que explican la incertidumbre del modelo, de la siguiente manera:

$$\pi(\theta|y) = \sum_{m_i} \pi(m_i|y) \pi(\theta|y, m_i) \quad (6)$$

Donde, m_i es el conjunto de posibles modelos, $\pi(m_i|y)$ es la posterior probability del modelo m_i y $\pi(\theta|y, m_i)$ es la posterior density de los parámetros condicionados al modelo m_i . $\pi(\theta|y, m_i)$ es un proxy adecuado para la información sobre los parámetros θ cuando $\pi(\theta|y, m_i) \approx 1$.

Un estadístico importante que se obtiene en el proceso del BMA es la posterior inclusion probability (PIP) asociada a cada variable x_l , $l = 1, 2, \dots, k$ y se define como:

$$PIP(x_i) = \sum_{m_i} \pi(m_i|y) * I_{l,m} \quad (7)$$

Donde, $I_{l,m} = 1$ si $x_l \in m_i$ y 0 en otro caso.

Revisando la literatura [24], respecto a las PIP de las x_l se sugiere lo siguiente:

- $PIP < 0.5$, es evidencia en contra del regresor.
- $0.5 \leq PIP < 0.75$, es evidencia débil a favor del regresor.
- $0.75 \leq PIP < 0.95$, es evidencia positiva a favor del regresor.
- $0.95 \leq PIP < 0.99$, es evidencia fuerte a favor del regresor.
- $PIP \geq 0.99$, es evidencia muy fuerte a favor del regresor.

BMA permite incorporar la incertidumbre del modelo en un marco de regresión y cuando se desee seleccionar sólo un modelo existen dos alternativas: el modelo con la mayor posterior model probability y el modelo de probabilidad mediana, siendo este último modelo aquel que incluye cada predictor x_l que tenga una PIP superior a 0.5

5. Resultados y Discusión

Como presentamos en la sección anterior 4, en primer lugar, se aborda el problema de la selección de variables. Para este fin, se trabajaron las siguientes opciones de modelos para la selección de variables:

- Step AIC
- Lasso
- Elastic Net
- Ridge
- BMA

5.0.1. Step AIC

Trabajando con todos los datos y realizando la partición entre el conjunto de entrenamiento y el conjunto de testeo, en primer lugar y al ejecutar el modelo **Step AIC** para

selección de variables se obtienen los resultados presentados en la figura 5.

```

Coefficients:
      Estimate Std. Error t value Pr(>|t|)
(Intercept)  7.145e+02  3.632e+02   1.967  0.0493 *
x2           2.624e-02  5.978e-03   4.390  1.18e-05 ***
x4          -1.116e-02  7.583e-03  -1.472  0.1411
x6          -3.667e-02  7.646e-03  -4.796  1.71e-06 ***
x7          -3.329e-02  5.524e-03  -6.027  1.93e-09 ***
x8          -3.053e-02  6.019e-03  -5.072  4.24e-07 ***
x10         1.551e-02  2.395e-03   6.476  1.13e-10 ***
x12        -1.716e+03  9.906e+02  -1.733  0.0833 .
---
Signif. codes:  0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

Residual standard error: 15320 on 2432 degrees of freedom
Multiple R-squared:  0.9017,    Adjusted R-squared:  0.9014
F-statistic: 3186 on 7 and 2432 DF,  p-value: < 2.2e-16

```

Figura 5: Resultados Step AIC

Este método, que si bien no fue presentando en la sección 4, tiene un comportamiento esperado similar al del Step AIC y es un buen punto de partida dado que la estrategia consiste en minimizar las variables independientes al tiempo en que se minimiza el criterio de información Akaike (AIC), que es un método matemático para evaluar qué tan bien se ajusta un modelo a los datos a partir de los cuales se generó [25].

Los resultados obtenidos muestran que las variables más significativas para involucrar en el modelo son: Primas Retenidas (x_2), Ingreso Financiero (x_6), Resultado Técnico (RT) (x_7), Utilidad Neta (x_8) y Número de Clientes (x_{10}).

5.0.2. Lasso & Elastic Net

Trabajando con todos los datos y realizando la partición entre el conjunto de entrenamiento y el conjunto de testeo, en primer lugar y al ejecutar el modelo **Lasso** para selección de variables se obtienen los resultados presentados en la figura 6.

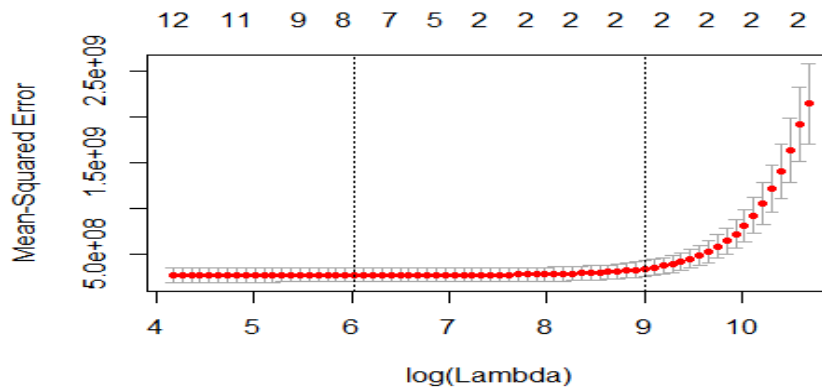


Figura 6: Resultados Lasso

Donde se obtiene que el λ que minimiza el MSE es de 414.9758 y que las variables seleccionadas son: Primas Emitidas (x_1), Primas Retenidas (x_2), Siniestros Pagados (x_3), Ingreso Financiero (x_6), Resultado Técnico (RT) (x_7) y Utilidad Neta (x_8).

Por otro lado, al correr el modelo **Elastic Net** con un α de 0.3 se obtienen los resultados presentados en la figura 8.

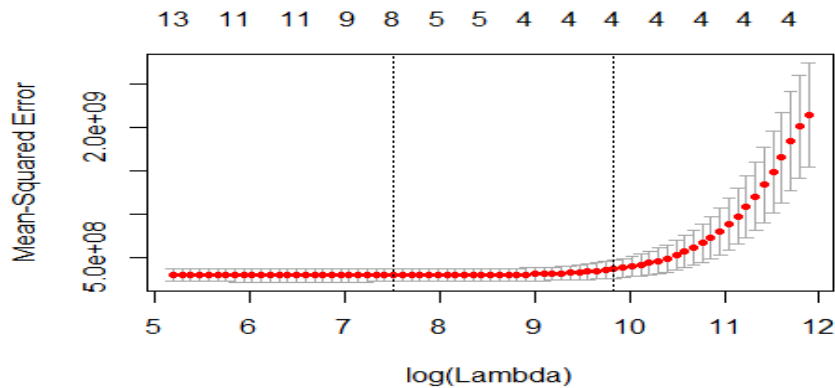


Figura 7: Resultados Elastic Net

Donde se obtiene que el λ que minimiza el MSE es de 1828.579 y que las variables seleccionadas son: Primas Emitidas (x_1), Primas Retenidas (x_2), Siniestros Pagados (x_3), Ingreso Financiero (x_6), Resultado Técnico (RT) (x_7), Utilidad Neta (x_8), Número de Empleados (x_9) y Número de Clientes (x_{10}).

Los resultados obtenidos entre estos dos modelos iniciales son muy similares en cuanto a la selección de variables, sólo que el Elastic Net propone un par de variables más que son el Número de Clientes y el Número de Empleados.

5.0.3. Ridge

Cuando existe cierta correlación entre algunas de las variables seleccionadas por alguno de los métodos presentados anteriormente, es de sumo interés utilizar el modelo de regularización **Ridge** dado que esta regresión reduce en mayor proporción las direcciones de las variables en el espacio X que tienen variaciones más pequeñas.

En ese sentido, al tener dos variables correlacionadas dentro del modelo, aquella cuyo β en la regresión Ridge sea mayor en magnitud absoluta tiene mayor fuerza explicativa en el modelo con menor variación y, por ende, debe ser seleccionado por encima de la otra variable [26].

Al correr la regresión Ridge con las variables seleccionadas por el modelo Elastic Net se obtiene:

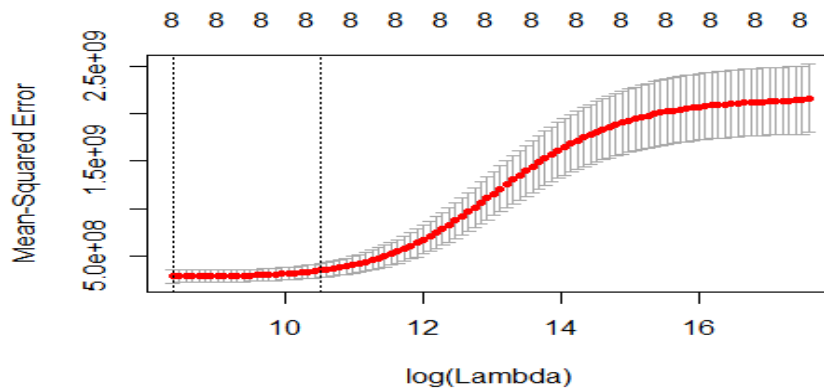


Figura 8: Resultados Ridge

Donde se obtiene que el λ que minimiza el MSE es de 4347.352 y que los β del modelo son:

```

s0
x1  0.014244501
x2  0.014456748
x3 -0.001779811
x6 -0.013264367
x7 -0.016615526
x8 -0.007639415
x9  3.391918158
x10 0.005729496

```

Figura 9: Resultados Ridge

5.0.4. BMA

Por último, corrimos la metodología BMA con el fin de obtener el modelo de probabilidad mediana, siendo este modelo aquel que incluye cada predictor x_l que tenga una PIP superior a 0.5, demostrando así evidencia a favor de dicha variable para pertenecer al mejor modelo, como se presentó en la sección 4.1.

Las variables obtenidas bajo este enfoque fueron: Primas Retenidas (x_2), Gasto Administrativo (x_5), Ingreso Financiero (x_6) y Resultado Técnico (RT) (x_7).

5.0.5. Resumen Variables Seleccionadas

En resumen, se obtuvieron los siguientes resultados para la selección de variables:

Modelo	VARIABLES
Step AIC	$(x_2), (x_6), (x_7), (x_8)$ y (x_{10})
Lasso	$(x_1), (x_2), (x_3), (x_6), (x_7)$ y (x_8)
Elastic Net	$(x_1), (x_2), (x_3), (x_6), (x_7), (x_8), (x_9)$ y (x_{10})
BMA	$(x_2), (x_5), (x_6)$ y (x_7)

Los resultados obtenidos hasta el momento por los diferentes métodos de selección de variables demuestran que existen algunas variables que, en definitiva, son altamente influyentes sobre la explicación del comportamiento de la variable independiente. A continuación, presentamos algunos puntos relevantes:

- En general, las Primas Emitidas (x_1) no fueron seleccionadas por varios de los modelos propuestos. Esto es algo a destacar siendo esta variable la directriz principal del cálculo que propone el estándar de Solvencia II como se presentó en la sección 1.4
- Se observa que los diferentes métodos seleccionan las Primas Retenidas (x_2) como una variable significativa, lo cual es coherente a la luz de que la retención, es la verdadera exposición en volumen administrado por las diferentes compañías aseguradoras y es con lo que opera la compañía
- Otra variable que aparece repetida en los diferentes métodos de selección de variables es el Ingreso Financiero (x_6). Lo anterior es un resultado bastante interesante, puesto que, como lo vimos en la sección 3 el ingreso financiero tiene una correlación de 0 con el Resultado Técnico (x_7). Lo que quiere decir que, si bien es independiente al negocio, el Ingreso Financiero al final les genera oxígeno a las compañías para hacer pie ante las obligaciones derivadas de la materialización de eventos de riesgo operacional
- Así mismo, el Resultado Técnico (x_7) es otra variable común entre los resultados de los diferentes métodos de selección de variables trabajados. Siendo el RT el resumen final de la componente de negocio, es lógico pensar que es una variable significativa a la hora de identificar las exposiciones que tiene una compañía al riesgo operacional puesto que representa la productividad final de la compañía
- Por parte del primer modelo, el Step AIC 5.0.1, se destaca que, dentro de las variables seleccionadas, si bien la mayoría pertenecen al estado de pérdidas y ganancias de las compañías que fueron discutidas en los puntos anteriores, fue seleccionada también el Número de Cliente (x_{10}). Conectando con lo visto en la sección 2, el Número de Clientes puede estar correlacionado al número de transacciones y por ende a una mayor exposición a los vulnerabilidades en los procesos internos y la tecnología dentro de las compañías, que es uno de los elementos fundamentales del riesgo operacional
- Se destaca que en el caso de los modelos Lasso y Elastic Net 5.0.2, las variables de Primas Emitidas (x_1) y Primas Retenidas (x_2) fueron seleccionadas por ambos modelos y que, como vimos en la sección 3 son variables altamente correlacionadas, lo que puede inducir a problemas de multicolinealidad en el modelo. Como se presentó en 5.0.3 y al analizar los resultados obtenidos en los Betas por el modelo Ridge, se observa que la variable Primas Retenidas (x_2) presenta mayor magnitud absoluta, lo

que quiere decir que tiene mayor fuerza explicativa en el modelo con menor variación y , por ende, debe ser seleccionada por encima de las Primas Emitidas (x_1) para realizar la cuantificación del modelo

- Es importante agregar que, así como en el punto anterior, los modelos Lasso y Elastic Net 5.0.2 también seleccionan las variables Número de Empleados (x_9) y Número de Clientes (x_{10}) y que, como vimos en la sección 3 son variables altamente correlacionadas, lo que puede inducir a problemas de multicolinealidad en el modelo. Como se presentó en 5.0.3 y al analizar los resultados obtenidos en los Betas por el modelo Ridge, se observa que la variable Número de Empleados (x_9) presenta mayor magnitud absoluta, lo que quiere decir que tiene mayor fuerza explicativa en el modelo con menor variación y , por ende, debe ser seleccionada por encima del Número de Clientes (x_{10}) para realizar la cuantificación del modelo
- Por último, en el caso del BMA 5.0.4, se destaca que es el modelo que menor número de variables selecciona (4) y que, dentro de las variables seleccionadas, se encuentra una como factor diferenciador al comparar con los resultados de los demás modelos: el Gasto Administrativo (x_5). Dicha variable es de sumo interés en las compañías aseguradoras, pues como se presentó en la sección 3 brinda un orden de magnitud alrededor de qué tan eficiente es la compañía, cómo está en su modelo operativo y puede dar altos indicios de la exposición a eventos de riesgo operacional

5.0.6. Modelos Planteados

Por lo discutido y presentado en las secciones anteriores, al final se plantea ejecutar tres modelos GLM con la variable y como dependiente:

- El primer modelo, presentando en la ecuación 8, parte de las variables obtenidas por el método Step AIC

$$y \approx x_2 + x_6 + x_7 + x_8 + x_{10} \quad (8)$$

- El segundo modelo, presentando en la ecuación 9, parte de las variables obtenidas por el modelo Elastic Net (que, en esencia, son las mismas variables que las obtenidas por el modelo Lasso agregándole dos más: Número de Empleados (x_9) y Número de Clientes(x_{10})) pero tiene el ajuste presentando por el modelo Ridge, donde no se consideran las Primas Emitidas (x_1), pero sí las Primas Retenidas (x_2) y tampoco se considera el Número de Clientes (x_{10}) pero sí el Número de Empleados (x_9)

$$y \approx x_2 + x_3 + x_6 + x_7 + x_8 + x_9 \quad (9)$$

- El tercer modelo, presentando en la ecuación 10, se basa en las variables obtenidas por el método BMA

$$y \approx x_2 + x_5 + x_6 + x_7 \quad (10)$$

5.0.7. Resultados Modelo 1

Al correr el modelo GLM, se obtienen los siguientes coeficientes:

- Primas Retenidas (x_2): 0.01908 que se interpreta cómo, ante un incremento de 1.000 USD en las primas retenidas, el requerimiento de capital por riesgos operacionales se incrementa en 19.08 USD, es decir que, representa el 1.91 % de las primas retenidas
- Ingreso Financiero (x_6): -0.02944 que se interpreta cómo, ante un incremento de 1.000 USD en el ingreso financiero, el requerimiento de capital por riesgos operacionales se reduce en 29.44 USD, es decir que, representa el 2.94 % del ingreso financiero
- Resultado Técnico (x_7): -0.02096 que se interpreta cómo, ante un incremento de 1.000 USD en el resultado técnico, el requerimiento de capital por riesgos operacionales se reduce en 20.96 USD, es decir que, representa el 2.10 % del resultado técnico
- Utilidad Neta (x_8): -0.01426 que se interpreta cómo, ante un incremento de 1.000 USD en la utilidad neta, el requerimiento de capital por riesgos operacionales se reduce en 14.26 USD, es decir que, representa el 1.43 % de la utilidad neta
- Número de Clientes (x_{10}): 0.01625 que se interpreta cómo, ante un incremento de un cliente, el requerimiento de capital por riesgos operacionales se incrementa en 16.256 USD
- En este modelo, el intercepto (β_0) tiene un valor de 457,328 USD

Los resultados gráficos del modelo son presentados en la figura 10 y el **RMSE** obtenido en este caso es de 13,565 y, vale mencionar que todas las variables son estadísticamente significativas trabajando con un nivel de confianza de $\alpha = 0.5\%$

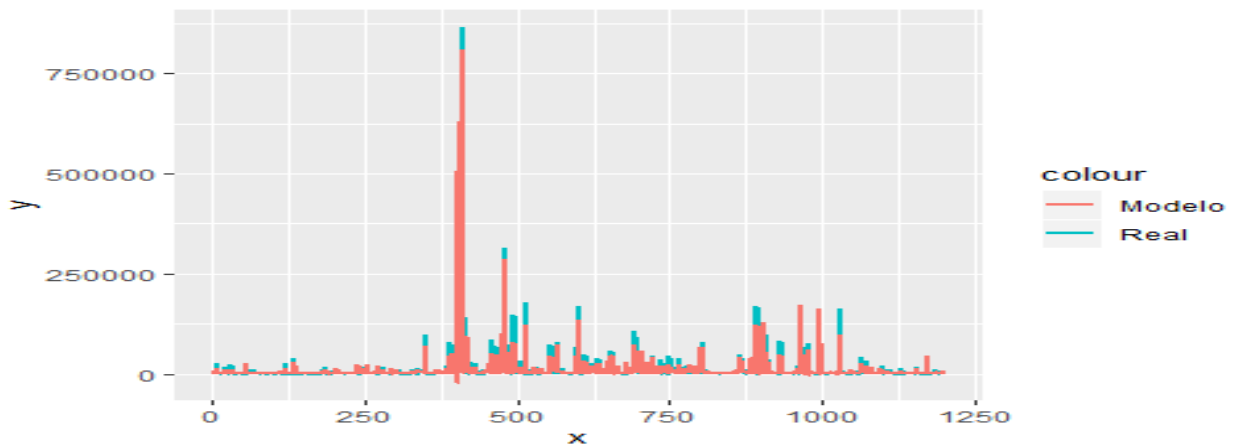


Figura 10: Resultados Modelo 1

5.0.8. Resultados Modelo 2

Al correr el modelo GLM, se obtienen los siguientes coeficientes:

- Primas Retenidas (x_2): 0.01785 que se interpreta cómo, ante un incremento de 1.000 USD en las primas retenidas, el requerimiento de capital por riesgos operacionales se incrementa en 17.85 USD, es decir que, representa el 1.79 % de las primas retenidas
- Siniestros Totales (x_3): -0.0021 que se interpreta cómo, ante un incremento de 1.000 USD en los siniestros totales, el requerimiento de capital por riesgos operacionales se reduce en 2.1 USD, es decir que, representa el 0.21 % de los siniestros totales
- Ingreso Financiero (x_6): -0.02542 que se interpreta cómo, ante un incremento de 1.000 USD en el ingreso financiero, el requerimiento de capital por riesgos operacionales se reduce en 25.42 USD, es decir que, representa el 2.54 % del ingreso financiero
- Resultado Técnico (x_7): -0.01932 que se interpreta cómo, ante un incremento de 1.000 USD en el resultado técnico, el requerimiento de capital por riesgos operacionales se reduce en 19.32 USD, es decir que, representa el 1.93 % del resultado técnico
- Utilidad Neta (x_8): -0.01536 que se interpreta cómo, ante un incremento de 1.000 USD en la utilidad neta, el requerimiento de capital por riesgos operacionales se reduce en 15.36 USD, es decir que, representa el 1.54 % de la utilidad neta
- Número de Empleados (x_9): 10.0538 que se interpreta cómo, ante un incremento de un empleado, el requerimiento de capital por riesgos operacionales se incrementa en 10,054 USD
- En este modelo, el intercepto (β_0) tiene un valor de 449,745 USD

Los resultados gráficos del modelo son presentados en la figura 11 y el **RMSE** obtenido en este caso es de 13,577 y, vale mencionar que todas las variables son estadísticamente significativas trabajando con un nivel de confianza de $\alpha = 0.5\%$ a excepción de los Siniestros Totales (x_3) donde se rechaza la hipótesis nula y la variable no es estadísticamente significativa por lo que no se debería considerar en el cálculo.

5.0.9. Resultados Modelo 3

Al correr el modelo GLM, se obtienen los siguientes coeficientes:

- Primas Retenidas (x_2): 0.05840 que se interpreta cómo, ante un incremento de 1.000 USD en las primas retenidas, el requerimiento de capital por riesgos operacionales se incrementa en 58.40 USD, es decir que, representa el 5.84 % de las primas retenidas
- Gastos Administrativos (x_5): 0.05794 que se interpreta cómo, ante un incremento de 1.000 USD en los gastos administrativos, el requerimiento de capital por riesgos operacionales se incrementa en 57.94 USD, es decir que, representa el 5.79 % de los gastos administrativos

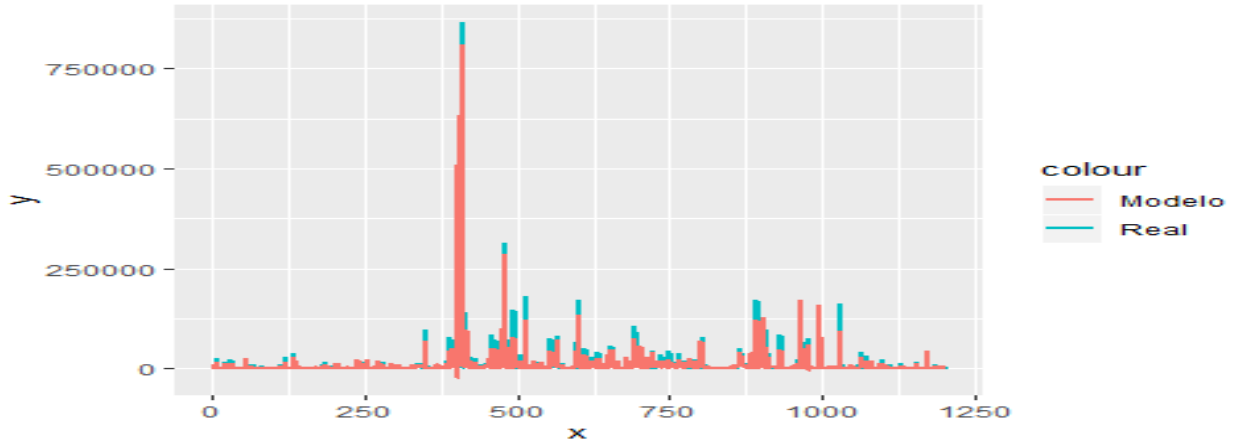


Figura 11: Resultados Modelo 2

- Ingreso Financiero (x_6): -0.04713 que se interpreta cómo, ante un incremento de 1.000 USD en el ingreso financiero, el requerimiento de capital por riesgos operacionales se reduce en 47.13 USD, es decir que, representa el 4.71 % del ingreso financiero
- Resultado Técnico (x_7): -0.03504 que se interpreta cómo, ante un incremento de 1.000 USD en el resultado técnico, el requerimiento de capital por riesgos operacionales se reduce en 35.04 USD, es decir que, representa el 3.50 % del resultado técnico
- En este modelo, el intercepto (β_0) tiene un valor de 667,522 USD

Los resultados gráficos del modelo son presentados en la figura 12 y el **RMSE** obtenido en este caso es de 13,531 y, vale mencionar que todas las variables son estadísticamente significativas trabajando con un nivel de confianza de $\alpha = 0.5\%$

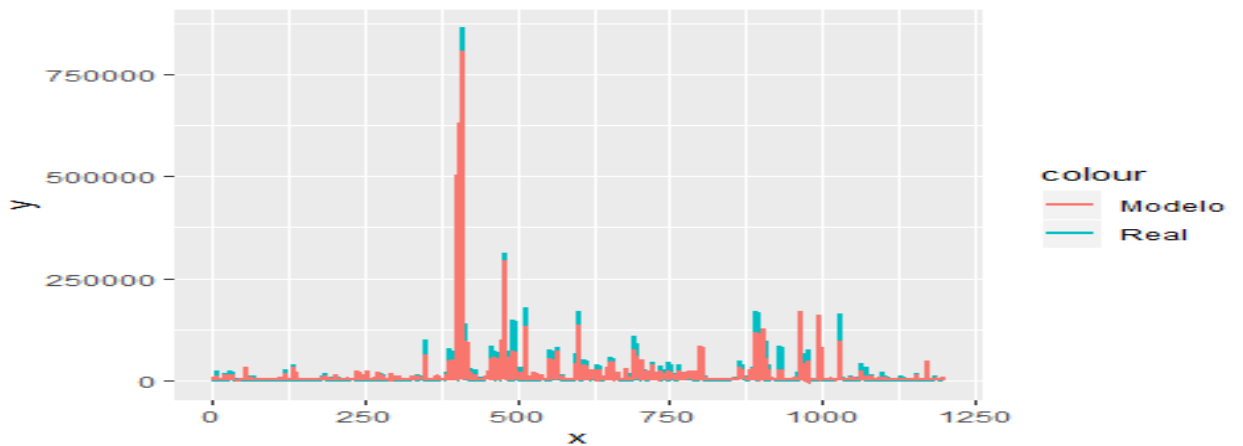


Figura 12: Resultados Modelo 3

5.0.10. Discusión Resultados Modelos 1-3

Los tres modelos ejecutados anteriormente presentan resultados muy interesantes. En primer lugar y desde la visualización gráfica de los resultados obtenidos para la partición de datos trabajada, vemos un buen ajuste inclusive en los valores extremos que presentan las compañías en Brasil.

Desde los coeficientes obtenidos de los Betas para las variables que fueron seleccionadas por los diferentes modelos, en general observamos que el comportamiento es coherente y que las variables planteadas presentan la dirección esperada a priori en el resultado, para entrar en detalle:

- Los modelos que seleccionan la variable de Prima Retenida (x_2) presentan una magnitud positiva en el Beta, lo que quiere decir que, ante incrementos en esta variable en las compañías aseguradoras también se incrementa el requerimiento de capital por riesgo operacional. Esto es lógico puesto que esta variable es indicativa del volumen verdaderamente administrado por las compañías, lo cual es base para medir la exposición a los riesgos operacionales y su productividad
- El Ingreso Financiero (x_6) en todos los modelos presenta un coeficiente negativo en el Beta, quiere decir que, ante incrementos en esta variable en las compañías, el requerimiento de capital disminuye. Como lo hablamos en secciones anteriores, el hecho de que exista una correlación de 0 entre el ingreso financiero y el resultado técnico del negocio, quiere decir que el superávit generado en esta variable les genera oxígeno a las compañías para responder ante cualquier eventualidad
- En el Resultado Técnico (x_7), todos los modelos presentan un coeficiente en el Beta negativo. El RT es la síntesis del negocio, y demuestra varios hitos importantes dentro de una compañía aseguradora: estructura en gastos, en comisiones, en siniestralidad, por ende, en composiciones de soluciones y de canales. Lo que quiere decir que un buen resultado técnico habla de una compañía que sabe gestionar su negocio y que por ende debe tener una menor carga de capital por el riesgo operacional

Ahora, el mejor modelo en términos de Root MSE es aquel que minimiza dicho indicador. El modelo que logra esto es el Modelo 3 5.0.9 con el valor de 13,531 y cuya formulación, como se presentó en 5.0.6, es la siguiente:

$$y \approx x_2 + x_5 + x_6 + x_7 \quad (11)$$

Este modelo se basa en las variables seleccionadas bajo el método BMA y está compuesto, no sólo por las tres variables significativas que presentamos anteriormente, sino también por el Gasto Administrativo (x_5). Dicha variable se considera de sumo interés a la hora de medir los requerimientos de capital por el riesgo operacional puesto que, la estructura de gastos de las compañías está altamente relacionada con su modelo operativo; un modelo operativo que en caso de ser eficiente implicaría mayor productividad. El Beta asociado a esta variable es positivo, lo quiere decir que, ante un incremento en los gastos

administrativos, se incrementa el requerimiento de capital de riesgos operacionales.

En general y hasta este punto, los resultados obtenidos son satisfactorios y demuestran alta coherencia en los resultados y en la búsqueda del propósito de poder medir o cuantificar el riesgo operacional en función de varias variables que sean significativas para las compañías de seguros.

Por lo anterior y lo expuesto hasta aquí, se elige al **Modelo 3 5.0.9** como el mejor modelo para realizar la estimación del requerimiento de capital de los riesgos operacionales.

5.0.11. Modelo 4

Como se presentó en la sección 4, la idea en este punto es proponer un modelo basado en la experiencia de los autores de este trabajo, trayendo a colación también lo estudiado hasta el momento.

El modelo propuesto consiste en las siguientes variables:

- Primas Retenidas (x_2)
- Comisiones de Intermediación (x_4): esta variable no había aparecido en la conversación hasta el momento salvo por la explicación dada en la sección 3. Las comisiones de intermediación al ser el pago que las compañías hacen a sus canales tienen una correlación directa con el modelo operativo de las aseguradoras. Una compañía con una estructura de comisiones altas implica un modelo operativo liviano dado que los negocios se realizan por medio de una Afinidad. Esta estructura de negocio si bien habilita otros riesgos como lo puede ser el de concentración de clientes, inhibe la exposición a riesgo operacional por lo que se considera, es una potencial variable significativa para la cuantificación del requerimiento de capital de los riesgos operacionales
- Gastos Administrativos (x_5)
- Ingreso Financiero (x_6)
- Resultado Técnico (x_7)
- Número de Empleados (x_9)
- Exposición CAT (x_{13}): esta variable binaria no había aparecido en la conversación hasta el momento salvo por la explicación dada en la sección 4. Como se presentó en la sección 2 una de las principales fuentes de riesgo operacional son los eventos externos, donde se destacan los eventos naturales catastróficos como lo son terremotos, huracanes e inundaciones. La exposición a eventos catastróficos es una conexión directa con una fuente principal de riesgo operacional y que, en caso de materializarse, lleva al límite los planes de continuidad de las compañías y puede detonar pérdidas financieras que se traducen en exigencias de capital para las compañías
- Concentración Solución (x_{14}): esta variable binaria no había aparecido en la conversación hasta el momento salvo por la explicación dada en la sección 3. La concentración de soluciones habla del modelo operativo de las compañías aseguradoras. Una com-

pañía que esté principalmente concentrada en los negocios Autos, podría tener un modelo operativo mucho más complejo por lo que la exposición al riesgo operacional es mayor

Matemáticamente, el modelo se presenta en la ecuación (ref):

$$y \approx x_2 + x_4 + x_5 + x_6 + x_7 + x_9 + x_{13} + x_{14} \quad (12)$$

Al correr el modelo GLM, se obtienen los siguientes coeficientes:

- Primas Retenidas (x_2): 0.01813 que se interpreta cómo, ante un incremento de 1.000 USD en las primas retenidas, el requerimiento de capital por riesgos operacionales se incrementa en 18.13 USD
- Comisiones de Intermediación (x_4): -0.01008 que se interpreta cómo, ante un incremento de 1.000 USD en las comisiones de intermediación, el requerimiento de capital por riesgos operacionales se disminuye en 10 USD
- Gastos Administrativos (x_5): 0.04225 que se interpreta cómo, ante un incremento de 1.000 USD en los gastos administrativos, el requerimiento de capital por riesgos operacionales se incrementa en 42.25 USD
- Ingreso Financiero (x_6): -0.04396 que se interpreta cómo, ante un incremento de 1.000 USD en el ingreso financiero, el requerimiento de capital por riesgos operacionales se reduce en 43.96 USD
- Resultado Técnico (x_7): -0.03303 que se interpreta cómo, ante un incremento de 1.000 USD en el resultado técnico, el requerimiento de capital por riesgos operacionales se reduce en 33.03 USD
- Número de Empleados (x_9): 9.76258 que se interpreta cómo, ante un incremento de un empleado, el requerimiento de capital por riesgos operacionales se incrementa en 976 USD
- En este modelo, el intercepto (β_0) tiene un valor de 145,214 USD
- Exposición CAT (x_{13}): Al tratarse de una variable binaria, la interpretación del Beta es diferente. En este caso, cuando la variable es igual a 0, quiere decir que no hay exposición CAT y el efecto en el requerimiento de capital está recogido en el (β_0) presentado anteriormente. Mientras que, si la variable es igual a 1, quiere decir que sí hay exposición CAT y el (β_0), en este caso, se disminuye en 28,958 USD
- Concentración Solución (x_{14}): Al tratarse de una variable binaria, la interpretación del Beta es diferente. En este caso, cuando la variable es igual a 0, quiere decir que no hay concentración en productos de Autos y el efecto en el requerimiento de capital está recogido en el (β_0) presentado anteriormente. Mientras que, si la variable es igual a 1, quiere decir que sí hay concentración en Autos y el (β_0), en este caso, se incrementa en 79,597 USD

Los resultados gráficos del modelo son presentados en la figura 13 y el **RMSE** obtenido en

este caso es de 13,454 y, vale mencionar que no todas las variables son estadísticamente significativas trabajando con un nivel de confianza de $\alpha = 0.5\%$ las Comisiones de Intermediación (x_4), la Exposición CAT (x_{13}) y la Concentración Solución (x_{14}) no resultan ser estadísticamente significativas por lo que no se deberían considerar en el modelo.

Analizando el resultado anterior, observamos que las primas retenidas son una variable que puede brindar información relacionada con la exposición catastrófica y la concentración en soluciones. Por ejemplo, una compañía muy retenida es una compañía que no debe tener exposición CAT, pues estos riesgos generalmente son muy cedidos, por lo que se debería ver una compañía con menor primas retenidas. Respecto a la concentración de soluciones, la relación es la misma, una compañía muy retenida entonces, es muy esperado que esté concentrada en negocios de Autos o en negocios de alta frecuencia y baja severidad, que podrían implicar un modelo operativo complejo y por ende mayor carga de requerimiento de capital por riesgo operacional. Por último, las comisiones de intermediación se reflejan en el resultado técnico de las compañías aseguradoras puesto que, una estructura liviana de comisiones, es decir, una compañía que venda principalmente con negocios de afinidad tiene un mayor RT y por ende una menor carga de riesgos operacionales en el capital.

Excluyendo estas variables dentro del modelo GLM, el modelo resultante es consistente en el sentido de que obtiene los mejores resultados, todas las variables son estadísticamente significativas y validando por medio del *variance inflation factor* [27] se presenta un leve problema de multicolinealidad entre las variables de Primas Retenidas (x_2) y Número de Empleados (x_9), por lo que, en caso de que se decidiera eliminar alguna de las dos, se eliminaría el Número de Empleados (x_9) y estaríamos llegando al mismo Modelo 3 10.

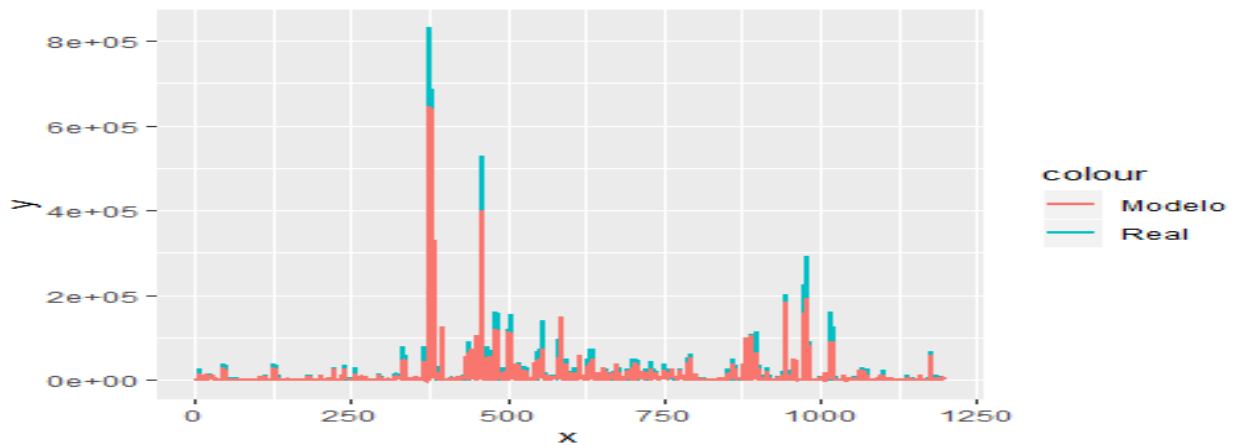


Figura 13: Resultados Modelo 4

Por último y a modo de experimento, se ejecutó un modelo GLM trabajando únicamen-

te con las Primas Emitidas (x_1) que es la variable directriz del marco internacional de Solvencia II, los resultados obtenidos son interesantes dado que se obtiene un modelo con un RMSE mayor a los modelos que trabajamos anteriormente, por lo que existe evidencia de que involucrar otras variables de interés para las compañías aseguradoras, que conecten con su gestión, su modelo operativo y su capacidad de gestión de riesgos, es más consistente a la hora de cuantificar el requerimiento de capital por riesgos operacionales y responde más a la realidad de la compañía.

6. Conclusiones y Trabajo Futuro

Como se ha planteado a lo largo del documento, obtener una buena estimación del requerimiento de capital asociado al riesgo operacional es fundamental para las compañías aseguradoras y en general para la industria, pues está asociado a dos de sus fundamentales: confianza y capital. Dicha estimación a lo largo de los años ha sido compleja por la naturaleza del riesgo, por lo que las compañías y los reguladores han buscado hacer aproximaciones que se limitan a capturar dicho riesgo en función de una única variable, desconociendo que pueden existir más factores que se recogen en otras variables y que pueden demostrar la capacidad de gestión de estas.

Algo importante es que en Solvencia II a las compañías de seguros de Vida se les mide su riesgo operacional en función de las provisiones técnicas, variable que no fue considerada en este estudio y que quedará como trabajo futuro involucrarla para continuar mejorando la aproximación.

La aproximación planteada por el marco regulatorio Solvencia II es inconsistente en el sentido de que no premia la verdadera capacidad de gestión de las compañías aseguradoras y que, por el contrario, a una compañía creciente en producción, la penaliza con una mayor carga de requerimiento de capital independiente de si esta cuenta o no con un modelo operativo sano y con mecanismos de gestión de riesgos adecuados para el riesgo operacional. Lo anterior fue evidente en los resultados 5 donde el modelo que trabajó únicamente con esta variable obtuvo los resultados más desviados en términos del RMSE lo que deja en evidencia que sí existen mejores aproximaciones para obtener dicha cuantificación y que se pueden involucrar otras variables para el cálculo, que tengan más sentido y que conecten con la gestión diaria de las compañías aseguradoras.

Por otro lado, este trabajo se realizó con la información que se encontraba pública y disponible de varias compañías aseguradoras, pero no se tiene acceso a otra información particular que complemente la mirada de la operación propia de la compañía o que muestre el comportamiento de los factores del riesgo operacional de cada una de ellas que nos permita complementar el ejercicio, esta aproximación puede ser planteada en un trabajo futuro.

Los métodos de selección fueron aplicados con éxito obteniendo resultados satisfactorios, se encontró congruencia entre las variables y consistencia dentro de los modelos cuantificados partiendo de esta información. Se obtuvieron resultados que demuestran la

capacidad explicativa de otras variables, aparte de las Primas Emitidas, para cuantificar el requerimiento de capital. El Modelo 3 presentó el mejor ajuste y por ende los mejores resultados y realizando evaluaciones, se evidencia que el resultado obtenido es mayor al propuesto por el marco de Solvencia II, lo que plantea un trabajo futuro en el sentido de analizar si este módulo se debería agregar de manera correlacionada con los demás puesto que, en esencia, el riesgo operacional esta inmerso desde sus fundamentales en los demás módulos y puede estar existiendo una doble penalidad.

Por último, podemos concluir que este trabajo si permite elevar el estándar de cuantificación del Riesgo Operacional, pasando de un estándar cualitativo a uno cuantitativo y que en relación con el marco internacional de referencia de Solvencia, que es el estándar cuantitativo existente, mejora el respaldo de capital que se tiene para la materialización de este riesgo, conectando también con la gestión del mismo que se ve reflejada en variables financieras y ayuda en el camino que tienen las compañías aseguradoras para continuar generando confianza hacia sus clientes por medio de una adecuada estimación del CBR para su gestión.

Referencias

- [1] Irene Albarrán Lozano. La actividad aseguradora: importancia, revisión e integración de conceptos fundamentales. *Sistema Europeo de Cuentas Integradas*, 1988.
- [2] C. F. Trenerry. The origin and early history of insurance. *The Law Book Exchange*, 2009.
- [3] Geoffrey Clark and Geoffrey Wilson Clark. Betting on lives: The culture of life insurance in england, 1695-1775. *Manchester University Press*, 1999.
- [4] Rudra Pradhan, Mak Arvin, Neville Norman, Mahendhiran Nair, and John Hall. Insurance penetration and economic growth nexus: Cross-country evidence from asean. *Research in International Business and Finance*, 36:447–458, 2016.
- [5] Society of Actuaries. A new approach for managing operational risk. 2010.
- [6] Sim Segal. Corporate value of enterprise risk management: The next step in business management. 2011.
- [7] Georges Dionne. Risk management: History, definition, and critique. *Risk Management and Insurance Review*, 2013.
- [8] Robert E. Hoyt and Andre P. Liebenberg. The value of enterprise risk management. *The Journal of Risk And Insurance*, 2011.
- [9] CEIOPS. Qis5 technical specifications. *CEIOPS*, 2010.
- [10] Bank for International Settlements. Working paper on the regulatory treatment of operational risk. *Basel Committee on Banking Supervision*, 2001.
- [11] Martin Eling, Hato Schmeiser, and Joan T. Schmit. The solvency ii process: Overview and critical analysis. *Risk Management and Insurance Review*, 2007.
- [12] Marcus C. Christiansen and Andreas Niemeyer. The fundamental definition of the solvency capital requirement in solvency ii. *Universität at Ulm*, 2012.
- [13] Marcelo G. Cruz, Gareth W. Peters, and Pavel V. Fundamental aspects of operational risk and insurance analytics. *WILEY*, 2015.
- [14] M. Tripp, H. Bradley, R. Devitt, G. Orros, G. Overton, L. Pryor, and R. Shaw. Quantifying operational risk in general insurance companies. *British Actuarial Journal*, 10:919–1026, 2004.
- [15] Silke Brandts. Operational risk and insurance: Quantitative and qualitative aspects. 2004.
- [16] Ya-wen Wu Yuan Xie and Yu chen Hu. The engineering of china commercial bank operational risk measurement. *Systems Engineering*, pages 330–336, 2011.
- [17] Catalina Bolance and Montserrat Guillén. Quantitative operational risk models. *CRC Press*, 2012.

- [18] Ana Belén Herrero Brañas. Riesgo operacional en el marco de solvencia ii. *Instituto de Ciencias del Seguro, Fundación MAPFRE*.
- [19] Gustavo Batista, Ronaldo Cristiano Prati, and Maria Carolina Monard. A study of the behavior of several methods for balancing machine learning training data. *ACM SIGKDD Explorations Newsletter*, 6, 2004.
- [20] R. Tibshirani. Regression shrinkage and selection via the lasso. *Journal of Royal Statistical Society: Series B (methodology)*, 67(1):91–108., 1996.
- [21] Iain Johnstone Bradley Efron, Trevor Hastie and Robert Tibshiran. Least angle regression. *Ann. Statist.*, 32(2):407–499, 2004.
- [22] Hui Zou and Trevor Hastie. Regularization and variable selection via the elastic net. *J. R. Statist. Soc. B*, 67(2):301–320, 2005.
- [23] Tiago M. Fragoso and Francisco Louzada Neto. Bayesian model averaging: A systematic review and conceptual classification. *Statistical Science*, 2015.
- [24] BARBIERI M.D and BERGER J.O. Optimal predictive model selection1. *The Annals of Statistics*, 32(3):870 – 897, 2004.
- [25] Toshie Yamashita, Keizo Yamashita, and Ryotaro Kamimura. A stepwise aic method for variable selection in linear regression. *Communications in Statistics - Theory and Methods*, 36, 2007.
- [26] Donald W. Marquardt and Ronald D. Snee. Ridge regression in practice. *The American Statistician*, 29, 1975.
- [27] Trevor A. Craney and James G. Surles. Model-dependent variance inflation factor cutoff values. *Quality Engineering*.