

COLEGIO
NACIONAL
DE ACTUARIOS

ACTUARIOS TRABAJANDO

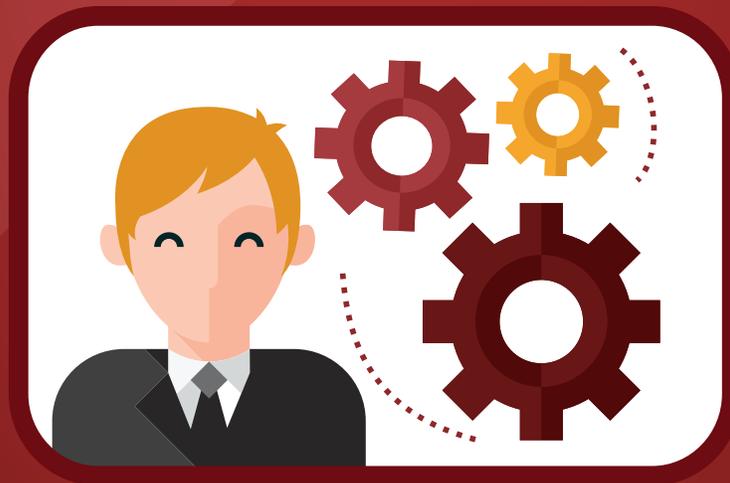
REVISTA MEXICANA DE INVESTIGACIÓN ACTUARIAL APLICADA

q_x

μ_x

d_x

${}_tV_x$



A_x

l_x

\ddot{a}_x

p_x

EDITOR EN JEFE

José Daniel López Barrientos

CONSEJO EDITORIAL

Alejandro Turner Hurtado

Robert Hernández Martínez

Elsa Lorena González Franyutti

Francisco Javier de la Peña Olea

Mauricio Gabriel Arredondo Fernández Cano

María del Carmen Fernández Reyes

EDITORES ASOCIADOS

Lourdes Díez-Gutiérrez Igartúa

Rodica Simón Sauri

Gonzalo González Rojas

Roberto Ambriz Castro

Miguel Ángel Méndez Antonio

Martha Reyes Villa

María del Carmen Marce Vázquez

Sandra Gallegos Gallardo

Patricio Belauzarán Barrera

Norma Alicia Rosas Rodríguez

Laura Rebollar García

CORRECCIÓN DE ESTILO

Ana Pamela Flores Herrera

DISEÑO GRÁFICO

Priscilla Camargo Bacha

Prof. Miguel Serrano 21 PH.
Col. Del Valle Centro, 03100. CDMX
info@conacmexico.org.mx.

ISSN / DOI EN TRÁMITE

JULIO 2022 - NÚMERO 12

Tabla de Contenidos

Carta editorial del presidente	4
---	----------

ESTUDIANTES TRABAJANDO

Calculadora dinámica de portafolios de inversión	7
---	----------

Javier Alexander Trejo Cortés, Eric Xavier Hernandez Prado, Aldo Mendoza Rebollar, Vania Marina de Jesús Mendoza y Diego Cardeña Sosa

ACTUARIOS TRABAJANDO

Aplicación del Reconocimiento Óptico de Caracteres	19
---	-----------

Laura Elena Betancourt Leal

Seguro Paramétrico de Terremoto para Casa Habitación en la Ciudad de México	42
--	-----------

Claudia Vázquez Ramos

PREMIO FUNDADORES DE LA AMA

COVID-19: Modelo de estimación de cambio en primas directas emitidas para eventos críticos	65
---	-----------

Iván David Vázquez Álvarez

Seguro de Autos, más allá de lo convencional: Una propuesta de tarificación justa	121
--	------------

Fernando Roque Maye

Cómo evitar que la industria petrolera se quede sin seguros.....	152
---	------------

José Daniel López Barrientos

Estimados colegas:

En el Colegio Nacional de Actuarios continuamos avanzando con los compromisos establecidos en nuestro plan de trabajo 2021-2023. Una de las líneas de acción más importantes de dicho plan es la referente al tema de comunicación y difusión, que pertenece al eje "Proyección del CONAC". La revista *Actuarios Trabajando* es un instrumento fundamental para la consecución de estos objetivos y es ya un referente para todo el gremio actuarial mexicano.

Creemos que el CONAC es, y debe seguir siendo, una organización dinámica y flexible, con la capacidad de adaptarse a las "nuevas realidades" y necesidades de un entorno que se transforma a una velocidad cada vez mayor. Ante este ambiente cambiante, tanto las tecnologías como las herramientas actuales con las que cuenta la sociedad y en particular nuestra profesión, hacen necesario que nos adaptemos constantemente a las nuevas formas de interacción, para estar en condiciones de presentar a la sociedad una oferta de valor actualizada y de vanguardia que sea capaz de resolver con innovación los nuevos problemas y retos que se nos presentan.

La reacción ante la disrupción debe ser la innovación y en el mercado de seguros esto se ha hecho patente en los últimos años. Un claro ejemplo es, como podremos leer en este ejemplar de la revista *Actuarios Trabajando*, el caso del seguro de automóviles. Con la pandemia, la exposición al riesgo disminuyó drásticamente, y Fernando Roque Maye nos presenta una propuesta de tarificación más justa y más allá de lo convencional. Cabe mencionar que este trabajo fue galardonado con el segundo lugar del *Premio Fundadores* de la Asociación Mexicana de Actuarios. En este artículo podremos ver cómo la innovación ha permitido crear nuevos modelos y aplicaciones insurtech en este sector y en beneficio de la sociedad.

En este mismo marco quasi-post-pandémico, Iván David Vázquez Álvarez nos presenta un innovador modelo para estimar el cambio en primas emitidas para eventos críticos, que además de medir el impacto de la pandemia, analiza el comportamiento de estas variables en diferentes eventos atípicos que se han presentado en nuestro país en los últimos veinte años. Este trabajo también fue premiado, logrando el tercer lugar del premio mencionado.

La innovación en seguros no solamente provoca la optimización de la relación costo-beneficio para asegurados y aseguradoras, también incide en el crecimiento del mercado al lograr una mayor penetración vía la facilidad de uso y accesibilidad de coberturas. Un claro ejemplo es lo que nos presenta Claudia Vázquez Ramos en su artículo “Seguro Paramétrico de Terremoto Para Casa Habitación en la Ciudad de México.”

Hemos hablado de innovación en productos como respuesta a eventos disruptivos, de formas de acceder al mercado mediante el uso de las evolucionadas herramientas de software y hardware para la creación de nuevas aplicaciones, pero todo esto no sería posible sin la investigación y desarrollo de tecnologías vanguardistas. Un claro ejemplo de esto puede verse en el artículo sobre la aplicación del reconocimiento óptico de caracteres que nos presenta Laura Elena Betancourt Leal.

La creatividad y la innovación deben conjuntarse para poder generar propuestas que den valor al trabajo del actuario y a su vez generen beneficios a los usuarios y por lo tanto a la sociedad. Esto puede constatarse en el interesante planteamiento que nos hace José Daniel López Barrientos para evitar que la industria petrolera se quede sin seguros. Felicitamos a Daniel por la obtención, con este trabajo, del primer lugar del *Premio Fundadores* de la Asociación Mexicana de Actuarios.

Finalmente, celebramos con gusto la inauguración de una nueva sección de esta revista, llamada “Estudiantes Trabajando”, que se estrena con un artículo muy interesante en donde se describe una calculadora dinámica de portafolios de inversión para optimización de inversiones, misma que se pone a disposición de los lectores. Gracias a los estudiantes Javier Alexander Trejo Cortés, Eric Xavier Hernandez Prado, Aldo Mendoza Rebollar, Vania Marina de Jesús Mendoza y Diego Cardeña Sosa por su colaboración y entusiasmo.

Estamos ciertos que el contenido de este número de la revista *Actuarios Trabajando* será del interés de todo nuestro gremio, así como de miembros de otras profesiones y sectores involucrados en estos temas y que aportará mucho en beneficio de nuestra sociedad.

Reciban un cordial saludo en nombre del Colegio Nacional de Actuarios.

Alejandro Turner Hurtado
Presidente del CONAC

Actuarios Trabajando
es una revista hecha por
Actuarios, con Actuarios y
para Actuarios, y necesita de
tu ***aporte profesional con tu***
toque personal.

No dejes pasar la oportunidad de
que tu voz profesional sea oída, y
tus trabajos sean conocidos por los
demás miembros de nuestro
gremio.

Además, los Actuarios certificados
del CONAC obtienen horas de
educación continua por sus
contribuciones aceptadas para la
revista.

¡Queremos oírte!
¡Tu aporte es necesario!
¡Queremos saber de ti!

Envía tus contribuciones a alguno de los
miembros del Consejo Editorial, o escribe
por correo-e a: info@conacmexico.org.mx



ESTUDIANTES TRABAJANDO

**Calculadora dinámica de
portafolios de inversión**



Calculadora dinámica de portafolios de inversión

Javier Alexander Trejo Cortés*, Eric Xavier Hernandez Prado*, Aldo Mendoza Rebollar*, Vania Marina de Jesús Mendoza* y Diego Cardeña Sosa*

*Facultad de Físico-Matemáticas de la Benemérita Universidad Autónoma de Puebla

RESUMEN El presente trabajo describe una calculadora dinámica de portafolios de inversión que se programó para encontrar una cartera óptima de inversiones a partir del criterio de Markowitz. El proceso inicia con la elección del usuario de n empresas de los índices S&P500 y FTSE100, donde se busca maximizar el retorno esperado para un determinado nivel de riesgo. La calculadora tiene siete pestañas, comenzando por la pestaña de “Seleccionar Datos” continuando con el desglose de los precios en tiempo real de las empresas en la pestaña con el mismo nombre, de la misma forma le siguen las pestañas “Rendimiento” con las tasas históricas de las empresas, “Matriz covarianza”, “Portafolio”, “Portafolio de mínima varianza” con venta en corto y en largo; finalizando con “Recomendación” donde se aconseja las empresas a seleccionar en la primera pestaña basándose en los datos históricos del índice S&P500 con mayor o menor riesgo con el criterio α de Jensen.

Palabras clave

Portafolio de Markowitz
 α de Jensen
Rendimientos
Calculadora



Derechos reservados © 2022 por el Colegio Nacional de Actuarios

Última actualización del manuscrito: 11 de junio de 2022

Este artículo es publicado por el Colegio Nacional de Actuarios (CONAC) y contiene información de una variedad de fuentes. Es un trabajo cuyo fin es únicamente informativo y no debe interpretarse como asesoramiento profesional o financiero. El CONAC no recomienda ni respalda el uso de la información proporcionada en este estudio. El CONAC no ofrece ninguna garantía, expresa o implícita, ni representación de ningún tipo y no asume ninguna responsabilidad en relación con el uso o mal uso de este trabajo.

1. INTRODUCCIÓN

Las inversiones y el cálculo de portafolios son uno de los campos donde se puede desplegar la formación en finanzas, a lo largo de la historia se han buscado varios caminos para obtener los mejores resultados en cuanto a portafolios. La influencia de la selección de portafolios de Harry M. Markowitz (vea [Markowitz \(1959\)](#)) es la más seguida en la práctica financiera y es en la que se fundamenta la elaboración de la calculadora, como principio, para la programación del proyecto.

Adicionalmente, se utilizó la metodología de Black, Jensen y Scholes del llamado *Capital Asset Pricing Model* (CAPM) donde se busca comparar las empresas respecto a su índice, y gracias a esto le ofrece al usuario la información necesaria para analizar la valoración de los activos, facilitando aún más el proceso de la elaboración del portafolio de inversión.

Una de las principales finalidades que buscan los inversionistas es el mejor rendimiento con el menor riesgo posible, lo cual se puede lograr, pero hay que considerar que hay una relación directamente proporcional del riesgo y el rendimiento esperado. De esta manera, se puede encontrar el riesgo teniendo un rendimiento esperado o en el caso contrario determinar el rendimiento esperado dado un riesgo con la facilidad de escoger el dato deseado.

El uso de la tecnología en este ámbito es fundamental e imprescindible no sólo en la presentación de los datos, sino también en su análisis, en este caso se utilizó la programación el lenguaje R como eje central. Basamos nuestros análisis en [Ross et al. \(2019\)](#) y [James Etheridge \(2021\)](#).

¿Cuál es el propósito del proyecto?

Los movimientos en el mercado no son predecibles, su volatilidad es clave, por lo que puede ayudar y perjudicar a todos los actores participantes. El propósito de este proyecto es abrir el horizonte de las inversiones a quienes tienen conocimientos básicos en materia de finanzas y desean invertir su dinero en el mercado. En efecto, mientras más herramientas tengan a su alcance, podrán tomar decisiones más acertadas, pues la información nutre la seguridad de los inversionistas y de las empresas. Para quienes cuentan con un conocimiento más amplio del tema, esta herramienta resultará benéfica también, pues puede darles la información necesaria para conducir un análisis más profundo, y con ello, la oportunidad de tener la información de varios portafolios dinámicamente.

¹ Autor de correspondencia: Correo electrónico: alexandretrejo1193@gmail.com

¿Cuál es la relevancia de este trabajo?

Hoy en día, las bolsas de valores y los instrumentos de especulación son un gran campo de estudio para los actuarios. El motivo es que el rendimiento de las inversiones es la manera de compensar el riesgo que corre un inversionista al depositar su confianza en una compañía. Cuidar y atender sus inversiones correctamente le hará conseguir rendimientos superiores a la seguridad que implica conservar su dinero fuera de inversiones. Asimismo, la practicidad de obtener la información actualizada, dinámica y al instante hace de esta calculadora una herramienta eficiente para dar un uso práctico a lo que se aprende en teoría.

2. MARCO TEÓRICO

Inversiones en general

Para poder profundizar en las operaciones y funcionamiento de la calculadora, se debe dejar en claro algunos conceptos.

Existe evidencia que la estructura de inversión moderna data del siglo XVII. Sin embargo, se puede encontrar un marco legal para invertir en el código de Hammurabi. A pesar de que no se sabe cuándo fue la primera inversión en la historia humana, en la actualidad uno es de los recursos más utilizados globalmente.

¿Pero qué es una inversión?

Puede encontrar diversas definiciones sobre inversión, pero todas coinciden en que se trata de poner a disposición de un tercero una cantidad de dinero con el propósito que a futuro se obtenga una mayor cantidad de dinero a la original.

Selección de portafolios de Markowitz

Una de las principales fuentes de información con la cual se puede realizar la calculadora, es [Markowitz \(1959\)](#). Esta obra brinda una percepción sinóptica sobre la elección de un portafolio de inversión a través de los diversos temas que trata, como el portafolio de varianza mínima y la utilidad máxima. Estas ideas fueron parte clave para el desarrollo de este proyecto.

Portafolio de varianza mínima

Markowitz propuso que para encontrar una cartera óptima, debe encontrarse la cartera que maximiza los rendimientos en cualquier varianza dada. Con esto, se puede encontrar la frontera eficiente que muestre diferentes combinaciones de riesgo y rendimiento obtenidas con portafolios que incluyen sólo activos de riesgo. Con



esto el usuario puede elegir una cartera que maximice la utilidad, afrontando el riesgo necesario. En el caso en que hay un activo libre de riesgo en el mercado, la cartera óptima que incluye sólo activos riesgosos es independiente de la aversión al riesgo de un inversionista. Se puede elegir un portafolio óptimo y encontrar un portafolio tangencial como un rayo que emana del eje y (rendimiento libre de riesgo) a la frontera eficiente en el plano de desviación estándar-rendimiento. De esta manera, la cartera de tangencia maximizará la relación entre el rendimiento esperado (en exceso de la tasa libre de riesgo) y la desviación estándar (relación de Sharpe) (vea [Arcos et al. \(2010\)](#)).

CAPM y α de Jensen

El CAPM es un modelo que indica que el rendimiento esperado sobre un activo es igual a la tasa libre de riesgo más el riesgo de una acción en específico multiplicado por la diferencia entre el rendimiento del mercado y el rendimiento libre de riesgo (esta última diferencia recibe el nombre de prima de riesgo del mercado). Esto es

$$R_a = R_{rf} + \beta_a \cdot (R_m - R_{rf}), \quad (1)$$

donde

- R_a es el rendimiento esperado del activo,
- R_{rf} es el rendimiento libre de riesgo,
- R_m es el rendimiento de mercado,
- β_a es el riesgo de una acción, y
- $(R_m - R_{rf})$ es la prima del riesgo de mercado.

Con (1) podemos obtener el rendimiento esperado. Destaca de (1), que el rendimiento esperado está positivamente relacionado con su beta.

Por último, un término a dejar en claro es la medida α de Jensen que se utiliza para determinar si un activo tiene una rentabilidad, mayor, menor o igual a la del mercado, suele ser utilizado para la evaluación de fondos y se calcula de la siguiente forma:

$$\alpha := (R_c - R_f) - (R_m - R_{rf}) \cdot \beta_c,$$

donde R_c es la rentabilidad de la cartera, y β_c es el riesgo de la cartera.

3. METODOLOGÍA

Como se mencionó en un inicio, con este proyecto se busca promover la cultura de la inversión, ya que se corre un cierto riesgo, con el fin de conseguir rendimientos superiores a la seguridad que implica conservar su dinero fuera de inversiones. Por lo tanto, programamos una



calculadora en el lenguaje R. Es por lo anterior que se utilizó la automatización de algunos procesos y fórmulas para que cualquier persona tenga el acceso a dicha información, con la cual podrá obtener resultados definitivos o parciales para la futura inversión.

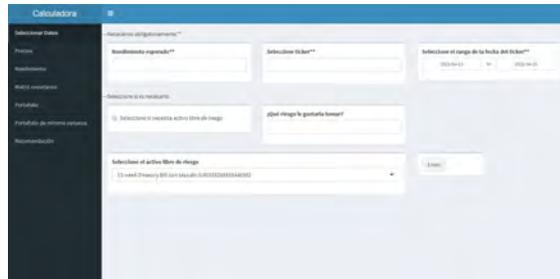


Figura 1 Captura de pantalla a la interfaz de la calculadora.

En la Figura 1 podemos observar el diseño de la interfaz de la calculadora. Hay siete pestañas de lado izquierdo, mientras que del lado derecho tenemos el cuerpo de página de cada pestaña.

- En el cuerpo de la página de la pestaña de “Seleccionar datos”, el usuario podrá digitar el rendimiento esperado, n tickers (nomenclaturas de las empresas de los índices S&P500 y FTSE100) de las empresas que desea obtener el portafolio y el rango de la fecha. Con ello, al pulsar el botón Enter, la calculadora descargará la lista de los precios del portal de [Yahoo Finance](#), e imprimirá diferentes resultados en las siguientes pestañas.
- En la pestaña de “Precios” se observará la gráfica de los precios de los tickers en el tiempo señalado y los resúmenes. Aquí se mostrará información como mínimo, máximo, promedio y los cuantiles de cada una de las empresas antes seleccionadas.
- En la pestaña de “Rendimiento” se imprimirá la gráfica de cada uno de los rendimientos de los tickers de las empresas en el periodo, al igual que sus resúmenes.
- La matriz de varianza-covarianza se mostrará en la pestaña “Matriz covarianza”. Multiplicamos cada entrada por mil para tener una buena sinópsis.
- En la pestaña “Portafolio”, se imprime el portafolio con opción con venta en corto, el rendimiento esperado y el riesgo de dicho portafolio.
- En la pestaña “Portafolio de mínima varianza” imprime la matriz de varianza mínima, portafolio de

tangencia y las gráficas de la frontera eficiente y la simulación de Montecarlo, tanto en venta en largo y corto.

- Si el usuario no sabe qué tickers tomar en su portafolio, la pestaña "Recomendación" le ofrece la posibilidad de digitar cuántas empresas desea que la calculadora le recomiende, para, después de algunos minutos, y gracias al criterio de α de Jensen, se muestren los tickers de las empresas que la calculadora recomienda, ordenandos de menor a mayor riesgo.

Ahora, para la manipulación de los rendimientos se han utilizado las siguientes teorías.

Esperanza y varianza de un portafolio

Suponga que hay n activos con tasas de rendimiento (aleatorias) r_1, r_2, \dots, r_n , y que éstos conforman un portafolio, donde w_i es el peso del i -ésimo activo, para $i = 1, 2, \dots, n$. Así, la tasa de rendimiento de la cartera en términos del rendimiento individual es:

$$r = w_1 r_1 + \dots + w_n r_n.$$

Tomando el valor esperado de ambos lados, y usando la linealidad de la esperanza, obtenemos:

$$E(r) = w_1 E(r_1) + \dots + w_n E(r_n)$$

La tasa de rendimiento esperada de un portafolio se encuentra tomando la suma ponderada de las tasas de rendimiento esperadas individuales. Y para la varianza, mediante un cálculo directo obtenemos:

$$\sigma^2 = \sum_{i,j=1}^n w_i w_j \sigma_{ij}$$

Diversificación

Supongamos que hay muchos activos no correlacionados entre sí. Es decir, el rendimiento de cada activo no está correlacionado con el de ningún otro activo del grupo. Supongamos también que la tasa de rendimiento de cada uno de estos activos tiene media m y varianza σ^2 . Supongamos ahora que se construye una cartera tomando partes iguales de n de estos activos; que es $w_i = 1/n$ para cada i . La tasa de rendimiento general de esta cartera es:

$$r = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n r_i.$$

El valor promedio de esto es $\bar{r} = m$, y la varianza es $var(r) = \frac{1}{n^2} \sum_{i=1}^n \sigma^2 = \frac{\sigma^2}{n}$.

Modelo de Markowitz

Basamos nuestra explicación en los resultados presentados en [Luenberger \(1998\)](#). Suponga que hay n activos. Las tasas medias de retorno son $\bar{r}_1, \dots, \bar{r}_n$ y las covarianzas son σ_{ij} , para $i, j = 1, \dots, n$. Obtenemos el portafolio de varianza mínima al minimizar:

$$\frac{1}{2} \sum_{i,j=1}^n w_i w_j \sigma_{ij}$$

Sujeto a:

$$\sum_{i=1}^n w_i \bar{r}_i = \bar{r}.$$

Utilizando multiplicadores de Lagrange:

$$L = \frac{1}{2} \sum_{i,j=1}^n w_i w_j \sigma_{ij} - \lambda \left(\sum_{i=1}^n w_i \bar{r}_i - \bar{r} \right) - \mu \left(\sum_{i=1}^n w_i - 1 \right)$$

Luego diferenciamos el Lagrangiano con respecto a cada variable w_i y hacemos esta derivada a cero.

Ecuaciones de la frontera eficiente

Los n pesos de la cartera w_i para $i = 1, \dots, n$, y los dos multiplicadores de lagrange λ y μ para una cartera eficiente (con venta en corto permitida), con tasa de rendimiento promedio \bar{r} satisfacen:

$$\begin{aligned} \sum_{j=1}^n \sigma_{ij} w_j - \lambda \bar{r}_i - \mu &= 0 \text{ para } i = 1, \dots, n, \\ \sum_{i,j=1}^n w_i \bar{r}_i &= \bar{r}, \\ \sum_{i=1}^n w_i &= 1. \end{aligned} \quad (2)$$

El teorema de las dos carteras

Sean $w^1 = (w_1^1, \dots, w_n^1)$ y $w^2 = (w_1^2, \dots, w_n^2)$ los vectores citados en el teorema 6.7 de [Luenberger \(1998\)](#). Entonces, de manera directa:

$$\alpha w^1 + (1 - \alpha) w^2$$

es una solución de las ecuaciones, pero ahora la tasa de rendimiento esperada a la que se refiere (2) es:

$$\alpha \bar{r}_1 + (1 - \alpha) \bar{r}_2.$$

Se pueden establecer dos carteras eficientes para que cualquier cartera eficiente se pueda duplicar, en términos de media y varianza, como una combinación de estos dos.



Inclusión de un activo libre de riesgo

Un activo libre de riesgo tiene un rendimiento que es determinista (o sea $\sigma = 0$). En otras palabras, un activo libre de riesgo es un instrumento que devenga intereses puros; su inclusión en una cartera corresponde a prestar o pedir prestado efectivo a la tasa libre de riesgo. La inclusión de un activo libre de riesgo en la lista de posibles activos es necesaria para obtener realismo e introduce una degeneración matemática que simplifica mucho la forma de la frontera eficiente. Supongamos que existe un activo libre de riesgo con tasa determinista de retorno r_{rf} , otro activo riesgoso con tasa de retorno ι , cuya media y varianza son \bar{r} , y σ^2 , respectivamente. La covarianza entre estos activos será:

$$E[(r_{rf} - \iota)(\iota - \bar{r})] = 0.$$

Combinamos estos instrumentos para formar una cartera mediante pesos de α para el activo libre de riesgo y $1 - \alpha$ para el activo riesgoso, con $\alpha \leq 1$. El retorno medio de la cartera será:

$$\alpha r_{rf} + (1 - \alpha)\bar{r}. \quad (3)$$

y la desviación estándar estará dada por:

$$\sqrt{(1 - \alpha)^2 \sigma^2} = (1 - \alpha)\sigma. \quad (4)$$

Lo cual significa que (3) y (4) varían con α .

El teorema de una cartera

Existe un sólo fondo F de activos riesgosos, de modo que cualquier cartera eficiente puede construirse como una combinación del fondo F y el activo libre de riesgo.

Para obtener el punto tangente que representa el fondo eficiente simplemente caracterizamos ese punto en términos de un problema de optimización. Dado un punto en la región factible, trazamos una línea entre el activo libre de riesgo y ese punto. Denotamos el ángulo entre esa línea y el eje horizontal por θ . Para cualquier cartera factible (arriesgada) p , tenemos

$$\tan \theta = \frac{\sum_{i=1}^n w_i (\bar{r}_i - r_{rf})}{\sqrt{\sum_{i,j=1}^n \sigma_{ij} w_i w_j}}.$$

Luego igualamos a cero la derivada de $\tan \theta$ con respecto a cada w_k . Esto conduce a las ecuaciones siguientes:

$$\sum_{i=1}^n \sigma_{ki} \lambda w_i = \bar{r}_k - r_{rf} \text{ para } k = 1, \dots, n,$$



donde λ es una constante desconocida. Sustituimos $v_i := \lambda w_i$ para cada i para ver que

$$\sum_{i=1}^n \sigma_{ki} v_i = \bar{r}_k - r_{rf} \text{ para } k = 1, \dots, n.$$

Resolvemos las ecuaciones lineales para cada v_i ($i = 1, \dots, n$), y normalizamos para determinar los w_i para $i = 1, \dots, n$:

$$w_i = \frac{v_i}{\sum_{i=1}^n v_k}.$$

4. RESULTADOS

Selección de datos y tickers

Con el fin de explicar el proceso para obtener el portafolio de inversión con la calculadora presentada, se tomará un ejemplo donde el usuario selecciona un rendimiento esperado de 9% y los tickers AMD, FCX, MRO. Cabe mencionar que en este caso hipotético se tomaron los datos sugeridos por la pestaña "Recomendación", como se observa en la Figura 2. Adicionalmente se tomó un rango con fecha entre el 15 de abril del 2021, y el 15 de abril del 2022.

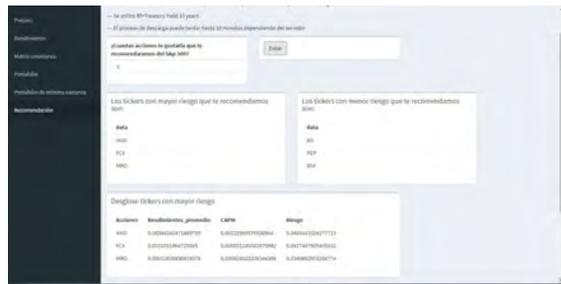


Figura 2 El usuario pide tres tickers y recibe recomendaciones.

La Figura 2 muestra que el usuario requirió tres tickers para que la calculadora comparara los 500 tickers respecto a su índice, dando como resultado tres recomendaciones: las de mayor riesgo o las de menor riesgo. Para un análisis más complejo, se requiere que el usuario pida un mayor número de tickers. Así, el programa comparará rendimientos promedio, CAPM y riesgo, y así obtendrá una selección de portafolios más completa.

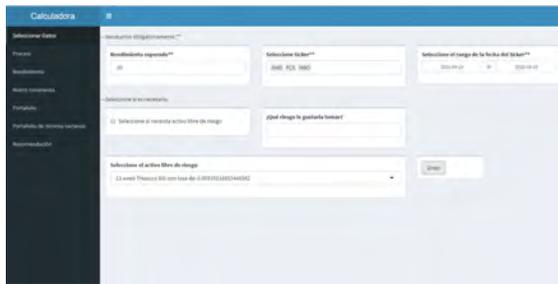


Figura 3 Selección de tickers, de riesgo y/o de redimiento.

El usuario elige tres tickers de entre los que le fueron recomendados y dispone cuáles son el rendimiento y/o el riesgo que desea obtener. Esto se muestra en la Figura 3.



Figura 4 Gráfica de los precios de ejemplo.

En las siguientes pestañas se encuentran los resultados arrojados por la calculadora, datos que pueden ser perfectamente analizados por el usuario, lo que le da la facilidad de realizar cambios o crear diferentes portafolios, hasta que encuentre el que mejor se ajuste a su perfil. La Figura 4 muestra las gráficas de las series de tiempo de cada uno de los activos elegidos por el usuario en el periodo establecido. La Figura 5 muestra información relevante sobre los precios, como el mínimo, el máximo, el promedio y los cuantiles. Estos datos coadyuvarán al análisis de una inversión a futuro.

Ticker	Min	Max	Prom	Q1	Q3
AMD	73.09	161.91	100.00	80.00	120.00
FCX	35.00	45.00	39.36	35.00	45.00
MRO	15.00	20.00	15.85	15.00	20.00

Figura 5 Resumen de los precios de ejemplo.

Resultados arrojados

Del análisis anterior, vemos que, en el intervalo marcado por el usuario, AMD ha sido más costoso que FCX y MRO. De hecho, es notorio que en los tres casos hay un crecimiento mínimo de un año al otro. Ahora, desglosaremos caso por caso. AMD ha sido el activo que tuvo una pendiente mayor. En efecto, en el subintervalo de mayo a diciembre de 2021, esta serie pasó de su precio más bajo (73.09), al más alto (161.91). Además, hubo una gran variación de precios en este activo. En los activos restantes pasa lo contrario: notamos que los precios no variaron tanto y pareciera que el crecimiento es uniforme. Teniendo en FCX un promedio en el precio de 39.36 y en MRO 15.85. Se optaría por investigar a AMD en el periodo de octubre a febrero, para saber qué provocó su gran variación y si es posible replicar esas condiciones a fin de obtener una ganancia.



Figura 6 Gráfica de los rendimientos de ejemplo.

La pestaña "Rendimientos" muestra el desglose de los rendimientos de los precios y su información, como se puede observar en las Figuras 6 y 7.



Ticker	Mét	Máx	Mín	Mediana	Mód	Rango
AMD	Mé	0.000000				
	Máx	0.000000				
	Mín	-0.000000				
	Mediana	0.000000				
	Mód	0.000000				
FCX	Mé	0.000000				
	Máx	0.000000				
	Mín	-0.000000				
	Mediana	0.000000				
	Mód	0.000000				
MRO	Mé	0.000000				
	Máx	0.000000				
	Mín	-0.000000				
	Mediana	0.000000				
	Mód	0.000000				

Figura 7 Resumen de los rendimientos de ejemplo.

Respecto a los rendimientos, podemos ver los promedios donde AMD tiene 0.093%; FCX, 0.14% y MRO, 0.4%. Resaltan los altibajos de AMD y FCX entre noviembre y diciembre de 2021.

Ticker	Mét	Máx	Mín
AMD	0.000000	0.000000	0.000000
FCX	0.000000	0.000000	0.000000
MRO	0.000000	0.000000	0.000000

Figura 9 Portafolio

El portafolio con una sola acción de cada ticker, juntamente con el riesgo generado, y el rendimiento del portafolio, se encuentran en la siguiente pestaña. Vea la Figura 9.

Ticker	Mét	Máx	Mín
AMD	0.000000	0.000000	0.000000
FCX	0.000000	0.000000	0.000000
MRO	0.000000	0.000000	0.000000

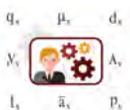
Figura 8 Matriz de varianza-covarianza.

En la pestaña nombrada “Portafolio de varianza mínima” podremos ver dos portafolios, el de varianza mínima; y el de tangencia. Este último nos dará el rendimiento que requerimos. Estos dos portafolios se mostrarán, uno con ventas en corto permitidas; y otro con sin ellas. Estas combinaciones estarán dadas en números decimales para que por cada unidad que se desee invertir en el portafolio. Las cantidades positivas representan lo que se deberá destinar a la compra de dicho activo, mientras que las negativas corresponden a lo que se deberá vender por cada unidad monetaria que se deseará invertir en el portafolio. La situación en la que se permiten las ventas en corto puede verse en la Figura 10, mientras que la Figura 11 muestra aquella en la que hay sólo posiciones largas.

La automatización de los pasos anteriores por medio de este software permite que las decisiones sean inmediatas y dinámicas, sin la necesidad de realizar pasos tediosos que dificultan un análisis práctico. Optimizando el proceso desde la descarga de los precios, obtener los rendimientos y crear la matriz de covarianza, con múltiples combinaciones de tickers en cuestión de minutos, ya que hacerlo a mano puede representar un camino mucho más largo. La Figura 8 muestra la matriz de varianza-covarianza asociada con los tres tickers, por si el usuario requiere utilizarla en algunos otros proyectos de su interés.

Ticker	Mét	Máx	Mín
AMD	0.000000	0.000000	0.000000
FCX	0.000000	0.000000	0.000000
MRO	0.000000	0.000000	0.000000

Figura 10 Portafolio de mínima varianza con ventas en corto.



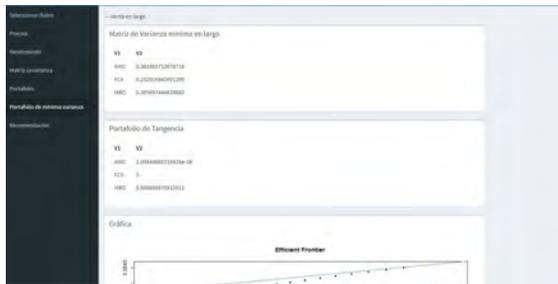


Figura 11 Portafolio de mínima varianza sin ventas en corto.

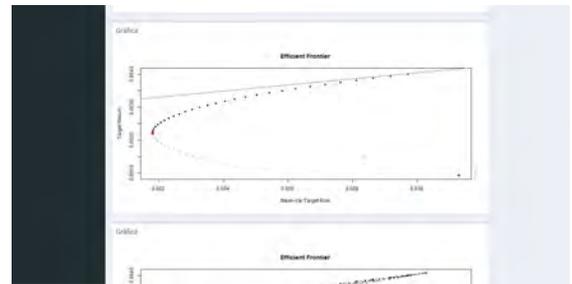


Figura 13 Gráfica de la tangencia del portafolio de mínima varianza en largo.

Al descender más, podemos encontrar una bala simulada con el método Monte Carlo con ventas en corto (vea la Figura 14) y sin ventas en corto (vea la Figura 15).

Después de los portafolios, el programa nos permite ver algunos gráficos. El primero es una parábola con una recta tangente. La curva es una representación geométrica de los portafolios óptimos asociados a nuestra selección de activos. La recta que se puede ver en el gráfico es tangente a la parábola en el portafolio con el rendimiento que deseamos. Hay también un punto rojo que indica cuál es el portafolio de varianza mínima; es decir, el portafolio con el menor riesgo que podemos obtener con los activos elegidos. Este gráfico se muestra para los portafolios con ventas en corto permitidas y no permitidas, como se puede ver en las Figuras 12 y 13.

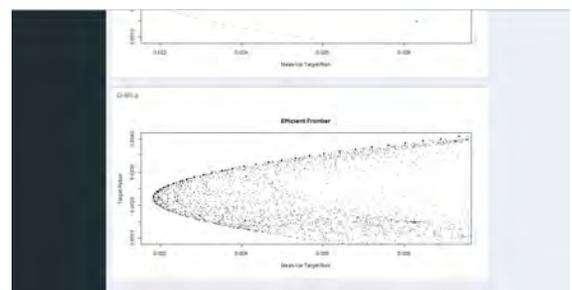


Figura 14 Gráfica de la simulación de Montecarlo del portafolio de mínima varianza en corto.

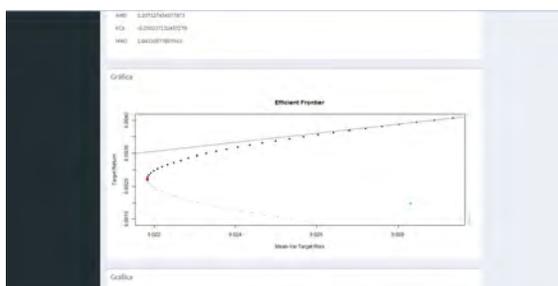


Figura 12 Gráfica de la tangencia del portafolio de mínima varianza en corto.



Figura 15 Gráfica de la simulación de Montecarlo del portafolio de mínima varianza en largo.

En caso de que el portafolio devuelto tenga un riesgo demasiado alto, puede desplegar la lista de activos libres de riesgo donde se puede elegir el activo libre de riesgo



que se desea agregar al portafolio, además de su respectivo rendimiento. Una vez elegido el activo deseado, se deberá volver a presionar “Enter” para que se recalcule el portafolio (vea la Figura 16). Además de seleccionar el activo con el rendimiento deseado, se deberá escribir el riesgo que estamos dispuestos a correr y verificar que está activada la casilla de “Seleccione si necesita activo libre de riesgo”.

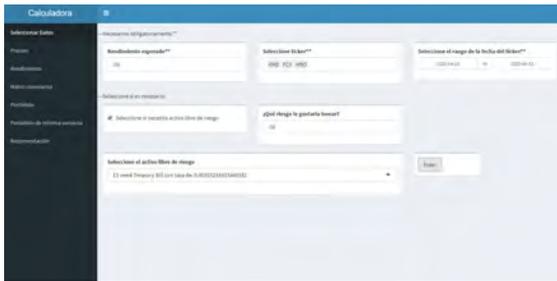


Figura 16 Captura de datos con activo libre de riesgo.

Si regresamos a la pestaña “Portafolio” después de presionar “Enter”, podremos ver que el activo libre de riesgo se ha agregado al portafolio junto con su respectivo porcentaje. También podremos ver el nuevo rendimiento ajustado a nuestro portafolio con el activo libre de riesgo incluido y el nuevo riesgo, el cual coincidirá con el riesgo solicitado en la pestaña de “Seleccionar Datos” como se puede ver en la figura 17. Este nuevo portafolio se calcula como una combinación convexa de nuestro portafolio original y un portafolio que únicamente contiene a nuestro activo libre de riesgo. El rendimiento y riesgo se calcularán conforme a lo enunciado en las ecuaciones 3 para el rendimiento y 4 para el riesgo de nuestro portafolio.

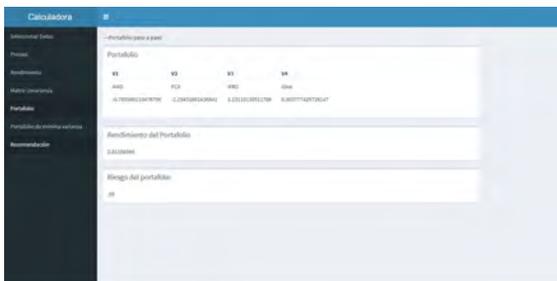


Figura 17 Portafolio con activo libre de riesgo



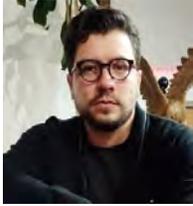
Conclusiones

La calculadora dinámica de portafolios de inversión traslada parte de la formación obtenida en finanzas a la práctica tradicional del día a día del mundo financiero. Esta herramienta nos brinda información relevante, actualizada y dinámica de manera rápida, y busca convertirse en un utensilio valioso, tanto para quienes cuentan con poco conocimiento, como para quienes cuenta con un conocimiento más amplio. En particular, para este último grupo, el programa brinda la oportunidad de tener la información de varios portafolios dinámicamente, para que al final se pueda escoger el mejor portafolio posible con el fin de conseguir mejores rendimientos.

Nuestra herramienta está a disposición del lector interesado mediante un mensaje a los autores de este trabajo.

REFERENCIAS

- Arcos, M., J. Benavides, and L. Breggrun, 2010 Optimal portfolio allocation for Latin American stock indices. Cuadernos de Administracion **23(40)**: 191–214.
- James Etheridge, 2021 The history of investing: What the past can teach us about market cycles. Recuperado de [aquí](#).
- Luenberger, D., 1998 *Investment Science*. Oxford University Press, Recuperado de [aquí](#).
- Markowitz, H. M., 1959 *Portfolio Selection*. Cowles Foundation in Economics at Yale University, Recuperado de [aquí](#).
- Ross, S. A., R. W. Westerfield, J. F. Jaffe, G. S. Roberts, and H. Driss, 2019 *Corporate Finance*. McGraw-Hill Ryerson, Recuperado de [aquí](#).



Javier Alexander Trejo Cortés

Es estudiante de sexto semestre de la carrera de actuaría, en la Benemérita Universidad Autónoma de Puebla (BUAP) y está en trámites de titulación de la Licenciatura en Ciencias de Datos para Negocios del Instituto de Estudios Universitarios. Tiene

experiencia en diferentes lenguajes como SQL, DAX, R, PHYTON, entre otros. Actualmente se desempeña como consultor en análisis estadísticos, resumen de datos y data mining, en la Universidad Anáhuac México. Se encuentra interesado en colaborar y aprender en las áreas de consultoría, finanzas, automatización de procesos y ciencia de datos. Entre sus habilidades destacan el liderazgo, capacidad y creatividad para resolver problemas e iniciativa. Habla el idioma Inglés.



Eric Xavier Hernandez Prado

es estudiante de sexto semestre de la carrera de actuaría, en la BUAP. Interesado en continuar sus estudios en un posgrado en matemáticas para poder aplicar estos conocimientos en la investigación de nuevos modelos de crecimiento poblacional y análisis estadísticos, además de seguir instruyendo a los actuarios

del futuro. Entre sus aptitudes destacan el compromiso y curiosidad para aprender algo nuevo y posteriormente aplicarlo. Habla Inglés y Alemán.



Aldo Mendoza Rebollar

es estudiante de sexto semestre de la carrera de Actuaría en la BUAP. Experiencia en la auditoria contable, desempeñando análisis estadístico. Abierto a las posibilidades de crecimiento de la carrera, en investigación financiera y aplicación de optimización en procesos. Entre sus aptitudes

destacan la cooperación, competitividad y creatividad, bilingüe y actual capitán de lobos BUAP en natación.



Vania Marina de Jesús Mendoza

es estudiante del sexto semestre de la carrera de actuaría en la BUAP. Destaca su participación en el Verano de talentos XVI, trabajando bajo la supervisión de la Dra. Hortensia Josefina Reyes Cervantes en la realización del análisis estadístico *Un pequeño*

acercamiento a los problemas ambientales y la deforestación en la ciudad de Puebla. Experiencia en atención a clientes y la enseñanza de matemáticas a estudiantes de niveles básico y medio superior. Entre sus aptitudes destacan la responsabilidad, entusiasmo, el trabajo bajo presión y la disciplina.



Diego Cardeña Sosa

es un estudiante de sexto semestre de la carrera de Actuaría en la BUAP, actualmente tiene 21 años. Experiencia en los lenguajes R y PHYTON, interesado en desempeñarse en el área de análisis de datos. Entre sus aptitudes se remarcán el trabajo en equipo, capacidad de liderazgo y resiliencia, además

de ser bilingüe (Español, Inglés).



Próximas aperturas de los programas de la facultad de ciencias actuariales

Inicio:

Julio de 2022, Campus Sur

MAESTRÍA EN
RIESGO

Coordinación académica:
Mtra. Martha Reyes Villa
martha.reyes@anahuac.mx

Inicio:

Enero de 2023, Campus Norte

DOCTORADO EN
**CIENCIAS
ACTUARIALES**

Coordinación académica:
Dr. Carlos Cuevas Covarrubias
ccuevas@anahuac.mx

MAESTRÍA EN
ESTADÍSTICA

Coordinación académica:
Dr. Carlos Cuevas Covarrubias
ccuevas@anahuac.mx

MAESTRÍA EN
RIESGO

Coordinación académica:
Dr. José Daniel López Barrientos
daniel.lopez@anahuac.mx

<https://www.anahuac.mx/mexico/posgrados/facultad-de-ciencias-actuariales>

Facultad de
Ciencias Actuariales

GRANDES LÍDERES

Y MEJORES PERSONAS

DESCUENTO A EGRESADOS
20%

INFORMES:
Centro de Atención de Posgrado y Educación Continua
Tels.: (55) 56 27 02 10 ext. 7100 y (55) 53 28 80 87

55 54 51 61 77
55 79 18 21 59

posgrado@anahuac.mx
anahuac.mx/mexico

ACTUARIOS TRABAJANDO

Aplicación del Reconocimiento Óptico de Caracteres



Aplicación del Reconocimiento Óptico de Caracteres

Laura Elena Betancourt Leal*

*Facultad de Ciencias Actuariales de la Universidad Anáhuac México

RESUMEN La tecnología OCR actualmente presenta una solución a la conversión de archivos físicos a digitales. Los avances de esta tecnología ofrecen una exactitud del reconocimiento de símbolos de casi el 99 %, disponible en varios idiomas. Por otro lado, su implementación para el reconocimiento de la escritura a mano continúa siendo uno de los inconvenientes de esta tecnología. El objetivo de este proyecto es implementar algoritmos capaces de reconocer y comparar textos manuscritos. Con este fin, se realiza una descripción del proceso y funcionamiento de los algoritmos más relevantes, además de la explicación de cada una de las etapas del reconocimiento de caracteres (OCR). Finalmente, la construcción de un algoritmo con ayuda de uno de los métodos explicados, específicamente, una red neuronal convolucional. Los resultados del algoritmo programado fueron satisfactorios, tuvo una precisión del 98 % en el reconocimiento de los dígitos escritos a mano.

Palabras clave

Exactitud OCR
Red neuronal
convolucional
Memoria a corto
y largo plazos



Derechos reservados © 2022 por el Colegio Nacional de Actuarios

Última actualización del manuscrito: 13 de junio de 2022

Este artículo es publicado por el Colegio Nacional de Actuarios (CONAC) y contiene información de una variedad de fuentes. Es un trabajo cuyo fin es únicamente informativo y no debe interpretarse como asesoramiento profesional o financiero. El CONAC no recomienda ni respalda el uso de la información proporcionada en este estudio. El CONAC no ofrece ninguna garantía, expresa o implícita, ni representación de ningún tipo y no asume ninguna responsabilidad en relación con el uso o mal uso de este trabajo.

1. INTRODUCCIÓN

La digitalización de documentos es una actividad recurrente en muchas empresas y negocios actuales. Ésta consiste en trasladar los archivos de su formato físico al formato digital. Sin importar el formato, ambos son indispensables para el registro de información relevante de la compañía o empresa.

La digitalización es más que sólo un proceso de conversión de lo físico a lo digital. Se requiere que la información digitalizada se organice y gestione de forma adecuada. Lo cual representa un proceso largo si lo hace una sola persona. Es en estos casos en donde se puede hacer uso de un software que gestione la documentación.

Otra de las ventajas que ofrece la digitalización de documentos, es su facilidad de acceso por parte de varias personas, disminución del uso de almacenamiento físico, garantizar una copia de seguridad de la información, control del acceso a la información, entre otras.

Además, el proceso de digitalización permite que las empresas tengan un sistema regulado y optimizado, mejorando su capacidad de almacenamiento y control de información. Una empresa que se introduce en el mundo virtual tiene mayores oportunidades de lograr un mejor posicionamiento en el mercado.

Caligrafía y Mecanografía

En la actualidad, la cantidad de información que escribimos y tecleamos, es abrumadora. En la mayoría de los casos, la gente prefiere la mecanografía por encima de la caligrafía. En gran medida, debido a su rapidez y flexibilidad. De acuerdo con [Berninger et al. \(2006\)](#), utilizar un teclado y un bolígrafo, implica el trabajo de patrones cerebrales diferentes. Según [Mueller and Oppenheimer \(2014\)](#), tomar notas con un bolígrafo en lugar de con un ordenador portátil da a los estudiantes una mejor comprensión del tema. Aun cuando un teclado nos ofrezca mayor rapidez al momento de captar la información, la escritura a mano continúa siendo indispensables para nuestra memoria y proceso de aprendizaje. Sumado a lo anterior, el desarrollo de la comunicación tecnológica crece a grandes saltos. La mensajería instantánea por fotos, texto, imágenes y video provoca que poco a poco perdamos nuestras habilidades manuscritas, llegando al punto de ni siquiera reconocer nuestra propia letra.

De acuerdo con un informe mencionado en [Webedia Brand Services \(27 de Abril de 2017\)](#), en el año 2012 el 33% de las personas tenían dificultades para leer su propia letra. Es en este momento, donde la tecnología puede



Figura 1 Gustav Tauschek. Imagen obtenida de [aquí](#).

ayudarnos a mantener este hábito de la mecanografía, sin sacrificar las ventajas de la digitalización de información y beneficios de la escritura a mano. Hoy en día, podemos disfrutar de los beneficios de la mecanografía en conjunto con la tecnología. Una de las herramientas de las cuales podemos hacer uso es el Reconocimiento Óptico de Caracteres, el cual consiste, de manera simplificada, en un proceso de digitalización de texto, en donde, a partir de una imagen, identifica automáticamente los símbolos o caracteres de un determinado idioma, para luego almacenarlo en forma de dato.

Reconocimiento Óptico de Caracteres

En inglés Optical Character Recognition es un procedimiento para digitalizar un texto, ya sea a través de un escáner o un documento ya escaneado, con el fin de reconocer los caracteres y símbolos escritos en el documento.

Historia del OCR. A fines de la década de 1920, Gustav Tauschek (vea la Figura 1) obtuvo una patente sobre OCR en Alemania, llamada Máquina de lectura. Esta máquina era un dispositivo mecánico que hacía el uso de plantillas para el reconocimiento de los caracteres. Un foto-detector era colocado de tal forma que, cuando la plantilla y el carácter estuvieran alineados, se reconocieran con la ayuda de una luz dirigida hacia ellos. Vea la Figura 2.



¹Autor de correspondencia: Correo electrónico: laura.betancourt.leal@gmail.com

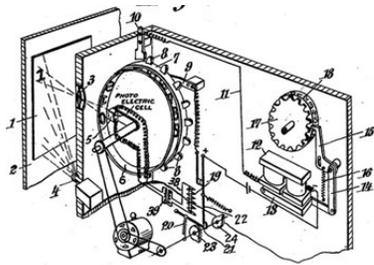


Figura 2 Máquina de lectura. Imagen obtenida de [aquí](#).

En 1950, David Shepard, criptoanalista en la agencia de seguridad de las fuerzas armadas de los Estados Unidos, fue consultado por Rowlett Franco para trabajar con el Dr. Louis Tordella, para recomendar los procedimientos de la automatización de los datos de la agencia. Es así como Shepard construye una máquina capaz de convertir mensajes impresos en lenguajes, para almacenarlos en un computador.

Shepard fundó Intelligent Machines Research Corporation (IMR), comenzando a fabricar el primero de varios sistemas del OCR usados para operaciones comerciales. Otro dato interesante es que desde el año 1965, el servicio postal de Estados Unidos ha estado utilizando las máquinas de OCR para clasificar el correo. Canadá lo implantó de igual manera en sus servicios postales a partir de 1971. Este sistema lee el nombre y la dirección del destinatario, e imprimen un código de barras en el sobre, basados en el código postal del mismo.

OCR en la Actualidad. En la actualidad, el reconocimiento de la escritura latina tiene una exactitud de 99% o más. Además, su desarrollo para otras lenguas con mayor número de caracteres está teniendo grandes avances. Por otro lado, algunos de los inconvenientes del sistema OCR son: la calidad de las imágenes (se requiere una alta resolución para un reconocimiento óptimo), el texto manuscrito, y tipografías poco comunes, por citar algunos.

2. MARCO TEÓRICO

El Proceso del Reconocimiento Óptico de Caracteres

La tecnología OCR engloba un conjunto de modelos matemáticos y estadísticos. Sin embargo, en la práctica, la comparación con diferentes símbolos no es 100% precisa. Esto tiene como resultado que, en cuanto más grande es el número de comparaciones por el cual se debe decidir el algoritmo, aumenta su probabilidad de algún fallo en la clasificación. En todos los sistemas OCR, se distinguen



Figura 3 Etapas del OCR. Elaboración propia.

al menos las cuatro etapas mostradas en la Figura 3. En cada una de estas etapas es posible desarrollar nuevas técnicas en función de las condiciones en las que se presentan los datos de entrada, o bien, utilizar técnicas ya existentes que se encarguen de esta parte del trabajo. Más adelante, se describirán con mayor profundidad estas etapas. Es importante tener en cuenta algunos conceptos importantes antes de llegar a ese punto.

La imagen

Este sistema ofrece la ventaja de poder extraer el texto de una imagen. Y para entender este proceso en mayor profundidad, definiremos lo que es una imagen.



Figura 4 Bled Slovenia a color. Imagen obtenida de [aquí](#).

La imagen posee una distribución en forma de matriz conformada por elementos, llamados píxeles. Cada elemento contiene información medida en bits³. A una mayor cantidad de bits por píxel, mayor es la cantidad de información y calidad de la imagen. En el sistema binario, un bit puede estar representado por un 0 o un 1. En una imagen con un bit por píxel, cada píxel sólo puede

³ Es un dígito del sistema de numeración binario. Unidad mínima de información en informática.



Figura 5 Bled Slovenia a cuatro bits. Imagen obtenida de [aquí](#).

presentar una imagen de blanco o negro. Nos muestra una imagen sin ningún tono medio. Vea las Figuras 4 y 5.

En una imagen a cuatro bits por píxel, la gama tonal que cada píxel puede tener se amplía. Esto es

$$2^4 = 2 \times 2 \times 2 \times 2 = 16 \text{ tonos grises.}$$

Esto se repite conforme aumentamos los bits por píxel. Vea la Figura 6.

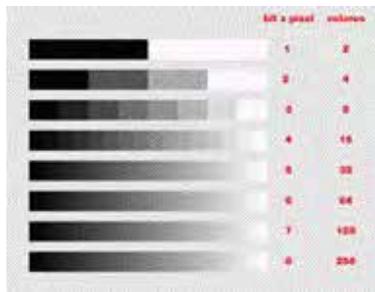


Figura 6 Número de bits por píxel, blanco y negro. Imagen obtenida de [aquí](#).

De esta forma, una imagen a ocho bits tiene una escala de 256 tonos de grises, permitiendo una transición sutil entre los tonos. En este punto, el ojo humano ya no puede distinguir esta separación. Éste es el rango más usado en las imágenes de blanco y negro. Vea la Figura 7.

Las imágenes que obtenemos a través de una pantalla o impresión, escáner o cámara digital, son un mosaico de píxeles.

Cuando la imagen es a color, cada píxel puede tomar uno de tres valores o una mezcla de los tres, el denominado RGB: rojo (R), verde (G) y azul (B). La combinación



Figura 7 Bled Slovenia en escala de grises. Imagen obtenida de [aquí](#).

de distintos valores RGB, da como resultado la representación de otros colores.

El Conversor Analógico Digital, es un chip conformado por millones de componentes fotosensibles. Convierte la luz que capta en señales eléctricas que formara la imagen. Y cada uno de los elementos sensibles del foto sensor, se denomina píxel (Picture Element). El foto sensor es el encargado de convertir los datos de cada píxel en datos binarios para que el ordenador sea capaz de leerlos.

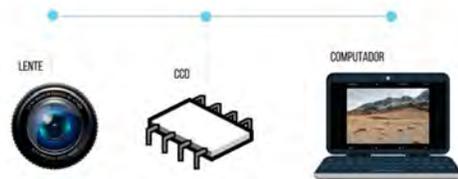


Figura 8 Proceso de la toma de una imagen. Elaboración propia.

La imagen que obtenemos después de este tratamiento computacional tiene una representación matricial a través de una matriz de dimensión $M \times N$ (M filas y N columnas). Cada elemento de la matriz (píxeles), está localizado en coordenadas (x, y) . Como se dijo anteriormente, cada píxel contiene información, la cual está almacenada en cada elemento de la matriz. Dependiendo si está a color o en escala de grises, varía en el tipo de información que contiene. Vea las Figuras 8 y 9.



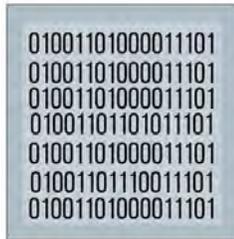


Figura 9 Representación matricial. Elaboración propia.

Etapa 1: Pre-procesamiento. Antes de poder aplicar las técnicas de OCR, la imagen necesita un pre-procesamiento previo. En esta etapa se realiza una mejora en la calidad de la imagen.

Los Filtros. Para mejorar la calidad, es posible aplicar diferentes técnicas de filtrado. Se trata de métodos para resaltar o suprimir, de forma selectiva, información contenida en una imagen a diferentes escalas espaciales, para destacar algunos elementos de la imagen, o también para ocultar valores anómalos.

Filtros Digitales. Los filtros digitales constituyen una importante herramienta en el procesamiento de imágenes. Algunos de sus principales objetivos son el suavizar una imagen, eliminar el ruido, realzar la imagen, detectar bordes, etc.

Los filtros digitales se pueden clasificar en:

- Filtros en el dominio del espacio.
- Filtros en el dominio de la frecuencia.

Específicamente, se hablará de los Filtros en el Dominio del Espacio. Se introducirán algunos de sus conceptos principales y filtros más usados.

Filtros en el Dominio del Espacio. Las funciones de procesamiento de la imagen en el dominio espacial, se pueden expresar como $g(x, y) = T(f(x, y))$, en donde $f(x, y)$ es la imagen original; $g(x, y)$ es la imagen procesada; y T es un operador que actúa sobre f , y se define en algún entorno de (x, y) . Este operador puede aplicarse a una sola imagen o a un conjunto de imágenes.

La Figura 10 muestra su implementación en una sola imagen. El punto (x, y) muestra una ubicación aleatoria de la imagen, y una región pequeña con sus píxeles vecinos

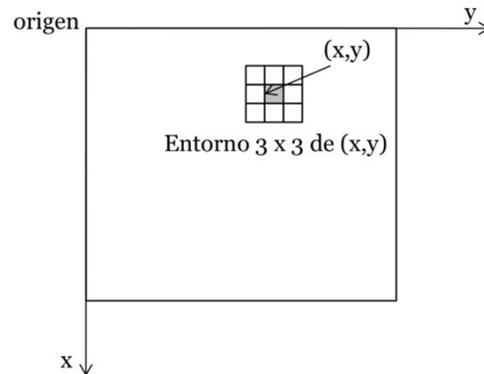


Figura 10 Entorno de un punto (x, y) . Recuperado de [aquí](#).

Este proceso consiste en seleccionar un píxel y formar una vecindad alrededor de él. Nos queda una pequeña matriz de valores. Recordemos que cada píxel contiene valores dependiendo del número de bits que tenga, variando en escala de grises y en RGB.

Para aplicar el filtro a un vecindario, se hace uso de una convolución bidimensional discreta. Esto es porque tenemos un número finito de elementos o píxeles. El proceso de convolución se realiza entre la imagen y una matriz (los coeficientes del filtro) llamada máscara, o Kernel. De manera matemática, la convolución bidimensional está expresada de la siguiente manera:

$$g(x, y) := h(x, y) * f(x, y) \\ := \sum_{i=0}^{\infty} \sum_{j=0}^{\infty} f(i, j) \cdot h(x - i, y - j).$$

El resultado de esta operación nos devuelve el valor de un nuevo píxel central. De manera gráfica, se ve como en la Figura 11.

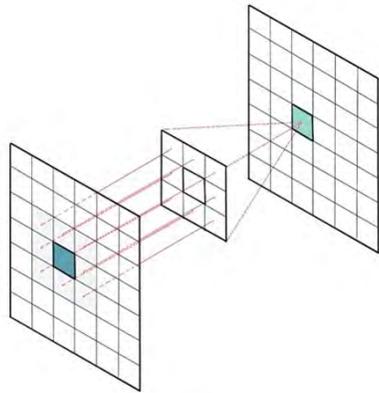


Figura 11 Aplicación del filtro 1. Elaboración propia.

Para un mejor entendimiento de este proceso, en seguida se tiene un ejemplo. Supongamos que nuestro vecindario está conformado por una matriz de 3×3 pixeles, como se muestra en la Figura 12.

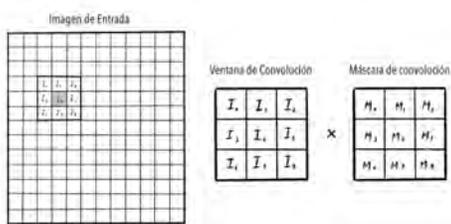


Figura 12 Proceso de convolución. Elaboración propia.

Las operaciones para obtener el nuevo valor del píxel central serían las siguientes:

$$\begin{aligned} \text{Nuevo Pixel} = & I_0 \times M_0 + I_1 \times M_1 + I_2 \times M_2 \\ & + I_3 \times M_3 + I_4 \times M_4 + I_5 \times M_5 + I_6 \times M_6 \\ & + I_7 \times M_7 + I_8 \times M_8. \end{aligned}$$

La imagen de salida sería los nuevos pixeles con valores calculados a partir de la máscara de convolución. Vea la Figura 13.

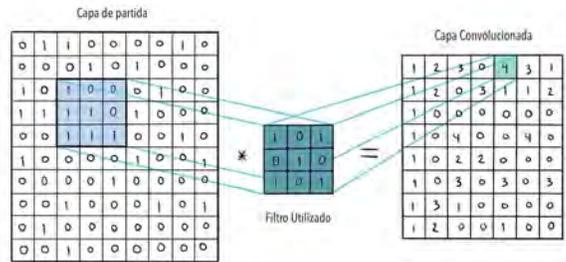


Figura 13 Capa convolucionada. Elaboración propia.

Los filtros más usados son:

- Filtro de media. Consiste en reemplazar el valor de cada píxel por la media de los valores de sus pixeles vecinos. Es decir, el píxel central es la media de ese vecindario. Este proceso se realiza mediante una máscara de convolución determinada:

$$g(x, y) = \frac{1}{P} \sum_{i=-n}^n \sum_{j=-n}^n f(x-i, x-j).$$

La ventaja que tiene este filtro es que se trata del más simple, intuitivo y fácil de implementar. Por el contrario, algunas de sus desventajas son la sensibilidad a los cambios locales y crear nuevas intensidades de grises. Sus aplicaciones son para el suavizado de imágenes. En otras palabras, la reducción de variaciones de intensidad de los pixeles vecinos. También, elimina el ruido y consigue que los objetos pequeños de la imagen logren mezclarse con el fondo. Vea la Figura 14.



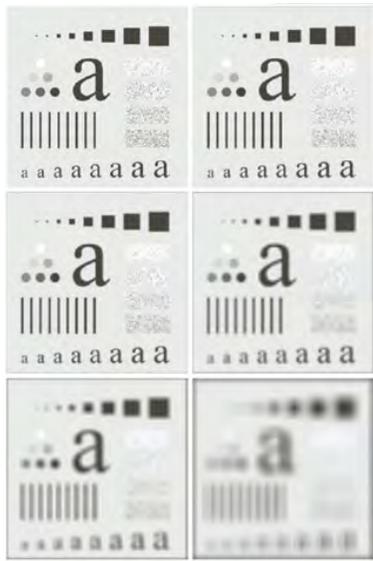


Figura 14 Filtro de media. Fuente [Gonzalez and Woods \(2008\)](#).

- Filtro de Mediana. En este método, el valor del píxel central es reemplazado por la mediana de los píxeles vecinos. Primero se ordenan de acuerdo con su intensidad de grises, es decir, se realiza una extracción de estos valores para ordenarlos. seguido de esto, se escoge el valor de en medio. Este método resulta efectivo para imágenes muy ruidosas, sin volverlas muy borrosas. Vea la Figura 15.

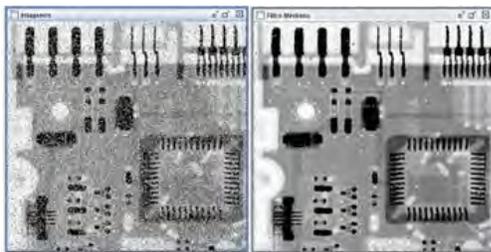


Figura 15 Filtro de mediana. Recuperado de [aquí](#).

Etapa 2: Segmentación. Esta etapa es una de las más complicadas en el proceso de reconocimiento de caracteres, debido a que determina el éxito o el fracaso del análisis. La fragmentación o segmentación es la operación donde el texto se descompone en diferentes entidades



lógicas. Evalúa cada uno de los píxeles de la imagen para identificar si pertenece o no al objeto de interés.

Algoritmos de Segmentación

Los algoritmos de segmentación se basan en una de dos propiedades básicas de los valores de nivel gris: discontinuidad y similitud. El método de discontinuidad consiste en dividir la imagen basándose en los cambios bruscos de los niveles de grises. Los temas importantes de este método son:

- Detección de puntos aislados.
- Detección de líneas.
- Detección de bordes de la imagen.

El método de similitud consiste en dividir la imagen basándose en zonas que tengan valores similares. Esto se realiza de acuerdo con algunos criterios:

- Crecimiento de región.
- Umbralización.

Técnicas de Segmentación comunes son

- Métodos explícitos o segmentación en unidades físicas: Estos métodos intervienen avanzando el proceso de reconocimiento. Las partes segmentadas se dividen prácticamente en letras, tanto que la segmentación se considera una parte del proceso de reconocimiento. (Vea [Anónimo \(s.f.c.\)](#).)
- Métodos de segmentación implícitos o segmentación en unidades lógicas: Los métodos implícitos, consisten generalmente en una segmentación más fina y así conseguir los puntos de corte correctos. Las partes segmentadas son llamadas grafemas. Estos se usarán más adelante, durante el proceso de reconocimiento. Los grafemas estarán compuestos por fragmentos de caracteres, caracteres o grupos de caracteres. (Cf. [Anónimo \(s.f.c.\)](#).)
- Métodos de segmentación implícitos y exhaustivos: En este método, es el reconocimiento quien guía la segmentación. Así que el sistema de evaluación que se aplica aquí implica un reconocimiento por cálculo de las posiciones sucesivas de la imagen y escoger las posiciones de segmentación que se correspondan con las responsables de las partes más significativas. (Vea [Anónimo \(s.f.c.\)](#).)

Proceso de Segmentación. Para comenzar con este proceso, se necesita identificar la ubicación de los caracteres en el documento para su reconocimiento. Se debe tener en cuenta los espacios en blanco y finales de línea, de esta

forma, se podrá recomponer el texto a como se veía el original.

No existe ningún método generalizado lo suficientemente eficaz para realizar este análisis. Los métodos que mayormente se utilizan son variaciones del método de Proyecciones Verticales. Para determinar el orden de los caracteres dentro de un texto, existen tres magnitudes:

- Los renglones.
- Palabras dentro de un renglón.
- Letras por palabra.

El primer paso para la segmentación de un texto es identificar los renglones que conforman el texto. Su procedimiento consiste en realizar una proyección horizontal y analizar la matriz unidimensional para detectar los posibles renglones del texto. Hacer una proyección horizontal consiste en contar los elementos de tinta contenidos en cada fila. Estos valores son traspasados a una matriz unidimensional, en donde se interpretarán las distintas zonas vacías y las de densidad de tinta. Las zonas vacías serán interpretadas con un valor nulo, mientras que las otras como un hipotético renglón.

El análisis de la matriz unidimensional consiste en detectar el comienzo y final de un renglón. Si una línea con densidad de proyección no nula y la anterior línea estaba en blanco, significa que en esa línea comienza un renglón. Esta operación también se realiza de forma inversa, lo cual indicaría el final del renglón. De esta manera, el proceso se aplica a toda la matriz, delimitando los renglones que forman el texto.

Una vez que conocemos los límites de los renglones, se pueden aislar los caracteres. Para ello, se puede hacer uso de una proyección vertical, es decir, sumar los píxeles de cada uno de los renglones, 1 para el píxel negro y 0 para el píxel blanco. Esto permite diferenciar las zonas con resultados nulos de las otras con valores no nulos.

Cada caracter se aísla en una pequeña ventana rectangular con dimensiones correspondientes a su ancho y altura. Esto permite su aplicación para caracteres con distintos tamaños dentro del texto. Para el caso de los espacios entre palabras, se detectan cuando hay una separación entre dos caracteres consecutivos es mayor al umbral dependiente de la altura del primero. Vea la Figura 16

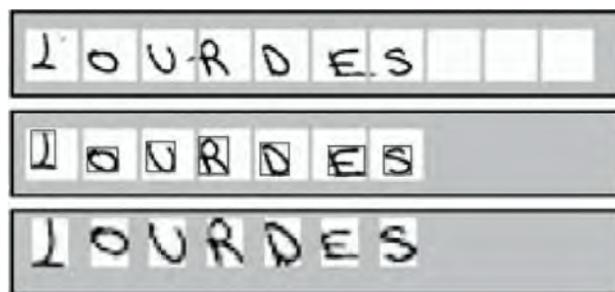


Figura 16 Ejemplo de segmentación y normalización. Cf. [Sánchez and Sadonis \(s.f.\)](#).

Etapa 3: Extracción de Características. Debido a que en muchas ocasiones nos encontramos con textos continuos, es decir, sin ninguna delimitación como en el caso de formularios, es necesario explotar características del texto, como la separación entre las letras o números, proyecciones de texto sobre líneas imaginarias, entre otros. Es por ello por lo que, una vez realizada la segmentación, se tiene una imagen con potencial para ser reconocida.

Para reconocer un carácter, es necesario el uso de alguna característica de estos. Con un número suficiente de estas características, es posible discriminar objetos entre sí. Las características evaluadas forman a descriptores, los cuales nos ofrecen información del objeto. Por ejemplo:

- Descriptores unidimensionales: códigos de cadenas, perímetros, forma del perímetro.
- Descriptores bidimensionales: área, momentos de inercia, etc.
- Descriptores específicos: número de agujeros, área de agujeros, posición relativa de agujeros, rasgos diferenciadores de un objeto, etc.

Sin embargo, uno de los problemas que se presentan es representar información original que sea capaz de describir a los patrones antes mencionados. Este es un problema conocido como extracción de características. Se trata de un proceso donde se busca limitar la información extraída de cada uno de los patrones, para obtener como resultado un vector de características que represente lo mejor posible el patrón original del objeto, en este caso, de los caracteres.

Al igual que la fase de segmentación, la extracción de características es un proceso difícil, debido a que es necesario un número óptimo de las mismas, lo cual no es sencillo de lograr. Los elementos que una característica debe poseer para ser considerada como buena, son:



- Discriminación, es decir, difieren lo suficiente una clase de otra.
- Debe tener un igual valor para mismas clases.
- Independencia, entre ellas no debe haber relación.
- Pequeño espacio de características, es decir, un número pequeño de estas para no afectar la rapidez y facilidad de clasificación.

Métodos de Extracción de Características. Se han desarrollado muchas técnicas de selección y extracción de características para identificar eficientemente los elementos, permitiendo una representación más compacta, ahorro de espacio para las muestras y reducción de los costes computacionales durante el proceso de reconocimiento. Algunos métodos basados en transformaciones del espacio de representación de muestras son los siguientes:

- Principal Component Analysis (PCA). Su objetivo es reducir la dimensión del nuevo espacio de representación original de las distintas clases de características, sin perjudicar la capacidad discriminativa de la nueva representación.
- Linear Discriminant Analysis (LDA). Es parecido al PCA, ambos hacen uso de combinaciones lineales de variables para representar a los datos. LDA modela la diferencia entre las clases de datos, mientras que PCA no toma en cuenta ninguna diferencia de clases de datos.
- Independent Component Analysis (ICA). Es un método que separa señales en subcomponentes aditivas, asumiendo independencia estadística de las señales no gaussianas.
- Non-Linear Discriminant Analysis (NDA). Similar a la idea de LDA, pero la representación de sus datos en mediante combinaciones no lineales.

Etapas 4: Reconocimiento. Cuando se tienen las características más importantes de la imagen a analizar, se puede determinar el carácter correspondiente mediante técnicas de aprendizaje supervisado. A saber:

- El algoritmo K vecinos más próximos (K-NN) sirve para clasificar valores realizando una búsqueda de los puntos más similares por su cercanía, aprendidos en su fase de entrenamiento, realizando conjeturas de nuevos puntos basados en esa clasificación. Este método es popular debido a su sencillez y propiedades estadísticas que le permiten afrontar diversos tipos de problemas de clasificación. Con ayuda de un conjunto de objetos de los cuales se conoce su clase (un conjunto de caracteres de muestra) y un nuevo

objeto del cual desconocemos su clase (imagen a reconocer), se busca entre el conjunto de prototipos los k más parecidos a nuestro objeto. A este se le asigna la clase más numerosa entre los k objetos prototipo seleccionados.

- El método de árboles de clasificación sirve para clasificar a partir de un proceso de partición recursivo del espacio muestral de los predictores. Los nodos del árbol están constituidos por los patrones o atributos que se quieren evaluar de un determinado carácter, mientras que los resultados finales se almacenarán categorías que correspondan a los diferentes caracteres. La evaluación de caracteres de acuerdo con la estructura del árbol puede evaluarse como una arquitectura *if-then-else*. Por lo que, el número de parámetros a evaluar es suficientemente grande para tener capacidad expresiva pero lo suficientemente pequeño para ser eficiente computacionalmente.
- Las máquinas de vectores de soporte (SVM por su nombre en inglés Support Vector Machine) son una técnica de clasificación basada en la idea de minimización de riesgo estructural. Ha mostrado un gran desempeño en muchas aplicaciones, superando incluso a las máquinas de aprendizaje tradicional como redes neuronales. Dado un conjunto de puntos, subconjunto de un conjunto mayor (espacio), en el que cada uno de ellos pertenece a una de dos posibles categorías, un algoritmo basado en SVM construye un modelo capaz de predecir si un punto nuevo (cuya categoría desconocemos) pertenece a una categoría o a la otra (cf. [Cardoso et al. \(2019\)](#)). En la sección siguiente se presentará una descripción más detallada de SVM.
- Las Redes Neuronales son esquemas de tratamiento de datos que intentan imitar la arquitectura del cerebro. Están compuestas de una serie de unidades básicas, llamadas neuronas, las cuales reciben datos de entrada, luego realizan multiplicaciones de acuerdo con unos pesos y finalmente presentan una salida con una función de ajuste. Son una buena alternativa para la etapa de reconocimiento de caracteres. Una vez entrenada, puede ser utilizada para el reconocimiento de los caracteres que recibe como imágenes. En la sección de Metodología se presentará una descripción más detallada de la red neuronal conocida como Perceptrón Multicapa y red neuronal de Memoria a Corto y Largo Plazo.
- La red neuronal Perceptrón multicapa es una generalización del Perceptrón simple y surgió como consecuencia de las limitaciones de dicha arquitectura en



lo referente al problema de la separabilidad no lineal (vea Pérez-Valls (1 de Marzo de 2021)). Comparado con la red neuronal de perceptrón simple, el perceptrón multicapa implementa en su estructura capas ocultas. Comúnmente se entrena con un algoritmo de propagación (en inglés Back Propagation).

- La Red Neuronal de Memoria a Corto y Largo Plazo (LSTM) es una red neuronal artificial recurrente (por sus siglas en inglés RNN) muy usada en aprendizaje profundo (Deep Learning). Es capaz de procesar datos individuales como imágenes, hasta secuencias completas de datos como voz o video. Las redes LSTM son adecuadas para clasificar, procesar y hacer predicciones basadas en datos de series de tiempo. Una LSTM se compone de una celda de entrada, una puerta de salida y una puerta de olvido.

3. METODOLOGÍA

Utilizaremos el método de máquinas de vector de soporte. Se trata de un algoritmo simple de clasificación. Es utilizado en áreas de regresión y clasificación, aunque surgió en problemas de clasificación. Ofrece una precisión muy alta en comparación con otros clasificadores como la regresión logística y los árboles de decisión.

El objetivo del SVM es encontrar un hiperplano de margen máximo que mejor divida el conjunto de datos en clases. Dicho de otra manera, segregar el conjunto de datos de la mejor manera posible. Para mayor claridad en la exposición limitamos la discusión al caso de dos predictores (el número de predictores se expresará con la letra p) y dos clases e iniciamos con el caso en el que las clases son separables.

A continuación, se definirán cada uno de sus elementos (vea también la Figura 17):

- Vectores de soporte. Son los puntos de datos que determinan el hiperplano. Usando estos vectores de soporte se maximiza el margen. Estos puntos son los que nos ayudaran a realizar el proceso del SVM.
- Hiperplano. Es un plano de decisión que separa entre un conjunto de objetos que pertenecen a clases diferentes. Son límites de decisión que ayudan a clasificar los puntos de datos. Los puntos de datos se clasifican de acuerdo con su posición de un lado u otro. La dimensión del hiperplano depende del número de características.
- Márgenes. Un espacio entre las dos líneas en los puntos más cercanos de la clase. Se calcula como la distancia perpendicular desde el hiperplano hasta

los vectores de soporte, el clasificador de vectores de máquina de soporte es el clasificador que maximiza el margen.

- Kernel. Transforma un espacio de datos de entrada en la forma requerida.

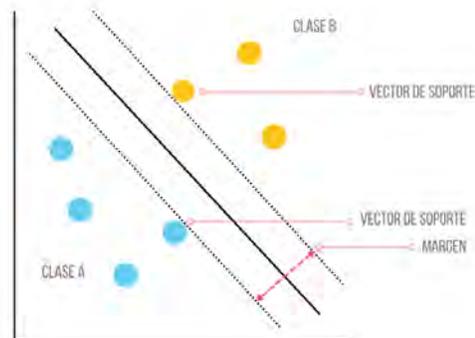


Figura 17 Elementos de SVM. Elaboración propia.

En muchas ocasiones, los datos se encuentran distribuidos de tal forma que complica el proceso de clasificación de dos clases. La Figura 18 representa uno de estos casos.

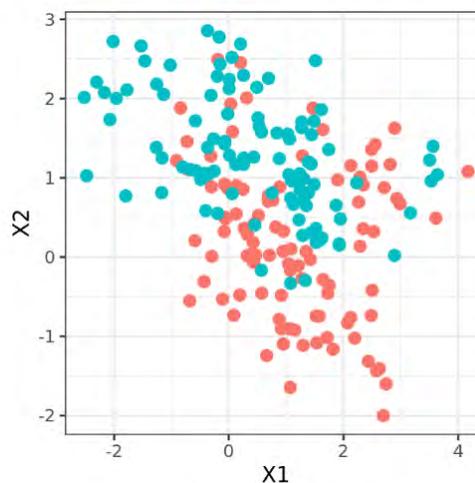


Figura 18 Ejemplo de distribución de dato de dos clases diferentes. Imagen obtenida de [aquí](#).

Para entender mejor como se resuelve este tipo de problema, se explicará el proceso que lleva a cabo el SVM.



Primero, se calcula como la distancia perpendicular desde el hiperplano hasta los vectores de soporte, entre mayor sea el margen entre las clases, se considera un buen margen (vea la Figura 19).

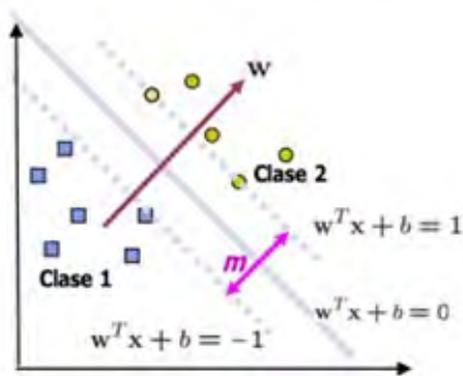


Figura 19 Elementos SVM dos clases. Imagen obtenida de [aquí](#).

Sean x y w vectores pertenecientes a \mathbb{R}^n , la función de un hiperplano se define como

$$w_1 x_1 + w_2 x_2 + b = 0,$$

donde w es un vector perpendicular al hiperplano, y x es un vector de un punto (x, y) cualquiera. Así, es posible describir al vector x con respecto a w mediante el uso de proyecciones. O sea,

$$\frac{x \cdot w}{\|w\|}.$$

Entonces, la observación se clasificaría como de Clase+1, si el producto interior $w \cdot x \geq c$, donde c es una constante dada. Caso contrario, si resulta que el producto interior de x y w es menor que c , pues entonces la observación se clasificaría como de Clase -1. La proyección anterior también se puede expresar de la siguiente forma: $w \cdot c + b \geq 0$. Esto nos ayuda a distinguir de qué lado de la frontera se encuentra el punto con respecto al hiperplano.

Podemos parafrasear lo anterior de la siguiente forma:

- Para muestras clasificadas como clase 1, $w \cdot x + b \geq 1$,
- Para muestras clasificadas como negativas clase -1, $w \cdot x + b \leq -1$.



Juntando ambas ecuaciones en una sola, tenemos lo siguiente:

$$y_i = \begin{cases} 1 & \text{si } x_i > 0, \\ -1 & \text{si } x_i < 0. \end{cases}$$

O sea $y_i(w \cdot x + b - 1) \geq 0$. Para el caso de los vectores soporte, esta relación debe cumplirse con la igualdad. Así,

$$y_i(w \cdot x + b - 1) = 0. \quad (1)$$

Todos los vectores soporte satisfacen (1).

Para conocer el tamaño del margen, el cual cumpla con la condición de ser el más grande posible, se necesita identificar a los vectores soporte. Seguido de esto, proyectarlos con ayuda del vector unitario \hat{w} . Dicho de otro modo, encontrar la distancia entre ambos vectores de soporte. Vea la Figura 20.

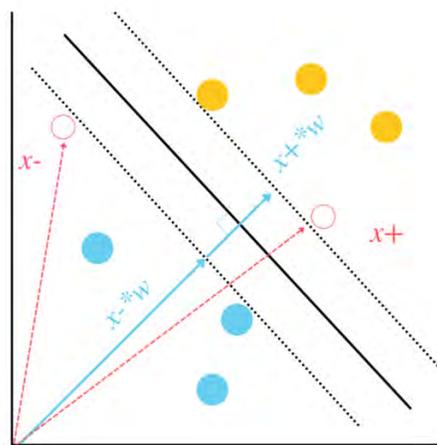


Figura 20 Distancia entre Vectores de Soporte. Elaboración propia.

La longitud del margen es $d = (x_+ - x_-) \cdot \frac{w}{\|w\|}$, donde x_+ representa un vector perteneciente a la Clase 1, y x_- representa un vector perteneciente a la Clase -1. La longitud del margen se puede definir de la siguiente manera, a partir del tipo de muestra:

- Para una muestra clasificadas como de Clase 1, $w \cdot x_+ = 1 - b$.
- Para una muestra clasificada como de Clase -1, $-w \cdot x_- = 1 + b$.

Sustituyendo estos resultados en la ecuación de longitud del margen, y también, considerando encontrar el margen máximo posible, tenemos lo siguiente:

$$\min_w \left(\frac{1}{2} w^T w \right).$$

El problema de optimización puede ser resuelto usando Multiplicadores de Lagrange, lo que nos ayuda a convertir este problema con restricciones, a uno sin ellas. Finalmente, la expresión sería:

$$\min_{\lambda} \sum_j \lambda_j - \frac{1}{2} \sum_i \sum_j \lambda_i \lambda_j y_i y_j x_i \cdot x_j. \quad (2)$$

Para resolver este problema utilizamos programación cuadrática.

Es importante resaltar que el método que nos condujo a (2) puede resolver sólo problemas lineales. En la práctica, es raro encontrar problemas de este tipo, por lo que es necesario adaptarlo. La solución es aplicar un Kernel. Así podremos resolver también problemas no lineales.

Si $x_1, x_2 \in \mathbb{R}^p$, una función Kernel $K(x_1, x_2)$ es una relación de correspondencia entre $\mathbb{R}^p \times \mathbb{R}^p$ y \mathbb{R} . La función Kernel mapea cualquier vector de dimensión p a un número real. Esta función también puede ser expresada como producto interno en otro espacio por medio de una función de mapeo. Por ejemplo:

$$K(x_1, x_2) = \varphi(x_1) \cdot \varphi(x_2),$$

donde $\varphi : \mathbb{R}^p \rightarrow \mathbb{R}^m$.

Algunas de las funciones Kernel más usadas en SVM son:

- Funciones polinomiales de la forma

$$K(x_1, x_2) = (x_1 \cdot x_2 + c)^m.$$

Vea la Figura 21.

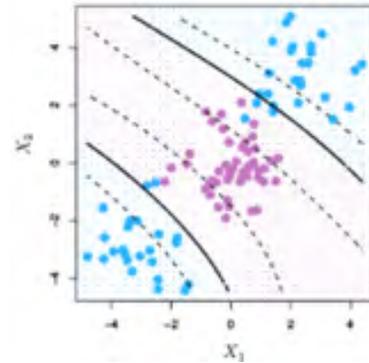


Figura 21 Kernel Polinómico. Imagen obtenida de [aquí](#).

- Funciones Gaussianas de la forma

$$K(x_1, x_2) = \exp \left(-\frac{\|x_1 - x_2\|^2}{2\sigma^2} \right).$$

Vea la Figura 22.

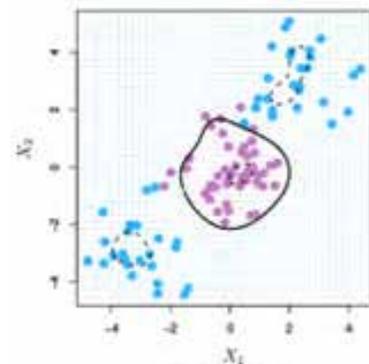


Figura 22 Kernel Gaussiano. Imagen obtenida de [aquí](#).

- Funciones Laplacianas de la forma

$$K(x_1, x_2) = \exp \left(-\frac{\|x_1 - x_2\|^2}{\sigma^2} \right).$$

Vea la Figura 23.



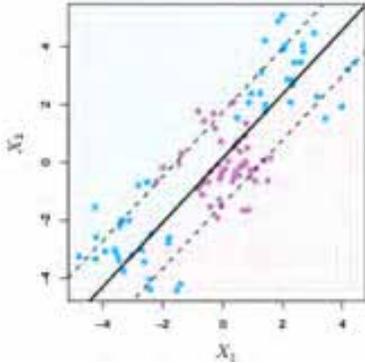


Figura 23 Kernel Laplaciano. Imagen obtenida de [aquí](#).

Podemos sustituir el Kernel en el problema de optimización (2) para obtener:

$$\text{mín}_{\lambda} \sum_j \lambda_j - \frac{1}{2} \sum_i \sum_j \lambda_i \lambda_j y_i y_j K(x_i, x_j).$$

De manera visual, con ayuda de la función Kernel incorporada a la función del hiperplano óptimo, podemos realizar una separación de clases cuando los datos no son lineales, permitiendo trasladarlos a un espacio de otra dimensión en donde sea más fácil realizar esta división. Vea las Figuras 24 y 25 .

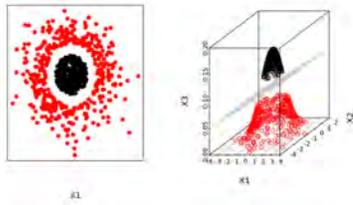


Figura 24 Ejemplo de separación de clases. Imagen obtenida de [aquí](#).

Redes neuronales. Una red neuronal es un modelo computacional diseñado para emular la manera de cómo el cerebro procesa la información. Está conformado por un conjunto de unidades llamadas neuronas artificiales, que están interconectadas y transmiten señales simultáneas entre ellas. Estas neuronas se organizan por capas, normalmente en tres grupos:

- Capa de entrada.

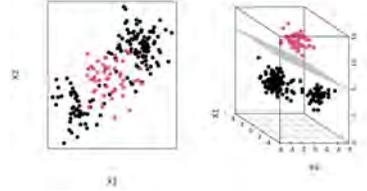
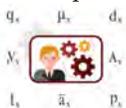


Figura 25 Otro ejemplo de separación de clases. Imagen obtenida de [aquí](#).

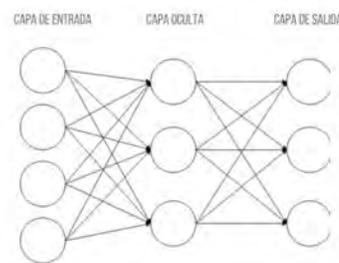


Figura 26 Arquitectura Perceptrón multicapa.

- Una o varias capas ocultas.
- Capa de salida.

La Figura 26 ilustra un tipo de red neuronal llamado *perceptrón multicapa*. Se trata de una RNA formada por múltiples capas, también conocido por sus siglas en inglés Multilayer Perceptron (MLP). La capa de entrada está conformada por tantas neuronas como número de predictores, las cuales representan las características de entrada. Estas neuronas no realizan ninguna operación como las de las demás capas, sólo reciben las señales o patrones del exterior. Los insumos recibidos en la primera capa nos sirven para transmitir la información necesaria que será procesada en las siguientes capas ocultas hasta llegar a la capa de salida, siendo ésta última la encargada de darnos los resultados del proceso realizado.

Cada una de las neuronas pertenecientes a la capa oculta transforma los valores de la capa anterior con ayuda de una suma lineal ponderada de la forma $w_1 x_1 + w_2 x_2 + \dots + w_n x_n$, donde w_1, w_2, \dots, w_n representan la importancia de los respectivos valores de entrada x_1, x_2, \dots, x_n . La función de activación en la capa c de la red es la suma de los productos de las activaciones por los pesos correspondientes de la capa anterior. Definimos

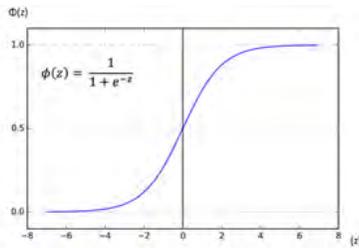


Figura 27 Función sigmoideal con imagen $[0; 1]$. Recuperado de Anónimo (s.f.a).

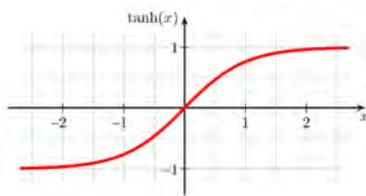


Figura 28 Función tangente hiperbólica con imagen $[-1; 1]$. Recuperado de: aquí.

la activación de las neuronas de la $c - 1$ -ésima capa como

$$a_i^c := f \left(\sum_{j=1}^{n_{c-1}} w_{ji}^{c-1} a_j^{c-1} + u_i^c \right),$$

para $i = 1, \dots, n_c$, $c = 2, 3, \dots, C - 1$. Si $Y = (y_1, y_2, \dots, y_{n_c})$ es el vector de salida de la red, entonces la capa de salida también hace uso de estas funciones de activación. O sea,

$$y_i := f \left(\sum_{j=1}^{n_{c-1}} w_{ji}^{c-1} a_j^{c-1} + u_i^c \right),$$

para $i = 1, \dots, n_c$.

Funciones de activación. En el caso del MLP, las funciones de activación más utilizadas son sigmoideales (vea la Figura 27). Un caso muy importante es el de la función de activación tangente hiperbólica $\tanh(x) := \frac{1-e^{-x}}{1+e^{-x}}$ (vea la Figura 28).

Algoritmo de retropropagación. Este algoritmo permite el ajuste de los parámetros de la red. En este caso, debido a que se trata de un algoritmo de aprendizaje supervisado, su ajuste se hace a partir de valores proporcionados por el supervisor, repite este proceso varias veces hasta

que los resultados sean lo más parecidos a los datos de entrenamiento.

El aprendizaje de la red se formula como un problema de minimización de una función de error, también llamada *función de pérdida*. En general, se define de la siguiente forma:

$$E = \frac{1}{N} \sum_{n=1}^N e(n),$$

donde N representa el número de patrones o muestras,

$$e(n) = \frac{1}{n_c} \sum_{i=1}^{n_c} (s_i(n) - y_i(n))^2$$

es el error del n -ésimo patrón, donde $Y = (y_1(n), \dots, y_{n_c}(n))$ representa el vector que contiene los valores de salida de la red y $S(n) = (s_1(n), \dots, s_{n_c}(n))$ es el vector de los valores de entrenamiento para el patrón n .

Dicho de otra forma, el aprendizaje del perceptrón multicapa consiste en encontrar un mínimo de la función error.

El método del gradiente estocástico es comúnmente usado en este proceso de minimización del error. Cada parámetro w de la red neuronal se modifica para cada uno de los patrones de entrada. Logramos esto mediante la siguiente fórmula:

$$w(n) = w(n-1) - \alpha \frac{\partial e(n)}{\partial w},$$

donde α representa la tasa de aprendizaje.

Red Neuronal de Memoria a Corto y Largo Plazo. Comparadas con las redes neuronales prealimentadas (en Inglés Feedforward), en donde la información se mueve en una sola dirección (hacia adelante), las redes neuronales recurrentes (RNN) integran en su arquitectura ciclos de realimentación entre sus capas. Esto les permite “recordar” información. La Figura 29 muestra la estructura más simple de las RNN. En el caso de la Figura 27, la red neuronal tiene sólo una capa. Ahí x_t representa nuestro valor de entrada; y h_t , el de salida (también se le conoce como valor de estado oculto). Cuando se obtiene h_t se vuelve a introducir en la red neuronal como un nuevo valor de entrada y con peso diferente.

Un defecto de las RNN, es el llamado *problema del desvanecimiento del gradiente*⁴. Los gradientes son valores que se utilizan para actualizar los pesos de la red neuronal.

⁴ También se le conoce como dependencia a largo plazo.



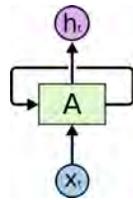


Figura 29 Arquitectura de una RNN. Imagen recuperada de [aquí](#).

Cada vez que se realiza la propagación hacia atrás (en Inglés Backpropagation) y se calculan los gradientes, estos se contraen, volviéndose cada vez más pequeños, y esto provoca que la red aprenda cada vez menos.

Las redes neuronales de memoria a largo plazo y corto plazo (LSTM por sus siglas en Inglés) son un tipo de RNN. Sin embargo, la ventaja que tienen las LSTM es que solucionan el problema del desvanecimiento del gradiente. Son capaces de eliminar o agregar información mediante el uso de puertas. Las puertas son una forma de dejar pasar información, compuesta por una capa de red neuronal sigmoideal (también llamada *capa de puerta de olvido*) y una operación de multiplicación puntual. La capa produce números entre 0 y 1, donde un valor de 0 significa "no dejar pasar nada", mientras que un valor de 1 quiere decir "dejar pasar todo". Esta función es útil para actualizar los datos u olvidarlos, porque cualquier número multiplicado por cero es cero, lo que hace que los valores desaparezcan, por el contrario, cualquier número multiplicado por uno es sí mismo, por lo que ese valor se mantiene.

La Figura 30 muestra el módulo de repetición una red neuronal LSTM.

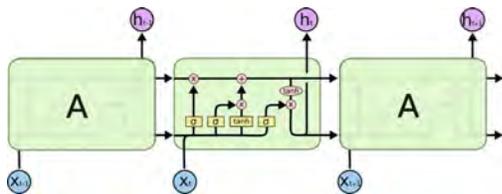


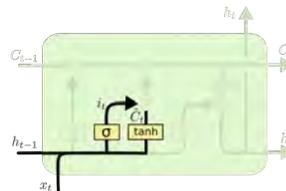
Figura 30 Módulo de repetición de una red neuronal LSTM. Imagen recuperada de [aquí](#).

Existen tres puertas que nos ayudan a controlar el flujo de la información:

- Puerta de olvido. Esta puerta decide la información que se desechará o guardará. La información de en-



trada pasa a través de la función sigmoideal, valores entre cero y uno. Vea la Figura 31.

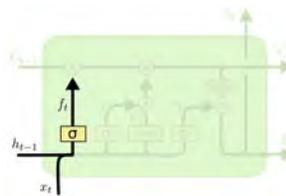


$$i_t = \sigma(W_i \cdot [h_{t-1}, x_t] + b_i)$$

$$\tilde{C}_t = \tanh(W_C \cdot [h_{t-1}, x_t] + b_C)$$

Figura 31 Puerta de olvido LSTM. Imagen recuperada de [aquí](#).

- Puerta de entrada. El siguiente paso es decidir qué información nueva se almacenará. Primero, se decide qué valores se actualizarán mediante una función sigmoideal i_t . Otra capa usa la función tanh para crear un nuevo vector C_t de *valores candidatos*. Finalmente, se multiplican entre sí las salidas de las funciones tanh y sigmoideal. Vea la Figura 32.



$$f_t = \sigma(W_f \cdot [h_{t-1}, x_t] + b_f)$$

Figura 32 Puerta de entrada LSTM. Imagen recuperada de [aquí](#).

Ahora, se actualiza el estado de la celda C_{t-1} anterior en el nuevo estado C_t . Este proceso da la posibilidad de olvidar valores si se multiplican por valores cercanos a cero. Luego, se realiza una suma puntual que actualiza el estado de la celda a los nuevos valores que a la red neuronal considere relevantes. Vea la Figura 33.

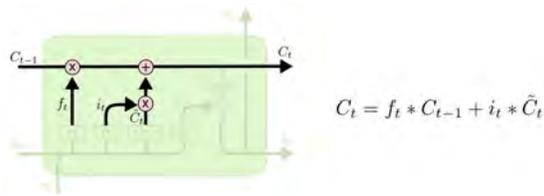


Figura 33 Puerta de entrada LSTM (Estado de la celda). Imagen recuperada de [aquí](#).

- Puerta de salida. La puerta de salida decide cual debería ser el siguiente estado oculto h_t , el cual contiene información de las entradas anteriores y es útil para realizar predicciones. El estado oculto anterior h_{t-1} , junto con la entrada actual x_t son evaluadas en una función sigmoidea, luego el estado de la celda recién modificado pasa a través de una función tanh. Ambas salidas se multiplican para decidir cuál es la información que debe almacenarse en el nuevo estado oculto. La salida es el nuevo estado oculto y el nuevo estado de la celda C_t . Vea la Figura 34.

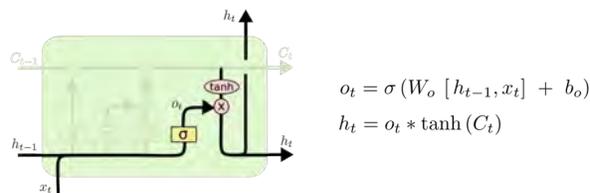


Figura 34 Puerta de salida. Imagen recuperada de [aquí](#).

Red Neuronal Convolutiva. Teniendo en cuenta que el objetivo es el reconocimiento de una imagen, la red neuronal recomendada para su construcción es la Red Neuronal Convolutiva (CNN por su traducción al Inglés: Convolutional Neural Network). Una de las primeras redes neuronales convolucionales en el aprendizaje profundo, fue LeNet (también conocido como LeNet5), desarrollada en [LeCun et al. \(1998\)](#).

LeNet. La arquitectura de LeNet ha sido objeto de múltiples modificaciones para su mejora, pero siempre se mantiene el concepto principal propuesto en [Zhang et al. \(2021\)](#). Vea la Figura 35.

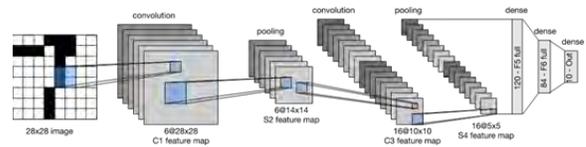


Figura 35 Arquitectura LeNet. Imagen recuperada de [aquí](#).

LeNet consta de dos partes:

- Codificador convolutivo (en inglés Convolutional Encoder), el cual tiene dos capas convolucionales.
- Bloque denso (en inglés dense block), el cual tiene tres capas conectadas.

En la década de 1990, cada uno de los bloques convolucionales hacía uso de una función de activación Sigmoidea. En las redes convolucionales modernas, esta función ha sido sustituida por la función de unidad lineal rectificadora (ReLU).

Cada una de las capas usa un Kernel de (5×5) , y como anteriormente se mencionó, una función de activación Sigmoidea. La primera capa convolutiva tiene seis canales de salida (output channels), mientras que la segunda tiene 16. La dimensionalidad de la imagen se va reduciendo en un factor de cuatro. Después, la salida del bloque convolutivo (convolutional block) pasa a la entrada del bloque denso (dense block), para este último, se necesita que la imagen se transforme en una de dos dimensiones. Este bloque contiene tres capas conectadas de 120, 84 y 10, las cuales nos dicen los posibles valores de la imagen de entrada original.

Redes neuronales convolucionales actuales. El proceso anteriormente descrito es la base de la arquitectura para cualquier red neuronal convolutiva. A continuación, se describirá en mayor detalle su estructura y proceso. Comencemos por mirar la Figura 36.



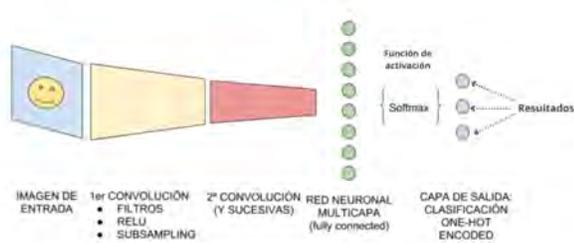


Figura 36 Arquitectura de una CNN. Imagen recuperada de Barrios (s.f.).

Lo primero a hacer es preparar las imágenes. La imagen de entrada preferentemente será en blanco y negro, lo cual implica que el rango de valores de los píxeles será entre 0 y 255. En seguida, estos valores deberán de normalizarse, en otras palabras, cada valor será dividido por 255. De esta manera, los valores estarán en un rango de 0 y 1. Y también será necesario redimensionar la imagen a una más pequeña, por poner un ejemplo, una imagen de resolución 28×28 píxeles.

Luego de tener las imágenes normalizadas, comienza el proceso de convolución. Un grupo de píxeles de la imagen se operará matemáticamente (producto escalar) con una matriz llamada Kernel. El tamaño de esta matriz puede variar, el más común es de 3×3 . Además, el número de kernel o filtros que se aplican son varios. Por poner un ejemplo, podríamos estar hablando de 32 ó 64 filtros, lo cual nos da como resultado de 32 a 64 matrices resultantes (este conjunto se conoce como feature mapping). Estas nuevas matrices contienen ciertas características de la imagen original.

Uno de los cambios más significativos de las nuevas redes neuronales convolucionales es su función de Activación Unidad lineal rectificada (ReLU). Contrario con su predecesora, la función Sigmoidea, que devolvía un valor en un rango de 0 y 1, la función ReLU devuelve un 0 si la entrada es negativa, pero para cualquier entrada positiva, devuelve ese valor (vea la Figura 37). Esto es:

$$\begin{cases} 0 & \text{si } x \leq 0, \\ x & \text{si } x > 0. \end{cases}$$

La salida de esta función no tiene un valor máximo, lo cual beneficia al gradiente descendiente además de ser rápida de calcular comparada con la función sigmoidea o tanh.

Esta función de activación nos servirá para obtener el mapa de características de las matrices a las cuales ya

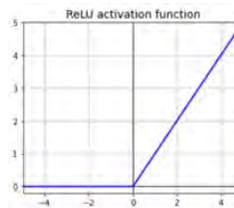
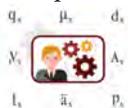


Figura 37 Función de activación ReLU. Imagen recuperada de Anónimo (s.f.a).

se les ha aplicado una convolución con un kernel. Vea la Figura 38.

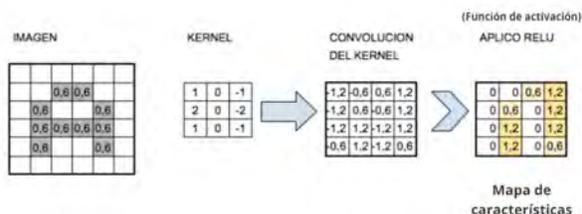


Figura 38 Aplicación de Kernel y función de activación ReLU. Imagen obtenida de Barrios (s.f.).

La siguiente etapa es llamada muestreo o subsampling. Consiste en tomar los valores más representativos a la matriz a la cual hemos aplicado la función ReLU. Esto permite reducir las operaciones computacionales. Uno de los muestreos más usados es el Max-Pooling. Consiste en recorrer cada uno de los mapas de características y, dependiendo del núcleo de agrupación (podemos verla como una submatriz), seleccionar el valor más alto de ese núcleo. En el ejemplo de la siguiente ilustración, el tamaño del max-pooling es de 2×2 . La imagen resultante se reduce a la mitad (vea la Figura 39).

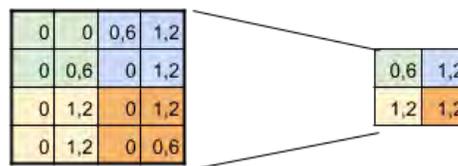


Figura 39 Max-Pooling 2×2 . Imagen obtenida de Barrios (s.f.).

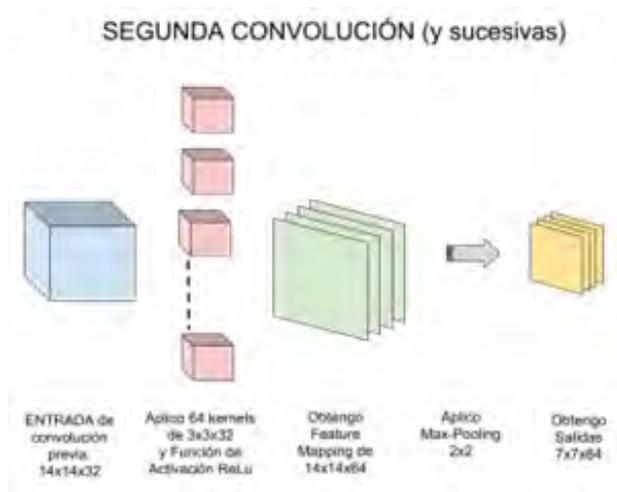


Figura 41 Segunda convolución y sucesivas. Imagen obtenida de Barrios (s.f.).

El proceso explicado hasta ahora corresponde a la primera convolución. En esta primera convolución se obtienen características primitivas de la imagen original, a medida que aumentemos el número de capas convolucionales, los mapas de características serán capaces de reconocer formas más complejas. Las imágenes de entrada a las siguientes capas serán los resultados de la primera capa convolucional, y así sucesivamente con las demás capas subsecuentes. Vea las Figuras 40 y 41.

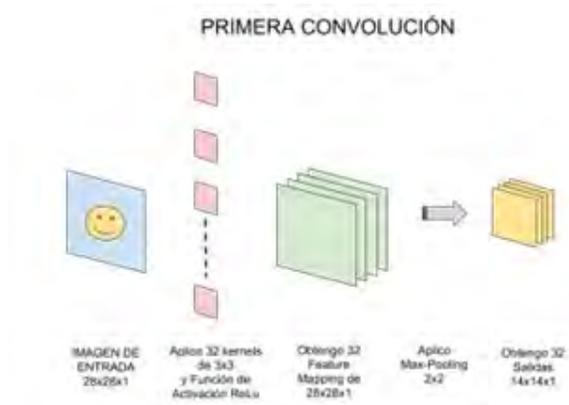


Figura 40 Primera convolución. Imagen obtenida de Barrios (s.f.).

Finalmente, los valores de salida de la última capa convolucional tienen un aspecto tridimensional, esto es por el tamaño del mapa de características y el número de mapas en total. Por ejemplo, $3 \times 3 \times 128$ (alto, ancho, mapas). Ahora, en esta etapa dejarán de tener ese aspecto tridimensional y pasa a ser una capa de neuronas tradicionales. En otras palabras, todos nuestros mapas de características pasan a ser un solo vector, cuyos valores serán los elementos de entrada a una red neuronal multicapa.

La función de activación de las capas ocultas de la red neuronal multicapa comúnmente es la función Softmax. Esta función es una generalización de la función logística utilizada para la clasificación de múltiples tipos de datos. Calcula las probabilidades de cada clase sobre todas las clases posibles. Esta función se define así

$$\Phi(x_i) := \frac{\exp(x_i)}{\sum_j \exp(x_j)} \text{ para } i = 1, 2, \dots, k.$$

4. PROCESO DE CREACIÓN DEL ALGORITMO

En esta sección, se describe el proceso de entrenamiento de un algoritmo capaz de reconocer dígitos escritos a mano, usando una CNN.

Hicimos el programa en el lenguaje Python en Google Colab. También usamos las bibliotecas de TensorFlow y Keras, las cuales ofrecen herramientas especializadas para el entrenamiento y construcción de redes neuronales en un entorno fácil para el usuario.



Figura 42 Base de datos MNIST. Imagen obtenida de Anónimo (s.f.a).

La base de datos usada para el entrenamiento es MNIST⁵ contiene 70,000 imágenes de dígitos escritos a mano. Puede verse un extracto en la Figura 42.

⁵ Para más información sobre la base de datos, consulte [esta dirección](#).




```
[ ] modelo = keras.models.Sequential()

#### Primera Capa
# filtro
modelo.add(keras.layers.Conv2D(64, kernel_size=(3,3), input_shape = x_entrenamiento.shape[1:]))
# funcion de activacion
modelo.add(keras.layers.Activation("relu"))
# valor maximo de una matriz 2x2
modelo.add(keras.layers.MaxPooling2D(pool_size=(2,2)))

#### Segunda Capa
# filtro
modelo.add(keras.layers.Conv2D(64, (3,3)))
# funcion de activacion
modelo.add(keras.layers.Activation("relu"))
# valor maximo de una matriz 2x2
modelo.add(keras.layers.MaxPooling2D(pool_size=(2,2)))

#### Tercera Capa
# filtro
modelo.add(keras.layers.Conv2D(64, (3,3)))
# funcion de activacion
modelo.add(keras.layers.Activation("relu"))
# valor maximo de una matriz 2x2
modelo.add(keras.layers.MaxPooling2D(pool_size=(2,2)))

modelo.add(Flatten())
modelo.add(Dense(64))
modelo.add(Activation("relu"))

modelo.add(Dense(32))
modelo.add(Activation("relu"))

modelo.add(Dense(10))
modelo.add(Activation("softmax"))
```

Figura 45 Extracto del código. El código completo puede consultarse [aquí](#).

y ruido, y también por su simplicidad (vea [Anónimo \(s.f.b\)](#)).

El tiempo de entrenamiento fue de 102.36 minutos. Los resultados se muestran en las Figuras 46 y 47.

	precision	recall	f1-score	support
0	0.99	0.99	0.99	988
1	0.99	0.99	0.99	1135
2	0.96	0.98	0.97	1032
3	0.99	0.98	0.98	1010
4	0.97	0.99	0.98	982
5	0.98	0.98	0.98	892
6	0.99	0.98	0.99	958
7	0.98	0.96	0.97	1028
8	0.98	0.98	0.98	974
9	0.98	0.98	0.98	1009
accuracy			0.98	10000
macro avg	0.98	0.98	0.98	10000
weighted avg	0.98	0.98	0.98	10000

Figura 46 Reporte de clasificación del modelo.

La Figura 46 corresponde al reporte de clasificación; y muestra las puntuaciones de precisión, recuperación, F1 y soporte del modelo. La precisión del modelo (accuracy) es de un 98 %. Es decir, para cada uno de los dígitos, el modelo tuvo una precisión del 98 %. La Figura 47 nos muestra el proceso de entrenamiento del modelo a lo largo de sus 100 ciclos (epoch) mediante el uso de algunas



Figura 47 Gráfica de pérdida y precisión del modelo.

métricas como: pérdida de entrenamiento (loss), pérdida de validación (val_loss), exactitud de entrenamiento (accuracy) y exactitud de validación (val_accuracy). La métrica de exactitud de validación refleja la precisión que tuvo durante la etapa de validación del modelo, la cual permanece muy cerca de un 100 % de precisión. Además, la pérdida de validación nos muestra el sobreajuste del modelo, el cual no fue un problema en la evaluación del modelo, luego de algunos ciclos se mantuvo constante.

5. CONCLUSIONES

En conclusión, los resultados nos muestran un modelo que tiene una precisión más que aceptable para reconocer dígitos escritos a mano y muestra que las redes neuronales convolucionales son una excelente herramienta para el análisis de imágenes, su capacidad de aprender a extraer las características más importantes permiten que, independientemente de la imagen que se trate, la red se adapta a entender los patrones de los valores de los píxeles.

REFERENCIAS

Anónimo, s.f.a 7 funciones de activación populares que debes conocer en Deep Learning y cómo usarlas con Keras y TensorFlow 2. Obtenido de [ichi.pro](#).
 Anónimo, s.f.b El algoritmo más utilizado para el aprendizaje profundo: el algoritmo de optimización de Adam. Obtenido de [aquí](#).
 Anónimo, s.f.c Fragmentación o segmentación la imagen. Obtenido de [grupo.us.es/gtocom](#).



- Barrios, J., s.f. Redes neuronales convolucionales. Obtenido de [aquí](#).
- Berninger, V., R. Abbott, J. Jones, B. Wolf, and L. Gould, 2006 Early development of language by hand: composing, reading, listening, and speaking connections; three letter-writing modes; and fast mapping in spelling. *Dev Neuropsychol* **29(1)**: 61–92.
- Cardoso, J. S., J. J. Vélez, K. R. Vaquiro, M. M. Garzón, and A. V. Cano, 2019 Máquina de vector de soporte. Obtenido de [aquí](#).
- Gonzalez, R. and R. Woods, 2008 *Digital Image Processing*. University of Tennessee.
- Gonzalo, A., 25 de Mayo de 2020 ¿qué es el sobreajuste u overfitting y por qué debemos evitarlo? Obtenido de [aquí](#).
- LeCun, Y., L. Bottou, Y. Bengio, and P. Haffner, 1998 Gradient-based learning applied to document recognition. In *Proceedings of the IEEE*, volume 86, pp. 2278–2324.
- Mueller, P. A. and D. M. Oppenheimer, 2014 The pen is mightier than the keyboard: Advantages of longhand over laptop note taking. *Psychological Science* **25(6)**: 1159–1168, Disponible [aquí](#).
- Pérez-Valls, J., 1 de Marzo de 2021 e-reading. Obtenido de [aquí](#).
- Sánchez, C. and V. Sadonis, s.f. *Reconocimiento Óptico de Caracteres*. Universidad Carlos III de Madrid.
- Webedia Brand Services, 27 de Abril de 2017 Vamos a volver a aprender a escribir a mano gracias a la tecnología. Obtenido de [aquí](#).
- Zhang, A., Z. Lipton, L. Mu, and A. Smola, 2021 *Dive into Deep Learning*. D2L.



Laura Betancourt Leal estudió Actuaría en la Universidad Anáhuac México. Su principal interés es la Ciencia de Datos y el Deep Learning a través de herramientas como R, Python, TensorFlow y Keras, además de otras disciplinas humanísticas como filosofía. Ha participado en la Facultad de Medicina de la Universidad Anáhuac, analizando datos de Working Papers. Su proyecto personal más reciente está enfocado en la detección de imágenes utilizando Redes Neuronales Convolucionales con Python en Google Colab. Su objetivo es profundizar su conocimiento en Data Science y Big Data, y aplicarlo a temas del mundo financiero y actuarial.



Actuaría & Finanzas

PROYECTOS ESPECIALIZADOS

DATA ANALYTICS

- PREDICTIVE MODELLING
- DATA VISUALIZATION
- STORYTELLING

Contacto: webmaster@actuariayfinanzas.net



55 8055 4463

ACTUARIOS TRABAJANDO

**Seguro Paramétrico de
Terremoto para Casa
Habitación en la Ciudad
de México**



Seguro Paramétrico de Terremoto para Casa Habitación en la Ciudad de México

Claudia Vázquez Ramos*

*Grupo Nacional Provincial

RESUMEN Este trabajo contempla las limitantes del seguro tradicional ante siniestros de la envergadura de un sismo, y propone una implementación de un seguro paramétrico a partir de una metodología histórica que puede extrapolarse para gestionar catástrofes y lograr una mayor penetración de la cultura del seguro en el *modus vivendi* del México de hoy.

Palabras clave

Riesgo catastrófico
Cifras oficiales
Regiones sísmicas

Derechos reservados © 2022 por el Colegio Nacional de Actuarios
Última actualización del manuscrito: 22 de junio de 2022
Este artículo es publicado por el Colegio Nacional de Actuarios (CONAC) y contiene información de una variedad de fuentes. Es un trabajo cuyo fin es únicamente informativo y no debe interpretarse como asesoramiento profesional o financiero. El CONAC no recomienda ni respalda el uso de la información proporcionada en este estudio. El CONAC no ofrece ninguna garantía, expresa o implícita, ni representación de ningún tipo y no asume ninguna responsabilidad en relación con el uso o mal uso de este trabajo.

¹claudia.vazquezr74@gmail.com



1. ANTECEDENTES

¿Qué son los riesgos catastróficos?

Los desastres naturales frecuentemente son descritos como actos de Dios, actos de la naturaleza, de fuerza mayor, o en los últimos años como consecuencia del cambio climático, los cuales se caracterizan por ser eventos de baja frecuencia y alta intensidad, ocasionando grandes pérdidas económicas a nivel mundial.

Los eventos catastróficos se pueden dividir en dos grandes categorías: los fenómenos geológicos donde se incluyen terremotos, erupción volcánica y maremoto; y por otro lado, los fenómenos climatológicos como inun-

dación, huracán, granizada, tormentas y ciclón, sequía, heladas e incendios forestales.

Las pérdidas causadas por los desastres naturales han mostrado una tendencia ascendente desde los años ochenta. Se estima que el costo total de estas catástrofes ascendió a US \$3,800 billones entre 1980 y 2012 (vea Anónimo (2014)). Donde los lugares más marginados y pobres suelen tener menos capacidad para adaptarse y recuperarse a los efectos de estos desastres.

En el citado estudio del Banco Mundial en 2014 muestra que, en los últimos años, la causa primordial ha sido el aumento considerable de la población a nivel mundial y las construcciones ubicadas en zonas vulnerables, así como el crecimiento de la plusvalía en zonas costeras, sísmicas, y la expansión de las ciudades sobre planicies inundables, junto con normas de construcción deficientes, como algunas razones de este incremento.

A pesar de que estos eventos han venido mostrando un crecimiento en la historia, pocos países cuentan con las herramientas, los conocimientos y los mecanismos necesarios para considerar el posible impacto de estos riesgos en la decisión de invertir en mecanismos para prevención y mitigación de los posibles impactos económicos y sociales. Aquellos países que no cuentan con dichos recursos rara vez registran las pérdidas causadas por los desastres, no se recopilan los datos ni cuentan con mecanismos para evaluar las pérdidas, lo que en ocasiones provoca que exista una problemática mayor para reducir los efectos y exposición a estos fenómenos catastróficos.

Algunos mecanismos que se han determinado con base en lineamientos establecidos por el Banco Mundial, muestran las siguientes medidas a fin de mitigar los impactos de mortalidad y económico que pueden presentar los riesgos catastróficos.

- Identificación de los riesgos: al dimensionar los peligros y anticiparse a sus posibles efectos, las evaluaciones de riesgos climáticos y naturales ayudan a dar información a los Gobiernos, comunidades, empresas y los seguros de la toma de decisiones para enfrentar estos eventos.
- Reducción de los riesgos: la información sobre los peligros involucrados puede servir de base para diferentes estrategias, planes y proyectos de desarrollo que, a su vez, pueden disminuir los riesgos.
- Preparación: Contar con medidas preventivas adecuadas, es fundamental ya que los riesgos nunca se podrán eliminar; sin embargo, la prevención mediante sistemas de alerta temprana puede salvar vidas y proteger los medios de sustento, y es una de las

formas más eficaces en función de los costos para aminorar los impactos.

- Protección financiera: Las estrategias de este tipo salvaguardan a Gobiernos, empresas y hogares de la carga económica que significa enfrentar una catástrofe y se puede incluir programas y/o seguros que aumenten la capacidad financiera del país o estado para responder ante una emergencia.
- Reconstrucción (resiliencia): El desafío de la reconstrucción también representa una oportunidad para promover la gestión de desastres mediante una planificación integrada de la recuperación y la restauración que genere un desarrollo con mayor capacidad de adaptación a largo plazo. La importancia y magnitud de los datos sobre catástrofes naturales y sus consecuencias para la sociedad y la economía en su conjunto, así como para las empresas, hace necesario el estudio de las características de los eventos catastróficos y sus tendencias, con el propósito de disponer de información importante para su gestión y conocimiento, así como establecer las medidas de prevención que permitirán mitigar, responder y recuperarse del impacto.

Algunos de los riesgos que suelen ocurrir de forma aislada, también se pueden producir de forma simultánea manifestándose lo que se conoce como riesgo principal y riesgos asociados o secundarios. Por ejemplo, una erupción volcánica como riesgo principal que puede causar incendios o explosiones en su propagación como riesgos secundarios; o un terremoto como principal riesgo podría producir un tsunami como riesgo asociado, que a su vez puede tener un impacto en inundaciones. En estos casos, las consecuencias llegan a ser devastadoras del conjunto de desastres es aún mayor y las pérdidas de todo tipo se multiplican.

Impacto en el Sector Asegurador

Los riesgos catastróficos son de baja frecuencia, pero su ocurrencia conlleva a un gran impacto de pérdidas económicas a nivel mundial. Este tipo de riesgos también se tratan de mitigar más allá de los seguros tradicionales, a través de seguros especiales, que son precisamente los seguros catastróficos, en la que comúnmente participan varias aseguradoras y/o reaseguradoras de tal forma que se garantice la protección de las pérdidas en la mayor medida, mitigando el impacto económico que este puede ocasionar.

Por su naturaleza, la ocurrencia de una catástrofe puede poner en peligro la solvencia de las Compañías Ase-



guradoras, además de ocasionar un impacto económico significativo en la economía de todo un país. Si analizamos en primer lugar el porcentaje de las pérdidas totales cubiertas por el mercado asegurador, así como la tendencia tanto de las pérdidas totales como de las que se encuentran aseguradas, los datos observados varían sensiblemente de un año a otro dependiendo del número y tipo de catástrofe. Los desastres naturales se han convertido en los últimos años en una de las preocupaciones más importantes, ya que se observa una tendencia creciente en el impacto económico y asegurador. En 2011 por ejemplo, Japón experimentó un terremoto de magnitud 9 en escala de Richter, seguido de un tsunami y cientos de réplicas donde el número de muertes superó las 16,000 víctimas, con pérdidas económicas que se encuentran entre los US\$195 - 305 mil millones (vea Anónimo (2012)), no sólo por las pérdidas directas relacionadas con el desastre sino también por las pérdidas relacionadas con la interrupción de los negocios, es decir, las pérdidas consecuenciales dada la ocurrencia del evento, en donde, en muchas ocasiones éstas pérdidas suelen ser más costosas que las pérdidas físicas de los bienes originales. Dentro de las catástrofes más recientes, se encuentra el impacto del COVID -19 que ha causado muertes que ya ascienden a más de 2.46 millones de víctimas a nivel mundial a febrero 2021³, llevando a más de 207 millones de personas más que se agregan a la clase de pobreza extrema a consecuencia de la crisis económica resultado de la pandemia⁴. En la Figura 1 se pueden observar los eventos catastróficos de mayor impacto en los últimos años.



Figura 1 Impacto de las catástrofes naturales en las últimas décadas (mdd). Elaboración propia con datos de Anónimo (2020) (excluye Pandemia COVID-19).

La tendencia creciente que se menciona de los desastres naturales, muestra una tendencia creciente en las pérdidas totales aseguradas como no aseguradas, lo que está haciendo reflexionar a aseguradoras y reaseguradoras sobre la forma de valorar este tipo de riesgos, además de tener enfrente un gran reto en la búsqueda de adoptar nuevos criterios y sistemas de gestión de riesgo, buscando introducir nuevos modelos de riesgos o nuevas metodologías de aseguramiento.

Un gran porcentaje de las pérdidas totales no se encuentran cubiertas por el sector asegurador a nivel mundial, en la Figura 3, se observa que más del 50 % de las pérdidas en los periodos mostrados no se encuentra asegurado (vea Anónimo (2020)), lo cual implica que más de la mitad de las pérdidas recaen en los estados afectados, las empresas y las familias. Se trata de un porcentaje muy alto ante el cual la sociedad en su conjunto debe de cooperar y buscar medidas que logren disminuir este alto porcentaje. Estos datos muestran una gran preocupación de los administradores de riesgos tanto del ámbito empresarial como del sector asegurador, sobre la necesidad de contar con mejores estrategias y medidas que puedan ayudar a las empresas en enfrenar este tipo de eventos.

La creciente tendencia en la evolución tanto en frecuencia como en intensidad en las catástrofes naturales en la economía es un reto y oportunidad para el sector asegurador, no sólo en la administración de los riesgos y su tarificación, sino también en cuanto al liderazgo en la adopción de nuevos criterios, metodologías e innovación en los productos que desarrolla a fin de mitigar los

³ Universidad Johns Hopkins, Baltimore, MD, Estados Unidos.

⁴ Información emitida por la Organización de las Naciones Unidas a través de Noticias ONU, diciembre 2020.





Figura 2 Elaboración propia con datos de [Anonymus \(2020\)](#).

impactos en los próximos eventos.

Los sismos y sus regiones sísmicas

Con base en la sensibilidad de lo que corresponden los riesgos catastróficos, el presente trabajo se enfoca en el desarrollo de un seguro paramétrico para sismos en la Ciudad de México, por lo que el enfoque estará en eventos sísmicos, sus causas e impactos, que al igual que el resto de los fenómenos naturales, pueden llegar a ser de alta severidad, ocasionando grandes pérdidas económicas, así como pérdida de vidas en las zonas más afectadas.

Características. Los sismos, temblores o terremotos son términos comunes para referirse a los movimientos de la corteza terrestre; sin embargo, la diferencia entre sismo y terremoto corresponde a conceptos técnicos en el que el concepto de sismo es el más utilizado derivado a que terremoto se refiere a sismos de gran intensidad. Los sismos se originan en el interior de la tierra y se propaga en forma de ondas. Son de corta duración y la intensidad puede variar dependiendo de la cantidad de energía liberada. De acuerdo con el Servicio Geológico Mexicano, la principal causa de la ocurrencia de los sismos se deriva a la interacción de las placas tectónicas, aunque también se pueden originar por la concentración de energía en las rocas en donde el tamaño del sismo dependerá, entre otras características, de que tan grande es la zona de concentración de esfuerzo. Las causas principales del origen de un sismo son las que se presentan a continuación:

- **Tectónica:** son los sismos que se originan por desplazamiento de las placas tectónicas que conforman la corteza, afectan grandes extensiones y es la causa que más genera sismos.

- **Volcánica:** es poco frecuente; cuando la erupción es violenta genera grandes sacudidas que afectan sobre todo a lugares cercanos, pero a pesar de ello su campo de acción es reducido en comparación con los de origen tectónico.
- **Hundimientos:** cuando el interior de la corteza se ha producido la acción erosiva de aguas subterráneas, va dejando un vacío, el cual termina por ceder ante el peso de la superficie. Es esta caída que genera vibraciones conocidas como sismos. Su ocurrencia es poco frecuente y de poca extensión.
- **Deslizamientos:** el propio peso de las montañas es una fuerza enorme que tiende a aplanarlas y que puede producir sismos al ocasionar deslizamientos a lo largo de fallas, pero generalmente no son de gran magnitud.
- **Explosiones atómicas:** realizadas por el ser humano, que pueden llegar a producir un sismo.

Basando del Servicio Geológico Mexicano las características que componen la ocurrencia de un sismo se describen de la siguiente forma: “El punto exacto en donde se origina el sismo se llama foco o hipocentro, se sitúa debajo de la superficie terrestre y hasta un máximo de unos 700 km de profundidad. El epicentro es la proyección del foco a nivel de tierra, es decir, el punto de la superficie terrestre situada directamente sobre el foco, donde el sismo alcanza su mayor intensidad. La falla es causada precisamente por la liberación de energía, que como consecuencia la tierra es puesta en vibración, esta vibración se debe a que las ondas sísmicas se propagan en todas las direcciones y transmiten la fuerza que se genera en el foco sísmico hasta el epicentro en proporción a la magnitud y a la intensidad de cada sismo”. Las diversas ondas sísmicas viajan a diferentes velocidades por lo que llegan al sismógrafo⁵ a diferentes horas, los tiempos de viaje se ilustran con gráficas de tiempo-distancia llamada “sismogramas” con lo que se logra determinar el epicentro de cualquier sismo.

Regiones sísmicas en el mundo. La explicación de mucho de los eventos sísmicos y volcánicos que han ocurrido en los últimos años es que son consecuencia de fallas tectónicas y el movimiento de las mismas. Desde el punto de vista geológico, las zonas conocidas como las más activas del mundo forman dos grandes alineaciones de miles de kilómetros de longitud y sólo unos pocos de ancho (vea [Anónimo \(2017\)](#)).

- **Cinturón Circumpacífico** (conocido como “Cinturón de Fuego”). Se caracteriza por concentrar alguna de

⁵ Un instrumento que se utiliza para medir los movimientos de la Tierra



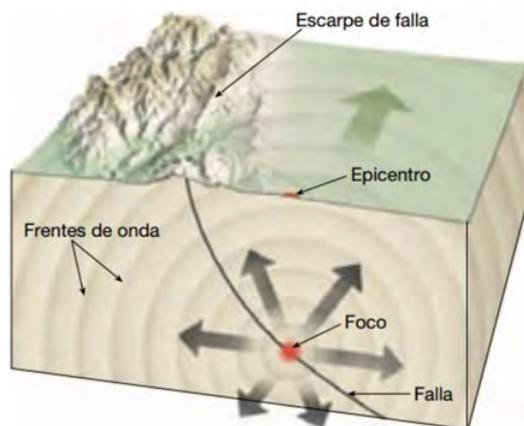


Figura 3 Características de un sismo. Fuente [Tarbuck and Lutgens \(2001\)](#).

las zonas de subducción y mayor cantidad de volcanes más importantes del mundo, lo que ocasiona una intensa actividad sísmica y volcánica. Rodea casi totalmente el Pacífico, se extiende a lo largo de las costas de América del Sur, México y California hasta Alaska; después continúa por las islas Aleutianas, antes de dirigirse hacia el sur a través de Japón y las Indias orientales. La mayor parte de la energía sísmica se libera en esta región, libera entre 80% y 90% (cf. [Anónimo \(2017\)](#) y vea la Figura 4).

- Cinturón Euroasiática Melanésico, (Alpino-Himalaya) que incluye las cordilleras alpinas de Europa y Asia, conectando con el Cinturón de Fuego en el archipiélago de Melanesia. Desde España se prolonga por el Mediterráneo hasta Turquía, el Himalaya y las Indias Orientales. Esta inmensa falla se produce por las plataformas Africana e India que se mueve hacia el norte rozando levemente la plataforma Euroasiática. Aunque la energía liberada aquí es menor que en el del Pacífico, a lo largo de los años ha producido devastadores terremotos, como el ocurrido en China en 1976, donde murieron más de 650 mil personas. Vea la Figura 5.
- Una tercera región altamente sísmica la formaría la Dorsal Mesoatlántico ubicado en el Océano Atlántico.

Si comparamos la distribución mundial de epicentros (sismicidad mundial) con las principales Placas Tectónicas, vemos inmediatamente que las franjas sísmicas



Figura 4 Zona conocida como Cinturón Circumpacífico.



Figura 5 Placas Euroasiáticas. Fuente [Anonymous \(2022\)](#).

corresponden, en su gran mayoría, con las fronteras entre las placas, esto es, cada tipo de interacción entre placas produce sismos.

Regiones sísmicas en México. Con base en la situación geográfica de México, la alta sismicidad se deriva a la interacción de las placas tectónicas localizadas en el Continente Americano, entre las placas de Norteamérica, la de Cocos, la del Pacífico, la de Rivera y la del Caribe, así como las fallas locales que corren a lo largo de varios estados, aunque con menos peligrosidad. La placa de Norteamérica se separa de la del Pacífico, pero colinda con la del Caribe y choca contra las de Rivera y Cocos, de donde se deriva la recurrencia frecuente de sismos.

De acuerdo con el Servicio Geológico Mexicano, la República Mexicana se ha dividido en cuatro zonas sísmicas, utilizándose los catálogos de sismos del país desde inicios del siglo.

- La zona A es aquella donde no se tienen registrados sismos históricos o la ocurrencia de estos fenómenos son de muy baja intensidad durante los últimos 80 años y donde las aceleraciones de terreno se esperan menores al 10 % del valor de la gravedad.
- Las zonas B y C son zonas intermedias, donde se registran sismos no tan frecuentemente o son zonas afectadas por altas aceleraciones pero que no sobrepasan el 70 % de la aceleración del suelo.
- La zona D es una zona donde se han reportado grandes sismos históricos, donde la ocurrencia de sismos es muy frecuente y las aceleraciones del suelo pueden sobrepasar el 70 % de la aceleración de la gravedad.

Como se observa en la Figura 6, México está expuesto a eventos sísmicos y erupciones volcánicas dadas las condiciones geográficas en las que se encuentra, en donde cada vez que ocurre un evento de magnitud importante ocurren pérdidas millonarias que dejan anualmente los desastres naturales en la región, por lo que se han evaluado mecanismos para mitigar estas pérdidas.

Las zonas de mayor sismicidad se concentran en la costa occidental del país a lo largo de los bordes de varias placas cuyo contacto es conocido como Trinchera. Los estados que se encuentran catalogados como regiones sísmicas se encuentran localizados al sur y suroeste de la República, abarca los estados de México, Colima, Michoacán, Guerrero, Morelos, Oaxaca, Veracruz, Chiapas, Jalisco, Puebla y Ciudad de México; y en la región al noreste de México se encuentran la península de Baja California. Se ha utilizado de acuerdo con el Sistema de

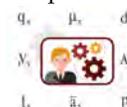


Figura 6 Regionalización Sísmica de la República Mexicana (CFE 2015). Fuente: CENAPRED.

Alerta Sísmica, la expresión de “brecha sísmica” a la zona geográfica donde no se han producido sismos de siete o más grados en la escala de Richter por un largo periodo de tiempo (50 años o más) para determinar la brecha de Guerrero (cerca de 100 años de acumulación de energía elástica), la brecha de Jalisco (aproximadamente 70 años) y la brecha de Chiapas (con más de 300 años) como las áreas de mayor riesgo en el país.

Sismógrafos y acelerógrafos estudian la frecuencia de los sismos en esta región y aunque los estudios todavía no están concluidos se puede decir que es probable que en la costa de Guerrero ocurra un gran sismo para liberar energía acumulada, aunque se debe aclarar que no se sabe con precisión cuándo ni dónde y tampoco la magnitud; se sabe que existe un hueco muy grande que va desde el sureste de Petatlán hasta casi Pinotepa Nacional, si esta región se rompe en un solo movimiento telúrico, éste puede tener una magnitud superior a ocho en la escala de Richter, aunque también pueden ocurrir una serie de sismos de menor magnitud. Según el Dr. Shiri Kishna Singh, del Instituto Geofísica de la UNAM, “actualmente no hay forma de afirmar cuál de estas dos últimas posibilidades puede suceder”.

De acuerdo a la ocurrencia de los sismos de importante impacto en el país, se ha observado que las pérdidas que han ocurrido, tanto a bienes como a las personas,



sólo se logra resarcir un porcentaje menor del impacto de los daños, dejando un sin número de daños sin cubrir, dado a que la población por un lado no se encuentra asegurada, y por otro lado es común que las zonas de mayor afectación son zonas marginadas, donde se encuentra la población más vulnerable, compuesta por un segmento social que vive en pobreza, y en algunos casos, en pobreza extrema.

Como ejemplo, tenemos el último evento del 19 de septiembre de 2017, en donde las cifras oficiales de la Secretaría de Gobernación de México indican que el terremoto dejó un saldo de más de 250 mil personas sin vivienda, en los estados de Chiapas, Oaxaca, Tabasco, la Ciudad de México, el Estado de México, Tlaxcala, Hidalgo, Puebla, Morelos y Guerrero, sin mencionar el número de víctimas.

A pesar de los daños ocasionados por los diferentes eventos sísmicos, la mayoría de las pérdidas no cuentan con un seguro que apoye en el resarcimiento de los bienes, derivado a que la noción y el entendimiento de la población mexicana que tiene sobre los seguros es aún muy pobre, sobre todo si se compara con otros países, en donde, existen incluso los seguros obligatorios, los cuales se vuelven una protección importante en la ocurrencia de este tipo de eventos.

Como se observa en el mapa de las regiones sísmicas en México, el Valle de México se encuentra prácticamente dentro de la Zona B; sin embargo, debido a las características y condiciones del subsuelo del Valle de México, se puede tratar como una zona sísmica en la que se identifican tres zonas de acuerdo al tipo de suelo (vea Anónimo (2017) y la Figura 7).

- Zona I, firme o de lomas: localizada en las partes más altas de la cuenca del valle, está formada por suelos de alta resistencia y poco compresibles.
- Zona II o de transición: presenta características intermedias entre la Zonas I y III.
- Zona III o de Lago: localizada en las regiones donde antiguamente se encontraban lagos (lago de Texcoco, Lago de Xochimilco). El tipo de suelo consiste en depósitos lacustres muy blandos y compresibles con altos contenidos de agua, lo que favorece la amplificación de las ondas sísmicas.

Las diferentes zonificaciones descritas, son las que se encuentran establecidas de forma oficial en las instituciones oficiales como Centro de Desastres Naturales o Servicio Geológico de México; sin embargo, dentro de los modelos de terremotos que utilizan las compañías aseguradoras y reaseguradoras en alguna de ellas manejan más de quince

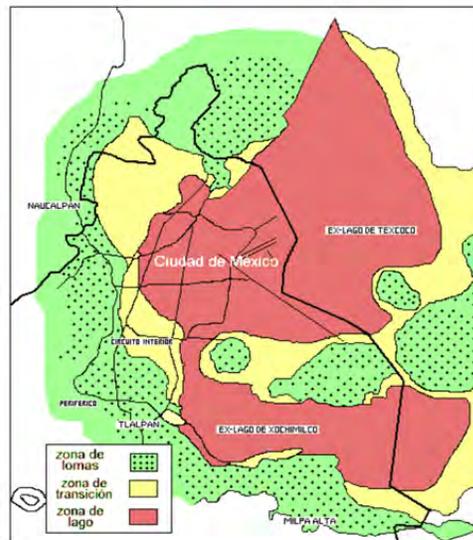


Figura 7 Regionalización Sísmica del Valle de México.

zonas diferentes en el país que permite calibrar de mejor forma la prima a cobrar de acuerdo con la ubicación del bien asegurado.

2. PLANTEAMIENTO DE LA SITUACIÓN ACTUAL

Problemática actual

De acuerdo a la ocurrencia de los sismos de importante impacto en el país, se ha observado que las pérdidas que han ocurrido, tanto a bienes como a las personas, sólo se logra resarcir un porcentaje menor del impacto de los daños, dejando un sin número de daños sin cubrir, dado a que la población por un lado no se encuentra asegurada, y por otro lado es común que las zonas de mayor afectación son zonas marginadas, donde se encuentra la población más vulnerable, compuesta por un segmento social que vive en pobreza, y en algunos casos, en pobreza extrema.

Como ejemplo, tenemos el último evento del 19 de septiembre de 2017, en donde las cifras oficiales de la Secretaría de Gobernación indican que el terremoto del 19S dejó un saldo, más de 250 mil personas sin vivienda, en los estados de Chiapas, Oaxaca, Tabasco, la Ciudad de México, el Estado de México, Tlaxcala, Hidalgo, Puebla, Morelos y Guerrero.

A pesar de los daños ocasionados por los diferentes eventos sísmicos, la mayoría de las pérdidas no cuentan



con un seguro que apoye en el resarcimiento de los bienes, derivado a que la noción y el entendimiento de la población mexicana que tiene sobre los seguros es aún muy pobre, sobre todo si se compara con otros países, en donde, existen incluso los seguros obligatorios para este tipo de eventos.

Existen modelos específicos enfocados a terremotos, que sin duda han evolucionado de forma importante en la determinación del precio a cobrar con base a la cartera expuesta; sin embargo, estos modelos requieren de mucha información y de una excelente calidad en las características constructivas aseguradas para que realmente determinen una prima adecuada, si hay mala información que se ingresan a los modelos, la determinación de la pérdida estimada será errónea. Lo que nos lleva a que estos modelos que sin duda han venido avanzando cada vez más, resultan también muy complejos y difícil de explicar los resultados obtenidos. Lo que ocasiona que se tenga una percepción por parte de la población que el seguro es muy caro y que dada a la competitividad entre compañías, es muy fácil que la rentabilidad en el aseguramiento de estos riesgos resulte ser negativa.

Por lo que la problemática que enfrenta el país ante esta situación, es precisamente que, ante eventos sísmicos, la mayoría de la población queda desprotegida, sin el apoyo de un seguro que contribuya a resarcir los daños.

Justificación

El presente trabajo se enfoca en proponer una alternativa en la transferencia de riesgo utilizando el seguro paramétrico en lugar de los modelos catastróficos tradicionales, este proyecto puede incrementar la gama de seguros que se ofrecen en una Compañía Aseguradora, en la que podrán proponer diferentes niveles de suma asegurada o mejor dicho un monto de apoyo para las familias ante un evento sísmico. También este modelo de seguros se puede ofrecer como un apoyo social, dado a que no se pretende indemnizar sumas aseguradas importantes dado el monto de prima que suele ser de costos que no son accesibles o no se encuentran al alcance de todas las personas, por lo que también podría ser un apoyo social a través de entidades gubernamentales que pueden ofrecer a los Estados que se encuentran con mayor peligro sísmico.

La implementación de este tipo de seguros en las Compañías de Seguros en un país como México, permitirá incentivar con mayor fuerza a la población en contar con una protección con primas más económicas, logrando contar con el apoyo económico ante un desastre natural

que con primas mucho más elevados al contratar varias coberturas en un seguro tradicional.

Objetivo General

Plantear un Seguro Paramétrico de Terremoto para la Ciudad de México como una alternativa de aseguramiento para mitigar los daños ante este tipo de eventos catastróficos. La metodología propuesta permite ser transferida a otro estado o región del país, incluso se puede realizar una integración para generar un seguro paramétrico para el país.

3. SEGUROS PARAMÉTRICOS

El término que da título a esta sección describe un tipo de seguro en donde se asegura a los bienes o las personas dada la ocurrencia de un evento específico realizando una indemnización basada en la magnitud del evento y no en la magnitud de las pérdidas como sucedería en un seguro tradicional.

El Banco Mundial ha venido impulsando mecanismos que sirvan para atenuar las consecuencias financieras ante la presencia de un evento catastrófico, sobre todo dada la vulnerabilidad que presentan los países en vías de desarrollo ante desastres naturales (vea [Alarcón et al. \(2009\)](#)).

Cuando un evento afecta una gran parte de la población al mismo tiempo y bajo la dificultad de las circunstancias la evaluación de las pérdidas de manera individual se vuelve casi imposible. Este esquema de aseguramiento no tiene el objetivo de compensar directamente ni completamente las pérdidas, como lo realiza en general un seguro tradicional. Los usos más comunes para este tipo de seguros son:

- Como ayuda de emergencia que se paga inmediatamente.
- Cuando no se cuenta con un seguro tradicional accesible.
- Como complemento de los seguros tradicionales.
- Como deducible.

Características y ventajas del seguro paramétrico

De acuerdo a la [Anónimo \(2020\)](#), el seguro paramétrico juega hoy un papel importante en el mercado de seguros contra desastres, es un tipo de seguro que se vuelve atractivo derivado a sus características.

Parámetro desencadenante. La reclamación será pagada de acuerdo con un desencadenante o como se nombra



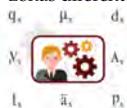
comúnmente en inglés “trigger”⁶ tal como la intensidad del sismo basado en los grados Richter, por lo tanto, la brecha estará formada entre los montos de la pérdida real y los montos a pagar. Esta brecha es llamada riesgo base, es decir, el monto pagado puede estar por arriba o por debajo de la pérdida real. Esto es un reto significativo desde el punto de vista de la protección de los asegurados y la base de riesgo debe ser explicada adecuadamente a los asegurados para obtener el mutuo acuerdo entre el asegurado y la compañía de seguros en este nuevo esquema de aseguramiento. En el caso particular de un bajo pago de forma importante sobre la pérdida, será otro reto importante por parte de las compañías en proponer metodologías para ofrecer a los asegurados dar continuidad en la mitigación del riesgo y lograr que el asegurado mismo se sienta comprometido en dar continuidad también en su aseguramiento.

El seguro paramétrico está enfocado en casos en donde el “trigger” corresponde a la magnitud o en la intensidad del sismo. En el caso de un bono CAT el cual también se opera en México y en muchos otros países como Japón, en donde la magnitud es definida como el desencadenante el cual hay una declaración de estado de emergencia en México publicada a través del Diario Oficial de la Federación además de la localización geográfica⁷ que cumpla con los requisitos de magnitud y profundidad.

Actualmente el seguro de terremoto para viviendas categoriza la pérdida como “pérdida total” si el valor razonable del daño se encuentra por arriba del 50 %, pérdida mayor con una destrucción por arriba del 30 %, “pérdida menor” arriba del 15 % y “pérdida parcial” arriba del 2.5 %, basado en la evaluación de las pérdidas en sitio, es decir, de forma presencial a través de un equipo de ajustadores, y dónde las reclamaciones son pagadas acorde con el nivel del daño. Por lo tanto, el riesgo base existe entre la pérdida real y el monto de la reclamación a ser pagada, cuando el seguro paramétrico, no determina el nivel del daño de las viviendas en la zona afectada, simplemente si se cumplen los parámetros establecidos, se realiza el pago independientemente si el nivel del daño está por arriba del 50 %, 30 %, 15 % o incluso no exista ningún daño.

⁶ Se le denomina trigger al disparador del riesgo o señales de aviso, es decir, es el indicador de que un riesgo ha ocurrido o está por ocurrir y supera algún umbral previamente establecido, este término tiene el mismo significado que desencadenante en lo que se refiere a este documento.

⁷ Los seguros tradicionales de terremoto, comúnmente varían la prima a cobrar de acuerdo a la zona geográfica en la que se encuentra ubicado el bien asegurado. Existen seguros con una segmentación de más de 30 zonas diferentes en el país.



Suscripción y cotización del Riesgo. En este tipo de seguros, pueden quedar cubiertos riesgos que de otro modo no son fácilmente asegurables o que requieren una serie de informes que el asegurado debe declarar, en un proceso tradicional se requiere información detallada del bien asegurable, como su ubicación en longitud y latitud o al menos por código postal en el caso de México, tipo de construcción, año de construcción, estos datos permiten hacer una valoración en modelos especiales; mucha de esta información se omitiría en un seguro paramétrico.

Proceso de Ajuste de Reclamación/No se necesita un daño físico. El seguro paramétrico no requiere una evaluación de las pérdidas ocasionadas por el evento realizadas por los ajustadores en sitio. Este esquema es considerado también como una contribución sobre ese gran reto en común que también tienen las compañías de seguros, con respecto al riesgo moral donde las dudas o cuestionamientos de que la compañía no paga reclamaciones realizadas, puede ser drásticamente mitigado. Por lo tanto, la transparencia entre las compañías de seguros y sus asegurados puede ser mejorada de manera importante, además de que la restauración de la zona afectada podría iniciarse al siguiente día posterior al desastre.

Velocidad y claridad en el pago. Dado a que este tipo de seguros no requiere un proceso de ajuste de las pérdidas de forma presencial, la indemnización puede reducir enormemente la cantidad de tiempo requerido para el pago de la indemnización, realizando el pago en semanas versus meses o incluso años bajo un contrato tradicional. Este tipo de seguros tiene muy pocas exclusiones o ninguna.

Resiliencia económica. Los seguros paramétricos son aún más útiles en los países en desarrollo, en donde es mucho más eficaz responder antes de que un evento de pérdida se haya convertido en una crisis humanitaria y económica, con vida y medios de vida en grave riesgo y el desarrollo de una población o incluso de una nación. Debido a que los pagos no requieren un ajuste de pérdida sobre el bien dañado (o no dañado), los pagos se pueden realizar rápidamente a los asegurados, incluso aquellos de difícil acceso en lugares complicados, comúnmente con pagos en línea o a través de redes de telefonía móvil, ayudando a amortiguar o recuperarse de los efectos de un desastre mayor.

La Figura 8 es un cuadro comparativo entre lo que corresponde a un seguro paramétrico y un seguro tradicional, poniendo como ejemplo el riesgo de terremoto para un seguro de vivienda.

	Seguro Tradicional	Seguro Paramétrico
Riesgos cubiertos	Debe de contratarse dentro de un paquete de coberturas, donde la cobertura básica es Incendio Edificio o Contenido.	Sólo el riesgo especificado en la póliza.
Información de la suscripción	Localización de la ubicación, característica constructiva, techo, muros, trabes, número de pisos, valor del inmueble	Localización de la ubicación
Suma Asegurada	Depende del valor del inmueble	Monto fijo
Condiciones Generales	Dentro de los textos de la Póliza, se especifican tanto las exclusiones generales como particulares.	Exclusiones mínimas / sin exclusiones.
Criterio para proceder con el pago de reclamaciones	Evaluación de la pérdida a través de un ajustador de forma presencial.	Intensidad del evento sísmico, emitido por un organismo independiente a la compañía de seguros.
Riesgo moral	Alto	Bajo
Transparencia del riesgo, desde la perspectiva del inversionista	El riesgo de la suscripción por la compañía de seguros debe ser transparente y entendida	Los riesgos son fáciles de entender debido a la gran transparencia y objetividad

Figura 8 Comparativo entre los seguros tradicional y paramétrico.

Fondos gubernamentales. Este tipo de seguros también es utilizado por algunas naciones para crear una reserva de riesgo regional contra las condiciones climáticas severas, como ejemplo, las naciones del Caribe que se unieron después de la devastación causada por el huracán Iván, ahora conocido como “Caribbean Catastrophic Risk Insurance Facility”.

México es uno de los pioneros en el uso de estos productos paramétricos. En 1996, el gobierno mexicano creó un fondo nacional para desastres naturales, FONDEN, al que transfiere fondos presupuestarios para la reserva en caso de desastres naturales y los esfuerzos de reconstrucción. FONDEN utiliza diversos instrumentos financieros para apoyar a los estados y entidades locales en la respuesta a desastres naturales, incluidos los fondos de reserva (vea [Secretaría de Hacienda y Crédito Público \(3 de diciembre de 2010.\)](#)).

Con base en el Acuerdo por el que se emiten las Reglas de Operación del Fondo de Desastres Naturales a través del Diario Oficial en septiembre de 2006. El Fondo de Desastres Naturales es un instrumento financiero mediante el cual dentro del Sistema Nacional de Protección Civil integra un proceso para apoyar a las entidades federativas de la República Mexicana, así como a las dependencias y entidades de la Administración Pública Federal, en la atención y recuperación de los efectos que produzca un

fenómeno natural que cumpla con los parámetros y condiciones establecidos en dicho acuerdo. Los fenómenos naturales por los cuales la Secretaría de Gobernación puede emitir Declaratoria de Desastres Natural para que, en su caso, sea posible el acceso a los recursos del FONDEN, son los de la Figura 9.

Desastres Naturales	
Geológicos	<ul style="list-style-type: none"> • Sismo • Erupción Volcánica • Alud • Maremoto y deslave
Hidrometeorológicos	<ul style="list-style-type: none"> • Sequías atípicas • Ciclón • Lluvias extremas • Nevada y granizada • Inundaciones atípicas • Tornado
Otros	<ul style="list-style-type: none"> • Incendio forestal

Figura 9 Desastres naturales con acceso a recursos del FONDEN.

A pesar de la existencia de estos productos paramétricos, que, si bien es una prevención importante ante la ocurrencia de un evento, en muchas ocasiones lo que se ha observado es que no ha sido suficiente, las indemnizaciones suelen llegar a ser complejas, poco claras ante la sociedad, que incluso llega a tardar años en la recuperación por parte de las personas afectadas, como sucedió en el último sismo ocurrido con impactos económicos importantes en México el 19 de Septiembre del 2017.

Por ello, los seguros paramétricos, los cuales pueden ser productos que puedan las compañías aseguradoras ofrecer como una alternativa o complemento de los seguros tradicionales, será de gran apoyo a los asegurados, sobre todos para las clases sociales de mayor pobreza o incluso para aquella gran parte de la población que no cuenta con incentivos suficientes para adquirir un seguro tradicional. Son una alternativa para la gestión de catástrofes por parte del gobierno federal y los estatales que pueden implementar en forma integral.

El evento del 19 de septiembre de 2017 en México,



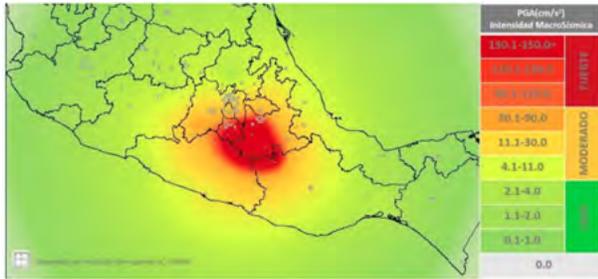


Figura 10 Mapa de intensidades del sismo del 19 de septiembre de 2017.

de acuerdo con el Servicio Sismológico Nacional (SSN)⁸ reportó un sismo con magnitud de 7.1 grados en la escala de Richter localizado en el límite estatal entre los estados de Puebla y Morelos, el sismo ocurrido a las 13h14, fue sentido fuertemente en el centro del país y hasta las 18h00 del 19 de septiembre se habían registrado seis réplicas.

La Figura 10 muestra el mapa de intensidades estimadas elaborado por el Instituto de Ingeniería de la UNAM, como se puede apreciar la intensidad máxima se encuentra en la región del epicentro, entre los estados de Puebla, Morelos y Guerrero, el cual el sismo ocurrió justo debajo de la placa continental, en la placa de Cocos. En la Figura 11 se presentan las aceleraciones máximas registradas en algunas estaciones sísmicas en el Valle de México. De acuerdo al documental emitido por MARSH⁹ a un año de la ocurrencia del sismo, el sismo dejó 5,765 viviendas dañadas sólo en la Ciudad de México, con una estimación del daño de 4,500 millones de dólares. A través del tiempo, nos hemos percatado de que los daños de ese evento continúan latentes. De acuerdo al Censo 19S donde muestra los resultados del avance de la reconstrucción de las viviendas dañadas en el Estado de México y Ciudad de México para viviendas multifamiliares y unifamiliares muestra que aún se encuentra en proceso años después una parte importante de las viviendas dañadas, en donde para todas estas se ha requerido una evaluación en sitio por parte de dependencias del Gobierno que continúa hasta la fecha, volviéndose una situación desgastante para las personas que no cuentan con un seguro, y para aquellos “afortunados” que cuen-

⁸ El SSN se encuentra en el Instituto de Geofísica de la UNAM, y se encarga establecer y mantener una red de monitoreo de sismos en el país, además de distribuir la información de manera oportuna y eficiente de la localización y magnitud de los sismos.

⁹ MARSH es un bróker en Seguros y Administrador de Riesgos a nivel mundial.



Sitio	Aceleración máxima registrada
Tlamacas, Edo. México.	112
Ciudad Universitaria	54
Coyoacán	60
Tláhuac	32
Cuajimalpa	20
Tlalpan	90

Figura 11 Aceleraciones máximas registradas en el Valle de México del sismo del 19 de septiembre de 2017. Elaboración propia con datos del Instituto de Ingeniería de la UNAM.

tan con un seguro tradicional, no quedaron satisfechos por el pago tardío y/o la diferencia entre el pago de la pérdida y la pérdida real, esta situación es lo que se vuelve un desastre secundario después de un sismo, esto sin considerar los daños secundarios el cual incluye la imposibilidad de vender o reparar los daños, el impacto en la calidad de vida de las personas, pues muchos de ellos tuvieron que abandonar sus viviendas, dejando la comodidad y seguridad construida tal vez por muchos años.

Ofrecer esta alternativa a los seguros tradicionales, evitaría muchos problemas que se resolverían y no con sumas aseguradas altas que encarecen el seguro, sino con sumas aseguradas que puedan sacar a la población ante crisis económicas que se derivan de un desastre natural, en este caso, del sismo del 19S.

Flujo del proceso del Seguro Paramétrico de Terremoto

Prácticamente el modelo a seguir en la implantación de un seguro paramétrico, se centra primero en el diseño del producto, el cual se analiza región y nicho de cartera a asegurar, definiendo el parámetro el cuál será el “trigger” de la póliza, en este proceso entra la valuación actuarial y la gestión de riesgos, analizarán el nivel de riesgo que la compañía está dispuesta a asumir, y posiblemente con el soporte de algún reaseguro, obteniendo un esquema de aseguramiento bajo la determinación del parámetro. Es posible establecer diferentes niveles de sumas aseguradas adaptándose a las necesidades del cliente.

Posteriormente se realizará un monitoreo de todos los eventos que va emitiendo la entidad establecida, este monitoreo lo realiza la compañía pero la información es establecida por un tercero independiente al asegurado, puede ser una entidad gubernamental por ejemplo en caso de México podría ser a través de CENAPRED o a través del SSN. Esto es importante porque es lo que dará transparencia y credibilidad del seguro frente a los asegurados.

Por un lado se tiene a la entidad que se encargará de dar los informes de las características del sismo, la cual es ajena a la compañía aseguradora, y por otro lado la compañía aseguradora revisará el cumplimiento de los parámetros, identificando de manera inmediata ante cualquier evento, el momento en el que se dispara el “trigger” y por ende la indemnización del pago en la región afectada. Procediendo con la indemnización de los pagos, de acuerdo a los diferentes niveles de aseguramientos que haya sido seleccionado por el asegurado.

Finalmente, los pagos se realizan de forma automática, a través de medios móviles o en banca electrónica. Los pagos prácticamente vienen realizándose de forma inmediata a la ocurrencia del evento. La Figura 12 muestra los pasos generales que constituyen el desarrollo e implementación de un seguro paramétrico.



Figura 12 Flujo del Seguro Paramétrico.

En la asignación de costos a incluir en la prima a cobrar, los costos de los seguros tradicionales son mayores, ya que incurren en costos que los seguros paramétricos no requieren. Como hemos visto, el pago de ajustadores de las pérdidas, el del soporte legal y otros costos hacen que los seguros tradicionales estén más expuestos a la incertidumbre, ya que es imposible conocer el valor real de los daños causados por un desastre de forma anticipada; esta incertidumbre se refleja en el precio. El seguro paramétrico paga un valor fijo, lo que hace que la combinación de costos más bajos y menos incertidumbre significa que las pólizas paramétricas sean más eficientes,

lo que resulta un seguro más accesible (vea Patton (2019)).

4. DISEÑO DEL SEGURO PARAMÉTRICO DE TERREMOTO

Ahora que se han descrito las características que corresponden a un seguro paramétrico y se describieron los parámetros para determinar el desencadenamiento del pago, la fase piloto para aplicar este seguro, inicia con el diseño y evaluación del producto por parte de una compañía de seguros; por lo que a continuación se describe la metodología y el resultado del producto detallado, ya que es muy importante que este tipo de seguros quede muy claro para el área de Administración de Riesgos de la compañía, los agentes y los asegurados.

Como veremos más adelante, habrá algunos momentos en los que se establecen algunos supuestos que formarán parte de la metodología, ya que la ocurrencia de estos eventos catastróficos, no corresponden al tipo de seguros de Daños normalmente recurrentes como suele ser el ramo de Incendio, Diversos Misceláneos, Ramos técnicos, o de Responsabilidad Civil, en donde para mayoría de ellos generalmente se cuenta con información suficiente para determina el costo del seguro. Este tipo de seguros son poco recurrentes y más tratándose en este nuevo modelo en donde indica que para desencadenar el pago, tiene que haberse cumplido el “trigger”.

Como veremos más adelante estaremos utilizando varias fuentes de información que nos permitirá ir desarrollando el producto; sin embargo, durante el proceso es necesario establecer algunos supuesto a fin de lograr determinar el modelo de cálculo para este tipo de seguro paramétrico, cabe señalar que cada compañía de seguros podrá realizar sus propios supuestos, de acuerdo a la exposición de su cartera, experiencia, así como el nivel del riesgo al que está dispuesta asumir. Por otro lado, aunque este trabajo se enfoca en un seguro aplicable en la Ciudad de México, la metodología permite escalarlo a cualquier otro estado del país.

Diseño del producto

En este apartado, se establece el diseño del producto, cuál sería su zona de aseguramiento, periodicidad, así como el cancel de este, a fin de dar la claridad del seguro hasta la fase comercial. Considerando esto, la interrelación entre el monto indexado a pagar y las pérdidas deben ser analizadas correctamente para diseñar adecuadamente el seguro paramétrico.

Características.



- Nombre del Producto: Seguro Paramétrico de Terremoto para la Ciudad de México.
- Ramo: Terremoto y/o Erupción Volcánica
- Este tipo de seguro puede aplicarse para los sismos provenientes de una erupción volcánica.
- Temporalidad: Anual
- Tipo de Contrato: Contrato de Adhesión
- Moneda: Moneda Nacional y Dólares Americanos

Descripción de la cobertura.

- Alcance. Los inmuebles cubiertos quedan amparados por la ocurrencia de un Terremoto siempre y cuando, el Terremoto ocurra dentro de la vigencia del seguro y la localización del inmueble asegurado se encuentre dentro de los parámetros establecidos que desencadena la indemnización al asegurado, independientemente de que exista un daño o no. El monto de indemnización al asegurado, se basará en el nivel de intensidad de la región afectada, determinando la proporción de indemnización de la región afectada por la suma asegurada establecida por el asegurado. La cobertura que estará amparando este seguro, es ocasionada por el cumplimiento de los parámetros que desencadenan la indemnización dada la ocurrencia de un terremoto, pero si varios de éstos ocurren dentro de un periodo de 72 horas consecutivas a partir de la ocurrencia del primer evento, se atenderá como si se tratará de un mismo evento y la indemnización se realizará como un solo evento.
- Límite Máximo de Responsabilidad. El que se encuentre contratada como monto de suma asegurada contratada.
- Deducible. Este seguro paramétrico no aplica un monto por parte del asegurado, es decir, no aplica ningún esquema de deducible.
- Coaseguro. Este seguro paramétrico no aplica ninguna participación en la reclamación por parte del asegurado, es decir, no aplica ningún esquema de coaseguro.
- Exclusiones. Riesgos sobre los bienes, resultantes de la ocurrencia de un Terremoto cuando éste no cumpla con los parámetros establecidos para desencadenar el pago del Seguro Paramétrico.

5. METODOLOGÍA DEL SEGURO PARAMÉTRICO

Información estadística

La información utilizada en el desarrollo de este trabajo considera las siguientes fuentes.



- Catálogo de sismos del SSN, considerando la sismicidad histórica de 01/01/1900 al 31/01/2019, todas las magnitudes, todas las profundidades, de toda la República Mexicana.
- El SSN es la entidad la cual establece y mantiene una red de monitoreo de sismos en el país. Mantiene un monitoreo continuo de los fenómenos sísmicos que tienen lugar en el país, usando instrumentos de aceleración, velocidad y desplazamiento.
- Esta entidad distribuye la información de manera oportuna y eficiente de la localización y magnitud de un sismo. Por otro lado, si la red lo permite, se proporciona a las instancias correspondientes los parámetros necesarios para emitir alertas tempranas o iniciar protocolos de protección civil.
- Además del catálogo de sismos históricos, otra fuente de información estadística considerada corresponde al Sistema de Información sobre Riesgos, el cual integra todos los mapas del Atlas Nacional de Riesgos, de peligros, exposición, vulnerabilidad de los Sismos históricos que se encuentran en esta información.
- Mapas Ageb de riesgo sísmico de la Ciudad de México.
- Estadística de viviendas en la Ciudad de México por Alcaldía, a través del Instituto Nacional de Estadística y Geografía con información actualizada a 2015 (cf. Anónimo (2015)).
- Información sobre el volumen de las viviendas del país, sus características de tamaño, construcción, así como el número de ocupantes.
- El INEGI es un organismo público con autonomía técnica y de gestión, personalidad jurídica y patrimonio propios, responsable de normar y coordinar el Sistema Nacional de Información Estadística y Geografía.

Estadística descriptiva. El análisis considera la información histórica de los sismos en el país, desde 1900 hasta el año 2019, es decir, 119 años de historia de los sismos registrados a través del Catálogo de sismos del SNN.

El estudio e investigación de los terremotos de forma histórica es de gran importancia para entender la naturaleza de catástrofes a grandes escalas, en la actualidad se comenzaron a elaborar catálogos de sismos en función de las fechas y lugares de ocurrencia, a pesar de que se tienen registros desde el año 1900 más adelante se observa que aún no es posible considerar la información desde esa fecha, dada la calidad de los registros sísmicos.

En la Figura 13 se observan el número de sismos regis-

trados por año, y se puede apreciar que a partir de 1973, los instrumentos de medición se mejoran, con registros más frecuentes, anteriormente el registro de sismos es casi nula, por otro lado, también se muestra que en los últimos años, el número de sismos registrados ha incrementado de forma relevante.

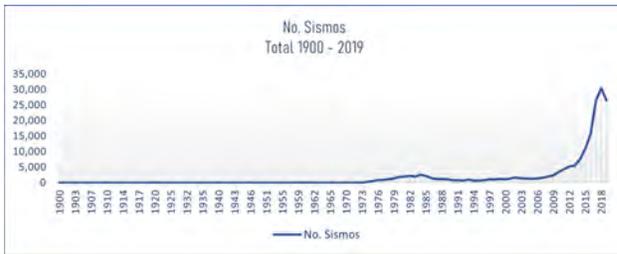


Figura 13 Número de sismos registrados de 1900 a 2019 en México.

En la la Figura 14 se puede apreciar que el número de sismos ha incrementado en las últimas décadas y no solo de magnitud baja sino también de magnitudes mayores a cuatro grados en la escala de Richter.

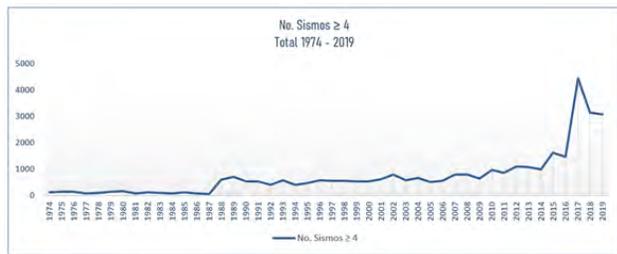


Figura 14 Sismos acumulados a partir de cuatro grados en la escala de Richter (1974 – 2019).

En la tabla siguiente, y las Figuras 15 y 16 se puede apreciar la frecuencia de los sismos de 1974 a 2019 de acuerdo a la magnitud en grados Richter. Observe que los sismos de magnitud baja son de alta frecuencia, mientras que los sismos de magnitud relevante son de baja frecuencia, pero de gran severidad.

Magnitud x_i	Frecuencia absoluta n_i	Frecuencia absoluta acumulada N_i	Frecuencia relativa f_i	Frecuencia relativa acumulada F_i
1	2	2	0.000012	0.000012
1.3	6	8	0.000036	0.000048
1.6	30	38	0.000179	0.000226
1.9	141	179	0.000839	0.001066
2.2	362	541	0.002155	0.003221
2.5	955	1,496	0.005686	0.008907
2.8	1,665	3,161	0.009913	0.018820
3.1	7,803	10,964	0.046456	0.065276
3.4	29,593	40,557	0.176187	0.241462
3.7	57,969	98,526	0.345128	0.586590
4	46,647	145,173	0.277720	0.864310
4.3	14,441	159,614	0.085977	0.950287
4.6	4,796	164,410	0.028554	0.978841
4.9	1,515	165,925	0.009020	0.987860
5.2	1,149	167,074	0.006841	0.994701
5.5	443	167,517	0.002637	0.997339
5.8	211	167,728	0.001256	0.998595
6.1	101	167,829	0.000601	0.999196
6.4	45	167,874	0.000268	0.999464
6.7	44	167,918	0.000262	0.999726
7	18	167,936	0.000107	0.999833
7.3	14	167,950	0.000083	0.999917
7.6	8	167,958	0.000048	0.999964
7.9	3	167,961	0.000018	0.999982
8.2	2	167,963	0.000012	0.999994
8.5	1	167,964	0.000006	1.000000
Total	167,964	167,964	1.000000	1.000000

Figura 15 Frecuencia sísmica de 1974 a 2019 en México. Fuente: SSN.

Número de sismos	167,964
Media	3.69
Desviación estándar	0.41
Magnitud mínima	1.00
Percentil 0.25	3.50
Percentil 0.5	3.70
Percentil 0.75	3.90
Magnitud máxima	8.20



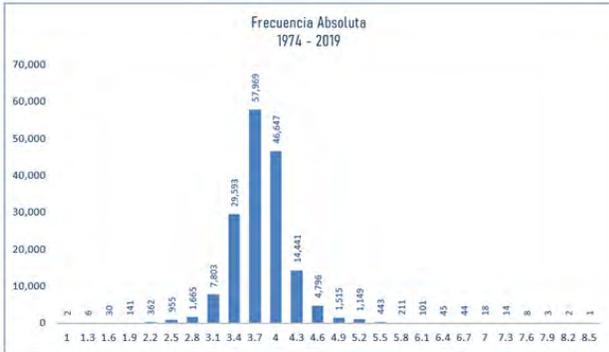


Figura 16 Frecuencia sísmica de 1974 a 2019 en México. Fuente: SSN.

En este trabajo, el enfoque está en aquellos sismos que ocasionan daños económicos de forma importante y toma sentido contar con un seguro, en la siguiente gráfica se muestran los sismos mayor o iguales a seis grados en la escala de Richter, en donde son frecuentes aunque no implican daños en todos ellos, los más altos en la historia analizada, se observan ocho sismos con magnitud mayor o igual a 7.5 grados Richter en los últimos 46 años. Vea la Figura 17,

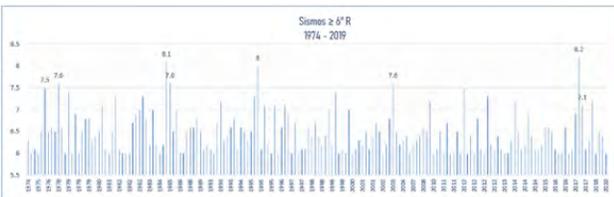


Figura 17 Sismos con magnitud a partir de seis grados en la escala de Richter (1974 – 2019). Fuente: SSN.

Determinación del parámetro o trigger

El modelo establecido en este trabajo corresponde a un seguro paramétrico ante un sismo. En el estudio que se realiza a continuación, se establecen los parámetros que desencadenan la indemnización “trigger” *Uso común en idioma inglés para indicar el umbral que desencadena el pago del evento ocurrido.* Este modelo se basa en dos importantes componentes:

- Determinación del parámetro que desencadenará la indemnización. A través de la probabilidad de excedencia y el periodo de retorno se propondrá



la magnitud del sismo, el cual debe cumplir para desencadenar la indemnización del evento.

- Una vez que ocurre un sismo cuya magnitud cumple con el umbral que desencadena el pago, se determinará el monto de indemnización basado en la percepción del daño, el cual se determinará a través de la intensidad medida en Escala de Mercalli Modificada, donde a raíz de la ocurrencia del evento, la intensidad determinará el grado de percepción de la intensidad del sismo en la Ciudad de México, y que de acuerdo con el estudio, se define el monto de indemnización.

De acuerdo con lo anterior, iniciaremos con el análisis para lograr proponer cuál sería el umbral adecuado que determinará el desencadenamiento del seguro.

Identificamos cuántos sismos de magnitud i ocurren en el año j , obteniendo una tabla en donde las columnas representan las magnitudes con $i = 4.0, 4.1, 4.2, 8.1, 8.2$, llegando hasta la magnitud 8.2, dado a que es la magnitud más grande registrada en México. Por otro lado, las filas se conforman por cada año de 1974 a 2019, o sea, $j = 1974, 1975, \dots, 2019$. Así

$$s_{i,j} = \text{Número de sismos de magnitud } i \text{ en el año } j.$$

Ahora, del número de sismos de magnitud i en cada año, obtenemos el número de sismos acumulados de magnitud mayor o igual que i , para el año j :

$$S_{i,j} := \sum_i^{8.2} s_{i,j}.$$

En la Figura 18 se muestra el número de sismos acumulados.

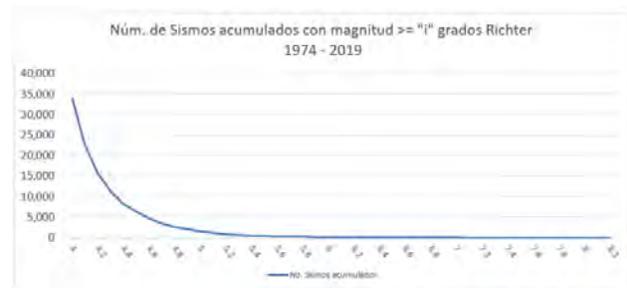


Figura 18 Frecuencia sísmica. Fuente: SSN.

Probabilidad de excedencia y periodo de retorno En los eventos catastróficos, es común hablar del periodo de

retorno y tasa de excedencia, dado a que estos indicadores marcan el periodo de recurrencia de los sismos de magnitudes altas.

Por lo que parte de esta sección tratará justamente de explicar y estimar el periodo de retorno y tasa de excedencia dada la estadística historia de los sismos en el país.

El periodo de retorno de un terremoto de magnitud superior o igual a un sismo s_i representa el número promedio de años necesarios para la ocurrencia de tal evento. Por otro lado, la tasa de excedencia de una intensidad/magnitud de un terremoto se define como el número de veces por unidad de tiempo en el que el valor de esa intensidad/magnitud sísmica es excedido. Así $P(S \geq s_{i,1})$.

Por ejemplo, dado el análisis empírico, sabemos que los sismos de magnitud es mayor o igual a siete grados en la escala de Richter tienen un periodo de retorno de dos años. Esto corresponde a una probabilidad de excedencia del 50 % en un año cualquiera.

Con la información anterior, procederemos a calcular la probabilidad de excedencia y el periodo de retorno, a través del método empírico basados en la historia. Además comprobaremos estos cálculos utilizando la llamada Ley de Gutenberg–Richter aplicando la función logarítmica. La Figura 19 muestra los resultados usando el método determinista.

Magnitud (i)	Número de terremotos	N. Número de sismos con magnitud $\geq M$	Probabilidad de que No Ocurra un Sismo $\geq i$ en 1 año	Probabilidad de excedencia magnitud $\geq i$ (excedencia por año)	Periodo de retorno
6.5	20.00	78.00	0.24	0.76	1.31
7.0	5.00	28.00	0.54	0.46	2.19
7.3	4.00	14.00	0.76	0.24	4.18
7.5	2.00	8.00	0.85	0.15	6.57
8.0	1.00	3.00	0.93	0.07	15.33
8.1	1.00	2.00	0.96	0.04	23.00
8.2	1.00	1.00	0.98	0.02	46.00

Figura 19 Periodo de retorno (método determinista)

En la Figura 20 se observa el comportamiento de la ocurrencia de los sismos conforme avanza el nivel de magnitud, refleja que durante los 46 años analizados (1974–2019) siempre ocurre al menos un sismo con magnitud mayor o igual a 4.5 grados Richter, lo mismo para magnitudes mayores o iguales a 5.5 grados Richter, y también se observa que el número de años de ocurrencia de al menos un sismo empieza a disminuir a partir de 5.7 grados Richter. Por ejemplo, durante 35 de los 46 años analizados, se ha presentado al menos un sismo magnitud mayor o igual a 6.5 grados Richter.



Figura 20 Años de ocurrencia de 1974–2019.

Aplicación de Ley de Gutenberg–Richter

Con la información histórica de 1974 a 2019 determinaremos el periodo de retorno y probabilidad de excedencia a través de una función logarítmica. Nuestro cálculo se basa en la Ley de Gutenberg–Richter que establece una función que relaciona la frecuencia de ocurrencia de eventos sísmicos de magnitud mayor o igual a una magnitud del sismo M en un determinado periodo de tiempo y en cierta zona de estudio. Esto es

$$\ln N = a - bM, \quad (1)$$

donde N es el número de sismos de magnitud igual o mayor que M , b es la pendiente de la relación, que representa la proporción entre el número de sismos grandes y pequeños en la zona; y a es la ordenada al origen a partir de la cual se puede estimar la tasa anual de terremotos que superan una magnitud o intensidad de referencia.

Aplicamos (1) a la información con la que disponemos para estimar la recurrencia de sismos, y extrapolamos hacia un periodos más largo.



Figura 21 Sismos acumulados.

La Figura 21 muestra la información empírica, mientras que la Figura 22 muestra la estimación dada por (1).





Figura 22 Estimación a partir de (1).

Con lo anterior podemos calcular la probabilidad de excedencia μ , como la probabilidad de que, dada la ocurrencia de un sismo, la magnitud sea mayor o igual a s_i grados en la escala de Richter. Es decir:

$$\mu := \frac{SY_m}{TY} := \mathbb{P}(S \geq s_{i,1}),$$

donde TY es el total de años analizados 1974-2019, SY_m es el número de años en los que se registró al menos un sismo con magnitud de al menos m grados en la escala de Richter. De este modo, definimos el período de retorno como $\rho := 1/\mu$.

Realizamos una regresión lineal con las estimaciones dadas por (1) para obtener la tabla de frecuencias con en un periodo mucho más amplio. Esto nos da una mejor estimación de la probabilidad de excedencia y el período de retorno, en la Figura 23 se observa la información registrada complementando con la regresión lineal a partir de la aplicación de (1).



Figura 23 Período de retorno.

La Figura 24 muestra algunos resultados aplicando (1).



Magnitud (i)	Número de terremotos	N. Número de sismos con magnitud <= M	Exp(s) / Regresión Lineal	Probabilidad de excedencia magnitud >= s (excedencia por año)	Periodo de retorno
6.5	20.00	78.00	62.87	76.1%	1.31
7.0	5.00	28.00	21.35	45.7%	2.19
7.3	4.00	14.00	11.17	23.9%	4.18
7.5	2.00	8.00	7.25	15.6%	6.34
8.0	1.00	3.00	2.46	5.4%	18.68
8.1	1.00	2.00	1.98	4.3%	23.19
8.2	1.00	1.00	1.60	3.5%	28.78
8.3	1.00	1.00	1.29	2.8%	35.71
8.4	1.00	1.00	1.04	2.3%	44.32
8.5	1.00	1.00	0.84	1.8%	55.01

Figura 24 Período de retorno usando la ley de Gutenberg-Richter.

Umbral/trigger. De acuerdo al nivel de riesgo y exposición de su cartera en vigor, la aseguradora podrá determinar la magnitud que desea establecer para disparar el Seguro Paramétrico. A manera de ejemplo, en la Figura 25 se establece una magnitud por ejemplo de 7.5 grados en la escala de Richter, indicando un período de recurrencia de aproximadamente 6.3 años, con una probabilidad de excedencia de 0.15762.



Figura 25 Período de retorno-selección de umbral.

Con los resultados anteriores, podemos determinar el parámetro que desencadena el Seguro Paramétrico. Sin embargo, sabemos que dada la ocurrencia de un sismo y cumpliéndose el parámetro establecido, el monto de indemnización dependerá de la intensidad en la zona afectada, por lo que nos lleva al resolver el siguiente dilema:

Dado el cumplimiento del parámetro, ¿cuál debe ser la proporción de indemnización? Ya que dada la magnitud establecida, nada implica que la indemnización tenga la misma intensidad o percepción del daño en el polígono de estudio, en este caso en la Ciudad de México.

Escala de indemnización del pago

Dado el umbral establecido a través de la magnitud definida en escala de grados Richter, cuando ocurra dicho evento, para llevar a cabo el pago, éste se definirá de forma escalonada, con base en la intensidad o percepción del daño, a través de la Escala de Mercalli Modificada (EMM), la cual se refiere al efecto que produce un temblor en el suelo, las construcciones y a las personas. El valor de la intensidad depende del lugar en que se mide y se expresa con números romanos utilizando la EMM.

Otra medida que también podría utilizarse dentro del modelo es la Aceleración Sísmica, que indica la aceleración del suelo ocasionado por el sismo y que se traduce en un posible daño potencial. Sin embargo, en este trabajo nos concentramos en la EMM. Vea la Figura 26.

Escala de Mercalli Modificada	Aceleración Sísmica (g)	Percepción del Temblor	Potencia del daño
I	< 0.0017	No apreciable	Ninguno
II y III	.0017 - .014	Muy leve	Ninguno
IV	.014 - .039	Leve	Ninguno
V	.039 - .092	Moderado	Muy leve
VI	.092 - .18	Fuerte	Leve
VII	.180 - .34	Muy fuerte	Moderado
VIII	.34 - .65	Severo	Fuerte
IX	.65 - 1.24	Violento	Muy fuerte
X+	> 1.24	Extremo	Extremo

Figura 26 EMM y Aceleración sísmica.

Como se mencionó en la determinación del “trigger” del seguro, la Compañía es quien deberá de seleccionar la magnitud del sismo que desencadene el pago, y su monto, considerando la exposición al riesgo en la que se encuentra su cartera y el grado de riesgo que desea asumir. Para efectos de este trabajo, la Figura 27 muestra una propuesta que establece el pago escalonado que se llevará a cabo, a través de la EMM, la Aceleración Sísmica (g), complementando con el nivel de Indemnización del pago.

Magnitud	Escala de Mercalli Modificada	Aceleración Sísmica (g)	Indemnización
>= 7.5 Grados Richter	V.	.039 - .092	0%
	VI.	.092 - .18	50%
	VII.	.180 - .34	70%
	VIII	.34 - .65	100%
	IX.	.65 - 1.24	100%
	X+	> 1.24	100%

Figura 27 Porcentaje de indemnización.

Por otro lado, es importante indicar que la Compañía puede establecer diferentes esquemas para cubrir el monto de indemnización, de acuerdo a los niveles de riesgo que desea asumir. Adicional a la forma de pago, se proponen diferentes esquemas en monto de aseguramiento, tal como se indica en la tabla que mostramos a continuación. Se trata de varios escenarios bajo el supuesto de indemnización al 100 %, es decir, se cumple el “trigger” y además la intensidad del sismo es mayor o igual a VIII en la EMM.

Escenario	Monto a Indemnizar
1	\$500,000
2	\$300,000
3	\$100,000
4	\$50,000

El siguiente reto es determinar la indemnización y la proporción del pago dependiendo de la intensidad del sismo ocurrido. Esto es de suma importancia para determinar la cuota de riesgo y por ende la prima que pagará el asegurado, por lo que para llegar a ello, es necesario calcular la Pérdida Esperada. En este caso, para ejemplificar se analizará para la Ciudad de México. Sin embargo, la metodología podría extenderse a cualquier otra parte de la República Mexicana.

Para determinar la Pérdida Esperada, se considera el modelo Colectivo de Frecuencia y Severidad, considerando una cartera de riesgos expuestos. Por lo que iniciaremos con los datos estadísticos con supuestos aplicados para la zona de estudio de este modelo.

Supuestos de la cartera.

- Cartera Expuesta. Para determinar la cartera asegurada, usamos Anónimo (2015), a fin de contar con una segregación de los datos de las viviendas por Alcaldía. Por otro lado, de acuerdo con las cifras de la Asociación Mexicana de Instituciones de Seguros, indica que el porcentaje de penetración del seguro de la vivienda en México se encuentra por debajo del 6.5 %, sin considerar cartera hipotecaria. Para efectos del modelo, se considerará cómo el número de viviendas aseguradas el 10 % de las viviendas registradas de cada Alcaldía, se propone un índice mayor al que actualmente se registra como viviendas que cuentan con un seguro, suponiendo que se trata de un seguro con mayor alcance a diferentes sectores de la población. En la Figura 28 se muestra el total



de viviendas y el número de viviendas aseguradas bajo el supuesto de mayor penetración del seguro, otra opción sería a través del Gobierno en la cual contribuya con el pago del seguro a través del predial, a fin lograr contar con un seguro que mitigue los gastos de forma relevante en la ocurrencia de un sismo de esta magnitud.

Alcaldía	No. Viviendas	No. Viviendas Aseguradas (10%)
Total	2,599,081	259,908
002 Azcapotzalco	118,922	11,892
003 Coyoacán	186,283	18,628
004 Cuajimalpa de Morelos	55,439	5,544
005 Gustavo A. Madero	324,207	32,421
006 Iztacalco	110,118	11,012
007 Iztapalapa	495,523	49,552
008 La Magdalena Contreras	66,674	6,667
009 Milpa Alta	34,050	3,405
010 Álvaro Obregón	214,743	21,474
011 Tláhuac	94,569	9,457
012 Tlalpan	190,545	19,055
013 Xochimilco	107,224	10,722
014 Benito Juárez	159,504	15,950
015 Cuauhtémoc	187,722	18,772
016 Miguel Hidalgo	127,922	12,792
017 Venustiano Carranza	125,636	12,564

Figura 28 Número de viviendas por Alcaldía.

- Área Geográfica susceptible a riesgo sísmico. Para determinar la prima o cuota de riesgo, se determina la pérdida esperada. Sin embargo, dado a que se trata de un seguro paramétrico, los modelos catastróficos existentes no son útiles para este tipo de seguros, ya que estos modelos consideran las características constructivas y se realiza una valuación en caso de la ocurrencia del evento y como ya lo hemos comentado, para este seguro no es de interés el tipo de construcción ya que no se va a realizar un avalúo de los daños.

Para determinar la pérdida esperada, se recurre a los Mapas Ageb de Peligro Sísmico¹⁰, el cual señala el nivel de Intensidad que podría percibirse un sismo de acuerdo con las características del suelo, tal como se menciona en el Capítulo X. Estos mapas asignan un nivel de intensidad en “Muy Alto”, “Alto” y “Medio” observando que prácticamente toda la

ciudad se encuentra en estos tres niveles. Por lo que para determinar el número de posibles viviendas afectadas (frecuencia), se asigna el siguiente nivel de afectación.

Si ocurre un sismo que rebase el “trigger” de acuerdo con el Peligro Sísmico en la partición de cada Alcaldía en polígonos de acuerdo a los Mapas Ageb, el número de viviendas afectadas se dará de la siguiente forma:

- Muy Alto: Número de viviendas afectadas (100 %)
- Alto: Número de viviendas afectadas (50 %)
- Medio: Número de viviendas afectadas (30 %)
- Bajo: Número de viviendas afectadas (0 %)

Con esta proporción se establece el porcentaje del área afectada. Con ello estableciendo el número estimado de viviendas con posible afectación por Alcaldía que habría de contar con alguna indemnización, describiéndose de la siguiente forma:

$$IES = \frac{n_1 + \dots + n_{16}}{N} \times SA \times I, \quad (2)$$

donde N es el número de viviendas aseguradas total de la CDMX, n_w es el número de viviendas afectadas por alcaldía, $w = 1, \dots, 16$, SA es la Suma Asegurada contratada, e I es el porcentaje de indemnización con base en la EMM.

En la Figura 29 se observan los sismos de los años de estudio que igualan o superan los 7.5 grados en la escala de Richter.

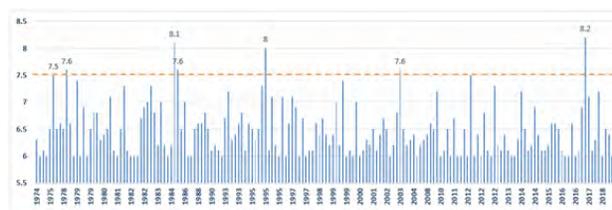


Figura 29 Sismos con magnitud a partir de 7.5 grados en la escala de Richter de 1974-2019.

Según la Figura 29, se han registrado siete sismos desde 1974 a 2019 que superan los 7.5 grados en la escala de Richter. Sin embargo, sólo uno de éstos supera el umbral VI (Intensidad Fuerte) de la EMM en la Ciudad de México, este corresponde al sismo de 1985 (vea la Figura 30).

¹⁰ Gobierno de la Ciudad de México. Indicador de sismos del módulo de peligros del Atlas de riesgos de la Ciudad de México a nivel Ageb.





Figura 30 Sismos de 1985.

En 2017 ocurrieron otros dos sismos que también fueron importantes. El primero de ellos acaeció el 7 de septiembre, y tuvo una magnitud 8.1 grados en la escala de Richter. Su epicentro estuvo en Pijijiapan, Chiapas. Aunque este evento podría entrar dentro de nuestro análisis, no superó el umbral de VI en la EMM en la Ciudad de México, así que la indemnización sería nula, pues la intensidad en la CDMX fue menor a VI. El segundo sismo ocurrió el 19 de septiembre. Tuvo una magnitud 7.1 grados en la escala de Richter. Su epicentro estuvo en Chiautla de Tapia, Puebla. Y aunque este evento sí causó daños significativos y el umbral fue mayor o igual a VI de la EMM, no rebasó el “trigger” que desencadena el pago, que es de 7.5 grados en la escala de Richter.

Cálculo de la prima a cobrar

Con base en (2), determinamos la pérdida esperada, PE , ya que necesitamos aplicar que se cumpla el “trigger”, es decir, que la indemnización se aplicará siempre y cuando se desencadene el parámetro, por lo que aplicaremos a la pérdida inicial la probabilidad de excedencia. Esto es

$$PE = \mu \cdot ES.$$

Así estimamos la prima de riesgo, y cada compañía deberá de establecer sus índices de recargo, considerando sus propios Gastos de Administración, Costo de Adquisición, Utilidades, etc., a fin de determinar la Prima de Tarifa: $PT = PE / (1 - \sigma)$ y la cuota al millar: $C = 1000 \times PT / SA$ que finalmente se cobrará al asegurado.

6. CONCLUSIONES

En general se puede decir que los desastres naturales tienden a tener impactos económicos crecientes, derivados de los constantes cambios con infraestructura y vi-

viendas en aumento en zonas de riesgo, aumento de la población, incluyendo además el cambio climático.

A pesar de la existencia de los seguros tradicionales, en muchas ocasiones se ha observado que su cobertura no ha sido suficiente, que las indemnizaciones asociadas a ellos suelen llegar a ser complejas, poco claras ante la sociedad, y las personas afectadas llegan a tardar años en lograr una recuperación. Todo esto, aunado a que en México no existe una cultura arraigada de aseguramiento, hace que el precio de este tipo de seguros no sea accesible para una gran parte de la población. Esto ocasiona que cuando se produce un sismo, la recuperación económica y el resarcimiento de los daños puede no darse nunca. Ante esto, los seguros paramétricos, son una alternativa que las aseguradoras pueden ofrecer para apoyar a sus asegurados, y sobre todo, a quienes nunca han contado con un seguro, o a quienes no cuentan con incentivos suficientes para adquirir un seguro tradicional. Este tipo de seguros son también una opción para que los gobiernos federal y estatal gestionen catástrofes.

Como resultado de este proyecto, se determinan las principales características en lo que corresponde a un seguro paramétrico, la transparencia y la velocidad en la que se puede atender a la población asegurada ante un evento. Se establece la metodología para determinar el “trigger” que desencadenará el pago, el cual puede ser ajustado con base en el nivel de riesgo que la compañía esté dispuesta a asumir. Dentro de esta metodología se proponen establecer diferentes montos de indemnización, de tal forma que se puede adaptar a las necesidades de los diferentes asegurados.

Las herramientas técnicas utilizadas se basan en la consideración de la información histórica para realizar una proyección. Recordando que este tipo de seguros no implica reponer el bien afectado, como los seguros tradicionales, sino que, por su acotación al pago en un monto fijo (sin importar si el bien está dañado o no), permite que se considere como un complemento de un seguro tradicional. Puede usarse como un deducible, o como un apoyo ante un evento que pueda sacar de la situación crítica al asegurado ante la presencia de un evento catastrófico.

La metodología planteada en el desarrollo del producto permite ser ajustada a diferentes niveles, de tal forma que se podría modificar tanto el “trigger” que desencadena el seguro, como la proporción del pago alineado a la percepción del daño de acuerdo a la Escala de Mercalli Modificada o su equivalente a la Aceleración del Sismo.

Dado a que existe una figura ajena a la aseguradora que informa del desencadenamiento del seguro, se cum-



ple que otro aspecto fundamental de este producto es que la población asegurada goza de una completa transparencia. Naturalmente, esto genera confianza hacia este tipo de productos. Dentro de esta propuesta se establece que esta tercera entidad podría ser el CENAPRED o el ISS, que son completamente ajenas entre sí y no tienen interés pecuniario alguno.

Es importante continuar ideando nuevas formas de aseguramiento a fin de hacer frente ante sismos de gran magnitud. Haciendo referencia a algunos problemas que una población puede llegar a enfrentar en los siguientes puntos se plasma lo que comenta Nassim Nicholas Taleb en Taleb (2007):

- Nos centramos en segmentos preseleccionados de lo visto, y a partir de ahí generalizamos en lo no visto: el error de la confirmación.
- Nos engañamos con historias que sacian nuestra sed platónica de modelos distintos: la falacia narrativa.
- Nos comportamos como si el Cisne Negro no existiera: la naturaleza humana no está preparada para los cisnes negros.
- Lo que vemos no es necesariamente todo lo que existe. La historia nos oculta los Cisnes Negros y nos da una idea falsa sobre las probabilidades de esos sucesos: es la distorsión de las pruebas silenciosas.
- Tunelamos: es decir, nos concentramos en una cuantas fuentes bien definidas de la incertidumbre, en una lista demasiado específica de Cisnes Negros (a expensas de aquellos que nos nos vienen a la mente con facilidad).

El Cisne Negro nos deja la reflexión de que, a pesar de lo que se ha observado en la historia, debemos de estar preparados para sismos en un futuro, que pueden llegar a suceder y a tener un impacto jamás antes visto.

REFERENCIAS

- Alarcón, J., A. Conde, and G. Moreno-Díaz, 2009 *Desarrollo y Operación de los Seguros Paramétricos en Latinoamérica*. Universidad de la Sabana, Bogotá.
- Anonymous, 2020 *NatCat Service*. Munich Re, Disponible [aquí](#).
- Anonymous, 2022 *United States Geological Survey*. National Geographic, Disponible [aquí](#).
- Anónimo, 2012 *Catástrofes de la naturaleza y grandes siniestros antropógenos 2011*. Suiss Re.
- Anónimo, 2014 *Gestión del riesgo de desastres para un desarrollo con capacidad de adaptación*. Grupo Banco Mundial, Washington, DC 20433.



Anónimo, 2015 *Censos y conteos de población y vivienda*. Instituto Nacional de Estadística y Geografía.

Anónimo, 2017 *Causas, características e impactos*. Servicio Geológico Mexicano.

Anónimo, 2020 *Parametric disaster Insurance*, Kansas City. National Association of Insurance Commissioners.

Patton, J., 2019 *Todo lo que necesitas saber acerca de un seguro paramétrico*. Trabajo en progreso.

Secretaría de Hacienda y Crédito Público, 3 de diciembre de 2010. Acuerdo por el que se emiten las reglas de operación del fondo de desastres naturales. Diario Oficial de la Federación Disponible [aquí](#).

Taleb, N. N., 2007 *El cisne negro*. Paidós Ibérica, S.A., Barcelona, España.

Tarbut, E. and F. Lutgens, 2001 *Ciencia de la Tierra*. Pearson Education.



Claudia Vázquez Ramos es una actuaría egresada de la Facultad de Ciencias de la Universidad Autónoma de México. Maestría en Administración de Riesgos en la Universidad Anáhuac Campus Sur. Tiene Diplomados Directivos en el Instituto Tecnológico Autónomo de México y Programa de Desarrollo Ejecutivo en Alemania a través de la Reaseguradora Múnich Re. Cuenta con experiencia por más de 20 años en Seguros de Daños. Actualmente se desempeña como Subdirectora Técnica en el Seguro de Daños en Grupo Nacional Provincial.

Actualmente se desempeña como Subdirectora Técnica en el Seguro de Daños en Grupo Nacional Provincial.

Diplomado en

Riesgos Globales

Modalidad:

Síncrona (el asistente debe conectarse el día de su clase).

Inicio:

5 de agosto de 2022

Contenido:

- Módulo I.** Introducción al estudio de los riesgos globales
- Módulo II.** La ética en el entorno empresarial
- Módulo III.** Riesgos económicos y empresariales
- Módulo IV.** Riesgos ambientales y ecológicos
- Módulo V.** Riesgos geopolíticos
- Módulo VI.** Riesgos tecnológicos y la ciberseguridad
- Módulo VII.** Riesgos sociales y análisis de caso

DESCUENTO A EGRESADOS
20%

<https://www.anahuac.mx/mexico/EscuelasyFacultades/actuarial/diplomado-en-riesgos-globales>

Facultad de
Ciencias Actuariales

GRANDES LÍDERES

Y MEJORES PERSONAS

IMESFAC
50
ANIVERSARIO

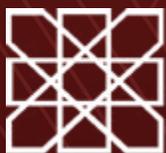
Información:

Mtra. Martha Reyes Villa
martha.reyes@anahuac.mx
Tel.: 55 56 28 88 00 ext. 456

anahuac.mx/mexico/educacioncontinua

PREMIO FUNDADORES

**COVID-19: Modelo de
estimación de cambio en
primas directas emitidas
para eventos críticos**



COVID-19: Modelo de estimación de cambio en primas directas emitidas para eventos críticos

Iván David Vázquez Álvarez*

*Núcleo Life Seguros

RESUMEN Este trabajo obtuvo el tercer lugar en el Segundo Premio Fundadores, organizado y patrocinado por la Asociación Mexicana de Actuarios. Este artículo desarrolla un primer modelo capaz de estimar el impacto de la pandemia en el sector asegurador mexicano, para ello se formuló un modelo general de estimación de primas sustentado en el histórico de cambios causados por eventos atípicos. Se realizó una contextualización del estado de los efectos causado a nuestro sector por la pandemia a lo largo de los primeros meses de su desarrollo, incluyendo las estadísticas relevantes (hasta agosto de 2020); se determinaron los periodos críticos de mayor relevancia de casi dos décadas en México (crisis económica, desastres naturales mayores, etc.) y se procedió a revisar los cambios en prima emitida durante el mismo periodo. Con el contexto descrito se formuló un modelo de estimación de cambio en primas emitidas directas anuales. Los resultados del modelo y fueron validados contra el cambio real del sector. De tal forma que, el modelo propuesto sirva como un primer ensayo para realizar modelos más robustos que puedan estimar con aún más precisión los cambios en primas del sector asegurador mexicano a futuro. Finalmente se proponen acciones que el sector puede realizar para lograr mantener la estabilidad en períodos de severa disrupción.

Palabras clave

Eventos disruptivos
Estimación



Derechos reservados © 2022 por el Colegio Nacional de Actuarios
Última actualización del manuscrito: 25 de junio de 2022
Este artículo es publicado por el Colegio Nacional de Actuarios (CONAC) y contiene información de una variedad de fuentes. Es un trabajo cuyo fin es únicamente informativo y no debe interpretarse como asesoramiento profesional o financiero. El CONAC no recomienda ni respalda el uso de la información proporcionada en este estudio. El CONAC no ofrece ninguna garantía, expresa o implícita, ni representación de ningún tipo y no asume ninguna responsabilidad en relación con el uso o mal uso de este trabajo.

1. EL SECTOR ASEGURADOR FRENTE A LA PANDEMIA

Impacto y respuesta del sector asegurador a nivel mundial

En términos generales, el virus COVID-19 se propagó desde el oriente hacia cada país del globo, comenzando en China a finales de 2019, llegando a Europa a partir de febrero/marzo de 2020, para finalmente extenderse por todo el mundo. Al revisarse la respuesta de las aseguradoras en diferentes partes del mundo, el ímpetu general fue el de generar apoyos y facilidades tanto a asegurados como a prospectos. Por los marcos regulatorios, propios y obligados para el desarrollo sustentable del sector, las instituciones cuentan con un grado de solvencia tal, que no se vislumbró a nivel mundial un escenario de defaults o incumplimiento de las aseguradoras frente a sus asegurados.

En Asia, donde el virus atacó primero, los aseguradores tomaron medidas rápidas para responder a una situación que evolucionaba de forma acelerada. Para el segundo semestre de 2020 el sector asiático se encontraba en proceso de evaluar el impacto a largo plazo de la pandemia. En contraparte, en Europa y América del Norte, los aseguradores estuvieron bajo el ojo del huracán, configurando sus operaciones para abordar la contingencia y esforzándose por establecer protocolos suficientes para hacer frente a posibles (y ya visibles) picos de contagios subsecuentes.

Todavía es pronto para una situación que sin duda tendrá repercusiones e implicaciones durante muchos años. Sin embargo, algunos temas comunes ya se están aclarando para las aseguradoras de todo el mundo. El tema más evidente ha sido la brusquedad del impacto del virus y el efecto sustancial en la forma en que los aseguradores (junto con las empresas de todo tipo) llevan a cabo sus operaciones. Las compañías de seguros han tenido que desplazar casi toda su fuerza de trabajo para operar de forma remota, al tiempo que se enfrentan a un aumento significativo de la actividad en sus funciones de suscripción y de gestión de siniestros.

Liderazgo activo de las aseguradoras. De forma positiva, las aseguradoras participaron de forma activa y propositiva para hacer frente a la contingencia, apoyando a las empresas y a las comunidades en las que operan. Ejemplo de ello son China e Italia, que en la etapa inicial de la pandemia habrían sido de los países más afectados.

En el caso de China, múltiples aseguradoras ampliaron el alcance de la cobertura de las pólizas de salud

existentes para cubrir los costos de tratamiento y para los seguros de vida se amparó la muerte específica por COVID-19. Una de las principales aseguradoras de vida, por ejemplo, puso en marcha un programa especial de indemnización anticipada para los seguros vigentes y proporcionó a los agentes de seguros 10 millones de pólizas con suma asegurada por mil millones de yuanes (equivalente a 10,000 dólares americanos) para distribuirse de forma gratuita. Otras aseguradoras de salud implementaron esquemas contingentes de respuesta rápida para garantizar la pronta liquidación de las reclamaciones a los asegurados. También se proporcionó cobertura a millones de trabajadores de la salud y reporteros que trabajan en la zona más afectada, la provincia de Hubei en donde se ubica la ciudad de Wuhan. El panorama en Singapur y Hong Kong fue muy similar en cuanto a las extensiones gratuitas de cobertura, pese a que en la etapa inicial de la pandemia se logró evitar una propagación exponencial del virus.

En Italia, los gastos por servicios de atención médica fueron cubiertos en gran medida por el sistema de salud pública. Algunas de las principales aseguradoras diseñaron coberturas específicas que buscaron proteger a los asegurados frente al contagio por COVID-19, en algunos casos con productos específicos y en otros con coberturas adicionales a los planes vigentes. Estos fueron dirigidos tanto a empresas como a individuos. Por las circunstancias específicas del sector asegurador italiano, las pólizas de salud tradicionalmente cubren tres aspectos: indemnización monetaria diaria en caso de hospitalización, renta por convalecencia y servicios de asistencia. De tal forma que, para los planes individuales, las pólizas proporcionan un monto diario por hospitalización con un incremento en el valor monetario en caso de ingresar a cuidados intensivos. En cuanto a las pólizas para empresas, el esquema implementado fue la contratación de una póliza específica para COVID-19, independientemente de la existencia y posible concurrencia de otros planes de seguro médico.

Por último, cabe señalar los casos en lo que las aseguradoras, con base en una perspectiva de propósito social, donaron dinero, prestaron asistencia u otorgaron cobertura sin costo a los trabajadores de la salud (ejemplo es el caso mexicano, donde se otorgó a solicitud un seguro de vida sin costo al personal médico), además de que las mismas instituciones promovieron o se sumaron a campañas asistenciales a personas en situaciones de necesidad.

Intermediación interrumpida. En muchos países, existe una fuerte prevalencia de los agentes de seguros como



¹ Correo electrónico: ivan.david.vazquez@outlook.com

parte de los canales de venta y distribución de las compañías de seguros. Una consecuencia generalizada del virus han sido las repercusiones que ha tenido en las redes de intermediarios de seguros, mismas que suelen depender de las reuniones cara a cara con sus clientes para la venta de nuevos negocios. Pese a la importancia del contacto en los procesos de los agentes, la tecnología ya venía implementando paulatinamente en las diversas actividades de intermediación. En China las aseguradoras han implementado una política de proporcionar beneficios y apoyos sin costo para incentivar la colocación de seguros y como una forma de mantener la actividad del canal de distribución de agentes. Otros países están considerando la posibilidad de aumentar la compensación para estimular a los agentes en este período, dada la caída en el volumen de ventas.

A largo plazo, la crisis acelerará sin duda la digitalización de los canales de distribución para que los agentes puedan hacer más negocios de forma digital en lugar de cara a cara, lo que sin duda ampliará la oportunidad de las aseguradoras de desarrollar canales de ventas directa. Se espera que la forma en que los clientes quieren hacer negocios cambie, sin embargo, no es de esperarse que la intermediación de forma presencial desaparezca.

Disminución en primas. La disminución de la captación de primas, además de afectar a los intermediarios, es un problema grave para los aseguradores de no vida y multirramo. En términos más generales, en un escenario de recesión global las primas de grupos y colectivos presentan decrementos. El rubro PyME (pequeñas y medianas empresas), por ejemplo, ha sido un área de fuerte crecimiento para muchos aseguradores a nivel internacional, pero muchas pequeñas empresas buscarán formas de reducir los costos de sus seguros o simplemente cancelar sus pólizas de prologarse la pandemia; lo que pudiera implicar que el nivel de cobertura para los empleados y el de capacitación de prima no retornen rápidamente a su volumen previo a la pandemia.

Sin embargo, hay que tener en cuenta que en todos los aseguradores alrededor del mundo coinciden en que el impacto directo en las empresas de seguros no de vida, desde el punto de vista de la siniestralidad y solvencia de las aseguradoras, será probablemente limitado. Las exclusiones por pandemia incorporadas en productos como el seguro de interrupción de la actividad comercial y el seguro de viaje significan que la exposición de los aseguradores es limitada. Mientras tanto, en otras áreas, como la del automóvil, ya se ha producido una importante disminución de los siniestros, efecto de la reducción

del uso de los vehículos por parte de los asegurados. En consecuencia, también tenemos que considerar la posibilidad de que los asegurados puedan esperar o exigir algún tipo de concesión o descuento en sus pólizas.

Incertidumbre generalizada. El impacto en las operaciones sanitarias aún es difícil de determinar. Los seguros médicos varían significativamente para cada el país. Los esquemas de salud privados han evolucionado con base en el nivel de beneficios y eficiencia de la seguridad social de cada región. Habiendo pólizas que son complemento a los servicios provistos por el Estado, alternativas sustitutas y hasta esquemas integrados en los esquemas públicos. En muchos sentidos, los aseguradores han estado en primera línea en términos de concesiones, como la realización de pruebas gratuitas o la eliminación de otras barreras de acceso con el objetivo de ayudar a reducir la propagación de este virus y abonar a la imagen confianza que es indispensable que el sector proyecte hacia la población en general.

Sin embargo, en el frente de los seguros de vida, ya hay un patrón consistente en todo el mundo: el sector se enfrenta a un difícil camino por delante. La extrema volatilidad de los mercados bursátiles y, en algunos países (como en el caso de Italia), la volatilidad de los bonos del Estado, los tipos de interés nulos y la posibilidad de una recesión económica prolongada se combinan para ejercer una presión cada vez mayor sobre los coeficientes de solvencia y la liquidez. A nivel global, las cifras reflejan una industria debidamente capitalizada, sin embargo, el margen de maniobra se está reduciendo. La posición financiera de las instituciones de seguros puede agravarse a consecuencia de una menor captación de primas de vida y un aumento de los retiros para acceder al efectivo (valores garantizados).

Efectos previsible para el sector a nivel mundial. Los efectos previsible del sector dependerán de la naturaleza de las relaciones en cada país entre las aseguradoras, clientes, distribuidores y los reguladores. Sin embargo, existen una serie de tendencias y efectos que ya han iniciado a consecuencia de este entorno.

En primer lugar, no hay duda de que Covid-19 impulsará a aseguradoras y distribuidores a acelerar sus procesos de digitalización operativa y su forma de interactuar con los asegurados y prospectos. También se observa a las aseguradoras reduciendo su presencia física y facilitando a su personal la opción de trabajar remotamente. La transformación digital generará una tendencia de priorizar la automatización de los procesos que den



mayor eficiencia de costes y hagan más resiliente al sector. Anteriormente la resistencia operativa había estado en los radares de reguladores e instituciones durante algún tiempo, sin embargo, ahora se encuentra en el centro de su campo de visión. Y todos habrán pasado por una prueba de estrés en vivo de la que se podrán extraer muchas lecciones.

En un sentido más amplio, la situación del Covid-19 volverá a encender el debate sobre cuál debe ser exactamente el papel de los seguros en un incierto mundo en rápida evolución. El sector está proporcionando un enorme apoyo a los clientes y a las empresas durante este difícil momento. Pero el tema de la interrupción de las actividades comerciales vuelve a poner sobre la mesa la cuestión de cómo mitigar mejor los principales riesgos estructurales de la economía y de la sociedad.

Una pandemia también puede ser difícil de cuantificar y por ende de tarificar con base en un modelado actuarial. Es posible que esta cobertura o endoso sea demasiado caro para contemplarlo dentro de un plan. Sin embargo, se cuenta con evidencia reciente de que el sector ha demostrado ser innovador y sensible en eventos pasados. El seguro cibernético originalmente se consideró demasiado caro al surgir por primera vez, empero la respuesta de los aseguradores fue introducir cotas y limitantes para hacerlo más asequible, permitiendo a los asegurados reducir las pérdidas de un evento de este tipo.

Hoy, el sector asegurador mundial ha mostrado voluntad y un ímpetu de posicionarse como un participante que dio solución e hizo su parte a lo largo de un momento especialmente crítico. Sin embargo, este actuar es propio del concepto mismo del seguro. La respuesta parece ser la correcta por parte del sector, empero es previsible que las implicaciones de la pandemia generen cambios relevantes en el día a día de esta industria (cf. [KPMG \(2020\)](#).)

Implicaciones para los asegurados

La esencia del seguro es proteger a la sociedad y aunque no es posible amparar todos los eventos desafortunados, la oferta actual sí ha protegido contra muchos de los impactos financieros causados por la pandemia a través de los seguros de viajes, gastos médicos, esquemas de beneficios a empleados, planes indemnizatorios, seguro de vida por nombrar algunos.

Exposición del déficit en la relación aseguradora-asegurados Con la limitación de los canales presenciales, las instituciones trataron de aprovechar los canales digitales, actualizaron sus sitios de preguntas frecuentes y formatos

y realizaron una comunicación proactiva para gestionar la operación prioritaria. De tal forma que en la mayoría de los casos se lograron niveles de servicio aceptables.

Actualmente no existe un análisis independiente que sirva de apoyo para determinar la satisfacción de los asegurados respecto al actuar de las aseguradoras frente al COVID-19. Anterior a la pandemia, el seguro por su naturaleza ha requerido menos contacto físico rutinario con sus clientes en comparación con otras áreas de servicios financieros, situación que lo posiciona con un déficit en la relación con los asegurados. En promedio, las aseguradoras no están tan cerca de sus clientes como las organizaciones de otros sectores. Sin embargo, COVID-19 podría resultar ser un gran catalizador de la innovación en los seguros, encaminando a las instituciones en la búsqueda de mejorar la experiencia de los clientes.

Cambio en la percepción de la utilidad de los seguros

Las aseguradoras han aumentado significativamente su comunicación con los clientes, mostrando un alto grado de apoyo proactivo a sus asegurados. Existen numerosos ejemplos alrededor del mundo de compañías que están ofreciendo descuentos en el seguro de automóviles, dado que los niveles de conducción han disminuido y la consecuente reducción en la exposición al riesgo (vea [Scism \(2020\)](#)). En Australia, así como en algunos otros países, las aseguradoras de salud han ofrecido exenciones de pago prima tanto en los servicios médicos incluidos como en electivos y auxiliares, mismos que en momentos críticos de la pandemia no son han sido posible ser prestados (vea [Doherty \(2020\)](#)). En el Reino Unido, mientras tanto, algunas compañías han ofrecido asegurar sin costo el automóvil y ofrecer cobertura en el hogar a los trabajadores del Servicio Nacional de Salud (NHS), así como la ampliación del alcance de las pólizas empresariales, extendiendo la cobertura para cubrir a los empleados que estén laborando desde el hogar (cf. [Scott \(2020\)](#)).

Si bien todas estas son acciones positivas, también sirven de evidencia de una nueva problemática: algunos riesgos cubiertos por ciertos planes han comenzado a ser subvalorados en su relación costo-beneficio dada la nueva realidad que enfrentan los clientes. A lo largo de la crisis sanitaria, más de una persona se ha enfrentado a una situación de estrés y ansiedad causado por una interrupción inesperada en su ingreso, lo que los ha obligado a reducir urgentemente su nivel de gasto. En este ejercicio de finanzas personales, los asegurados se han comenzado a cuestionar el costo-beneficios de su esquema de seguros actual.

El costo de productos como el seguro de auto se perci-



be con un desbalance en su relación costo-beneficio. Sin embargo, existen otros productos que hoy se valoran más que nunca por parte de los clientes. Los planes de vida (protección pura), el seguro de gastos médicos, seguros de salud privada, membresías médicas con servicios de asistencia y coberturas indemnizatorias en caso de enfermedad o invalidez han incrementado su valor a los ojos de asegurados e interesados. El seguro del hogar también puede llegar a ser más apreciado, dada la cantidad de tiempo que las personas han pasado en casa.

Una reciente encuesta realizada por Swiss Re a asegurados de ciertos países de la región Asia-Pacífico (China, Honk Kong, Singapur y Australia) se detalla que:

- El interés por los productos de vida y los relacionados a la salud ha aumentado desde el brote de COVID-19; los asegurados mencionaron que mantener su nivel de cobertura en este tipo de seguros es prioritario y que difícilmente serán parte de un ejercicio de reducción en su gasto personal.
- Poder contar con servicios de asistencia médica (médico a domicilio, orientación médica telefónica, ambulancia, etc.) y el acceso gestionado a la salud privada es más valorada y totalmente preferible a tener que realizar este gasto de forma directa.
- Los asegurados están más propensos a someter las pólizas a un mayor escrutinio, realizar comparaciones y entender a fondo la oferta y alcances de los planes en el mercado (vea [Swiss Re \(2020\)](#)).

Planes verdaderamente personalizados. Como resultado de la situación que rodea a COVID-19, se presenta la oportunidad para que los aseguradores se replanteen y pongan a prueba productos nuevos e innovadores. Dados los efectos que la pandemia ha causado a la sociedad, puede ser pertinente el desarrollo de nuevos productos que sirvan para situaciones con características comunes. Actualmente ya se ha realizado una reflexión inicial en algunas aseguradoras sobre la oportunidad de crear planes indemnizatorios en caso de pandemias o epidemias. El concepto propuesto es contratar una suma asegurada que permita al asegurado hacer frente a los gastos y pérdidas generales dados ciertos eventos definidos en las condiciones del seguro. Este tipo de seguros asemejaría a los planes y coberturas adicionales denominadas en México como enfermedades graves, mismas que pagan una suma indemnizatoria en caso de diagnosticarse una de las enfermedades listadas.

En segundo lugar, podría haber un aumento en el interés por planes basados en el uso, es decir, aquellos cuyas primas se calculan en relación del tiempo que hay una

exposición al riesgo por una determinada actividad. El ejemplo más simple es el del seguro de automóviles, en el que, mediante la telemática y el análisis de datos, se cobraría al cliente en función del número real de kilómetros que recorre, sustituyendo el esquema del pago fijo único que es determinado a priori del aseguramiento de la unidad. Los principales obstáculos para la adopción de este esquema han sido las preocupaciones por la privacidad y la seguridad de los datos. Este modelo se propone viable para ser una añadidura y no como sustituto a la oferta actual en autos, dado que podría llegar a ser muy atractivo solo para cierto perfil de clientes.

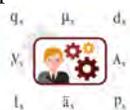
A medida que continúe la afectación en la vida cotidiana por el COVID-19, las personas seguirán haciendo rebalances en sus finanzas, sin embargo, también es previsible que estos ajustes logren tener implicaciones de cara al futuro. En el estudio [Swiss Re \(2020\)](#) se pudo evidenciar una preocupación por la economía familiar y las finanzas personales, en donde 27% de los encuestados dijeron sentirse preocupados y abrumados por sus gastos en este momento, en tanto que 40% dijeron estar logrando sobrellevar la situación gracias a haber realizado cambios en su gasto.

Es importante señalar que el estudio destaca que:

- Los encuestados dijeron preferir la rapidez, sencillez y satisfacción por encima del costo cuando se trata de seguros.
- Entre los encuestados que señalar haber realizado una revisión de sus pólizas, la mitad descubrió beneficios que no sabía tener, algunos de los cuales son aplicables en caso de contagio por COVID-19.
- Para los asegurados, la capacidad de una institución de seguros para contratar un seguro y para hacer una reclamación en línea es algo fundamental.

Si bien esta encuesta abarcó sólo la región de Asia y el Pacífico, no es demasiado difícil extrapolar estas conclusiones a otros países como indicador también del sentimiento de los clientes. Es probable que los cambios más significativos se presenten en los apartados de la adquisición de un seguro, el servicio postventa y en el uso de los datos de los clientes. Se prevé que estos cambios conduzcan a niveles mucho más altos de personalización y por lo tanto es de esperar que cambien la experiencia del cliente y la propuesta de valor de las instituciones.

Actualmente la oferta de valor del sector está relativamente estandarizada y los clientes raramente comparan su cobertura, y cuando lo hacen es generalmente de forma indirecta a través de un agente o despacho. Para muchos clientes, la adquisición de sus seguros es una compra



un tanto a regañadientes. No tienen un deseo de tener que asignar parte de su presupuesto a la adquisición de seguros, sin embargo, los asegurados son conscientes de que deben hacerlo.

Dada la situación actual, las aseguradoras están reconociendo que necesitan aportar más valor a sus clientes, con ofertas más personalizadas y una comunicación con una segmentación más refinada. Una de las características notables de esta situación ha sido el gran auge de la comunicación en línea entre las personas, incluso a través del vídeo. Se prevé que algunos productos de seguros probablemente empiecen a venderse mediante un enfoque de asesoramiento "digital primero", en el que los clientes se pongan en contacto con un asesor mediante una videollamada en primer lugar, antes de que la venta se traslade a otros canales para ser cerrada. Esto podría dar lugar a una relación calidad-precio mejorada, gracias a la reducción de los costos de distribución para el asegurador y a un mayor acceso al asesoramiento personalizado para el cliente.

Como hemos señalado, es probable que haya una demanda mucho mayor que en el pasado de ciertos tipos de seguros. Las instituciones de seguros habrán de revisar los enfoques de su estrategia de canales para atender esta demanda. Esto significa una mayor inversión en la integración de sus canales y la creación de vías digitales de extremo a extremo. Es probable que los clientes se vuelvan menos tolerantes a las fricciones y a la entrega a terceros en el proceso.

Por último, la oportunidad de acelerar el proceso de digitalización para las aseguradoras se extiende más allá de las interacciones entre el cliente y el agente en el punto de venta. La pandemia ha evidenciado la necesidad de que las aseguradoras agilicen, mejoren y digitalicen los procesos operativos y el proceso de siniestros. A lo largo de la crisis sanitaria, las aseguradoras han sido capaces de reconocer más que nunca el vínculo entre la experiencia del cliente y la estrategia digital, el enfoque de transformación y la mejora de las operaciones.

Contratación por forma virtual. Una mejor digitalización y uso de los datos será clave para esta transformación, y en los canales de distribución de las aseguradoras, la digitalización también será un tema clave. Si bien el mercado de venta directa al consumidor varía mucho según el país y la región, los aseguradores ya han comenzado a explorar o reabrir conversaciones en torno a la adopción de un enfoque más omni-canal en reconocimiento de la cambiante disposición de los clientes a realizar más transacciones en línea para temas relacionados a seguros.

En cuanto a la comunidad de agentes, la falta de cultura digital se ha hecho más evidente durante la situación de COVID-19. Alrededor del mundo se ha visto claramente que muchos agentes y despachos simplemente no están equipados para trabajar digitalmente o a distancia - especialmente en momentos de alto volumen y cuestiones complejas. Inclusive el proceso de cotización y presentación de propuestas, que actualmente es un proceso costoso para las aseguradoras, podría ser más racionalizado; una mejor digitalización del intercambio de datos podría contribuir a que el proceso fuera más sencillo y costeable para todas las partes interesadas.

En Asia, los agentes suelen trabajar mediante reuniones cara a cara con los clientes, que se han visto interrumpidas en su recorrido por el virus. En algunos países, la inactividad de los agentes y despachos ha sido tal que las aseguradoras han tenido que estudiar la posibilidad de conceder préstamos a muy bajo interés para ayudarles a seguir adelante o dar anticipos a comisión. La situación en Asia no se ha visto favorecida por el hecho de que en algunos países se sigan exigiendo firmas autógrafas. En Hong Kong y China se ha visto un crecimiento en el número de nuevos negocios, sin embargo, estos negocios no han podido iniciar vigencia hasta que se logren recabar las firmas.

Es probable que las aseguradoras de esa región soliciten a los reguladores el uso de la firma digital. Este cambio habilitará nuevos modos de trabajo, con una paulatina migración de los procesos a digital, incluida una suscripción más rápida y directa, así como para áreas como siniestros y la oportunidad de mejorar la detección de posibles fraudes.

Al mismo tiempo, podría presentarse una reconfiguración del mercado de despachos, corredores y brokers mediante fusiones y adquisiciones. Algunas aseguradoras ya han comenzado a explorar el mercado en busca de posibles oportunidades de abrir canales de distribución con algunas empresas en dificultades. Para las instituciones de seguros la distribución es la clave del éxito y por eso están vigilando de cerca posibles oportunidades para reforzar sus redes. Sin embargo, será necesario realizar ajustes estratégicos y operativos. Después del Covid-19, las aseguradoras se centrarán en cómo se ve una "huella mínima de distribución viable", equilibrando el alcance con la eficiencia de costes.

Es probable que la situación actual sea el catalizador de algunos cambios de gran alcance en la relación de las aseguradoras con los clientes. La forma en que la que interactúan las instituciones con sus clientes y la forma en que las redes de agentes están integradas en el proceso,



podría comenzar a cambiar drásticamente. En un futuro, mirando en retrospectiva, es posible que nos parezca inédito cómo el Covid-19 detonó transformaciones que parecían sumamente arraigadas, con una velocidad difícil de imaginar. Vea [KPMG \(2020\)](#).

Impacto actuarial

Tanto los individuos como las empresas se enfrentan ahora a la pregunta de qué nos depara el futuro próximo en un mundo post-Covid-19. La posibilidad de ocurrencia de una pandemia ha sido un escenario de riesgo contemplado durante mucho tiempo. Si bien, en su mayor parte, los planes de continuidad del negocio de las aseguradoras están funcionando y el capital de solvencia en lo general se mantiene fuerte, la pandemia ha arrojado luz sobre varios aspectos que deben mejorarse. Por ejemplo, muy pocos planes de continuidad de las actividades contemplaban el traslado de toda la fuerza de trabajo al trabajo a distancia. Y aunque la mayoría de las aseguradoras con programas integrales de gestión de riesgos empresariales habrían contemplado un escenario de pandemia, muchas aseguradoras de No-Vida habrían centrado su construcción de escenarios con base en reclamaciones, sin analizar a profundidad impactos económicos más amplios. Una complicación única del riesgo de pandemia es que, a diferencia de un huracán o un terremoto, se mantiene en curso y está influenciado directamente por lo nuestras actividades. Todos somos el huracán ahora: Nuestras acciones afectarán el resultado, así que es importante interpretar los pronósticos a través de ese lente. En los próximos meses y años, a medida que nuestra sociedad global avance en esta crisis hacia la recuperación y las medidas de resistencia, los actuarios seguirán contribuyendo.

Siempre hay lecciones que aprender después de los grandes eventos, ejemplo de ello son los cambios en la industria de los seguros después del 11 de septiembre de 2001. En la actualidad, muchos países están debatiendo la necesidad de un respaldo para la pandemia y qué papel podrían desempeñar las aseguradoras en ello. En esta anómala situación derivada del distanciamiento social forzado, se han demostrado las posibilidades de aprovechar mejor los horarios flexibles, el trabajo a distancia y la comunicación por videoconferencia. La pandemia actual, está validando muchas tendencias que ya estaban en juego antes de Covid-19, además de acelerar su adopción y normalización. Vea [Willis Towers Watson \(2020c\)](#).

Cambios en la mortalidad. Desde que el Covid-19 inició su propagación alrededor del globo la Gripe Española ha



sido un referente, sin embargo, actuarialmente es considerada como un punto de referencia crítico (y adverso) en el modelado de posibles pandemias. Un supuesto utilizado anteriormente en las proyecciones era que el grado de evolución y de disposición de la medicina sería por mucho más favorable en el presente. Asimismo se añadía el hecho que no se encontraría en un periodo de recuperación de postguerra. Se consideraba que estos factores habrían de compensar con creces el factor de los viajes aéreos internacionales y de la globalización del comercio. Sin embargo, ese razonamiento ya no se sostiene, y actualmente se plantea con seriedad la posibilidad de estar dirigiéndose hacia un escenario similar.

La reacción natural de las áreas actuariales, por supuesto, ha sido el de modelarla. Pero incluso ahora, con meses enteros de datos, se presentan obstáculos considerables para cualquier modelado plausible que utilice los métodos típicos de modelado de pandemias (por ejemplo, el enfoque "SIR" de división en estados de susceptibilidad, infección, recuperación, con tasas de transición específicas de edad/género). La mayoría de los modelos pandémicos implican un supuesto de "propagación", R_0 , que representa a cuántos individuos transmitirá el virus una persona infectada (en una población por lo demás perfectamente susceptible). Un parámetro R_0 de uno, por ejemplo, equivale a un estado estable; un valor superior a uno (al comienzo de un brote) implica un crecimiento en el número de infectados, con la posibilidad de un crecimiento exponencial en ausencia de intervenciones. La propagación normal de la gripe implica un parámetro de dos a tres, mientras que el sarampión es uno de los virus más contagiosos con un R_0 de 12 a 16 contagios por infectado.

Actualmente, incluso este dato fundamental varía drásticamente con base en las políticas públicas y el nivel de distanciamiento social exigido en cada etapa. Diversas publicaciones han parametrizado el nivel de contagio en un rango de 1.4 a +6, mientras que el rango sugerido por la Organización Mundial de la Salud (OMS) permite una variación significativa (de 1.4 a 2.5).

A continuación, se presentan las tasas de mortalidad como referencia para eventos de similitud cercana vividos a lo largo del siglo XX. Cabe destacar que tasa del coronavirus refiere a la división del número muertos entre contagios, de las cifras oficialmente reportadas a nivel mundial. (con cohorte al hasta el 31 de junio de 2020).

Descripción	Tasa de Muerte Estimada
Temporada Gripe Típica	0.1 %
Pandemias 1957 y 1968	1 %
Gripe Española	2 %
Covid-19/Coronavirus	2 %

Ello lleva al problema de la mortalidad por Covid-19 (la tasa de letalidad de la enfermedad). Las estimaciones globales son de alrededor del 2 %, aunque existe una amplia variación con base en cada población (en el caso de Wuhan la tasa de mortalidad superó el 5 %). La presentación de informes con metodologías distintas, técnicas de muestreo variadas y los posibles sesgos en los datos añaden más incertidumbre. Incluso determinar el número de casos es una tarea ardua y compleja, misma que no se espera sea del todo precisa al tener en cuenta la existencia de casos asintomáticos cuyo número y proporción no es posible medir con exactitud.

Es de suponer que la tasa de mortalidad general en cualquier país esté muy influida por la disponibilidad de recursos sanitarios adecuados. Sin embargo, es probable que la variabilidad de la edad observada hasta ahora sea similar en todos los países. La experiencia china mostró que las tasas de mortalidad variaban amplia y exponencialmente según la edad, desde aproximadamente el 0.2 % para las edades de hasta 40 años hasta el 4 % para la franja de edad de 60 a 69 años, el 8 % para la siguiente década de edad, y aproximadamente se duplicaba de nuevo hasta el 15 % para cualquier persona de 80 años o más. (Esta concentración de muertes en edades más avanzadas se apoya en la observación de las edades de las fatalidades reportadas en Europa).

Hay un punto atenuante material desde la perspectiva de los seguros: el coronavirus afectará desproporcionadamente a los menos sanos (en particular, a las personas que ya padecen enfermedades severas o crónicas) y, por lo tanto, el impacto de la mortalidad no consiste enteramente en muertes "nuevas" sino que incluirá una proporción material de aceleración de muertes (lo que llevará a una reducción correspondiente de la mortalidad en años posteriores). La variabilidad del impacto de la mortalidad por edad hace que el impacto sea muy variable según el tipo de institución de seguros. Los suscriptores verán un impacto de mortalidad que implique realizar calibraciones similares a los modelos internos, tiendo implicaciones para las aseguradoras, consultoras y para las reaseguradoras. Las más afectadas serán las instituciones de seguros que solo operen Vida y que no cuenten con

bajos niveles de reaseguro. Se prevé un impacto material significativo por causa de las altas cuantías en sumas de los asegurados mayores de 50 años.

El hecho de que este brote se haya producido inmediatamente después del fin de año de la mayoría de las empresas significa que las aseguradoras tendrán un par de meses más para esperar y ver antes de ultimar sus supuestos revisados para la presentación de informes a mediados de año. Para entonces, es probable que haya que aumentar las hipótesis de mortalidad, probablemente con un ajuste a corto plazo, mientras que en los cálculos de las rentas vitalicias podrían considerar razonable esperar y ver hasta dónde llegan las hipótesis básicas, observando que pueden ser bastante agresivas este año con las hipótesis de mejora. En un mundo ideal, los actuarios esperarían a tener una mayor certeza antes de cambiar cualquier supuesto importante. Vea [Willis Towers Watson \(2020a\)](#).

Impactos en el modelado y en las hipótesis actuariales.

Dado que los ramos de No-Vida en general realizan su modelado con base en un enfoque a posteriori y midiendo temporalidades anuales, las implicaciones a mediano y largo plazo para esa operación no serán significativas. Sin embargo, las implicaciones de mediano y largo para las operaciones de Vida serán más que significativas. Las instituciones de seguros habrán de desear modelar los múltiples de impactos en el negocio; sin embargo, la velocidad con que se propaga el virus afecta la consistencia de los datos disponibles en los cuales se pudieran basar las hipótesis subyacentes. Variables como las tasas de transmisión, las tasas de mortalidad (contemplando las diferencias con base en la edad y el estado de salud) y la eficacia de las medidas de control aún presentan con rangos de incertidumbre muy amplios, como para construir escenarios plausibles (afortunadamente, con el avance de la pandemia estos márgenes se irán acotando).

El impacto, aunque incierto en el modelado si generará será impactos monetarios relevantes. Los aseguradores querrán contar con la mayor información posible para tomar acciones inteligentes, por ello continuarán evaluando las desviaciones, seguirán reuniendo datos y perfeccionando las hipótesis y modelos tan rápido como les sea posible, a medida que la contingencia se siga desarrollando.

En cuanto al modelado para la determinación de precios y las políticas de suscripción, para lo que resta de 2020, existe el riesgo evidente de tener un proceso antiselectivo. La antiselección no se propiciará a causa de un riesgo nuevo, sino que en esta ocasión el riesgo se ha



presentado en una forma diferente, y las aseguradoras habrán de asegurarse de que los nuevos procedimientos simplificados de suscripción sean suficientemente robustos a la luz del coronavirus. El riesgo de antiselección también obliga a las instituciones a generar mayor claridad para evitar cualquier acusación de mala conducta asegurándose de que los asegurados sean plenamente conscientes de cualquier exclusión o limitante de la cobertura.

Es posible que las hipótesis para el cálculo actuarial deban ser calculadas de forma diferente para este año, no sólo en lo que respecta a la mortalidad y la morbilidad, sino también a los lapsus (por ejemplo, los nuevos asegurados preocupados que se han apresurado a solicitar o modificar su cobertura pueden haber terminado, ya que la psique del público vuelve en gran medida a la normalidad). Lo que sí se puede afirmar es que, por encima de todo, esta inusitada situación requerirá que los aseguradores, principalmente, de vida actúen de forma rápida para adaptarse a la nueva realidad consecuencia del brote por el COVID-19. Vea [Willis Towers Watson \(2020b\)](#).

2. EVOLUCIÓN Y COMPORTAMIENTO DE PRIMAS

Estadística reciente del sector asegurador mexicano (2002 – 2019)

Se realizó la revisión de las primas del sector por un periodo de dieciocho años, abarcando de 2002 hasta el cierre de 2019, se tomó como base la estadística pública de la Comisión Nacional de Seguros y Fianzas, de donde se extraen la firma del estado emitida, el costo de decisiones, siniestralidad y gasto operativo por cada institución de seguros. Para determinar el comportamiento del volumen de todo el sector asegurador es que se desagregan en sus tres operaciones: vida, accidentes y enfermedades, y daños. Se excluyen de las bases las primas provenientes de fianzas, así como las derivadas de la ley del seguro social. Con el fundamento de que se analiza la necesidad e interés de protección de la población mexicana, se excluye estas operaciones dado su comportamiento independiente al resto del sector.



Primas de póliza integral de Pemex

Año	Prima (USD)	Aseguradora	TC DOF	Prima (MXN)	Prima Añalizada
2009	518,500,000	Inbursa	\$ 13.1812	\$ 6,834,452,200	\$ 3,417,226,100
2010			\$ 12.8394	\$ -	\$ 3,328,614,450
2011	401,000,000	Inbursa	\$ 11.7748	\$ 4,721,694,800	\$ 2,360,847,400
2012			\$ 13.6530	\$ -	\$ 2,737,426,500
2013	426,600,000	Inbursa	\$ 13.0235	\$ 5,555,825,100	\$ 2,777,912,550
2014			\$ 13.0002	\$ -	\$ 2,772,942,660
2015	423,300,000	Mapfre	\$ 15.5676	\$ 6,589,765,080	\$ 3,294,882,540
2016			\$ 18.5550	\$ -	\$ 3,927,165,750
2017	546,000,000	Mapfre	\$ 18.0279	\$ 9,843,233,400	\$ 4,921,616,700
2018			\$ 19.8633	\$ -	\$ 5,422,680,900
2019	502,900,000	Mapfre	\$ 19.1685	\$ 9,639,838,650	\$ 4,819,919,325

*TC DOF: tipo de cambio publicado en Diario Oficial de la Federación

Figura 1 Cifras al cierre de diciembre de cada año.

En la Figura 1 se consideran las cifras al cierre de diciembre de cada año en, es decir, se toman los resultados de ejercicios anuales. Cabe señalar que desde 2009 la petrolera mexicana realiza la adquisición de sus seguros de daños a través de un seguro único que cubre los riesgos inherentes a la infraestructura de la institución. De tal forma que la póliza integral de Pemex genera volúmenes de prima anómalos para toda la operación de daños, por ello se realiza un ajuste de las cifras de daños distribuyendo la prima bianual de la póliza entre los dos años que está en vigor la cobertura. La cobertura de Pemex se paga en dólares americanos cada año non desde 2009, rondando entre los 400 y 550 mil millones de dólares.

Para efectos del presente modelado se realiza una distribución simple afectada por el tipo de cambio vigente al mes de inicio de vigencia, es decir el valor de la paridad cambiaria peso-dólar al último día hábil del mes de junio de cada año. Cabe señalar que para el año 2019 la prima pagada por esta cobertura representa 5 % del volumen total de la operación anual de daños, por ello se realizó el ajuste y distribución de esta participación entre el año de pago efectivo con el subsecuente en el que estará vigente la póliza, pese a que no se realiza pago de primas.

Asimismo, los montos de las primas son actualizados a valor presente con base en el Índice Nacional de Precios al Consumidor (INPC) publicado por el Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática (INEGI) del país. Para ello se calculó un factor actualización que resulta en un múltiplo directo a afectar a las primas anteriores a 2009. Con ello las razones de cambio que se expresa en este apartado se señalan en tasas de crecimiento real, que ya descuentan una sobrevaluación del sector por efecto de la inflación. Vea las Figuras 2 y 3.

En el rubro de volumen de primas del sector en su conjunto (excluyendo las operaciones antes señaladas)

Histórico de inflación y factores de actualización

Año	Valor (Dic-31)	F. Act	Tasa Inf
2000	48.3077	2.1929	
2001	50.4349	2.1004	4.40%
2002	53.3099	1.9871	5.70%
2003	55.4298	1.9111	3.98%
2004	58.3071	1.8168	5.19%
2005	60.2503	1.7582	3.33%
2006	62.6924	1.6897	4.05%
2007	65.0491	1.6285	3.76%
2008	69.2956	1.5287	6.53%
2009	71.7719	1.4760	3.57%
2010	74.9310	1.4138	4.40%
2011	77.7924	1.3618	3.82%
2012	80.5682	1.3148	3.57%
2013	83.7701	1.2646	3.97%
2014	87.1890	1.2150	4.08%
2015	89.0468	1.1896	2.13%
2016	92.0390	1.1510	3.36%
2017	98.2729	1.0780	6.77%
2018	103.0200	1.0283	4.83%
2019	105.9340	1.0000	2.83%

*F. Act: factor de actualización,
*Tasa Inf: tasa de inflación anual.

Figura 2 Histórico de inflación y valores de actualización.



Figura 3 Tasas de crecimiento.

GENERAL	Prima Directa Emitida	Variación Anual	Part del Segmento	Costo de Adquisición	Part del C. Adq.	Costo de Siniestralidad	Part del C. Sin.	Costo de Operación	Part de C. de Op.
2002	238,011,751,555		100%	27,647,620,114	11.62%	123,162,174,219	51.75%	23,189,132,170	9.74%
2003	219,089,878,776	-7.9%	100%	29,220,085,972	13.34%	102,488,967,235	46.78%	21,714,690,469	9.91%
2004	241,687,778,480	10.3%	100%	35,204,407,139	14.57%	109,955,875,893	45.49%	22,128,337,015	9.16%
2005	235,382,049,719	-2.6%	100%	36,114,486,645	15.34%	117,295,212,830	49.83%	20,224,715,382	8.59%
2006	267,903,905,551	13.8%	100%	41,762,242,294	15.59%	150,013,133,701	48.53%	20,774,580,749	7.75%
2007	299,571,165,887	11.8%	100%	44,971,460,997	15.01%	147,229,495,631	49.15%	20,809,628,882	6.95%
2008	303,491,700,724	1.3%	100%	45,098,811,305	14.86%	154,074,972,733	50.77%	24,654,138,308	8.12%
2009	330,834,479,897	9.0%	100%	46,637,090,321	14.10%	164,412,575,227	49.70%	23,881,682,478	6.98%
2010	319,568,915,743	-3.4%	100%	48,629,033,348	15.22%	164,841,448,702	51.58%	23,676,602,460	7.41%
2011	354,649,493,351	11.0%	100%	53,549,080,561	15.10%	169,770,433,946	47.87%	22,991,956,775	6.48%
2012	378,107,299,283	6.6%	100%	59,067,851,241	15.62%	172,972,405,658	45.75%	23,642,177,480	6.25%
2013	406,155,337,127	7.4%	100%	61,303,711,486	15.09%	193,322,107,447	47.60%	26,089,512,830	6.42%
2014	404,957,398,502	-0.3%	100%	62,214,797,468	15.36%	202,813,949,824	50.08%	25,510,215,410	6.30%
2015	438,772,238,440	8.4%	100%	69,025,065,202	15.73%	217,568,695,536	49.59%	28,619,229,043	6.52%
2016	484,818,071,940	10.5%	100%	75,603,484,289	15.59%	241,015,329,181	49.71%	31,877,399,908	6.58%
2017	497,483,462,892	2.6%	100%	74,945,066,510	15.06%	253,635,420,182	50.98%	32,073,157,164	6.45%
2018	513,861,164,930	3.3%	100%	75,930,861,617	14.78%	262,399,334,565	51.06%	33,918,144,570	6.60%
2019	561,838,750,565	9.3%	100%	78,399,198,168	13.95%	288,200,333,169	51.31%	34,467,451,429	6.15%

Figura 4 Histórico de prima directa emitida.



Figura 5 Tasas de crecimiento.

de 2002 a 2019 se observa que el sector asegurador ha incrementado la captación de prima en términos reales. Se observa un crecimiento por encima de la media anual de la economía mexicana, sin embargo, el sector presentaba una curva de tasas de crecimiento con denotadas fluctuaciones, que a primera vista no parece presentar una correlación fuerte con las tasas de crecimiento anual del Producto Interno Bruto nominal. Vea la Figura 4

Dada la ausencia de una relación entre la evolución del PIB y del sector asegurador es que se les desagrega las tres operaciones de mayor volumen del sector.

Para el caso de la operación de vida, exceptuando el periodo de 2003 a 2006, la curva de crecimiento de esta operación contra la economía general presenta mayores similitudes, manteniendo una tendencia similar, pero presentando un crecimiento más fuerte. Los únicos dos ejercicios donde está similitud en tendencia no se cumplen es en los años 2010 y 2017. Vea la Figura 5.

De forma general la curva de crecimiento la operación de vida y el crecimiento del PIB presenta una marcada correlación. En el caso de esta operación, la participación de la operación en el sector en su conjunto mantiene relevancia con una muy ligera ganancia en su cuota a largo de los últimos dieciocho años partiendo en 2002 del 40.75% y en 2019 posicionándose con 43.28% del total.



VIDA	Prima Directa Emitida	Variación Anual	Part del Segmento	Costo de Adquisición	Part del C. Adq.	Costo de Siniestralidad	Part del C. Sin.	Costo de Operación	Part del C. de Op.
2002	96,990,396,901	40.75%	9,560,000,685	11.62%	59,381,855,776	51.75%	8,647,065,398	9.74%	
2003	81,873,085,740	-16.4%	57,000%	9,773,469,440	13.34%	36,277,265,699	46.78%	6,712,766,725	9.91%
2004	97,695,201,952	20.5%	40.42%	13,196,409,965	14.57%	42,017,440,074	45.49%	7,380,366,505	9.16%
2005	92,686,482,499	-5.7%	39.12%	13,038,755,755	15.34%	43,900,402,755	49.83%	7,018,904,329	8.59%
2006	116,157,108,445	26.1%	43.30%	16,180,971,225	15.99%	48,915,908,938	48.33%	7,446,152,477	7.59%
2007	125,814,629,143	8.3%	42.00%	17,121,892,332	15.01%	57,446,312,508	49.15%	8,545,582,593	6.95%
2008	129,881,080,756	3.2%	42.80%	17,836,685,694	14.86%	66,227,861,759	50.77%	8,996,021,985	8.12%
2009	139,738,504,686	7.6%	42.24%	18,224,901,538	14.10%	73,852,900,139	49.70%	9,367,239,788	6.98%
2010	137,395,057,524	-1.7%	42.99%	19,915,841,603	15.22%	72,159,266,646	51.58%	10,480,266,798	7.41%
2011	149,126,964,083	8.5%	42.05%	21,699,686,833	15.10%	71,423,928,285	47.87%	10,075,775,361	6.48%
2012	164,585,260,268	10.4%	43.53%	24,362,200,442	15.62%	74,514,253,175	45.75%	10,235,883,919	6.25%
2013	175,724,536,103	6.8%	43.27%	24,741,049,950	15.09%	91,352,096,667	47.60%	11,800,193,383	6.42%
2014	178,822,500,170	1.8%	44.16%	25,285,280,242	15.36%	100,262,848,254	50.08%	10,765,017,301	6.30%
2015	192,939,014,798	7.9%	43.98%	28,268,729,831	15.23%	106,470,287,030	49.59%	12,541,770,455	6.52%
2016	216,196,457,995	12.0%	44.59%	31,566,472,761	15.59%	118,459,205,217	49.71%	14,459,876,333	6.58%
2017	207,192,232,912	-4.2%	41.65%	30,622,559,506	15.06%	125,582,557,570	50.98%	13,115,536,209	6.45%
2018	224,824,954,585	8.5%	43.75%	30,771,821,808	14.78%	130,027,193,730	51.06%	13,865,731,039	6.60%
2019	243,177,988,740	8.2%	43.28%	30,748,430,862	13.95%	154,245,571,796	51.31%	13,255,928,538	6.13%

Figura 6 Primas históricas de la operación de vida.

En consonancia con el sector en su conjunto los costos de adquisición de esta operación se mantienen dentro de un rango cerrado a lo largo de los años. Situándose en el año 2002 era del 11.62 % y para 2019 era de 13.95 %, presentándose el valor máximo en 2015 cuando se reportó 15.73 % de participación del gasto de adquisición en la prima. La siniestralidad se mantiene en un rango cerrado, sin cambios abruptos, con muy ligeras variaciones a lo largo de los años en donde en 2002 fue de un 51.75 % para posicionarse en 2019 con un 51.31 % de siniestralidad. A lo largo de este periodo la menor cifra de siniestralidad reportada fue del 45.49 % en 2004 y el pico en 2002, con un 51.75 %. Análogamente el costo operativo en vida presenta una clara disminución, partiendo de 9.74 % en 2002, para ubicarse dieciocho años después en 6.1 %. Se puede resumir de las cifras presentadas que la participación de la siniestralidad de la operación se mantiene en rangos acotados para el periodo comprendido entre 2002 y 2019 con un mínimo de 45.49 % y máximo de 51.75 %. En el caso del costo de adquisición el porcentaje de prima destinado a este rubro ronda entre 11.62 % y el 15.73 %. En contraparte se aprecia una clara tendencia de disminución relativa del costo de operativo en donde en 2002 el porcentaje de la prima destinada al gasto de la aseguradora era de 9.74 %, decreciendo de manera constante, aunque no estricta hasta llegar al 6.13 % al cierre de 2019. En la Figura 6, "Part. Del C. Adq." se refiere a la participación del costo de adquisición, "Part. Del C. Sin." es la participación del costo de siniestralidad, y "Part. Del C. Op." representa la participación del costo de operación.

Para el caso de la operación de accidentes y enfermedades se evidencia un crecimiento superior al de la economía mexicana en su conjunto, siendo el intervalo comprendido entre los años 2002 y hasta 2009 el de mayor relevancia. Posteriormente las tasas de crecimiento del sector se mantienen por encima de las de evolución

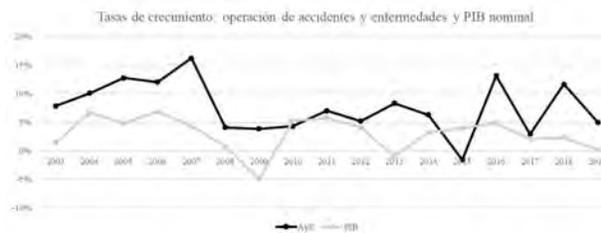


Figura 7 Tasas de crecimiento.

AYE	Prima Directa Emitida	Variación Anual	Part del Segmento	Costo de Adquisición	Part del C. Adq.	Costo de Siniestralidad	Part del C. Sin.	Costo de Operación	Part del C. de Op.
2002	26919454532		11.31%	5,017,007,880	11.62%	16,929,050,473	51.75%	28,768,719,666	9.74%
2003	290333812079	7.9%	13.25%	5,795,606,231	13.34%	19,638,739,875	46.78%	32,067,335,408	9.91%
2004	31967704703	10.1%	13.29%	6,494,041,938	14.57%	21,022,747,103	45.49%	32,818,411,556	9.16%
2005	34052962964	12.8%	15.32%	7,055,147,113	15.34%	24,356,308,226	49.83%	37,410,553,318	8.59%
2006	40399663344	12.1%	15.08%	8,397,973,817	15.99%	26,725,271,798	48.33%	37,749,918,715	7.59%
2007	46959278461	16.2%	15.67%	9,494,065,498	15.01%	29,871,518,454	49.15%	33,641,581,715	6.95%
2008	48882981530	4.1%	16.11%	9,658,559,206	14.86%	30,678,957,051	50.77%	40,038,819,266	8.12%
2009	50765481512	3.9%	15.34%	9,614,265,437	14.10%	33,124,675,431	49.70%	38,016,126,695	6.98%
2010	52955172330	4.3%	16.57%	10,276,991,043	15.22%	33,952,937,506	51.58%	42,316,646,413	7.41%
2011	56661709515	7.0%	15.98%	10,423,804,897	15.10%	36,983,756,947	47.87%	43,376,923,381	6.48%
2012	59609033836	5.2%	15.77%	11,475,442,101	15.62%	40,399,889,415	45.75%	40,959,504,805	6.25%
2013	64567895471	8.3%	15.90%	11,720,067,020	15.09%	42,339,933,625	47.60%	44,165,564,578	6.42%
2014	68621986213	6.3%	16.95%	12,380,605,570	15.36%	42,845,844,203	50.08%	39,901,302,382	6.30%
2015	67539712757	-1.6%	15.39%	12,486,015,396	15.73%	45,344,698,559	49.59%	42,844,619,116	6.52%
2016	76430946387	13.2%	15.78%	13,697,336,180	15.99%	48,904,535,361	49.71%	46,444,256,724	6.58%
2017	78647386556	2.9%	15.81%	14,108,529,318	15.06%	49,495,694,292	50.98%	52,169,232,302	6.45%
2018	87835680311	11.7%	17.09%	15,926,284,575	14.78%	54,011,814,332	51.06%	62,271,412,247	6.60%
2019	92230498210	5.0%	16.42%	16,767,087,050	13.95%	55,979,829,874	51.31%	64,133,593,328	6.13%

Figura 8 Primas históricas de la operación de accidentes y enfermedades.

de la economía, aunque la curva pierde relación directa con la del producto interno bruto. Vea la Figura 7.

A diferencia de la relación de la operación de vida con el PIB, que mantiene su participación en el nivel de captación de primas con respecto al resto del sector, para la operación vemos un claro incremento de participación. Pasando en 2002 de 11.31

El costo de adquisición se mantiene a lo largo de los años con un rango comprendido entre el 11.62 % al 15.73 %, en donde el periodo de menor proporción de este gasto fue en 2002 y el de mayor participación con respecto a la prima fue en 2015 con 15.73 %. La siniestralidad se mantiene en un rango estrecho donde el año con el mejor resultado fue 2004 con 45.49 % y el peor en 2002 con un 51.75 %. Al cierre de 2019 la siniestralidad se ubicó en 51.31 %. El costo de operación sigue la misma tendencia de irse reduciendo, partiendo en 2002 de representar cerca del 10 % a pasar a poco más del 6 % en 2019. Vea la Figura 8.

Finalmente, para la operación de daños, a diferencia de vida y accidentes y enfermedades (sobre todo en el caso de la primera) la tasa de crecimiento del sector presenta una correlación muy débil con la evolución del PIB. Asimismo, esta operación presenta una reducción

Fecha	Tipo	Suceso
Ene-01-2002	Seguros	ING Seguros inicia la incorporación de su imagen en Seguros Comercial América, como consecuencia de la compra de la aseguradora en 2001. Al cierre de 2002 Seguros Comercial América era la compañía de mayor volumen del sector.
May-27-2002	Seguros	Aseguradora Hidalgo (AHI-SA), institución propiedad del estado mexicano, operando el seguro de vida y siendo la sexta institución de seguros con base en el volumen de su prima al cierre de 2002, es adjudicada a MetLife, a través de su filial en México, Seguros Génesis.

(Continúa)



Fecha	Tipo	Suceso
Sep-01-2002	Fenómeno natural	El Huracán Isidoro afecta la península de Yucatán, dejando siete muertes directas, tres indirectas y provocando pérdidas materiales estimadas de 330 millones de dólares.
Oct-26-2002	Fenómeno natural	El Huracán Kenna afecta al Pacífico mexicano, dejando cuatro muertos y 101 millones de dólares en pérdidas materiales.
Dic-31-2002	Siniestro	Se presenta una explosión de material pirotécnico en el mercado de la ciudad de Veracruz, reportándose 28 muertes, 15 desaparecidos y al menos 30 heridos.

(Continúa)



Fecha	Tipo	Suceso
Ene-21-2003	Fenómeno natural	Ocurre un sismo de 7.6 grados Richter con epicentro en Colima. Provoca 29 muertes, 300 heridos y 10,000 personas damnificadas (2,005 viviendas destruidas y afectaciones en otras 6,615).
Jun-06-2003	Siniestro	Ocurre una inundación que provoca la explosión de un ducto de gas en Nogales, Veracruz dejando un saldo de cuatro muertos y 3,000 damnificados.
Jun-29-2003	Fenómeno natural	La Tormenta Tropical Bill afecta la costa del Golfo de México, dejando cuatro muertos y 50.5 millones de dólares en pérdidas materiales.

(Continúa)



Fecha	Tipo	Suceso
Ago-14-2003	Fenómeno natural	El Huracán Erika afecta el extremo noreste del país, dejando dos muertos y 10 mil dólares en pérdidas materiales.
Dic-31-2003	Seguros	A lo largo del año se da la consolidación de Seguros Génesis y Aseguradora Hidalgo como MetLife México.
Ago-26-2004	Fenómeno natural	Ocurre el Tsunami Asiático (Maremoto y Tsunami en el Océano Índico), dejando más de 260,000 muertos y cerca de dos millones de desplazados. México envía los buques con mil 480 toneladas de ayuda humanitaria a Indonesia.

(Continúa)



Fecha	Tipo	Suceso
Feb-19-2006	Siniestro	Se produce el desastre minero de Pasta de Conchos, en donde 65 mineros quedan atrapados tras una explosión en San Juan de Sabinas, México. Los 65 mineros fallecen.
Dic-01-2006	Nacional	Vicente Fox, presidente desde el 1 de diciembre de 2006 concluye su mandato presidencial y cede el poder a Felipe de Jesús Calderón Hinojosa. La toma de protesta se realiza de forma breve dado que la tribuna estaba tomada y en el exterior del recinto había enfrentamiento de granaderos y manifestantes.

(Continúa)



Fecha	Tipo	Suceso
Jun-12-2007	Seguros	ING paga 93.8 millones de dólares a Grupo Fertinal, después de un largo litigio (desde 2001) y una campaña mediática en contra de la aseguradora.
Ago-30-2007	Fenómeno natural	El Huracán Dean afecta el caribe, dejando 39 muertos directos en la región. En México sólo provoca daños materiales.
Sep-01-2007	Fenómeno natural	El paso de la tormenta tropical Henriette cerca de las costas del estado de Guerrero provoca la muerte de 13 personas y daños por 25 millones de dólares.

(Continúa)



Fecha	Tipo	Suceso
Oct-23-2007	Siniestro	Malas condiciones meteorológicas en el Golfo de México provocan una fuga en la Plataforma Usumacinta obligando al desalojo de 81 empleados de Pemex. Días después, se encuentran en la costa de Campeche 21 cadáveres, dando un total de 23 muertos.
Oct-23-2007	Fenómeno natural	Desbordamiento de los ríos que atraviesan el estado de Tabasco, provocan inundaciones históricas en dicho estado, resultando con fuertes afectaciones la ciudad capital Villahermosa.

(Continúa)



Fecha	Tipo	Suceso
Nov-05-2007	Fenómeno natural	Un deslizamiento de tierra cubre alrededor de 100 viviendas en la localidad de Juan del Grijalva, Chiapas donde 25 personas se reportan desaparecidas, de las cuales solo se localizaron y confirmaron 14 personas ya sin vida.
Feb-12-2008	Seguros	La aseguradora francesa AXA anuncia la compra de Seguros ING Comercial América. Desde su adquisición 2001 ING había perdido 9pts de cuota de mercado, pasando de la primer a tercera posición en cuanto a volumen de primas emitidas. ING afirmo que se retiraba de México por la falta de estado de derecho, en alusión al caso de Fertinal.

(Continúa)



Fecha	Tipo	Suceso
May-31-2008	Fenómeno natural	La Tormenta Tropical Arthur afecta la península de Yucatán, dejando 5 muertes directas, 4 indirectas y pérdidas materiales por 78 millones de dólares.
Jul-07-2008	Fenómeno natural	La Depresión Tropical Cinco-E afecta Michoacán dejando a 400 personas sin hogar y otras 40 perdieron sus pertenencias por el desborde del río Cinco Oros.
Jul-23-2008	Fenómeno natural	El Huracán Dolly afecta a Tamaulipas y al sur de Estados Unidos, no se reportaron víctimas, pero produjo pérdidas materiales por 1,500 millones de dólares.

(Continúa)



Fecha	Tipo	Suceso
Oct-23-2008	Fenómeno natural	El desbordamiento de los ríos que atraviesan el estado de Tabasco provoca inundaciones históricas en dicho estado, resultando con fuertes afectaciones la ciudad capital Villahermosa.
Sep-15-2008	Internacional	El cuarto Banco de Inversión de Estados Unidos, Lehman Brothers se declara en quiebra, generando el pánico financiero en los mercados globales y detonando la Crisis Financiera de 2008-2009.
Sep-16-2008	Seguros	La aseguradora más grande del mundo, la americana AIG (American Insurance Group) es rescatada por la FED por medio de fondos de emergencia que sumaron 85 mil millones de dólares.

(Continúa)



Fecha	Tipo	Suceso
Sep-23-2008	Fenómeno natural	El estado de Veracruz resiente daños por recurrentes lluvias que provocan el desbordamiento de los ríos Pánuco, San Antonio y Negro inundando 69 municipios y dejando a 400 mil damnificados.

(Continúa)



Fecha	Tipo	Suceso
Nov-04-2008	Nacional	Una aeronave Learjet 45 en donde viajaban ocho personas, entre ellas, el secretario de gobernación y el exsubprocurador General de la República, se estrella en la Ciudad de México provocando la muerte de todos tripulantes y de otras cinco personas más que en ese momento se encontraban en el lugar del accidente y dejando un total de 40 personas heridas (3 de ellas fallecerían) el incendio de 30 vehículos y serias afectaciones en el área.

(Continúa)



Fecha	Tipo	Suceso
Abr-23-2009	Sanitario	La Secretaría de Salud, declara estado de alerta luego de desatarse un brote de Gripe A (H1N1) en México, afectado principalmente en la Ciudad de México y su zona metropolitana.
Abr-24-2009	Sanitario	El gobierno federal suspende en el Distrito Federal y el Estado de México las labores académicas en todos sus niveles como medida de prevención. La cifra de fallecidos por fiebre porcina aumenta a 20 personas a nivel nacional.
Jun-05-2009	Siniestro	En Hermosillo, Sonora, un incendio en la estancia subrogada por el Instituto Mexicano del Seguro Social denominada ABC provoca la muerte de 49 niños.

(Continúa)



Fecha	Tipo	Suceso
Sep-03-2009	Fenómeno natural	El Huracán Jimena afecta la península de Baja California, se registra una víctima directa, dos indirectas y 59.8 millones de dólares en pérdidas materiales.
Nov-23-2009	Sanitario	Se inicia la vacunación contra la gripe A del personal de salud y mujeres embarazadas en todo el país
Abr-04-2010	Fenómeno natural	Ocurre un sismo de 7.2 grados Richter, 18km al sureste de Mexicali. Provoca cuatro muertes y deja 35,000 damnificados.
Jun-30-2010	Fenómeno natural	Ocurre un sismo de 6.5 grados en escala Richter, cerca de Pinotepa Nacional, Oaxaca, causando una víctima mortal y miles de heridos.

(Continúa)



Fecha	Tipo	Suceso
Sep-28-2010	Fenómeno natural	Ocurre un corrimiento de tierra en Santa María Tlahuitoltepec, Oaxaca sepultando a 11 personas y provocando daños a viviendas.
Sep-29-2010	Fenómeno natural	Ocurre un corrimiento de tierra en la comunidad de Reforma y Planada, municipio de Amatlán, en Chiapas dejando un saldo de 16 muertos, 13 heridos y la destrucción de viviendas.
Nov-01-2010	Seguros	MetLife adquiere Alico, subsidiaria de AIG, a nivel internacional.
Nov-14-2010	Siniestro	Ocurre una explosión en las instalaciones del Hotel Riviera Maya en Cancún provocando la muerte de cinco turistas de origen canadiense y 2 trabajadores mexicanos, resultando en un saldo total de siete muertos y 17 personas heridas.

(Continúa)



Fecha	Tipo	Suceso
Feb-12-2011	Siniestro	En Guadalajara, se registra un incendio en un hotel en construcción perteneciente a la cadena española RIU, registrándose un saldo de dos personas muertas y 27 más heridas.
Feb-30-2011	Fenómeno natural	Ocurre un sismo de 6.0 grados Richter en Veracruz, dos escuelas en Ixtaczoquitlán tuvieron que ser demolidas, no se reportaron víctimas mortales.
May-21-2011	Siniestro	Dentro de la penitenciaría de Apodaca en Monterrey, Nuevo León se registra un incendio, provocando que 14 reos fallecieran y 35 más resultaran heridos.

(Continúa)



Fecha	Tipo	Suceso
Abr-04-2011	Seguros	MetLife México integra la cartera y operación de Alico México Compañía de Seguros (subsidiaria de AIG para la operación de Vida), aseguradora número 23 en con base a las primas emitidas al cierre de 2010.
Abr-07-2011	Fenómeno natural	Ocurre un sismo de 7.0 grados Richter en Las Choapas, Veracruz, que cobra la vida de una persona y provoca daños menores en inmuebles.
Jun-19-2011	Fenómeno natural	El Huracán Beatriz afecta la costa occidental de México cobrando cuatro víctimas.
Ago-25-2011	Nacional	En Monterrey, Nuevo León, ocurre un atentado terrorista en las instalaciones del Casino Royale, provocando la muerte de 53 personas.

(Continúa)



Fecha	Tipo	Suceso
Sep-2-2011	Fenómeno natural	En el estado de México se desborda el río Cuautitlán a causa de las fuertes lluvias, la corriente alcanza cuatro metros que afectan viviendas en los municipios de Cuautitlán, Teoloyucan, Nicolás Romero y Atizapán de Zaragoza. Se reportan tres muertos por las inundaciones.
Ene-04-2012	Siniestro	Se registra un incendio en oficinas de la mueblería Famsa en Monterrey deja cinco muertos y 43 lesionados.
Feb-13-2012	Seguros	Sura incursiona en México a través de la compra de Afore ING.

(Continúa)



Fecha	Tipo	Suceso
Mar-20-2012	Fenómeno natural	Ocurre un sismo de 6.0 grados Richter en Ometepec, Guerrero, que cobra la vida de dos personas, deja múltiples heridos y daños menores en infraestructura e inmuebles.
Jun-01-2012	Seguros	GNP se retira de la operación de Salud al vender Médica Integral GNP (fundada en 1999) a Medicaces.
Jul-01-2012	Nacional	Se realizan las elecciones presidenciales.
Ago-12-2012	Internacional	Finalizan los Juegos Olímpicos de Londres 2012. México se colocan en la posición 38 al obtener una medalla de oro, tres de plata y cuatro de bronce.

(Continúa)



Fecha	Tipo	Suceso
Dic-01-2012	Nacional	Enrique Peña Nieto toma posesión como presidente de México, simultáneamente en distintos lugares del país el Movimiento #Yosoy132 y diversos grupos inconformes protestaban en contra.
Ene-31-2013	Siniestro	Se registra una explosión en el complejo de la Torre Ejecutiva Pemex de la Ciudad de México deja 37 muertos y 126 heridos.
Abr-11-2013	Seguros	ING se retira totalmente del mercado mexicano, al solicitar la revocación de sus autorizaciones; ello después de haber vendido su unidad de seguros y fianzas a la francesa AXA y la AFORE a la colombiana Sura.

(Continúa)



Fecha	Tipo	Suceso
Dic-11-2013	Nacional	El Senado de la República aprobó en los primeros minutos del día (a medianoche) la reforma constitucional en materia energética.
Jul-07-2014	Fenómeno natural	Ocurre un sismo de 6.0 grados Richter, 47 km al suroeste de Tapachula, Chiapas; cobrando la vida de dos personas, dejando 37 lesionados, generando 400 desalojos y daños parciales o totales en 2,600 inmuebles, así daños en tramos carreteros.
Sep-26-2014	Nacional	Se produce el asesinato de tres estudiantes de la Escuela Normal Rural de Ayotzinapa, tres civiles y 43 desaparecidos en Iguala, Guerrero.

(Continúa)



Fecha	Tipo	Suceso
Ene-01-2015	Nacional	Se decreta el aumento del precio de la gasolina en México. Se producen protestas a nivel nacional a consecuencia del aumento.
Ene-29-2015	Siniestro	Ocurre una explosión en un hospital materno en Cuajimalpa, dejando siete muertos y 60 heridos.
Abr-04-2015	Seguros	Entra en vigor la nueva Ley de Instituciones de Seguros y Fianzas. La nueva ley incorpora los principios definidos por la directiva europea denominada Solvencia II.
May-29-2015	Nacional	La Secretaría de Educación Pública suspende indefinidamente la evaluación para el ingreso, promoción y permanencia de profesores en educación básica y media.
Jun-07-2015	Nacional	Se realizan las elecciones federales intermedias.

(Continúa)



Fecha	Tipo	Suceso
Jun-10-2015	Nacional	En un contexto de percepción de haberse realizado posibles malas prácticas electorales, se decide 60% de las casillas se abran para aplicar el recuento de votos.
Jun-01-2016	Seguros	El grupo colombiano Suramericana de Seguros (SURA) concreta la compra de la operación en México de la británica Royal & SunAlliance Seguros, institución de seguros número 22 con base en prima emitida al cierre de 2015.
Nov-09-2016	Internacional	Contrario a las expectativas y apoyado de una retórica nacionalista, Donald Trump es declarado ganador de las elecciones presidenciales de los Estados Unidos. Tomará protesta el 20 de enero del siguiente año.

(Continúa)



Fecha	Tipo	Suceso
Dic-20-2016	Siniestro	En Tultepec, Estado de México ocurre una explosión en el mercado de pirotecnia (san Pablito) que deja un saldo de 36 muertos, entre ellos ocho niños; 26 personas murieron en el lugar de los hechos y 10 más en hospitales.
Ene-08-2017	Nacional	Entra en vigor el alza a la gasolina. Se producen protestas y saqueos a tiendas departamentales por el denominado "gasolinazo".
Sep-07-2017	Fenómeno natural	Se registra un terremoto de magnitud 8.2 a 137 kilómetros de Pijijiapan, Chiapas. Se reportan más de 98 muertes y daños en diversos estados. El terremoto es el catalogado como el de mayor magnitud de épocas recientes.

(Continúa)



Fecha	Tipo	Suceso
Sep-19-2017	Fenómeno natural	Ocurre el “Terremoto de México de 2017” con 7.1 grados en la escala Richter y epicentro en Axochiapan, Morelos, afectó considerablemente la infraestructura en los estados de Puebla, Morelos y de la Ciudad de México. Deja 369 muertos, 100 desaparecidos y al menos 44 edificios con daño estructural. Junto con el de 1985, es uno de los sismos que mayores afectaciones y víctimas en los últimos 50 años. Paradójicamente el sismo ocurrió el mismo día del aniversario luctuoso del Terremoto de 1985.

(Continúa)



Fecha	Tipo	Suceso
Ene-10-2018	Seguros	Chubb Group anuncia que concluyó la fusión de sus compañías en México ABA Seguros y Chubb Compañía de Seguros bajo la licencia de ACE Seguros. Operará como Chubb Seguros México, mientras que la marca ABA se mantendrá como parte de la estrategia comercial.
Jul-01-2018	Nacional	Se realizan las elecciones presidenciales.
Jul-05-2018	Siniestro	Explosiones en el municipio de Tultepec, Estado de México debidas a la pirotecnia dejan al menos 24 personas fallecidas.
Jul-31-2018	Siniestro	Accidente del Vuelo 2431 de Aeroméxico sin fallecimiento gracias a maniobras del piloto.

(Continúa)



Fecha	Tipo	Suceso
Dic-01-2018	Nacional	Enrique Peña Nieto, presidente desde el 1 de diciembre de 2012 concluye su mandato presidencial y cede el poder a Andrés Manuel López Obrador en un contexto de gran entusiasmo de la población y de desconfianza del empresariado y los mercados.
Dic-24-2018	Nacional	Ocurre un accidente aéreo en Coronango, Puebla, que resulta en la muerte de la gobernadora de la entidad, Martha Érika, así como su esposo, el senador Rafael Moreno Valle Rosas. El evento ocurrió diez días después de haber entrado en funciones como gobernadora.

(Continúa)



Fecha	Tipo	Suceso
Ene-02-2019	Seguros	El Gobierno Federal notifica a MetLife la cancelación del seguro de Gastos Médicos Mayores de los servidores públicos.
Ene-18-2019	Siniestro	Se produce una explosión en una toma clandestina de gasolina en Tlahuelilpan, Hidalgo, dejando al menos 131 personas muertas.
Ene-31-2019	Seguros	El Gobierno Federal elimina de forma efectiva su participación en los Seguros de Separación Individualizados, operados por MetLife.
Mar-27-2019	Nacional	Entra en vigor la reforma constitucional que crea la Guardia Nacional y la consecuente extinción de la Policía Federal.

(Continúa)





Figura 9 Tasas de crecimiento.

DANOS	Prima Directa Emitida	Variación Anual	Part. del Segmento	Costo de Adquisición	Part. del C. Adq	Costo de Sinies-tralidad	Part. del C. Sin	Costo de Operación	Part. de C. de Op.
2002	105,852,487,626		44.47%	12,557,002,879	11.62%	45,295,588,024	51.75%	11,590,895,860	9.74%
2003	108,885,159,986	2.9%	49.70%	13,609,171,586	13.34%	46,430,992,495	46.78%	11,634,681,260	9.91%
2004	111,945,167,834	2.8%	46.32%	15,460,318,550	14.57%	46,645,430,570	45.49%	11,476,973,162	9.16%
2005	107,239,407,239	-4.2%	45.56%	15,935,367,888	15.34%	48,829,336,885	49.83%	9,494,447,439	8.59%
2006	111,347,132,073	3.8%	41.56%	17,124,276,266	15.59%	54,331,601,934	48.53%	9,592,386,298	7.75%
2007	126,810,781,546	13.9%	42.33%	18,323,006,677	15.01%	59,937,444,794	49.15%	8,932,581,293	6.95%
2008	124,679,235,413	-1.7%	41.08%	17,601,965,193	14.86%	57,148,153,790	50.77%	11,452,647,726	8.12%
2009	139,995,971,952	12.3%	42.32%	18,766,478,147	14.10%	57,005,437,001	49.70%	9,650,782,413	6.98%
2010	128,741,523,850	-8.8%	40.29%	18,450,894,577	15.22%	58,131,168,851	51.58%	8,815,678,777	7.41%
2011	148,055,608,158	15.0%	41.75%	21,282,127,807	15.10%	60,256,064,736	47.87%	8,305,528,273	6.48%
2012	153,148,278,192	3.4%	40.50%	23,175,018,418	15.62%	56,581,232,395	45.75%	8,936,024,388	6.25%
2013	165,150,143,800	7.8%	40.66%	24,779,311,104	15.09%	58,800,606,747	47.60%	9,637,187,510	6.42%
2014	156,848,435,838	-5.0%	38.73%	24,490,827,825	15.36%	59,421,910,198	50.08%	10,468,452,105	6.30%
2015	174,510,369,943	11.3%	39.77%	27,618,976,486	15.73%	63,482,915,366	49.59%	11,046,373,826	6.52%
2016	187,840,198,914	7.6%	38.74%	29,819,400,902	15.99%	71,759,977,993	49.71%	11,859,172,095	6.58%
2017	207,315,515,307	10.4%	41.67%	29,592,585,392	15.06%	76,373,739,985	50.98%	12,895,687,725	6.45%
2018	201,200,530,033	-2.9%	39.15%	29,219,225,575	14.78%	78,360,326,503	51.06%	13,865,745,537	6.60%
2019	219,558,230,268	9.1%	39.08%	29,955,115,533	13.95%	71,400,787,999	51.31%	15,628,677,690	6.13%

Figura 10 Primas históricas de la operación de daños.

en su participación contra el sector en su conjunto. Vea la Figura 9.

En 2002 la prima emitida directa de daños representaba 44.47% de la suma de las tres operaciones, para el cierre de 2019 esta cifra decreció a 39.08%. Tanto para la participación del costo de adquisición como de la sinies-tralidad en la prima, en consonancia con el resto de sector esto se mantienen en rangos cerrados y sin una deriva clara de incremento o decremento. Finalmente, análogo al resto de las operaciones, el costo operativo pasó de 9.74% en 2002 a 6.13% en 2019. Vea la Figura 10.

Sucesos relevantes recientes (2002 – 2019)

A continuación revisamos los momentos críticos de mayor relevancia de casi dos décadas en México (relacionados al sector, eventos internacionales y nacionales, así como fenómenos naturales) con el fin de poder determinar posibles relaciones con los cambios en prima emitida.

Fecha	Tipo	Suceso
May-09-2019	Nacional	Se presenta una crisis ambiental de la Ciudad de México, que durará hasta el 18 de mayo, por lo que se restringe la circulación a particulares.
Oct-25-2019	Fenómeno natural	Se producen una serie de incendios forestales en Tijuana, Ensenada, Tecate y Rosarito. El Gobierno de México declara estado de emergencia. (Vea Anónimo (2020a,b,c).)

Análisis exploratorio: comportamiento de primas, periodos críticos y evolución de PIB

Comportamiento del sector en su conjunto.

Al revisarse la evolución del sector asegurador en su conjunto, con base en los cambios anuales del volumen de la prima directa emitida, se apreció que en general su crecimiento es superior al de la economía mexicana en su conjunto. Sin embargo, la curva de crecimiento del sector se mostró con una alta volatilidad y con periodos de comportamiento anómalos. El primer periodo anómalo o irregular se presentó en el intervalo de 2003 a 2005, mismo que puede ser atribuible a la inestabilidad que generó la consolidación de MetLife México.

Cabe señalar que la compañía de origen americana había adquirido una participación en el año 1992 dentro de seguros Génesis y en 2002 resultó ganadora del concurso de desincorporación (privatización) de Aseguradora Hidalgo (AHISA), la paraestatal más grande del sector, misma que se posicionaba como la sexta aseguradora con mayor volumen de primas y cuya cartera se componía 90% de primas de la operación de Vida. Vea la Figura 11.





Figura 11 Tasas de crecimiento.

Asimismo se observó un periodo anómalo comprendido de 2009 a 2010, donde la curva de crecimiento del sector pierde relación con la economía mexicana en su conjunto. De 2011 a 2013 se observó la correlación más armoniosa de ambas curvas, en donde la tasa del sector se mantuvo bajo una fuerte correlación con el crecimiento de la economía. Finalmente, tanto en el periodo 2014 como en el comprendido por 2016 y 2017 la curva presenta una baja correlación. Dada la aparente ausencia de correlación de las curvas, se abordó el análisis a través del estudio segmentado de cada operación: Vida, Accidentes y Enfermedades (que incluye a las Instituciones Especializadas en Salud -ISES- del ramo de Salud) y Daños (que incluye el ramo de Automóviles).

Comportamiento de la operación de vida. Al revisarse el comportamiento de la operación de vida, se apreció que el periodo anómalo comprendido de 2003 a 2006 del sector en su conjunto es producto de la operación de Vida. Dado que en este periodo fue cuando se dio la mayor consolidación del sector de la época reciente, es que se atribuye la variación de las tasas a variaciones en el reporte de cifras. Vea la Figura 12.

Se documenta en prensa nacional las discrepancias de cifras, en una etapa inicial con acusaciones por parte de la oposición política en turno de una subvaluación del valor real de Aseguradora Hidalgo al momento de su venta; posteriormente MetLife México, ya habiendo tomado el control de la cartera, acusó de que el número real de pólizas vigentes era menor al número de pólizas que se había informado en el proceso de venta. Cf. Vargas (2020).

A consecuencia de las irregularidades de la base estadística de este periodo es que se tomó para el análisis de la tendencia de la operación de vida, las cifras a partir de 2007. Se construyeron tres curvas a partir de las tasas de cambio en prima de la operación de vida, de la tasa



Tasas de crecimiento y diferencia de tasas: Vida

Año	Tasa Vida	Tasa PIB	Diferencia
2003		1.508%	
2004		6.658%	
2005		4.824%	
2006		6.841%	
2007	8.314%	4.293%	4.021%
2008	3.232%	0.806%	2.426%
2009	7.590%	-4.944%	12.533%
2010	-1.677%	5.263%	-6.940%
2011	8.539%	5.684%	2.855%
2012	10.366%	4.140%	6.226%
2013	6.768%	-1.029%	7.797%
2014	1.763%	3.204%	-1.441%
2015	7.905%	4.005%	3.900%
2016	12.043%	4.860%	7.183%
2017	-4.165%	2.055%	-6.220%
2018	8.510%	2.308%	6.202%
2019	8.163%	0.197%	7.966%
Promedio	5.991%	2.981%	3.578%

Figura 12 Tasas de crecimiento y diferencia de tasas.

de cambio anual del Producto Interno Bruto y se generó una tercera curva consecuencia de las dos primeras. La columna diferencia se definió como su nombre lo señala es la resta entre la tasa de cambio de anual del PIB y de la operación de vida. Al obtener el promedio simple de los puntos para las tres curvas se observó que, efectivamente, la evolución de la operación es superior a la de la economía en su conjunto. En este análisis en específico la diferencia de alrededor de 3 puntos adicionales sobre la evolución anual de PIB. Vea la Figura 13.

Al graficar las tres curvas se observó que la relación de las curvas no es directa y que propiamente la evolu-

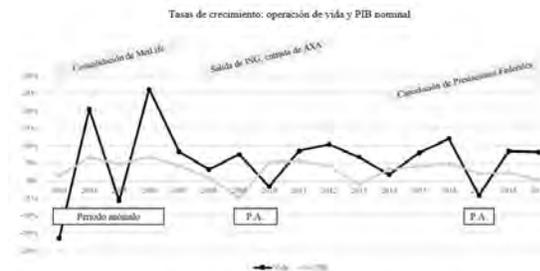


Figura 13 Tasas de crecimiento.

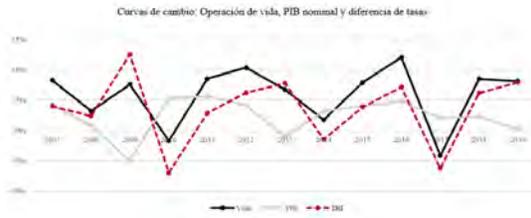


Figura 14 Curvas de cambio.



Figura 15 Tasas de crecimiento.

ción del PIB y el Ramo no guardan relación directa. Sin embargo, en un mediano plazo la operación, pese a la irregularidad en su comportamiento, crece a una tasa superior a la economía. Vea la Figura 14

Cabe señalar que el seguro en México aún se encuentra en una fase de adopción, en la cual la penetración del mercado es baja, pero con tendencia de incremento gradual. Hace tres décadas, en 1989, la penetración del seguro era del 1.3 % en relación con el PIB, para el cierre de 2019 la participación del sector en el PIB había incrementado un punto porcentual al colocarse 2.3 % (cf. Saldívar (2020)). Vea la Figura 15.

En ausencia de eventos puntuales, exceptuando el caso ya incorporado de ASEMEX, que se pueda evidenciar que han afectado el crecimiento en el volumen de primas de la operación de Vida y con el seguro en clara fase adopción por parte de la sociedad mexicana, se construyó una Función de Sobretasa de la operación. Con base en lo anteriormente señalado, se propone que la mejor forma de estimar a-priori el crecimiento de cada operación, es la construcción de una Función de Sobretasa por Operación que es consecuencia la diferencia de la función de la tasa de crecimiento del PIB y el crecimiento de cada operación.

La metodología utilizada para la construcción de la función de sobretasa es a través de dos regresiones lineales por el método de mínimos cuadrados, en donde los

puntos de crecimiento de la operación son utilizados para construir la primera función y los puntos de crecimiento del PIB generan la segunda función; la resta algebraica de ambas funciones resulta en la función a utilizar para obtener la mejor estimación del crecimiento de la operación. Realizando una prueba empírica inicial a través de una regresión lineal por el método de los mínimos cuadrados, obtenemos las regresiones siguientes por el método de mínimos cuadrados.

La curva de cambio de primas de vida es

$$y = 0.0005x + 0.0536, \quad (1)$$

con un coeficiente de determinación $R^2 = 0.0019$. La curva de cambio del PIB resultó ser

$$y = -0.0013x + 0.0419, \quad (2)$$

con $R^2 = 0.0499$. La sobretasa de vida queda modelada por

$$y = 0.0018x + 0.0117, \quad (3)$$

y la versión suavizada de (3) es:

$$y = 0.5(0.0018x + 0.0117) + 0.5(0.03578). \quad (4)$$

Regresión	Valor en $t_0 = 2003$	Valor en $t_f = 2019$
(1)	5.57 %	6.58 %
(2)	2.16 %	2.55 %
(3)	1.17 %	4.23 %
(4)	2.37 %	3.90 %

Al presentarse una deriva significativa de la función de sobretasa y teniendo en cuenta que las regresiones realizadas parten de una muestra reducida de puntos es que se aplica un ponderado simple de la función de sobretasa con el promedio de las diferencias. Dicho resultado se denominó la función de sobretasa suavizada. Con ello se introduce en la metodología de realizar un ajuste a la función de sobretasa al revisar periodos de tiempo relativamente cortos; en un abordamiento matemáticamente más refinado, dicha ponderación puede realizarse a través de la teoría de la credibilidad. A través de la definición de las funciones y derivando a las mismas, se apreció en el análisis exploratorio que la tendencia de mediano plazo es que el crecimiento de la operación de vida presenta en 2003 una sobretasa suavizada de 2.37 puntos sobre la variación del PIB que se incrementa a 3.90 % para 2019. Ello señala que la operación de vida se encuentra en una fase de expansión.



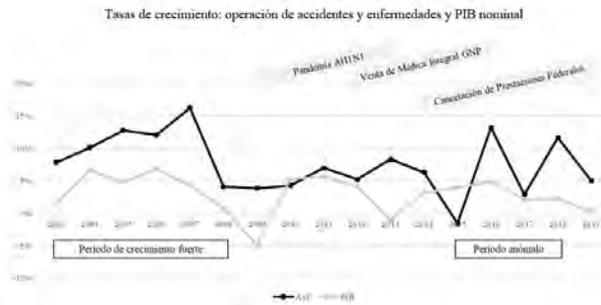


Figura 16 Tasas de crecimiento.

Comportamiento de la operación de accidentes y enfermedades. Al revisarse los acontecimientos recientes de la operación de Accidentes y Enfermedades (A&E) se apreció un periodo de crecimiento fuerte en los años que preceden a 2010. Este periodo puede ser atribuible a las inversiones y el impulso que generó la creación del ramo de Salud, compuesto por las Instituciones de Seguros Especializadas en Salud (ISES). Cabe recordar que este ramo es introducido al mercado asegurador en 1997 al ser regulada la actividad en la Ley General de Instituciones y Sociedades Mutualistas de Seguros (LSISMS) en su Capítulo XII- página 191-i con lo cual el estado brinda un marco jurídico para la operación de los prestadores de servicios médicos menores que hasta esa fecha no se encontraban debidamente regulados. Vea las Figuras 16 y 17.

Con la implementación de una regulación específica para los proveedores existentes es que se generan inversiones de los propios participantes del sector, como lo fue el caso de Médica Integral GNP, Salud Comercial América y General de Salud; así como el ingreso de nuevos grupos empresariales, antes ajenos al sector, como lo fue Plan Seguro (actualmente la ISES con mayor volumen de primas) –vea [Minzoni \(2015\)](#)- y Seguros Centauro (enfocados en servicios dentales y de visión) –vea [Secretaría de Gobernación \(2004\)](#)-.

No sobra detallar que las exceptivas del mercado eran altas y por tal razón tanto grupos financieros (la banca), compañías de seguros y capitales de terceros no escatimaron en realizar las inversiones necesarias para contar a la brevedad con la infraestructura necesaria para posicionarse como proveedores de servicios de salud de calidad. Esto fue consecuencia de la propuesta del estado de hacer partícipes directas a las instituciones de seguros en la prestación de servicios de salud, con el fundamento de



Tasas de crecimiento y diferencia: Accidentes y enfermedades

Año	Tasa A&E	Tasa PIB	Diferencia
2003		1.508%	
2004		6.658%	
2005		4.824%	
2006		6.841%	
2007		4.293%	
2008	4.111%	0.806%	3.305%
2009		-4.944%	
2010	4.313%	5.263%	-0.949%
2011	6.999%	5.684%	1.315%
2012	5.202%	4.140%	1.061%
2013	8.319%	-1.029%	9.347%
2014	6.279%	3.204%	3.075%
2015	-1.577%	4.005%	-5.583%
2016	13.164%	4.860%	8.305%
2017	2.900%	2.055%	0.845%
2018	11.683%	2.308%	9.374%
2019	5.004%	0.197%	4.806%
Promedio	6.036%	2.981%	3.173%

Figura 17 Tasas de crecimiento y diferencia.

que las compañías de aseguradoras pudieran absorber la demanda mediante la reversión de cuotas (vea [Anónimo \(2001\)](#)). Sin embargo, una férrea oposición del sindicato del IMSS y críticas que argumentaban que esta acción pudiera significar el detonante del proceso de privatización del sistema de salud público, impidieron que la reversión de cuotas del IMSS a las instituciones de seguros se llevara a cabo (vea [Caballero \(2014\)](#)).

La euforia que generó un periodo de crecimiento fue consecuencia de la expectativa de la reforma del sistema de salud público que inicia con los cambios a la LGISMS que regula a la operación de las ISES en el sexenio de Ernesto Zedillo, con la intención de la Secretaria de Salud de implementarla durante el sexenio de Vicente Fox y aún en 2007 se señaló en el apartado de acciones de largo plazo del Plan Estratégico para el Desarrollo de los Seguros de Salud y Gastos Médicos de la AMIS, presentado por el Director de GNP en ese entonces, Clemente Cabello (vea [Cabello \(2007\)](#)).

Dada la oposición y las críticas a la propuesta es que las altas expectativas de los inversores y las instituciones se mesuran y el periodo de alto dinamismo culmina. Podemos señalar que este impacto se prolonga desde 1997

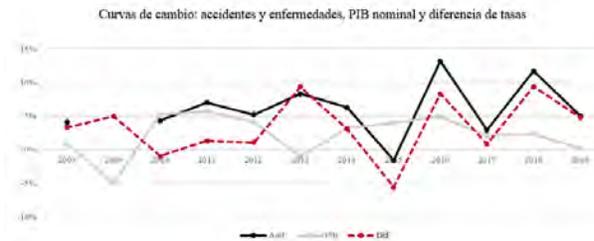


Figura 18 Curvas de cambio.

hasta 2007, dado que en el año 2008 la tasa de crecimiento de la operación se vuelve más cercana (aunque superior) a las tasas de crecimiento de la economía. Símbolo tangible del desvanecimiento de esta expectativa es la salida definitiva de GNP del ramo de Salud al vender su ISES a Mediaccess, tan sólo un par de años de finalizado el periodo de crecimiento fuerte. Asimismo, cabe retomar de la revisión de eventos históricos relevantes, el evento de la pandemia de la gripe porcina AH1N1 sufrida a mediados de 2009. Para medir su impacto es que se construirá la tendencia excluyendo dicho año y posteriormente se calculará la diferencia entre la valuación de la tendencia contra la tasa real, para con ello determinar el impacto de la pandemia en la tasa de crecimiento de la operación. A consecuencia del periodo excepcional que vivió la operación hasta 2007, es que se tomó la estadística a partir de 2008 en adelante, omitiendo 2009, dado que a partir de este año el efecto de las expectativas de la reversión de cuotas ya se apreció no significativo y se aprecia una mayor correlación de la curva del PIB y la de la Operación de Accidentes y Enfermedades. Vea las Figuras 18 y 19.

De forma homóloga a la operación de Vida, se construyeron tres curvas a partir de las tasas de cambio en prima de la operación de Vida, de la tasa de cambio anual del Producto Interno Bruto y se generó una tercer curva consecuencia de las dos primeras. La curva de Diferencia se definió como su nombre lo señala es el cálculo de la diferencia anual entre la tasa de cambio de PIB y de la Operación de A&E. Al obtener el promedio simple de los puntos para las tres curvas se observó que, efectivamente, la evolución de la operación es superior a la de la economía en su conjunto. En este análisis en específico la diferencia de alrededor de 3.173 puntos adicionales sobre la evolución anual de PIB.

Al graficar las tres curvas se observó que la relación de las curvas es similar y únicamente se presenta un

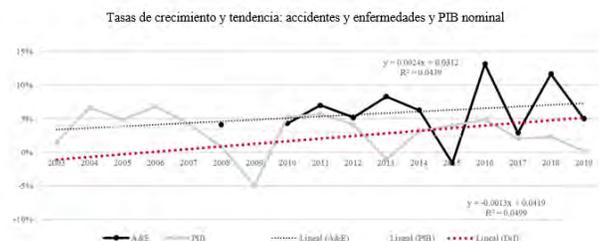


Figura 19 Tasas de crecimiento y tendencia.

periodo anómalo, aunque con deriva similar, de 2015 a 2019. Asimismo, en un mediano plazo la operación, pese a la irregularidad en su comportamiento, crece a una tasa superior a la economía e inclusive su adopción es más acelerada que el seguro de vida.

Realizando, de forma análoga a vida, una prueba empírica inicial a través de una regresión lineal por el método de los mínimos cuadrados y realizando el proceso de suavización de la función de sobretasa obtenemos que la curva cambio de primas de A&E está dada por

$$y = 0.0024x + 0.0312, \quad (5)$$

con un coeficiente de determinación $R^2 = 0.0439$; que la curva de cambio del PIB es

$$y = -0.0013x + 0.0419, \quad (6)$$

con $R^2 = 0.0499$; que la Sobretasa A&E es

$$y = 0.0037x \sim 0.0107; \quad (7)$$

y que la versión suavizada de (7) es

$$y = 0.5(0.0037x \sim 0.0107) + 0.5(0.03173). \quad (8)$$

Regresión	Valor en $t_0 = 2003$	Valor en $t_f = 2019$
(5)	3.12 %	7.20 %
(6)	4.19 %	1.98 %
(7)	-1.07 %	5.22 %
(8)	1.05 %	4.20 %

A través de la definición de las funciones y derivando a las mismas, se apreció en el análisis exploratorio que la tendencia de mediano plazo es que el crecimiento de la operación de accidentes y enfermedades presenta en





Figura 20 Tasas de crecimiento.

2003 una sobretasa suavizada de 1.05 puntos sobre la variación del PIB que se incrementa a 4.20 % para 2019. Ello nos señala que la operación se encuentra en una fase de expansión acelerada. Esta tendencia se construyó descontando el efecto de la ISES y de la Pandemia de 2010. Para estimar el impacto de la pandemia en la operación basta realizar el obtener la diferencia entre la suma del PIB y función de sobretasa suavizada con el resultado real de dicho año. Esto es:

$$\begin{aligned}
 I_{A\&E,2009} &= 2.426 \\
 &- (PIB + [0.5(0.0037x^{-0.0107}) + 0.5 \times 0.03173]) \\
 &= 2.426 - (-4.944 + [2.035 \%]) \\
 &= 2.426 - (-2.88526) \\
 &= 5.311.
 \end{aligned}$$

De esta forma que se estima que el impacto que tuvo la pandemia de la gripe porcina en el crecimiento de la operación de accidentes y enfermedades fue de alrededor de 5.311 puntos.

Primas de la Operación de Daños. Para el caso de daños se observó la mayor variabilidad entre las curvas de tasa de crecimiento del PIB y tasa de crecimiento de la operación. Al revisarse los eventos históricos relevantes se notó que estos no generan un impacto directo en la evolución de la operación. Inclusive en el caso del terremoto más reciente, el de Ciudad de México en 2017, se notó que este evento no generó un impacto notable en el crecimiento. Vea la Figura 20.

Abordamos la evolución daños de forma general, es decir, dadas la ausencia de eventos o factores de los que se tenga evidencia que hayan impactado la tendencia de crecimiento de la operación que su proyección se limita al cálculo de la sobretasa promedio de mediano plazo. Vea las Figuras 21 y 22.

Como en los dos casos anteriores, se generan las curvas con las tasas de cambio en PIB y de la operación,



Figura 21 Tasas de crecimiento y tendencia.

Tasas de crecimiento y diferencia: Daños

Año	Tasa Daños	Tasa PIB	Diferencia
2003	2.884%	1.508%	1.377%
2004	2.810%	6.658%	-3.848%
2005	-4.204%	4.824%	-9.027%
2006	3.830%	6.841%	-3.011%
2007	13.888%	4.293%	9.595%
2008	-1.681%	0.806%	-2.487%
2009	12.285%	-4.944%	17.229%
2010	-8.039%	5.263%	-13.302%
2011	15.002%	5.684%	9.318%
2012	3.440%	4.140%	-0.701%
2013	7.837%	-1.029%	8.865%
2014	-5.027%	3.204%	-8.231%
2015	11.260%	4.005%	7.255%
2016	7.638%	4.860%	2.779%
2017	10.367%	2.055%	8.312%
2018	-2.949%	2.308%	-5.257%
2019	9.124%	0.197%	8.927%
Promedio	4.616%	2.981%	1.635%

Figura 22 Tasas de crecimiento y diferencia.



Figura 23 Curvas de cambio.

así como la diferencia directa de cada año. Al obtener el promedio simple de los puntos para las tres curvas se observó que, efectivamente, la evolución de la operación es superior a la de la economía en su conjunto. En este análisis en específico la diferencia marginal de alrededor de 1.635 puntos adicionales sobre la evolución anual de PIB.

Dado el comportamiento anómalo generalizado es que se toman el histórico de datos completo, sin realizar acotaciones como el caso de vida y accidentes y enfermedades. Cabe señalar que al inicio de la década del 2000 el crecimiento de daños era menor al de la economía en su conjunto, sin embargo, la operación cuenta con un componente de aceleración que ha hecho de en los años más recientes su crecimiento sea en promedio superior al de la economía mexicana. Vea la Figura 23.

Al realizarse la prueba empírica inicial a través de una regresión lineal por el método de los mínimos cuadrados y realizando el proceso de suavización de la función de sobretasa, obtuvimos que la curva de cambio de primas daños es

$$y = 0.0024x + 0.0245, \quad (9)$$

con $R^2 = 0.0293$; la curva de cambio del PIB es

$$y = -0.0013x + 0.0419, \quad (10)$$

con $R^2 = 0.0499$; la sobretasa de daños es

$$y = 0.0037x - 0.0174; \quad (11)$$

y versión suavizada de (11) es

$$y = 0.5(0.0037x - 0.0174) + 0.5(0.01635). \quad (12)$$

Regresión	Valor en $t_0 = 2003$	Valor en $t_f = 2019$
(9)	2.45 %	6.29 %
(10)	4.19 %	2.11 %
(11)	-1.74 %	4.55 %
(12)	-0.05 %	3.09 %

A través de la definición de las funciones y derivando a las mismas, se apreció en el análisis exploratorio que la tendencia de mediano plazo es que el crecimiento de la operación de daños presenta en 2003 una sobretasa suavizada de -0.05 puntos sobre la variación del PIB que se incrementa a 3.09 % para 2019. Ello nos señala que la operación de daños parte de un escenario de nula expansión y que, sin embargo, hoy encuentra en una fase de expansión.

3. FUNDAMENTOS Y DESARROLLO DEL MODELO

Para el modelado del comportamiento de las primas directas emitidas del sector asegurador y la consecuente estimación a priori del cambio a futuro de estas es necesario contar con los siguientes insumos:

- Vectores de primas directas emitidas divididas por operación, es decir, una tabla para vida, otra para accidentes y enfermedades y finalmente la correspondiente a daños (incluyendo autos). Dichas cifras habrán de presentarse en pesos constantes al año de su reporte, sin actualización alguna.
- Vector con valores del Producto Interno Bruto (PIB) nominal año calendario, con el mismo número de elementos que años contemplados en las tablas de primas, los valores del PIB deberán de presentarse sin actualizaciones.
- Vector de tipo de cambio peso sobre dólar (MXN/USD) vigente a mediados de año (se toma como referencia el último tipo de cambio fix reportado en el Diario Oficial de la Federación al 30 de junio de cada año).
- Vector con la prima pagada por la Póliza Integral de PEMEX, en dólares.
- Valores del Índice Nacional de Precios al Consumidor (INPC) al cierre de cada año. Con los insumos señalados se procede realizar los ajustes previos para construir las curvas de tendencia.



Modelos de regresión lineal

Un modelo de regresión es un modelo matemático que busca determinar la relación entre una variable dependiente (y), con respecto a otras variables, llamadas explicativas o independientes (x). Estos modelos, al contar coeficientes de error, permiten determinar la bondad de ajuste de la función lineal a la muestra o datos sobre los que se realizó la regresión. Las técnicas estadísticas que apoyan para ajustar una función lineal a la muestra son el método de regresión lineal simple y el método de cuadrados mínimos; para lo cual se revisan las definiciones, para optar por el método que mejor sirva para estimar el desarrollo del sector asegurador, dado los insumos con lo que se cuenta.

- Regresión lineal simple (vea [Montgomery \(2012\)](#)). El objetivo de un modelo de regresión es tratar de explicar la relación que existe entre una variable dependiente (variable respuesta) y , y un conjunto de variables independientes (variables explicativas) x_1, x_2, \dots, x_n . Mediante las técnicas de regresión de una variable y sobre una variable x , se busca definir una función que sea una buena aproximación de una nube de puntos (x_i, y_i) . El modelo de regresión lineal simple se define de la siguiente forma:

$$y = \alpha - \beta x + \varepsilon,$$

donde α es la ordenada en el origen, β es la pendiente de la recta, y ε es una variable que incluye un conjunto grande de factores, cada uno de los cuales influye en la respuesta sólo en pequeña magnitud, a la que se le denomina error. Se supone que x y y son variables aleatorias, por lo que no se puede establecer una relación lineal exacta entre ellas.

- Regresión lineal por el método de mínimos cuadrados. El método de mínimos cuadrados es una técnica de análisis numérico enmarcada dentro de la optimización matemática, en la que, dados un conjunto de pares ordenados (variable independiente y variable dependiente) y una familia de funciones, se busca encontrar una función continua, dentro de dicha familia, que mejore aproxime a los datos. Puede encontrar detalles sobre el método en [Montgomery \(2012\)](#).

Pertinencia del modelo de regresión seleccionado. Como contamos con más de diez datos y por tener mayor sensibilidad de las varianzas es que se toma como el método de los cuadrados mínimos como el mejor estimador de funciones para el modelo experimental propuesto.



Formulación matemática del modelo

Insumos. Dados los siguientes vectores de n elementos, en donde n es el número de años sobre los que se ha de aplicar el modelo, definimos:

- IEV como el vector de primas directas emitidas de vida al cierre anual.
- IEA como el vector de primas directas emitidas de accidentes y enfermedades al cierre anual.
- IED como el vector de primas directas emitidas de daños al cierre anual.
- IPB como el vector con valores año calendario (sin actualizaciones) del Producto Interno Bruto nominal.
- ITC como el vector de tipo de cambio peso sobre dólar (MXN/USD) vigente a mediados de año (se toma como referencia el último tipo de cambio fix reportado en el Diario Oficial de la Federación al 30 de junio de cada año).
- IPM como el vector con la prima pagada por año de la póliza integral de PEMEX, en dólares, cabe señalar que la póliza es bianual, por lo que el vector contendrá ceros de forma alternada.
- IIP como el vector de valores del Índice Nacional de Precios al Consumidor (INPC) al cierre del año.

Construcción de Matrices de Soporte. Contando con los insumos se procede a ajustar los vectores para obtener la curva de tendencia por operación, así como la de curva de evolución del PIB. A continuación, se describen los pasos que seguiremos.

Matriz XIP : Se declara una matriz de actualización (XIP), de dimensión $n \times 4$, donde n es el número periodos de tiempo, de misma duración que de los que se cuenta con información. El (i, j) -ésimo elemento de la matriz se calcula de la siguiente forma:

- Los elementos de la primera columna corresponden a cada periodo de forma ascendente.
- La segunda columna corresponde al vector de IIP .
- La tercera columna es el factor de actualización a valor presente, obtenidos a partir de los valores del vector IIP , para su cálculo se divide el último valor del vector IIP entre el valor del reglón correspondiente. De tal forma que el $(i, 3)$ -ésimo elemento de XIP es igual a $\frac{IIP_n}{IIP_i}$.
- La cuarta columna corresponde a la curva con las tasas de inflación anual. El $(i, 4)$ -ésimo de la matriz XIP es la razón $\frac{IIP_{i-2}}{IIP_{i-1}} - 1$; y 0 para cualquier otro caso.

Así,

$$XIP = \begin{pmatrix} 1 & IIP_1 & \frac{IIP_n}{IIP_1} & 0 \\ 2 & IIP_2 & \frac{IIP_n}{IIP_2} & \frac{IIP_1}{IIP_2} - 1 \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ n-1 & IIP_{n-1} & \frac{IIP_n}{IIP_{n-1}} & \frac{IIP_{n-2}}{IIP_{n-1}} - 1 \\ n & IIP_n & \frac{IIP_n}{IIP_n} & \frac{IIP_{n-1}}{IIP_n} - 1 \end{pmatrix}.$$

Matriz XPM : A continuación, se declara una matriz de los valores en Prima de PEMEX, XPM , de dimensión $n \times 4$, en donde n es el número periodos de tiempo, de misma duración que de los que se cuenta con información.

El (i, j) -ésimo elemento de la matriz se calcula de la siguiente forma:

- Los elementos de la primera columna corresponde a cada periodo de forma ascendente.
- La segunda columna corresponde al vector de IPM .
- La tercera columna corresponde al vector de ITC .
- La cuarta columna corresponde a las primas de la póliza de PEMEX distribuidas entre los años de vigencia de cada póliza.

La distribución se realiza, para los años de pago, dividiendo entre dos el monto de la prima en dólares y multiplicándolo por el tipo de cambio de cada año. Para los años de no pago se toma el valor del año anterior y se realiza el cálculo. Entonces, la matriz XPM , en caso de que la póliza de PEMEX haya sido en el año anterior al último periodo cargado en el modelo (es decir en el periodo $n - 1$), queda definida de la siguiente forma:

$$XPM = \begin{pmatrix} 1 & IPM_1 & ITC_1 & \frac{IPM_1}{2} \cdot ITC_1 \\ 2 & IPM_2 & ITC_2 & \frac{IPM_2}{2} \cdot ITC_2 \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ n-1 & IPM_{n-1} & ITC_{n-1} & \frac{IPM_{n-1}}{2} \cdot ITC_{n-1} \\ n & IPM_n & ITC_n & \frac{IPM_n}{2} \cdot ITC_n \end{pmatrix}.$$

Matriz XPB : Se declara una matriz con valores referentes al Producto Interno Bruto, denominándola XPB , de dimensión $n \times 4$, en donde n es el número periodos de tiempo, de misma duración que de los que se cuenta con información. El (i, j) -ésimo elemento de la matriz se calcula de la siguiente forma:

- Los elementos de la primera columna corresponden a cada periodo de forma ascendente.

- La segunda columna corresponde al vector de IPB .
- La tercera columna es el PIB actualizado al último año de nuestros datos, misma que se obtiene al tomar los valores de la tercera columna de la matriz del INPC y multiplicar cada elemento por el valor del renglón correspondiente del PIB.
- La cuarta columna corresponde a la tasa de cambio anual del PIB (ya actualizado; es decir en términos reales), misma que, para $i \neq 1$, se obtiene de dividir el PIB del renglón entre el PIB anterior y restarle 1; es decir, para $XPB(i, 4) = XPB(i, 3)/XPB(i - 1, 3) - 1$. Cero en cualquier otro caso.

Así, $XPB =$

$$\begin{pmatrix} 1 & IPB_1 & IPB_1 \times XIP_{(1,3)} & 0 \\ 2 & IPB_2 & IPB_2 \times XIP_{(2,3)} & \frac{XPB_{(2,3)}}{XPB_{(1,3)}} - 1 \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ n-1 & IPB_{n-1} & IPB_{n-1} \times XIP_{(n-1,3)} & \frac{XPB_{(n-1,3)}}{XPB_{(n-2,3)}} - 1 \\ n & IPB_n & IPB_n \times XIP_{(n,3)} & \frac{XPB_{(n,3)}}{XPB_{(n-1,3)}} - 1 \end{pmatrix}.$$

Matriz XEA : Se declara una matriz con valores referentes a las primas de la operación de accidentes y enfermedades, denominándola XEA , de dimensión $n \times 4$, en donde n es el número periodos de tiempo, de misma duración que de los que se cuenta con información. El (i, j) -ésimo elemento de la matriz se calcula de la siguiente forma:

- Los elementos de la primera columna corresponden a cada periodo de forma ascendente.
- La segunda columna corresponde al vector de IEA .
- La tercera columna es el valor de las primas de vida actualizadas al último año de nuestros datos.
- La cuarta columna corresponde a la tasa de cambio anual de vida (con primas ya traídas a valor presente a través del factor; es decir tasas de crecimiento reales), misma que, para $i \neq 1$, se obtiene de dividir la prima de accidentes y enfermedades actualizada del renglón entre la prima de accidentes y enfermedades actualizada anterior y restarle la unidad.

Así, $XEA =$

$$\begin{pmatrix} 1 & IEA_1 & IEA_1 \times XIP_{(1,3)} & 0 \\ 2 & IEA_2 & IEA_2 \times XIP_{(2,3)} & \frac{XEA_{(2,3)}}{XEA_{(1,3)}} - 1 \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ n-1 & IEA_{n-1} & IEA_{n-1} \times XIP_{(n-1,3)} & \frac{XEA_{(n-1,3)}}{XEA_{(n-1,3)}} - 1 \\ n & IEA_n & IEA_n \times XIP_{(n,3)} & \frac{XEA_{(n,3)}}{XEA_{(n-1,3)}} - 1 \end{pmatrix}.$$



Matriz XED : Se declara una matriz de con valores referentes a las primas de la operación daños, denominándola XED , de dimensión $n \times 4$, en donde n es el número periodos de tiempo, de misma duración que de los que se cuenta con información. El (i, j) -ésimo elemento de la matriz se calcula de la siguiente forma:

- Los elementos de la primera columna corresponden al cada periodo de forma cronológica.
- La segunda columna corresponde al vector de XED .
- La tercera columna es el valor de las primas de vida actualizadas al último año de nuestros datos, misma que se obtiene a tomar los valores de la tercera columna de la matriz del XIP y multiplicar cada elemento por el valor del renglón correspondiente de primas de la operación. A este valor se le resta la prima cobrada por la póliza de PEMEX (es decir el producto de los valores vector original de PEMEX por los valores del vector de tipo de cambio) y se le añade los valores de la última columna de la matriz de PEMEX calculada. Con ello se suaviza el efecto de la póliza integral de PEMEX en la operación de daños.
- La cuarta columna corresponde a la tasa de cambio anual de vida (con primas ya traídas a valor presente a través del factor; es decir tasas de crecimiento reales), misma que se obtiene de dividir la prima de daños actualizada del renglón entre la prima de daños actualizada anterior y restarle 1.

Así, $XED =$

$$\begin{pmatrix} 1 & IED_1 & IED_1 \times XIP_{(1,3)} & 0 \\ 2 & IEA_2 & IEA_2 \times XIP_{(2,3)} & \frac{XEA_{(2,3)}}{XEA_{(1,3)}} - 1 \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ n-1 & IEA_{n-1} & IEA_{n-1} \times XIP_{(n-1,3)} & \frac{XEA_{(n-1,3)}}{XEA_{(n-1,3)}} - 1 \\ n & IEV_n & IEA_n \times XIP_{(n,3)} & \frac{XEA_{(n,3)}}{XEA_{(n-1,3)}} - 1 \end{pmatrix}.$$

Matriz XEV : Se declara una matriz con valores referentes a las primas de la Operación de Vida, denominándola XEV , de dimensión $n \times 4$, en donde n es el número periodos de tiempo, de misma duración que de los que se cuenta con información. El (i, j) -ésimo elemento de la matriz se calcula de la siguiente forma:

- Los elementos de la primera columna corresponden a cada periodo de forma cronológica.
- La segunda columna corresponde al vector de IEV .



- La tercera columna es el valor de las primas de vida actualizadas al último año de nuestros datos, misma que se obtiene a tomar los valores de la tercera columna de la matriz del XIP y multiplicar cada elemento por el valor del renglón correspondiente de primas de la operación.
- La cuarta columna corresponde a la tasa de cambio anual de vida (con primas ya traídas a valor presente a través del factor; es decir tasas de crecimiento reales).

Así, el primer renglón de XIP está dado por

$$\left(1, IEV_1, IEV_1 \times XIP_{(1,3)} - IPM_1 \times XIP_{(1,3)} - XPM_{(1,4)}, 0\right),$$

mientras que para $i = 2, \dots, n$, el i -ésimo renglón de XEV es:

$$\left(i, IEV_i, IEV_i \cdot XIP_{(i,3)} - IPM_i \cdot XIP_{(i,3)} - XPM_{(i,4)}, \frac{XED_{(i,3)}}{XED_{(i,3)}}\right).$$

Construcción de las curvas de tendencia y obtención de las funciones asociadas. Una vez declaradas las matrices y calculadas las columnas correspondientes, se toman los datos de crecimiento correspondientes a cada ramo, así como los datos del crecimiento del PIB.

- Función de Tendencia PIB: A partir de la información contenida en la matriz XPB se realiza una regresión lineal por el método de mínimos cuadrados para poder tratarlos como funciones, en donde los elementos $XPB(i, 1)$ corresponden al eje x ; y los elementos de la columna $XPB(i, 4)$, al eje de las y ; con lo cual se obtiene la función de tendencia del PIB: $PT(x)$.
- Función de Tendencia VIDA: A partir de la información contenida en la matriz XEV se realiza una regresión lineal por el método de mínimos cuadrados para poder tratarlos como funciones, en donde los elementos $XEV(i, 1)$ corresponden al eje x ; y los elementos de la columna $XEV(i, 4)$, al eje de las y ; con lo cual se obtiene la función de tendencia de la operación de vida: $VT(x)$.
- Función de Tendencia A&E: A partir de la información contenida en la matriz XEA se realiza una regresión lineal por el método de mínimos cuadrados para poder tratarlos como funciones, en donde los elementos $XEA(i, 1)$ corresponden al eje x ; y los elementos de la columna $XEA(i, 4)$, al eje de las y ; con lo cual se obtiene la función de tendencia de la operación de accidentes y enfermedades: $AT(x)$.
- Función de Tendencia DAÑOS: A partir de la información contenida en la matriz XED se realiza una

regresión lineal por el método de mínimos cuadrados para poder tratarlos como funciones, en donde los elementos $XED(i, 1)$ corresponden al eje x ; y los elementos de la columna $XED(i, 4)$, al eje de las y ; con lo cual se obtiene la función de tendencia de la operación de daños: $DT(x)$.

Cálculo de la función de sobretasa por operación y obtención de estimación de crecimiento del sector. Constando las funciones de tendencia por ramo, así como la función correspondiente a la evolución del PIB; se procede a obtener las funciones de sobretasa por ramo, mismas que son la resultante de la diferencia algebraica de la función de tendencia por cada operación menos la función de tenencia del PIB.

- Función de sobretasa VIDA, diferencia algebraica de la función de tendencia VIDA y la función de tendencia PIB, de tal forma que se define: $V_S(x) = V_T(x) - P_T(x)$.
- Función de sobretasa A&E, diferencia algebraica de la función de tendencia A&E y la función de tendencia PIB, de tal forma que se define: $A_S(x) = A_T(x) - P_T(x)$.
- Función de sobretasa DAÑOS, diferencia algebraica de la función de tendencia DAÑOS y la función de tendencia PIB, de tal forma que se define: $D_S(x) = D_T(x) - P_T(x)$.

La curva de sobre tasa por operación más la estimación más reciente de crecimiento del PIB será la mejor estimación de crecimiento por operación. Los valores actualizados de las primas por ramo (es decir el último valor anual de las primas, con ajuste de la estimación más reciente de inflación) multiplicados por uno más la mejor estimación calculada de crecimiento por operación será la mejor estimación del valor de las primas al cierre del año estimado, es decir:

Mejor estimación primas de VIDA:

$$estPrimV_{n+1} = [V_S(n+1) + PIB_{n+1}] \times XEV_{(n,3)}$$

Mejor estimación primas de A&E:

$$estPrimA_{n+1} = [A_S(n+1) + PIB_{n+1}] \times XEA_{(n,3)}$$

Mejor estimación primas de DAÑOS:

$$estPrimD_{n+1} = [D_S(n+1) + PIB_{n+1}] \times XED_{(n,3)}$$

La suma del valor estimado tres operaciones será el valor estimado del sector. Así, el Mejor estimador del volumen de primas del sector es:

$$estPrimS_{n+1} = estPrimV_{n+1} + estPrimA_{n+1} + estPrimD_{n+1}$$

La razón del valor calculado entre el valor anterior, menos uno, es la tasa estimada de crecimiento del sector para el periodo. Así, el estimador de tasa de crecimiento del sector está dado por:

$$S_S(n+1) = \frac{estPrimS(n+1)}{XEV_{(n,3)} + XEA_{(n,3)} + XED_{(n,3)}}$$

Cuantificación del impacto de eventos críticos en el modelo. La metodología propuesta omite intencionalmente el impacto de eventos críticos en el proceso de construcción de las funciones de tendencia por operación, de tal forma que la deriva natural de largo plazo se preserve.

Sin embargo, es propio contar con parámetros que sean útiles para estimar el crecimiento del sector en caso de presentarse un evento de este tipo, bajo un enfoque de corto plazo, en donde el crecimiento natural del sector se verá afectado. Por ello se propone calcular este impacto como la diferencia entre la tasa de crecimiento real menos la teórica correspondiente, que se obtiene de la función de tendencia de la operación. Es decir (ejemplificado para la operación de accidentes y enfermedades):

$$PCA_j = XEA(i,4) - [A_S(j) + XPB(j)]$$

Asimismo, esta variable, que refiere a la crisis sanitaria de la pandemia de gripe A (H1N1) de 2009, misma cuya etapa crítica fue de un trimestre, debe de ser ponderada por el tiempo. Para el caso de la pandemia de COVID-19, el tiempo esperado de duración es de más de un año; sin embargo, para el modelo por cuestiones de ejercicios anuales, se contemplan tres trimestres, es decir, el múltiplo del factor por tres. Esto es:

$$PCA_j = t \times (XEA(i,4) - [A_S(j) + XPB(j)])$$

Aplicativo en nube del modelo

Con la idea de aprovechar las herramientas digitales hoy disponibles es que se realizó la carga del código del algoritmo en la nube. A través del uso de RStudio Cloud se brinda accesibilidad total a los interesados para revisar de forma detallada el código e inclusive realizar la compilación directamente en la nube. De tal forma que pueda ser ejecutado, analizado y mejorado por el gremio. La liga de acceso puede ser consultada [aquí](#). Vea la Figura 24.

4. PRESENTACIÓN DE RESULTADOS

Resultados del modelo

Con base en el algoritmo propuesto para el modelado de primas directas emitidas, con base en un enfoque a



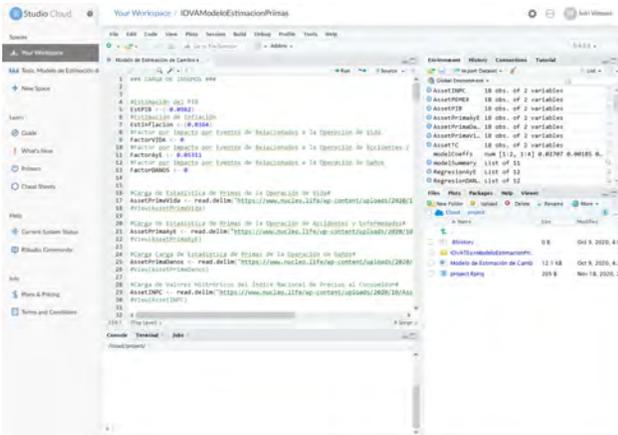


Figura 24 Un modelo para el gremio.

Crecimiento y volumen del sector (con ajuste por la póliza integral de Pemex y sin contar inflación)			
	Primas 2019	Cambio estimado	Primas 2020
Vida	\$ 243,177,988,740	-5.81 %	\$ 229,034,448,779
Accidentes y enfermedades	\$ 92,230,598,210	11.93 %	\$ 103,234,944,042
Daños	\$ 214,738,310,943	-5.55 %	\$ 202,818,103,348
GENERAL	\$ 550,146,697,893	-2.74 %	\$ 535,087,496,369

Crecimiento y volumen del sector real (bruto con ajuste inflacionario)			
	Primas 2019	Cambio estimado	Primas 2020
Vida	\$ 243,177,988,740	-2.18 %	\$ 237,886,127,569
Accidentes y enfermedades	\$ 92,230,598,210	-15.57 %	\$ 106,592,137,817
Daños	\$ 219,558,230,268	-9.94 %	\$ 197,730,628,622
GENERAL	\$ 554,966,817,218	-2.30 %	\$ 542,209,894,008

Figura 25 Crecimiento y volumen del sector.

priori y una segmentación por operación, se obtienen los resultados que mostramos en la tabla de la Figura 25.

Al revisar los resultados, se puede apreciar que el sector presentará un decrecimiento para dos de las tres operaciones (vida y daños), en donde sólo la operación de accidentes y enfermedades presenta un resultado positivo, aunque marginal. Ello se puede justificar dado el contexto de que la crisis económica actual es motivo de una contingencia sanitaria. Asimismo el efecto de la póliza de Pemex agudiza la tasa de decrecimiento de la operación de daños, ubicándola cerca de un -10 %.

De tal forma que para el ejercicio 2020, con base en el modelo desarrollado, se estima un decremento del orden del -2.30 % y un volumen de primas directas emitidas de alrededor de \$542,208,894,008 de pesos (contemplando las operaciones de vida, accidentes y enfermedades y daños).



Validación de los resultados

Una vez obtenido el estimado de -4.06 % como la tasa de cambio esperada del sector para 2020, resta compararla con las cifras que el sector estima y revela a través de la Asociación Mexicana de Instituciones de Seguro. Ante la contingencia causada por la pandemia del COVID-19, el sector asegurador ha generado una amplia difusión de su estadística, misma que había sido inusual en el sector. De forma reciente, en agosto de 2020, la AMIS señala prever una caída del orden del 5.35 %. Vea [Mendoza \(2020\)](#).

Estimado del modelo	Estimado de AMIS
-2.30 %	-5.35 %

La diferencia es de -3.05 %. Cabe señalar que la previsión de la AMIS se compone de la suma ponderada de provisiones de las áreas de riesgos y finanzas de cada una de las instituciones de seguros que forman parte de la asociación, cada una reportando un estimado con base en la experiencia y conocimiento interno de la evolución de la dinámica de cada compañía. En contra parte, el modelo estima de forma macro el comportamiento del sector a partir de la parametrización de múltiples variables que se pudo evidenciar afectan el desarrollo y expansión del asegurador.

Pese a realizarse estimaciones con base en dos enfoques totalmente contrarios (uno de ellos marco y el otro un micro agregado y ponderado), ambas previsiones son de ordenes similares; en donde para 2020 ambas estimaciones solo difieren por poco más de un punto porcentual.

Áreas de oportunidad

El algoritmo descrito, en su modelado general, estima de manera adecuada más no óptima el crecimiento y evolución del sector con base en un análisis regresivo que contempla tanto el aspecto cuantitativo (a través de la estadística sectorial) como el cualitativo (al contextualizar los datos con las circunstancias y cambios que el sector asegurador sufrió en ciertos periodos); sin embargo, el refinamiento del modelo presenta áreas de oportunidad y de ampliación del alcance, que mejorarían la precisión de la estimación y caracterizarían de forma más detallada el comportamiento del sector. De tal forma que a continuación se enlistan áreas de oportunidad detectadas para refinar el cálculo:

- Revisión histórica de las estadísticas del sector desde por lo menos 1990, año de la creación de la Comisión Nacional de Seguros y Fianzas (antes Comisión Nacional Bancaria y de Seguros); idealmente desde

Crecimiento y volumen del sector - Segunda corrida
(con ajuste por la póliza integral de Pemex, sin ajuste por inflación)

	Primas 2019	Cambio estimado	Primas 2020
Vida	\$ 243,177,988,740	-4.20 %	\$ 232,973,932,196
Accidentes y enfermedades	\$ 92,230,598,210	13.55 %	\$ 104,729,079,733
Daños	\$ 214,738,310,943	-3.93 %	\$ 206,296,864,186
GENERAL	\$ 550,146,897,893	-1.12 %	\$ 543,999,876,115

Crecimiento y volumen del sector real (bruto con ajuste inflacionario) - Segunda corrida

	Primas 2019	Cambio estimado	Primas 2020
Vida	\$ 243,177,988,740	-1.05 %	\$ 240,634,038,842
Accidentes y enfermedades	\$ 92,230,598,210	16.70 %	\$ 107,634,343,577
Daños	\$ 219,558,230,268	-8.32 %	\$ 201,287,471,952
GENERAL	\$ 554,966,817,218	-0.98 %	\$ 549,555,854,371

Figura 26 Crecimiento y volumen del sector.

1935, año del surgimiento del sector asegurador contemporáneo a consecuencia de la “mexicanización” del seguro.

- Contextualización de la estadística añadida con la historia y cambios del sector a través de los cambios normativos y la creación, agrupamiento y consolidación de las instituciones de seguros.
- Análisis profundo de más parámetros que pudieran afectar el comportamiento de primas, como lo son: Paridad peso-dólar, inflación, desastres naturales mayores, cambios fiscales que afecten deducibilidad de ciertos seguros, impacto (en tiempos recientes) del calendario político (años de elecciones y periodos de cambio de gobierno).

Bajo estos puntos, sería posible hacer una optimización del cálculos y refinamiento general del modelo.

5. ANÁLISIS POSTMORTEM

El análisis contempló las cifras y los eventos sucedidos hasta el tercer trimestre del año, con una estimación de crecimiento de la economía de casi -9.82 % y una inflación esperada de 3.64 %, al momento de la revisión a posteriori del ejercicio estas cifras ya son conocidas, con valores de -8.2 % y de 3.15 % respectivamente (cf. Martínez (2021); García (2021)). Para los cual se realiza una corrida post-mortem, utilizando estos insumos, como validación final del modelo. Vea la tabla de la Figura 26.

Asimismo, los datos de primas y siniestros ya han sido publicados por la Asociación Mexicana de Instituciones de Seguros, a través de su Estadísticas AMIS, con lo cual se compararán las tasas, para realizar las anotaciones finales de la fiabilidad del modelo. Vea la tabla de la Figura 27.

Comparando la tasa real con la estimada por el modelo, se observa que la curva sintética del modelo se asemeja

	Cambio estimado por el modelo	Cambio real experimentado	Diferencia en puntos
Vida	-1.05 %	0.88 %	-1.05 %
Accidentes y enfermedades	16.70 %	10.95 %	5.75 %
Daños	-8.32 %	-5.47 %	-2.85 %
GENERAL	-0.98 %	0.10 %	-1.08 %

Figura 27 Diferencias.

a la evolución real de las curvas del sector. En el apartado general se aprecia una diferencia de alrededor de un punto porcentual entre la estimación del modelo y la tasa real.

En el desagregado, se evidencia que las curvas asemejan tendencias, sin embargo, hay una clara subvaloración de la operación de daños por parte del modelo y una sobreestimación de la operación de accidentes y enfermedades; en donde el modelo esperaba una caída más pronunciada para la operación de daños, consecuencia del bajo desempeño de la economía y en contraparte estimaba un mayor incremento del volumen de accidentes y enfermedades.

6. CONCLUSIONES

Las aseguradoras se enfrentan a un nuevo entorno, en el que la disrupción de la pandemia COVID-19 presenta retos y oportunidades a corto y largo plazo. La pandemia de COVID-19 ha perturbado las economías y las comunidades de todo el mundo. Desde las costumbres sociales básicas y los acuerdos de trabajo hasta el movimiento global de bienes y capital, la forma en que vivimos y trabajamos está experimentando un cambio dramático.

El sector de los seguros no es una excepción. El impacto será significativo, aunque es imposible decir exactamente cómo se desarrollará. Las aseguradoras se enfrentan a un nuevo entorno, en el que la pandemia de COVID-19 crea trastornos a corto y largo plazo, mientras se centran en las cuestiones críticas que tienen ante sí, como la seguridad de su gente, la solvencia, la eficacia operativa, los cambios normativos y las cuestiones generales en torno a lo que está cubierto. Para un sector que ya estaba experimentando cambios significativos en múltiples frentes (incluido un alto grado de autodisrupción), es probable que COVID-19 actúe como acelerador de tendencias importantes. En ese sentido, está haciendo que el futuro sea mucho más claro. Los planes a largo plazo de las aseguradoras tienen de repente una urgencia a corto plazo, como si el futuro llegara antes de lo esperado.

Las aseguradoras no deben perder de vista los imperativos a más largo plazo, aunque se centren en satisfacer



las necesidades inmediatas de los clientes, mantener la solvencia y garantizar la resistencia operativa. Las aseguradoras han realizado inversiones de transformación a gran escala para redefinir sus propuestas de valor, optimizar sus operaciones, actualizar su tecnología, crear una plantilla del futuro y cumplir los nuevos requisitos normativos. La COVID-19 no hace más que subrayar la importancia de estos programas y es probable que se produzca una rápida necesidad de muchos de ellos.

Comprender el alcance de las exposiciones en toda la cartera y la cadena de valor es una tarea compleja. El objetivo final es un inventario completo y un mapeo de la exposición y cuantificación completa de los impactos financieros. La falta de visibilidad completa de las exposiciones potenciales crea incertidumbre en la compra de reaseguro y la fijación de reservas. También puede agravar los problemas de servicio de siniestros si no está claro el volumen previsto de tramitación de estos. Las estableciendo vías claras tanto para los siniestros cubiertos como para los no cubiertos, teniendo en cuenta al mismo tiempo las situaciones en las que un lenguaje ambiguo de la póliza puede dar lugar a litigios prolongados.

Dado el nivel de exposición a eventos críticos y disruptivos como el que estamos viviendo es que se plantea el tópico de este trabajo. A lo largo del presente se citaron los impactos de la actual crisis sanitaria para los diferentes actores; buscando con ello desarrollar un modelo que sea capaz de determinar el impacto de la pandemia del COVID-19 en el volumen de primas del sector asegurador. Dicho modelo se formuló con base en la estimación de primas, así como el impacto que generan eventos anómalos en su evolución (como lo es el caso de la pandemia de 2020).

El algoritmo propuesto se programó en una aplicación estadística (R), de tal forma que la programación realiza la estimación de forma inmediata una vez proporcionados los insumos necesarios. El código y su corrida fueron cargados en la nube, de tal forma que se pueda garantizar la accesibilidad y manipulación de la estructura del modelo; con la funcionalidad de que el código puede ser ejecutado y visualizado en la nube a través de cualquier explorador web. Los resultados del modelo y su programa fueron validados contra el estimado actual del sector y posteriormente contra las cifras reales. De tal forma que, el modelo propuesto (y automatizado) sirva de base para predecir los cambios en primas del sector asegurador a futuro. El estimado del sector con base en el modelo propuesto, solo difiere en menos de un punto contra las cifras reales, por lo que, pese a la generalidad del modelo, este produce estimaciones acordes a la realidad.



En el entorno en el que nos encontramos, los aseguradores deberán evaluar las implicaciones a medio y largo plazo de esta pandemia en las necesidades y demandas de los clientes, ser proactivas a la hora de reconocer los retos de los asegurados y los intermediarios y ofrecer soluciones para apoyarlos, por ejemplo, proporcionando asesoramiento financiero adicional o servicios de salud virtuales. Esto debe hacerse tanto a nivel de la aseguradora como del sector dentro de cada mercado (a través de los grupos de defensa del sector asegurador). Las aseguradoras deben tratar de asociarse con las partes interesadas para aportar soluciones creativas a la crisis. Es de esperarse que las soluciones de productos flexibles y centrados en el cliente se aceleren una vez que pase la pandemia, así como mayores facilidades para el desarrollo de soluciones creativas y nuevas para los productos.

En estos momentos se ha abierto oportunidades para que entren en el mercado aseguradoras e intermediarios más "ágiles" exclusivamente digitales o en segmentos de mercado específicos que, a su vez, desafiarán a los operadores tradicionales. Todos los participantes de este sector deben aprovechar la oportunidad de "estar ahí" para los asegurados. Las estrategias desplegadas ahora pueden mejorar o ser perjudicar a la "marcar la credibilidad que el sector asegurador debe tener frente a la opinión pública. Los aseguradores deben colaborar estrechamente con sus grupos locales de defensa del sector para promover los beneficios del sector para la sociedad y la economía en general, anticipándose a críticas y cerciorándose de que las acciones que han emprendido para apoyar a los asegurados se comunican de forma efectiva.

REFERENCIAS

- Anónimo, 2001 La subrogación de servicios médicos, apuesta foxista para fortalecer el sistema de salud. La Jornada Consulta: 19-09-2020. Disponible [aquí](#).
- Anónimo, 2020a Histórico de noticias. El Financiero Consulta: 12-09-2020. Recuperado de [aquí](#).
- Anónimo, 2020b Histórico de noticias. El Universal Consulta: 12-09-2020]. Recuperado de [aquí](#).
- Anónimo, 2020c Histórico de noticias. La Jornada Consulta: 12-09-2020]. Recuperado de [aquí](#).
- Caballero, J., 2014 *La Función y Contribución de los Seguros Privados de Salud al Sistema de Salud*. Centro de Investigación y Docencia Económica, México.
- Cabello, C., 2007 Plan estratégico para el desarrollo de los seguros de salud y gastos médicos. Archivos de la Asociación Mexicana de Instituciones de Seguros Consulta: 28-07-2020. Recuperado de [aquí](#).

Doherty, B., 2020 Australia's private health funds say they will return any 'abnormal' coronavirus profits to members. The Guardian **April, 6**, Consulta: 12-08-2020. Recuperado de [aquí](#).

García, A., 2021 Inflación en México cierra 2020 en su menor nivel de siete meses; se ubica en 3.15 %. El Economista Consulta: 10-03-2021. Recuperado de [aquí](#).

KPMG, 2020 Covid-19: customer and digitization in insurance. Insights Consulta: 10-08-2020. Disponible [aquí](#).

Martínez, I., 2021 Oede: México, tercer país con la caída más profunda en el g20 durante 2020. La Razón Consulta: 15-03-2021. Recuperado de [aquí](#).

Mendoza, V., 2020 Sector asegurador prevé caída de 5.3 % en 2020 por covid-19: Amis. Forbes México Consulta: 23-10-2020]. Recuperado de [aquí](#).

Minzoni, A., 2015 *Crónica de Dos Siglos del Seguro en México*. Comisión Nacional de Seguros y Fianzas.

Montgomery, D., 2012 *Introduction to Linear Regression Analysis*. Wiley.

Saldívar, B., 2020 Los seguros en México representan 2.3 % del pib. El Economista Consulta: 18-09-2020]. Recuperado de [aquí](#).

Scism, L., 2020 Less driving, fewer accidents: Car insurers give millions in coronavirus refunds. The Wall Street Journal **April, 6**, Consulta: 12-08-2020. Recuperado de [aquí](#).

Scott, K., 2020 Aviva to provide free breakdown cover and courtesy cars for customers working for the nhs. Insurance Times **April, 14**, Consulta: 12-08-2020. Recuperado de [aquí](#).

Secretaría de Gobernación, 2004 Oficio mediante el cual se autoriza a seguros centauro, salud especializada, s.a. de c.v., para organizarse y funcionar como institución de seguros especializada en salud. Diario Oficial de la Federación .

Swiss Re, 2020 Covid-19 consumer survey: Financial anxiety, demand for insurance products accelerates across apac. Risk Knowledge Consulta:12-08-2020. Recuperado de [aquí](#).

Vargas, A., 2020 Aseguradora hidalgo, subasta amañada. Revista Contralinea **mayo 14**, Consulta: 20-08-2020. Recuperado de [aquí](#).

Willis Towers Watson, 2020a Covid-19: 5 key questions for insurers. Insights Consultado: 10-08-2020. Recuperado de [aquí](#).

Willis Towers Watson, 2020b Covid-19, an actuary's perspective. Insights Consulta: 11-08-2020. Recuperado de [aquí](#).

Willis Towers Watson, 2020c Covid-19 impacts life-insurers on several fronts. Insights Consulta: 12-08-

2020. Recuperado de [aquí](#).



Iván David Vázquez Álvarez es un Actuario egresado de la Facultad de Ciencias de la Universidad Nacional Autónoma de México. Tiene experiencia en desarrollo de productos y áreas actuariales dentro de nuestro sector asegurador. Ha ganado diversos premios de investigación, y actualmente es instructor de educación continua en el Instituto Tecnológico de Monterrey. Además, es un intermediario de seguros en su propia compañía, *Núcleo Life Seguros*.





Anáhuac
México

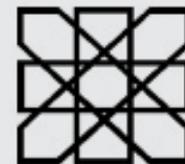


JORNADAS DE ACTUARIZACIÓN



Facultad de Ciencias Actuariales

ORGANIZADO POR
LA FACULTAD DE CIENCIAS
ACTUARIALES Y EL COLEGIO
NACIONAL DE ACTUARIOS



COLEGIO
NACIONAL
DE ACTUARIOS

PREMIO FUNDADORES

**Seguro de Autos, más allá
de lo convencional: Una
propuesta de tarificación
justa**



Seguro de Autos, más allá de lo convencional: Una propuesta de tarificación justa

Fernando Roque Maye*

*BBVA Seguros

RESUMEN Este trabajo obtuvo el segundo lugar en el Segundo Premio Fundadores, organizado y patrocinado por la Asociación Mexicana de Actuarios. En él, se estudia la penetración del seguro de Autos en México y LATAM a través del tiempo, para posteriormente analizar los esquemas UBI, saber qué variables consideran. Usaremos esto para analizar cómo ha evolucionado su oferta en el mundo y en el mercado Mexicano. Finalmente, ilustraremos nuestros hallazgos con un ejemplo práctico que abarca el proceso que comienza en la originación de los datos, su limpieza y preparación, la estructuración y modelación; y la implementación e interpretación.

Palabras clave

Penetración del
seguro en el mer-
cado Mexicano
Esquemas UBI
Modelación con
datos

Derechos reservados © 2022 por el Colegio Nacional de Actuarios
Última actualización del manuscrito: 24 de junio de 2022
Este artículo es publicado por el Colegio Nacional de Actuarios (CONAC) y contiene información de una variedad de fuentes. Es un trabajo cuyo fin es únicamente informativo y no debe interpretarse como asesoramiento profesional o financiero. El CONAC no recomienda ni respalda el uso de la información proporcionada en este estudio. El CONAC no ofrece ninguna garantía, expresa o implícita, ni representación de ningún tipo y no asume ninguna responsabilidad en relación con el uso o mal uso de este trabajo.



1. INTRODUCCIÓN

La presente pandemia causada por COVID19 ha dejado algo en claro para los usuarios de los seguros de Auto, o al menos debería serlo para las compañías que ofrecen estos seguros: las formas de tarificación deben considerar nuevos factores al momento de ser determinadas. Como usuarios y consumidores de este tipo de seguros, y estoy seguro no ser el único, vimos cómo es que nuestros autos permanecieron a salvo en el garaje por semanas o meses sin correr ningún tipo de riesgo. Si bien esto pudo significar un ahorro en combustible, durante ese lapso se estuvo devengando una prima que se pagó pensando en que se iba a estar expuesto a diversos riesgos. No me extrañaría que incluso asegurados prefirieron cancelar su seguro de forma anticipada o simplemente no renovar hasta que el uso del auto regresara a la normalidad. Otro factor que sin duda influye al momento de cancelar una póliza, son las altas tarifas, así como sus incrementos generalizados.

De lo anterior solo puede concluirse una cosa: los seguros de auto deben renovarse, específicamente la forma en cómo se determinan las tarifas. Durante años las tarifas de autos se han determinado con bases estadísticas de frecuencia y/o severidad en donde se agrupan de acuerdo con las características de los autos, y si acaso considerando una que otra característica del asegurado, para obtener tarifas únicas para cada grupo en función de las coberturas (robo, daños materiales, responsabilidad civil, etc.). A su vez se asume que todos los autos están expuestos, en todo momento, a los mismos riesgos.

Estas formas convencionales de tarificación puede beneficiar a algunos asegurados, y perjudicar a otros, ya que aquellos asegurados con una baja incidencia en reclamos terminan por pagar de alguna manera la alta incidencia en reclamos de otros.

El propósito de este trabajo es mostrar mediante un caso práctico cómo es que el uso conjunto de herramientas tecnológicas y analíticas pueden resultar en modelos que permitan determinar tarifas diferenciadas dependiendo de factores (no tan convencionales aún) tales como la forma en que se conduce, la distancia que se conduce, la zona por donde se conduce, el momento del día en que se conduce, la forma de conducir de otros usuarios, los riesgos a los que se está expuesto, por mencionar algunas. Para lo anterior se ha hecho uso de datos reales gracias a la iniciativa de Datos Abiertos a la que algunas compañías se han sumado.

Si bien actualmente en México ya se ofrecen algunos esquemas de tarificación basado en alguno o algunos de los factores antes mencionados, aún queda mucho

camino por recorrer. Una de las principales limitantes es la disponibilidad de los datos, ya que poco esfuerzo se ha hecho en este aspecto.

En este sentido, la llegada de nuevas tecnologías ha impulsado un nuevo concepto que se ha venido escuchando en los últimos años en el sector asegurador: Insurtech. Este término, de acuerdo con Anónimo (2021) se obtiene como parte de la unión de las palabras Seguros y Technology, y que en general engloba aquellas compañías de Seguros tradicionales, así como empresas tecnológicas y Startups que hacen uso de las nuevas tecnologías (Blockchain, BigData, computo en la nube, etc.) enfocadas en satisfacer las necesidades del sector asegurador mediante productos y servicios.

Como veremos en el desarrollo de este trabajo, unos de los beneficios de los nuevos esquemas de tarificación es la disminución de las tarifas y, como consecuencia de lo anterior, una mayor penetración en este mercado. Lo anterior es una problemática en nuestro país, en donde el porcentaje de autos asegurados apenas rebasa el 30% en comparación con otras economías de América Latina en donde dicho porcentaje supera el 90%.

El trabajo comienza mostrando un panorama general de la penetración de los seguros de autos en México y cómo compara con otros países. Posteriormente se explica de forma breve los esquemas de tarificación seguros basados en el uso y la oferta actual. Se aborda de manera general el panorama de los datos como materia prima para construir modelos de tarificación justa. Finalmente, mediante un caso práctico se ejemplifica una forma de cómo pueden determinarse estas tarifas justas utilizando diferentes variables recopiladas con el uso de tecnologías (telemática).

2. PANORAMA GENERAL DEL SEGURO DE AUTOS EN MÉXICO Y AMÉRICA LATINA

De acuerdo con datos del INEGI y de la AMIS (vea Asociación Mexicana de Instituciones del Seguro (2020)), el parque vehicular total en 2020 en México fue de 46.58 millones, de los cuales solo el 30.89% contaba con algún esquema de protección. Específicamente, los automóviles asegurados representan solo el 30.75% del total de automóviles registrados. Este último porcentaje ha tenido una variación importante a la baja para el corte de 2020 de -3.24%. Veamos las Figuras 1 y 2.



¹ Correo electrónico: fernando.roquem@gmail.com

AÑO	Todo tipo de Vehículos			Automóviles		
	INEGI	SESA	%VA	INEGI	SESA	%VA
2012	34.88	9.14	26.19%	23.57	7.11	30.16%
2013	36.74	9.94	27.06%	24.82	7.9	31.84%
2014	38.03	10.59	27.84%	25.54	8.45	33.07%
2015	39.98	11.11	27.80%	26.91	8.86	32.94%
2016	42.45	12.28	28.91%	28.66	9.88	34.45%
2017	45.48	12.87	28.30%	30.7	10.49	34.16%
2018	43.2	13.02	30.14%	31.52	10.61	33.66%
2019	44.92	13.94	31.03%	33.01	11.22	33.99%
2020	46.58	14.39	30.89%	35.18	10.82	30.75%

Figura 1 Parque vehicular asegurado. Fuente: *Asociación Mexicana de Instituciones del Seguro* (2020).

Si bien en algunos estados como Veracruz, Ciudad de México y Puebla es obligatorio el contar con al menos la cobertura de responsabilidad civil por daños en bienes y personas de terceros, no se ha logrado incrementar el porcentaje de penetración. Los altos costos y sus incrementos también se consideran una de las principales razones de esta baja penetración. Estos altos costos se deben en parte al incremento de la violencia, los robos y los accidentes que son factores importantes a la hora de determinar las tarifas de los planes de seguros. Si estos índices siguen incrementando, los costos también lo harán de forma directa. Para 2020, una de las posibles razones de la disminución en el índice de penetración es la disminución de la movilidad a raíz de la actual pandemia causada por COVID19, que ha causado que asegurados cancelen o decidan no asegurar sus automóviles debido al poco uso que se les ha dado.

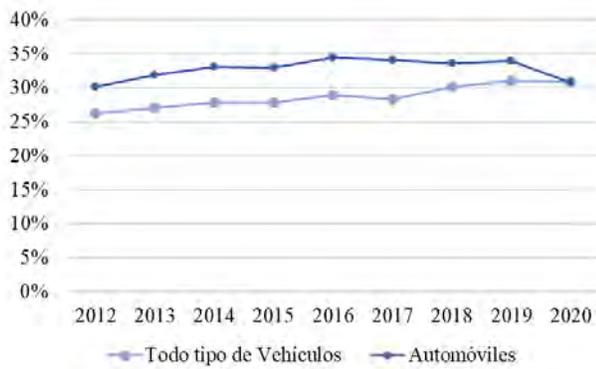


Figura 2 Penetración del seguro. Fuente: Elaboración propia con datos de *Asociación Mexicana de Instituciones del Seguro* (2020).

De acuerdo con la reaseguradora Swiss Re (vea *Casanova and Cabral* (2018)), de las principales economías



en Latinoamérica, México ocupa el primer lugar con un mayor porcentaje de automóviles no asegurados. Desde el punto de vista del PIB, junto con Chile, México ocupa de los últimos lugares en penetración del seguro de autos de los últimos años, en donde Argentina y Brasil lideran dicho top. Llama la atención que en Chile la penetración del seguro en función del PIB sea de las más bajas, siendo el país con el menor porcentaje de autos no asegurados, lo que indicaría que los costos de las primas son muy bajas. Vea las Figuras 3 y 4

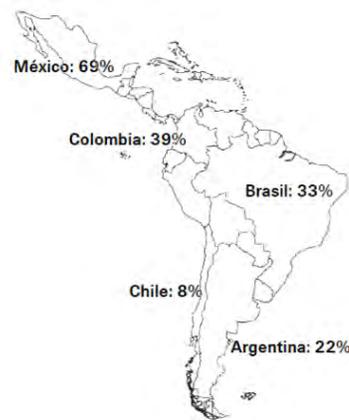


Figura 3 Porcentaje de vehículos que carecen de cualquier tipo de seguro automotriz. Fuente: *Casanova and Cabral* (2018).

Todo lo expuesto anteriormente muestra que los actuales esquemas de tarificación requieren de un rediseño desde su concepción en un país en donde la cultura del seguro es muy baja, y el acceso es muy limitado, ya sea por desconocimiento, desconfianza, o bien porque este "gasto" no es prioridad en el presupuesto familiar.

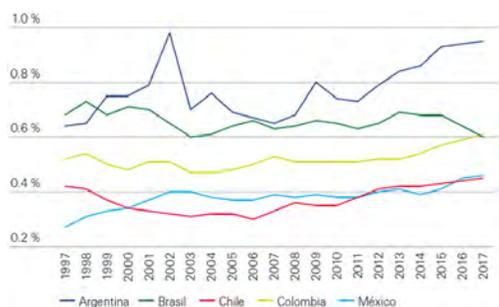


Figura 4 Penetración del seguro de autos en función del PIB. Fuente: Casanova and Cabral (2018).

3. SEGUROS BASADOS EN EL USO

Los seguros de autos se caracterizan por tener un costo acorde con ciertas características demográficas, es decir, dependen de factores como la edad del conductor, el género y el código postal. Con base en estas características, se agrupan poblaciones homogéneas a los que se les asigna una tarifa en común, basados en la experiencia siniestral (frecuencia y severidad) que la compañía ha presentado. Es en este punto en donde nos damos cuenta de que las tarifas dependen incluso de tipo de clientes que la compañía tiene.

En un caso muy extremo, si una compañía suscribiera únicamente buenos conductores (y que conducen poco), entonces sus tarifas serán bajas. Caso contrario a que si dicha compañía suscribiera malos conductores (y que manejan mucho), entonces sus tarifas serán altas. Las leyes de la oferta y la demanda obligarían a ambas compañías a nivelar sus costos en un determinado plazo, lo que implicaría automáticamente que las primas pagadas por los buenos conductores compensarían el costo que los malos conductores deberían de pagar, ya que estos últimos son más propensos de sufrir algún incidente.

Esta problemática no es nueva. La determinación de las tarifas basadas en factores demográficos ha sido considerado injusto, ineficiente y discriminatorio desde hace décadas (vea Butler *et al.* (1988)). En Vickery (1968), se propuso un esquema conocido como Paga-cuando-cargas (Pay-At-The-Pump, PATP), en el que el costo del seguro se vincula al consumo de gasolina o a las ventas de llantas, cobrando una suma adicional como parte del seguro. Este tipo de esquemas incentivan el menor uso del auto, así como tomar rutas más cortas. No obstante, este tipo de esquemas no resuelven la problemática, ya que los costos dependen del consumo de combustible de los automóviles, lo que no refleja el nivel de riesgo que

realmente representa un conductor (vea Litman (2018)). Por otro lado, en Hundstad *et al.* (1994) se propuso la estimación del kilometraje en un año como base para la tarificación (Mileage Rating Factor, MRF). No obstante, los conductores no pueden predecir de manera confiable la distancia que recorrerán en un año. De hecho, Edlin (2003) también propone un esquema basado en kilómetros (Per-Mile Premiums, PMP) el que se realiza un pago por adelantado con base en los kilómetros que se espera recorrer, al final del periodo se realizaría un cargo si es que se recorrió más de lo que se estimó, o bien una compensación por los kilómetros no recorridos. Este esquema está sujeto al buen funcionamiento del odómetro, así como a la posible manipulación del kilometraje por parte del conductor. Una alternativa sería la de la verificación periódica del kilometraje y del buen funcionamiento del odómetro por parte del personal calificado y especializado. En Husnjak *et al.* (2015) se considera que los factores externos también deben considerarse. A pesar de ser un buen conductor, siempre se está expuesto a factores como el clima, las condiciones de las carreteras, la hora del día, el número de carriles, la forma de conducir de otros conductores, el tráfico, la distancia a recorrer, etc. Todos los esquemas mencionados consideran factores más allá de los demográficos. A este tipo de esquemas se les conocen como tarifas basadas en el uso, o por su nombre en inglés, Usage-Based Insurance, UBI. En la Figura 5 (vea Tselenitis *et al.* (2016)) se muestran las diferentes modalidades existentes de este tipo de tarifas.



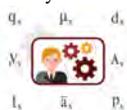


Figura 5 Modalidades UBI. Fuente: *Tselentis et al.* (2016).

- PAYD. Este tipo de esquemas determinan las tarifas con base en las distancias recorridas a partir de las mediciones del odómetro incorporado en prácticamente todos los automóviles. En *Husnjak et al.* (2015), esto se llama también paga a medida que avanzas, Pay-As-You-Go (PAYG).
- PHYD. Este tipo de esquemas determinan las tarifas con base en el comportamiento del conductor, es decir, considera parámetros como la velocidad, aceleración y frenado.
- PAHYD. Este esquema considera ambos, tanto las distancias recorridas, como el comportamiento del conductor.

Como se puede observar, los esquemas UBI consideran dos factores: cómo se maneja y cuánto se maneja. Los esquemas MRF y PMP son considerados como esquemas PAYD, ya que se basan en cuánto maneja un conductor. Los esquemas tradicionales no consideran ninguno de estos factores al momento de determinar las tarifas. Por otro lado, los esquemas UBI presentan muchas ventajas respecto de los esquemas tradicionales. En los trabajos *Sugarman (2018)*, *Litman (2011)* y *Husnjak et al. (2015)* exponen algunas de las ventajas de este tipo de esquemas.

- Beneficios sociales. Estos esquemas promueven el mejoramiento en los hábitos de conducción, lo que tiene por consecuencia la reducción de la frecuencia y severidad de los accidentes. Además de lo anterior,



al haber un constante monitoreo de los comportamientos de conducción, los conductores tratarán de mejorar su conducción.

- Beneficios económicos. Reducen la probabilidad de ocurrencia de accidentes, mejoran el proceso de reclamaciones, previenen los fraudes y resultan en tarifas más justas. No se subsidia el costo entre los tipos de conductores, lo que conllevará a tener tarifas más bajas y una mayor penetración en el mercado.
- Beneficios ambientales. Disminuye las distancias recorridas, lo que resulta en menor consumo de combustible y emisiones de CO₂.
- Beneficios para las aseguradoras. Crea ventajas competitivas al determinar tarifas justas, disminuye la fuga de clientes, permite identificar posibles fraudes y reduce los costos asociados a los siniestros.
- Beneficio para los asegurados. Cada usuario paga según cómo maneja, es decir, las tarifas no se basan en características demográficas que son injustas y que no reflejan de forma objetiva el riesgo de presentar algún incidente.

4. OFERTA DE ESQUEMAS UBI EN MÉXICO Y EL MUNDO

Las nuevas tendencias tecnológicas e informáticas no solo han llegado al mundo financiero mediante las ya conocidas FinTech, sino al sector de seguros mediante las InsurTech. De acuerdo con *Riquelme (2018)*, México es líder en emprendimiento FinTech de América Latina. Las instituciones financieras y de seguros han comenzado a adoptar la tecnología como una herramienta estratégica más que como una herramienta operativa.

La industria aseguradora en México no puede rezagarse en la adopción de herramientas analíticas y tecnológicas. En el reporte World InsurTech Report 2018 (vea *García and Paqui (2018)*) se menciona que entre 2014 y 2017 las inversiones en InsurTech crecieron a una tasa anual compuesta de 36.5%, mientras que la oferta aumentó 29% en el mismo periodo. No obstante, en México aún no se logra consolidar la tendencia InsurTech, en los últimos años han surgido alianzas estratégicas y comerciales entre compañías tecnológicas y aseguradoras que dan un paso hacia su consolidación.

De acuerdo con *Gutierrez (2021)*, para mediados de 2021 se han identificado 80 Insurtech que operan en México. Por otro lado, en la edición 2021 del Radar Insurtech México publicada por la Asociación Insurtech México (vea *Asociación Insurtech México (2021)*) se reportan 43 startups asociadas, de las cuales 6 se dedican al diseño de

productos y/o tecnologías de suscripción de productos de Auto y/o Movilidad, sin considerar aquellas compañías tradicionales que han incursionado en el diseño o tarificación de productos basados en tecnología. Es importante mencionar que las asociadas de la AIM se enfocan en uno o varios aspectos de la cadena de valor de los seguros como pueden ser: suscripción, diseño de productos, administración de carteras, procesos de reclamo, marketing y canales de distribución.

En los últimos años se han dado a conocer en México diferentes esquemas o iniciativas UBI promovidas tanto por Insurtech como por compañías tradicionales. A la fecha de elaboración de este trabajo se identificaron las siguientes marcas:

- CLUPP. Es una empresa emergente que basa su tarifa en la cantidad de kilómetros que conduces al mes (vea [clu \(2021\)](#)).
- Crabi. Ya en operaciones en México es la primera aseguradora 100 % digital creada en 2017.
- Kimmo. Es un esquema que se basa en el tiempo de uso del automóvil utilizando como herramienta tecnológica una aplicación para dispositivos móviles. Kimmo ofrece tarifas de hasta un 80 % más baratas que cualquier otro seguro de auto (cf. [Kim \(2018\)](#)).
- Miituo. Respaldo por Seguros El Potosí, este esquema recopila la información de los kilómetros recorridos con base en fotografías tomadas desde su aplicación. Miituo también opera el seguro Atlas xkm que está respaldado por Seguros Atlas (cf- [clu \(2021\)](#)).
- Seguro x Kilómetro. Utiliza como recurso tecnológico un dispositivo denominado PIA (Plataforma Integral a Bordo) que recopila información de manera remota (Telemática) acerca de las distancias recorridas (cf. [Seg \(2017\)](#)).
- Wibe. A finales de 2021 Wibe, perteneciente al Grupo Financiero BBVA, anunció el lanzamiento de su nuevo seguro como alternativa a los seguros vehiculares tradicionales, dirigido específicamente para aquellos conductores que usan por distancias cortas sus vehículos o realizan pocos recorridos (vea [Delgado \(2021\)](#)).

Cada una de estas marcas pretenden ofrecer al mercado asegurador una opción diferente con la cual pueda combatir la baja penetración de los seguros de auto. Si bien, los esquemas pueden ser muy similares, la diferencia radicará en la estrategia comercial, los servicios adicionales ofrecidos, o bien en el enfoque técnico y/o tecnológico.

De las 32 aseguradoras que operan en México, sólo

cuatro incorporan algún esquema UBI a su oferta comercial, de las cuales ninguna corresponde a las primeras cinco aseguradoras que ofrecen este tipo de productos.

A nivel mundial muchas aseguradoras ya ofrecen diversos productos UBI. La tabla de la Figura 6 recopila algunas características de dichos productos.

Compañía	País	Nombre comercial	Concepto	Plataforma tecnológica	Transmisión de los datos
AIOI	Japón, 2014	Paga cuanto usas.	Seguro basado en las distancias recorridas.	Servicio de telemática de Toyota, G-book.	Servicio de datos móviles.
Aviva	Canadá, 2005	Autograph	Seguro basado en telemática.	Dispositivo conectado al puerto de diagnóstico.	Recopilación mediante conexión manual a PC.
AXA	Italia, 2011	Autometrica.	Seguro basado en las distancias recorridas.	GPS	Servicio de datos móviles.
Generali	Italia, 2016	Protezione Satellitare	Seguro basado en telemática.	GPS	Servicio de datos móviles.
AXA Winterthur	Suiza, 2008	Crash Recorder	Registro de eventos.	Recopilador de eventos.	Datos recuperados del recopilador de eventos.
MAPFRE	España, 2009	YCAR	Seguro basado en telemática.	GPS	Servicio de datos móviles.
RSA Insurance Group	Reino Unido, 2016	More Than Green Wheels Insurance	Seguro basado en telemática.	Dispositivo conectado al puerto de diagnóstico.	Servicio de datos móviles.
Uniga	Austria, 2016	Safeline	Seguro basado en telemática.	GPS	Servicio de datos móviles.
WGV	Alemania, 2007	Young & Safe	Seguro basado en telemática.	GPS	Servicio de datos móviles.

Figura 6 Fuente: [Husnjak et al. \(2015\)](#).

Por otro lado, en el reporte “Global UBI market dashboard” se muestra la evolución de los esquemas UBI en el mundo desde 2009 (vea las Figuras 7 y 8).



Figura 7 Evolución de los programas UBI en el mundo. Fuente: [Ptolomeus Consulting Group \(2018\)](#).



UBI growth is coming from a few Western countries but tomorrow it will be driven by a multitude of emerging markets

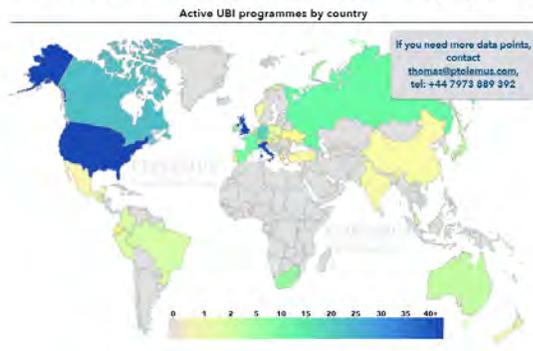


Figura 8 Programas UBI por país. Fuente: Ptolomeus Consulting Group (2018).

5. DATOS, LA MATERIA PRIMA

Uno de los puntos clave para la evolución de los esquemas de tarificación de los seguros de autos es la recopilación de los datos, sin esto no sería posible una medición precisa y justa de los riesgos. En este sentido, se identificaron principalmente dos recursos tecnológicos que no requieren de grandes inversiones: dispositivos OBD y dispositivos de telefonía móvil.

En las últimas décadas la industria automotriz ha incorporado nuevas tecnologías a los autos que permiten su monitoreo recopilando información relacionada con su desempeño, entre otros. Las primeras versiones se basan en el uso de sistemas On-Board Diagnosis (OBD) mediante los cuales la información es recuperada de las computadoras de viaje incorporadas en los automóviles realizando una conexión manual. Por otro lado, algunas empresas han desarrollado aplicaciones para dispositivos móviles que se sincronizan a los dispositivos OBD con el fin de recopilar y guardar la información recabada, o bien, los mismos dispositivos móviles funcionan como dispositivos donde se almacenan datos relevantes. En las tecnologías recientes incorporadas a los automóviles, esta información es enviada de forma automática y remota a los servidores y sistemas destinados para ello, con el fin de realizar un monitoreo continuo en tiempo real de su desempeño, y poder brindar, en su caso, asistencia cuando se requiera.

En su novena edición del reporte Data Never Sleep 9.0 (vea Anonimous (2021)) se reporta que en 2021, el 65 % de la población tiene acceso a internet. Por otro lado, el portal Statista reporta que durante 2021 se crearon,

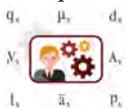
capturaron, copiaron y consumieron 79 zetabytes de información a nivel global, y se estima que para 2025 crezca a 181 zetabytes (cf. Statista Research Department (2021)). De todo este tráfico de información, el 92.6 % se hizo mediante algún dispositivo móvil.

Los dispositivos de telefonía móvil equipados con múltiples y diversos sensores permiten recopilar información relacionada con los movimientos y los comportamientos de quien lleva el dispositivo; por ejemplo, el odómetro, el cual estima el número de pasos que una persona recorre en un lapso. De la misma manera, los dispositivos móviles pueden determinar cuando la persona realiza un recorrido en automóvil, lo que significa que pueden recopilar cierta información como lo hacen los dispositivos OBD.

Una de las ventajas en el uso de dispositivos móviles respecto de los dispositivos OBD especializados es el bajo costo. De acuerdo con Anónimo (2015), entre 2010 y 2011 se lanzaron al mercado las primeras aplicaciones telemáticas para teléfonos inteligentes. En Tel (7 de Mayo de 2015) se enlistan algunas de las aplicaciones top que hacen uso de los sensores incluidos en la mayoría de los teléfonos inteligentes como son el GPS, giroscopio y acelerómetro. De esta manera se incrementa de forma importante la cantidad de automóviles conectados y de los cuales es posible recopilar información similar a como lo realizan los automóviles con tecnologías recientes.

En el reporte Connected Car (vea The Statistics Portal (2018)), se estima que para 2023 en México existirán 4.5 millones de carros conectados con alguna de las tecnologías mencionadas. Dicho reporte estima también que actualmente los autos conectados generan información por aproximadamente 25GB por hora. La Telemática se refiere en general a cualquier dispositivo que combine las telecomunicaciones y la informática, de la mano del Big Data han abierto nuevas posibilidades en prácticamente todas las áreas del conocimiento, de la industria, de los negocios, etc. Una de las aplicaciones que se ha dado recientemente a la Telemática es la del conocimiento de conductores al recopilar la información de trayectos, rutas, comportamientos, etc. Lo anterior es determinante, por ejemplo, para los negocios de paquetería o logística, ya que por medio del conocimiento de los conductores se puede optimizar la operación y mejorar el servicio.

El uso de la Telemática pone al alcance de la industria aseguradora un recurso tecnológico para poder conocer los hábitos de conducción de sus asegurados y determinar una tarifa más justa. Esta tecnología permite no solo conocer los hábitos de conducción de los conductores, sino que podría mejorar los servicios otorgados a los



clientes y prevenir posibles fraudes.

Por otro lado, las herramientas analíticas, como son la estadística, el aprendizaje máquina, la visualización de datos, la minería de datos, entre otras disciplinas, se vuelven indispensables, ya que de poco sirve generar grandes cantidades de información si éstas no son correctamente analizadas y transformadas en una oferta de valor.

6. CASO PRÁCTICO

En esta sección se desarrollará un caso práctico en el que se ejemplifica una forma de cómo medir de forma más precisa el riesgo de un asegurado al conducir lo que se traduciría en tarifas diferenciadas considerando aspectos que van más allá de los demográficos, usando información proveniente de diferentes fuentes con el fin de mostrar una forma de como considerar factores externos a los utilizados comúnmente a la hora de medir los riesgos.

Considere un viaje que se va a hacer de una distancia determinada. Los riesgos a los que se está expuesto son diversos, solo por mencionar algunos: colisión, robo, responsabilidad civil, etc. Dependiendo de las condiciones de la carretera, de la fecha en que se realiza el viaje, de la hora en que se realice el viaje, las condiciones climáticas, etc., los riesgos pueden variar de forma importante. Son precisamente estos factores los cuales no son considerados hoy en día al momento de determinar tarifas. Considerando lo anterior, y con ayuda de los datos disponibles, se pretende mostrar cómo es que estos factores influyen en los niveles de riesgo a los que un asegurado está expuesto. Por ejemplo, si se compara un trayecto de un asegurado en una autopista respecto de un trayecto en ciudad de este asegurado, considerando incluso el mismo kilometraje, los riesgos son completamente diferentes. Mientras que el trayecto en autopista tiene un mayor riesgo de colisión, el segundo tiene un mayor riesgo de robo total o parcial.

Los servicios de transporte privado mediante aplicaciones móviles determinan una tarifa de forma previa en la que consideran aspectos como la distancia a recorrer, la ruta, la hora del día, el tráfico, etc. La idea detrás de la propuesta de este trabajo es que, mediante una aplicación móvil, las aseguradoras puedan determinar el costo de asegurar un trayecto a realizar en la cual se consideren diferentes factores. Por lo anterior, este tipo de esquema pueden contratarse por viaje, o bien por un tiempo determinado con una tarifa base que considere gastos de contratación.

El uso de los datos abiertos ha dado la posibilidad

tanto a los analistas como a las empresas e instituciones de beneficiarse del uso de los datos. Por un lado, los analistas pueden tener acceso a grandes fuentes reales de información que de otro modo no tendrían acceso. Por otro lado, muchas organizaciones no cuentan con los recursos tecnológicos o humanos para explotar los datos y beneficiarse de ello. Para la realización de este caso práctico, se utilizó la información de los percances viales publicados por AXA a través del portal del Instituto Internacional de Ciencia de Datos (vea [IIC \(2008\)](#)). Dichos datos contienen la información de los incidentes viales registrados por la institución. Entre los principales datos que se tienen registrados son: tipo de percance, gravedad del percance, tipo de vehículo, ubicación geográfica del incidente, fecha y hora del incidente, tipo de daño, etc. Los datos de los que se dispone corresponden a registros de los incidentes de los períodos de 2015 a agosto de 2021.

Asimismo, se hizo uso de datos proporcionados por la startup CLUPP. Mediante una aplicación móvil la empresa recopila información referente a los hábitos de conducción de los usuarios mediante diferentes eventos: velocidad de conducción, aceleración y frenado. Cada que un usuario realiza un viaje e inicia la aplicación se comienza a recopilar la siguiente información: la ubicación geográfica del usuario con latitud y longitud del punto de inicio y término del viaje, la velocidad del vehículo en diferentes puntos del recorrido, los eventos de exceso de velocidad, aceleraciones bruscas, frenados bruscos y giros. De este modo, cada recorrido y evento puede ser ubicado en un mapa. Los eventos registrados se categorizan del 1 al 3 de acuerdo con su gravedad, siendo 1 la de menos gravedad, hasta 3 la de mayor gravedad. Esta aplicación asigna una calificación a los conductores en una escala del 1 al 10 evaluando cada uno de estos comportamientos. Mientras más eventos de mala conducta registre un conductor, éste será castigado con puntos, resultando en una baja calificación.

El registro repetido de eventos, como conducir a altas velocidades en tramos carreteros específicos, es un claro indicador de que dicho tramo es riesgoso, ya que sus características permiten a los conductores ir a altas velocidades incrementando los factores de riesgo al transitar por dicho tramo. Esta información se complementará con el registro de incidentes viales de AXA ya que contiene el detalle necesario para poder identificar y relacionar los tramos carreteros con los incidentes.

Con estas fuentes de información y herramientas analíticas se implementarán técnicas con las que se determinará un perfil de riesgos de los trayectos registrados por la aplicación, esto es, se agruparán los trayectos de tal for-



ma que puedan identificarse los trayectos de alto riesgo y los de bajo riesgo. Una vez identificados estos grupos, se determinarán sus características principales para crear reglas de negocio que permitan clasificar futuros trayectos en alguna de estas categorías. De esta manera, desde que un usuario define su trayecto, será posible conocer el grado de riesgo (y la tarifa) del trayecto tomando en cuenta los siguientes factores:

- Los hábitos individuales de conducción,
- Los hábitos colectivos de conducción,
- Tráfico vehicular, y el
- Historial de incidentes.

La metodología utilizada será la CRISP-DM propuesta en Chapman *et al.* (2000). La Figura 9 muestra de manera general los pasos de dicha metodología.

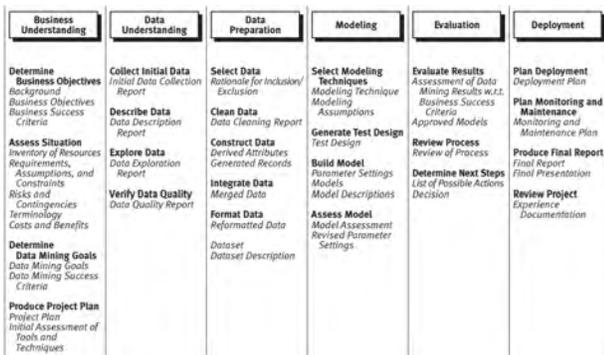


Figura 9 Procesos de la metodología CRISP-DM. Fuente: Chapman *et al.* (2000).

Entendimiento del Negocio

El objetivo será el de perfilar cada uno de los viajes registrados de tal manera que puedan diferenciarse aquellos que por sus características sean riesgosos de los que no. Posteriormente se usará el conocimiento adquirido en el perfilamiento de futuros viajes a realizar por el asegurado. La información de los hábitos de conducción proporcionado por CLUPP y los incidentes viales registrados por la aseguradora se complementarán de tal forma que el modelo incorpore toda esta información. Una de las áreas de oportunidad al utilizar estas dos fuentes de información es que el periodo de observación corresponde a periodos diferentes de tiempo. Mientras que la información de los incidentes viales corresponde al periodo de enero 2015 a febrero 2018 (más de cuatro años), la información de los hábitos de conducción corresponde



al periodo de agosto a diciembre de 2018 (cinco meses). Cabe mencionar que se considerará únicamente el riesgo de accidente (colisión o vuelco), ya que con la información con la que se dispone, no es posible determinar la ocurrencia de otros riesgos generalmente amparados en una póliza de autos como lo es el robo total o parcial, rotura de cristales, responsabilidad civil, etc.

Entendimiento de los Datos

La información de los percances viales de AXA se descarga en un formato csv, por lo que ya cuenta con una estructura definida y no requieren de un proceso de estructuración. Observe la tabla de la Figura 10.

Archivo	Tamaño	Registros	Variables
incidentes_viales_2015_axa	155MB	501,486	47
incidentes_viales_2016_axa	151MB	489,394	47
incidentes_viales_2017_axa	127MB	409,404	47
incidentes_viales_2018_axa	18MB	57,284	47

Figura 10 Detalle de los archivos utilizados.

Asimismo, se dispone de un archivo con el diccionario de los datos. En el Anexo A se muestran los campos junto con una breve descripción y el tipo de dato. Las Figuras 11 y 12 muestran el mapeo de los incidentes registrados por la aseguradora.



Figura 11 Mapeo de incidentes en México. Elaboración propia.

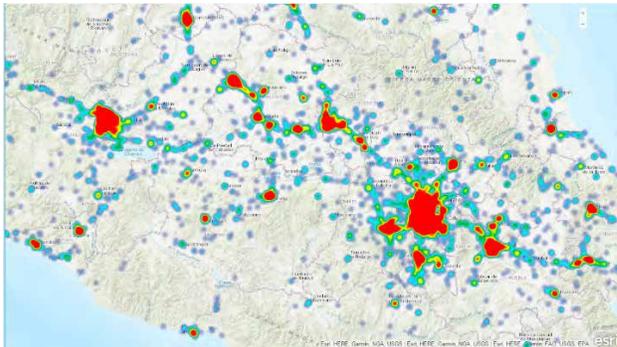


Figura 12 Mapeo de incidentes en la zona centro. Elaboración propia.

```

03aiAFItFRb9wKjD9QXF5g61iDy2:
  -LNCIVbA9n2RQ82BvKYs:
    bluetooth_triggered: 0
    gradeAccel: 6.703200460356393
    gradeBrake: 8.187307530779819
    gradeSpeed: 10
    gradeTotal: 8.631992374323044
    gradeTurn: 10
    tripFirebaseID: "-LNCIVbA9n2RQ82BvKYs"
    trip_distance: 5240.910065906122
    trip_duration: 2888
    trip_end_latitude: 19.4210113
    trip_end_longitude: -99.1617669
    trip_end_timestamp: "24 sep. 2018 4:26:37 PM"
    trip_speed: 5.444158655719656
    trip_start_latitude: 19.411880945304368
    trip_start_longitude: -99.174293478080661
    trip_start_timestamp: "24 sep. 2018 15:38:29"
    trip_start_timestamp_numeric: 1537821509
    vehicle: ""
    visible: 0
  -LNCUQIFUoBhao40Piqm: {...}
04Ccc4brnhN532cWskxCwKWE3cg2: {...}

```

Figura 13 Objeto TripsUsers, Registro tipo. Elaboración propia

El objeto `TripsUsersDetail` contiene información más detallada de cada viaje, esto es, por cada viaje realizado se recopila la información de diversos puntos de trayecto como la referente a la geolocalización, la fecha/hora, eventos de aceleración, frenado y velocidad, entre otros. Vea la Figura 14.

La información correspondiente a los hábitos de conducción proveniente de CLUPP se obtuvo mediante una petición HTTP realizada directamente a los servidores de la compañía con previa autorización para ello. La información se descarga en un formato JSON por lo que se desarrolló un procedimiento de descarga y estructuración de los datos. Los objetos descargados fueron identificados como `TripsUsers` y `TripsUsersDetail`.

El objeto `TripsUsers` contiene la información de los viajes realizados por cada usuario. Cada usuario puede tener registrado más de un viaje, de los cuales a su vez se guarda información como la calificación asignada a cada conducta, los datos de geolocalización del inicio y fin de viaje, la fecha/hora del inicio y fin del viaje, distancia recorrida, entre otros. Vea la Figura 13.

```

-LNCIVbA9n2RQ82BvKYs:
  -LNCIVcxjvT4dHsrz_ip: {...}
  -LNCIwNzMj0NhevM0wvj:
    accel: 0.6433456993103028
    distance: 5.3612141609191895
    eventAccel: 0
    eventBrake: 0
    eventSpeed: 0
    eventTurn: 0
    final_bearing: -116.20956420898438
    initial_bearing: -116.20954895019531
    latitude: 19.4205393
    longitude: -99.1656149
    speed: 3.216728496551514
    timestamp: "24 sep. 2018 15:38:34"
    trip_id: "-LNCIVbA9n2RQ82BvKYs"
    turn: 0

```

Figura 14 Objeto TripsUsersDetail, Registro tipo. Elaboración propia

La relación entre estos dos conjuntos de datos, tomando como ejemplo el registro tipo de las ilustraciones ante-



rios es la siguiente:

- La clave 03aiAFItfRb9wKjD9QXFSg6liDy2 de la tabla TripsUsers corresponde al identificador de usuario.
- La clave -LNCIVbA9n2RQB2BvKYs de la tabla TripsUsers corresponde al identificador de un viaje. Para cada viaje se guarda la información de la calificación asignada a cada aspecto (velocidad, aceleración, giro y frenado) así como la calificación global del viaje, la distancia recorrida, y datos de inicio y fin del viaje. El Anexo B muestra la descripción más detallada de las variables.
- La clave -LNCIVbA9n2RQB2BvKYs también se encuentra en la tabla TripsUsersDetail, la cual tiene asociados varias claves que corresponden a diferentes puntos del trayecto, es decir, es posible realizar un mapeo de un viaje en un mapa junto con los eventos registrados de (velocidad, aceleración, giro y frenado). Las Figuras 15 y 16 muestran la información de dos puntos del trayecto realizado. A medida que el trayecto es más largo, se registran más puntos. La información considera un total de 1,285 usuarios que realizaron 17,642 viajes.

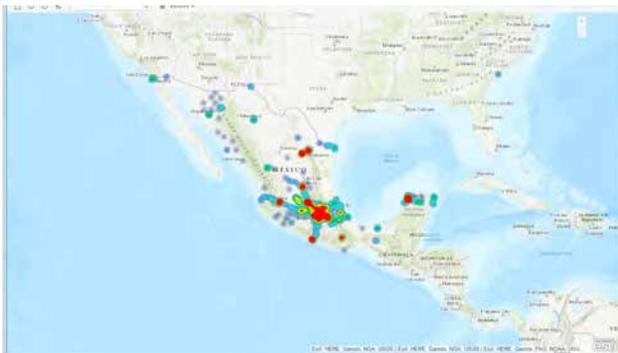


Figura 15 Ubicación de los viajes registrados. Elaboración propia.

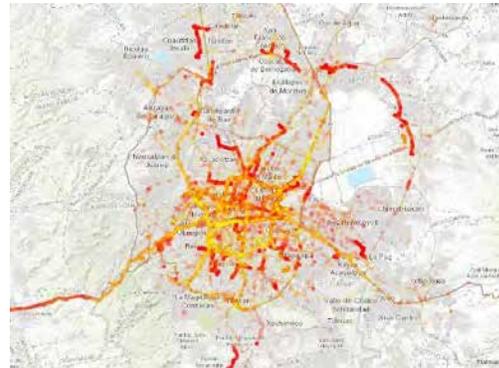


Figura 16 Mapeo de los eventos de aceleración. Elaboración propia.

Preparación de los Datos

En la fase anterior se realizó una rápida exploración de los datos, de su estructura, contenido, así como una rápida visualización para tener un mejor entendimiento de ellos. En esta fase del proceso se preparará la información para poder trabajar de manera confiable con ellos, es decir, se realizará una limpieza, filtrado, reestructura o formateo para garantizar su calidad. Posteriormente se creará una nueva estructura que considera ambas fuentes de información que nos permita determinar un score a cada viaje para determinar su grado de riesgo tomando en cuenta los datos de los que se dispone.

De la información de los siniestros se realizó el siguiente proceso de limpieza y filtrado con el fin de quedarnos únicamente con las variables que serán utilizadas en el modelo. El proceso consistió en las siguientes acciones:

- Se consideraron únicamente las siguientes 8 variables: siniestro, latitud, longitud, tipo de percance, tipo de vehículo, nivel de daño del vehículo, día de reporte y hora del reporte.
- En el análisis exploratorio se identificaron números de siniestros repetidos, por lo que se eliminaron aquellos registros cuyo identificador de siniestro se encontraba duplicado. El resultado es la eliminación de 85,491 siniestros (5.86% del total de registros).
- Para las variables de latitud y longitud, se eliminaron 143,643 registros con valor de cero o vacíos (9.85% del total de registros). A pesar de que en la muestra de siniestros de la Ilustración 12 se observan puntos fuera del territorio mexicano, se conservaron dichos datos ya que en el proceso de integración de viajes y siniestros, éstos se descartarán de forma

automática.

- La variable relacionada al tipo de percance se utilizó para filtrar únicamente aquellos eventos de colisión y/o vuelco. El resultado es la eliminación de 14,578 registros (1% del total de registros) cuya causa fue diferente a la mencionada.
- La variable tipo de vehículo se utilizó para filtrar únicamente a los Autos, ya que el modelo se limita a este tipo de vehículo. El resultado es la eliminación de 305,859 registros (21% del total de registros).
- La variable nivel de daño presenta 111,808 registros sin dato (11.3% de los registros totales), los cuales fueron imputados con la moda de dicha variable, la cual corresponde a un nivel Bajo de daño.

El resultado del proceso anterior es la eliminación de 537,694 registros (36.7% de los registros totales) que, en su mayoría, no corresponden al riesgo que en el presente trabajo se pretende modelar. Para el conjunto de datos de viajes por usuario (TripsUsers), el proceso consistió en las siguientes acciones de filtrado y formateo de datos.

- Se realizó el filtrado de variables para quedarnos únicamente con las siguientes: user id, trip id, gradeAccel, gradeBrake, gradeSpeed, gradeTotal, trip distance, trip duration, trip end latitude, trip end longitude, trip end timestamp, trip start latitude, trip start longitude y trip start timestamp.
- Para las variables trip start timestamp y trip end timestamp se realizó un proceso de limpieza para tener todos los datos en un formato dd/mm/aaaa hh:mm:ss.
- Se consideraron únicamente los viajes cuya distancia de recorrido registrado fue de al menos un km.

Para el conjunto de datos de los registros puntuales de cada viaje (TripsUsersDetail) se realizaron las siguientes acciones de filtración y formateo de datos.

- Se realizó el filtrado de variables para quedarnos únicamente con las siguientes: user id, trip id, location id, distance, eventAccel, eventBrake, eventSpeed, latitude, longitude, timestamp, trip id.
- Se realizó el mismo proceso de limpieza de la variable fecha-hora para tener todos los datos en un formato dd/mm/aaaa hh:mm:ss.

El siguiente paso es la combinación de la información de ambas compañías, esto es, asociar a cada viaje los incidentes ocurridos en un rango razonable. La Figura 17 muestra de manera general el resultado de la asociación de viajes e incidentes.

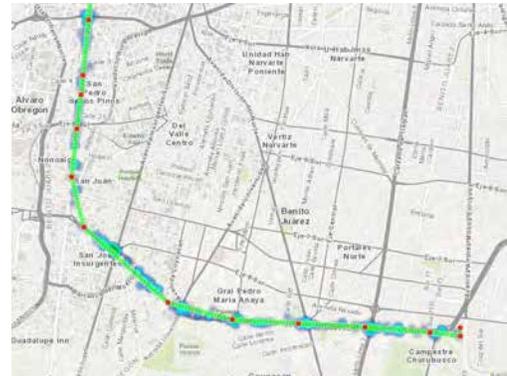


Figura 17 Mapeo de los siniestros en una ruta. Elaboración propia.

Cada punto rojo en la Figura 17 representa aquellos registrados por la aplicación móvil. Se observa que la distancia entre ellos no siempre es la misma, por lo que se realizó un proceso de interpolación de tal manera que un viaje tenga puntos equidistantes (puntos verdes). Una vez realizada la interpolación de los trayectos, se identificaron aquellos incidentes que ocurrieron en un radio aproximado de 50 metros, así como el día de la semana y la hora de ocurrencia (en un rango de ± 2 horas). Con lo anterior se pretende igualar las condiciones de temporalidad de los viajes en cuanto al día de la semana y la hora.

Para el caso de los incidentes, de los cuales se dispone de una variable que describe la gravedad del incidente, se establecieron diferentes pesos con el fin de asignar un valor acorde con la severidad del incidente: sin daño = 0.1; daño bajo=0.4; daño medio=0.7 y; daño alto=1. Para el caso de los eventos riesgosos (aceleración, velocidad y frenado), los cuales están categorizados por su gravedad, se sumó de manera directa este valor bajo el supuesto de que un evento de categoría 3, es tres veces más riesgoso que un evento de categoría 1, por lo que un evento de esta categoría representaría tres eventos. La calificación del viaje es determinada por la aplicación.

Como resultado de lo anterior se creó la tabla cuyas variables aparecen en la Figura 18.



Variable	Descripción	Tipo
<u>trip_id</u>	Identificador del viaje.	Carácter
<u>gradeUser</u>	Calificación del conductor antes iniciar del viaje.	Numérico
<u>distanceTrip</u>	Distancia del trayecto recorrido.	Numérico
<u>claims</u>	Número de incidentes viales registrados en la trayectoria del viaje ponderado por el nivel de daño registrado.	Numérico
<u>nearTravels</u>	Variable que mide la concurrencia vehicular en la ruta, es decir, el nivel de tráfico al momento del trayecto.	Numérico
<u>neventsAccel</u>	Número de eventos de aceleración registrados por otros usuarios en la trayectoria recorrida.	Numérico
<u>neventsBrake</u>	Número de eventos de frenado registrados por otros usuarios en la trayectoria recorrida.	Numérico
<u>neventsSpeed</u>	Número de eventos de velocidad registrados por otros usuarios en la trayectoria recorrida.	Numérico

Figura 18 Descripción de las variables de la estructura creada. Elaboración propia.

Las Figuras 19 y 20 muestran dos ejemplos de viajes realizados, cuyo número de eventos de aceleración identificados fueron más de 200 y 40 respectivamente, es decir, un viaje cuya trayectoria ha registrado altos eventos de aceleración, y otro cuyo número de eventos de aceleración es bajo.

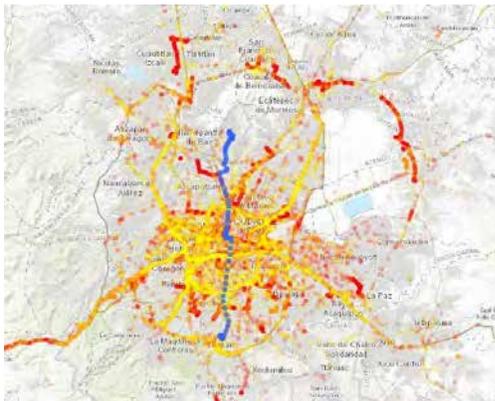


Figura 19 Trayecto con muchos eventos de aceleración. Elaboración propia.

En la Figura 19 se muestra un viaje realizado en la Ciudad de México que recorrió dos avenidas principales y que, de acuerdo con los registros, se observan muchos eventos de aceleración por parte del usuario. Por el contrario, la Figura 20 muestra un viaje realizado a las afueras de la ciudad de Xalapa, Veracruz en donde se observan pocos eventos de aceleración, ya que es una vía con poca concurrencia vehicular. Lo anterior muestra que los kilómetros recorridos no son un factor determinante de riesgo, ya que mientras el viaje realizado en la Ciudad



de México es de poco más de tres kilómetros, el viaje realizado en Veracruz es de casi siete kilómetros, es decir, el riesgo no solo es determinado por cuánto se conduce, sino se complementa con las variables del entorno en donde se conduce. Lo mismo ocurriría si se consideraran los eventos de velocidad, frenado e incidentes.

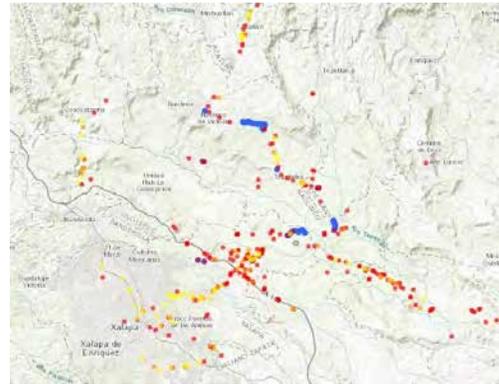


Figura 20 Trayecto con pocos eventos de aceleración. Elaboración propia.

Modelación y evaluación

Una vez estructurados los datos, se realizó un análisis clúster para agrupar los viajes en diferentes categorías. La idea es que cada grupo contenga viajes de acuerdo con riesgo que éstos representan considerando los diferentes factores. Para la creación de los grupos, es necesario realizar una estandarización de los datos, ya que por ejemplo la escala de la variable relacionada con la distancia recorrida (metros) sobresale sobre las demás variables, lo que podría sesgar la importancia que dicha variable representa sobre las demás. Para lo anterior, se utilizó el método de estandarización Z-Score, es decir, a la variable se le restó la media y se dividió entre la desviación estándar.

Una vez estandarizados los datos, se creó un dendograma de la Figura 21 con el fin de identificar los posibles grupos. La muestra el dendograma utilizando el método Ward, en la cual se identificaron cuatro grupos. En el Anexo C se presenta el análisis considerando diferentes criterios para la selección del número de grupos.

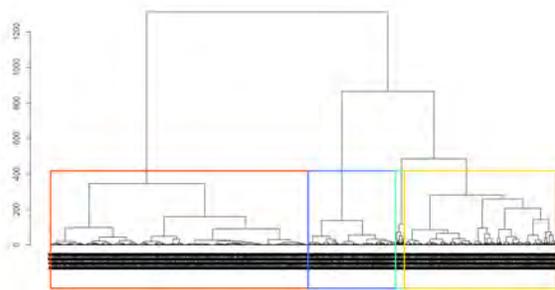


Figura 21 Número de grupos mapeados en el dendrograma. Elaboración propia.

Ya que se conoce el número de grupos, el siguiente paso es caracterizar cada uno de ellos, es decir, cada grupo se diferenciará de otro en alguna de las características definidas por cada variable analizada. Para lo anterior se analizarán los perfiles de cada uno de los grupos para todas las variables respecto de la población total. Vea la Figura 22.

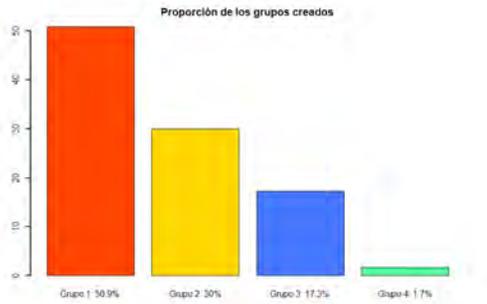


Figura 22 Proporción de grupos creados. Elaboración propia.

La tabla de la Figura 23 muestra los valores promedio de cada variable para los viajes totales y para cada grupo, seguido de un comparativo de cada grupo respecto de la población total.

Grupo/Variable	gradeUser	distanceTrip	claims	nearTravels	nEventAccel	nEventBrake	nEventSpeed
Total	8.3	15,898	73.4	437.4	6.3	0.6	14.2
Grupo 1	9.1	8,668	29.1	121.4	1.1	0.0	1.8
Grupo 2	8.5	27,400	134.2	887.7	12.3	1.4	28.5
Grupo 3	5.5	13,146	39.8	210.3	3.2	0.2	7.6
Grupo 4	7.5	56,481	654.9	4,179.9	85.0	7.1	194.5

Grupo/Variable	gradeUser	distanceTrip	claims	nearTravels	nEventAccel	nEventBrake	nEventSpeed
Grupo 1	110.1%	54.5%	39.6%	27.8%	17.4%	0.7%	12.8%
Grupo 2	102.8%	172.3%	182.9%	203.0%	195.8%	238.7%	201.1%
Grupo 3	65.5%	82.7%	54.3%	48.1%	51.3%	39.1%	53.6%
Grupo 4	90.7%	355.3%	892.5%	952.7%	1353.1%	1222.3%	1372.0%

Figura 23 Comparación de grupos por variable. Elaboración propia.

A continuación, se realizó análisis y caracterización de los grupos creados.

- El perfil de los viajes del grupo 1 se caracteriza porque la calificación de los conductores que lo realizaron es mayor a 9, además de que las rutas correspondientes presentan bajos niveles de eventos riesgosos (velocidad, frenado y aceleración), poca concurrencia y menos siniestros que los viajes promedio.
- El perfil de los viajes del grupo 2 se caracteriza porque en las rutas transitadas se observan con alta frecuencia eventos riesgosos que incrementan el riesgo de algún incidente, alta concurrencia vehicular y más siniestros que el promedio. No obstante, la calificación de los conductores se podría catalogar como buenos.
- El perfil de los viajes del grupo 3 se caracteriza porque, a pesar de presentar bajos eventos riesgosos, corresponden a conductores cuya calificación es baja. Lo anterior implica que por ejemplo al ser una ruta poco transitada, el conductor mal calificado (que refleja malas conductas de manejo) puede ver la oportunidad de incurrir en acciones que incrementen el riesgo, como lo es el manejar a alta velocidad.
- El perfil de los viajes del grupo 4 se caracteriza por ser de alta ocurrencia de eventos riesgosos, muy transitadas y con alta frecuencia de siniestros, además de que los conductores presentan calificación por debajo del promedio.

De lo anterior se concluye que el nivel de riesgo que un viaje puede ser categorizado de acuerdo con la siguiente tabla.



Grupo	Categoría de Riesgo
Grupo 1	Normal
Grupo 2	Bajo
Grupo 3	Medio
Grupo 4	Alto

Implementación

Por último, en este apartado se define la forma de cómo se pueden implementar los resultados. Los esquemas UBI en su mayoría se basan en la medición de los kilómetros recorridos sin considerar los factores externos como los que se proponen en este trabajo. Una de las posibles limitantes por parte del sector asegurador en la implementación de estos esquemas, es la falta de información que permita el desarrollo de productos que consideren dichos factores. Sin embargo, dicha información puede obtenerse de los datos que día a día se generen mediante alguna aplicación móvil o utilizando dispositivo OBD.

Pero no solo se trata de comenzar a desarrollar plataformas orientadas a conocer los hábitos de conducción, o de cualquier otro tipo de variable, sino de diseñar estrategias utilizando dicha información. La ventaja competitiva de una compañía respecto de la otra, será la capacidad para transformar en valor esa información.

Los esfuerzos realizados en este trabajo no estarían completos si no se tradujeran en una estrategia viable a implementarse. Recordemos que el objetivo es determinar el perfil de los viajes basado en los factores individuales y colectivos de manejo, la distancia a recorrer, lo transitado que pudiera ser el futuro trayecto y el historial de siniestros. Para lo anterior, se realizó un análisis para determinar reglas de negocio que permitan perfilar un futuro viaje. Dichas reglas de negocio se construirán basándose en el modelo supervisado de árboles de decisión, el cual genera reglas del tipo “si... entonces...”. El modelo toma como entrada cada una de las variables utilizadas en la creación de los grupos y como variable de objetivo se toma el grupo al que corresponde.

La Figura 24 muestra el esquema de árbol resultante. Hay que recordar que un árbol de decisión puede tener muchas hojas dependiendo de los parámetros de construcción. Mientras más hojas terminales tenga, las predicciones serán más acertadas, pero como en todo modelo predictivo, se debe tener cuidado de no sobreentrenar el modelo.

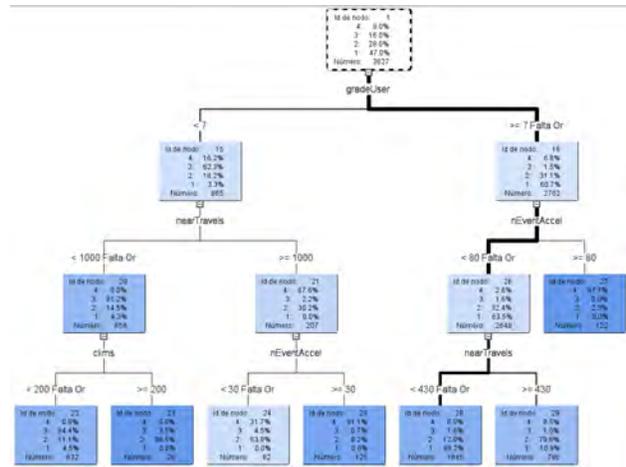


Figura 24 Reglas de negocio para definir cada grupo. Elaboración propia.

En dicho árbol se observa que, para clasificar los trayectos se requiere únicamente de las siguientes variables: la concurrencia vehicular (nearTravel), la calificación del conductor (userGrade), los eventos de aceleración (nEventAccel) y los incidentes (claims). Los nodos terminales muestran la probabilidad de que un viaje corresponda a cierta categoría. Por ejemplo, si un usuario con calificación mayor a 7 realiza un viaje, pero la ruta presenta muchos eventos de aceleración, es más probable que dicho viaje sea de categoría 4, es decir, es más probable que sea un viaje de riesgo alto.

Finalmente, en la tabla de la Figura 25 se muestra las siete reglas obtenidas para determinar el perfil de un viaje a partir del árbol anterior. Estas reglas se caracterizan por su simplicidad, ya que pueden implementarse en cualquier plataforma.

Regla	Perfil de riesgo asignado
Si gradeUser < 7 & nearTravel < 1000 & Claims < 200	Medio
Si gradeUser < 7 & nearTravel < 1000 & Claims >= 200	Bajo
Si gradeUser < 7 & nearTravel >= 1000 & nEventAccel < 30	Bajo
Si gradeUser < 7 & nearTravel >= 1000 & nEventAccel >= 30	Alto
Si gradeUser >= 7 & nEventAccel < 80 & nearTravel < 430	Normal
Si gradeUser >= 7 & nEventAccel < 80 & nearTravel >= 430	Bajo
Si gradeUser >= 7 & nEventAccel >= 80	Alto

Figura 25 Reglas para determinar perfil. Elaboración propia.

Debido a la forma de construcción de cada una de las variables involucradas, las reglas obtenidas se verificarán

únicamente con la información con la que fue construido el modelo, es decir, a medida que se vayan registrando más viajes, estas reglas deberán actualizarse.

Para la implementación del modelo propuesto, es necesario el desarrollo de una plataforma integral que considere cada uno de los factores, reglas, funcionalidades y tecnologías mencionadas en este trabajo. El reto es no perder de vista la importancia de cada uno de los elementos estratégicos y tecnológicos involucrados. Algunos de los elementos importantes a considerar para plataforma que soporte este tipo de estrategia tecnológica son los siguientes:

- La capacidad de recopilar información con el suficiente detalle para tener un volumen suficiente de datos que garantice la calidad de las estimaciones.
- La actualización en tiempo real de los incidentes que se presentan.
- El procesamiento en tiempo real de la determinación de las rutas a recorrer sobre las que se basan las reglas determinadas.
- Las capacidades analíticas, ya que de esto dependerán las estimaciones. Debe de considerarse además que tanto los parámetros, como las técnicas utilizadas pueden ir actualizándose conforme el volumen de información incrementa.
- Fuentes externas de información que sirvan de complemento en la determinación de las categorías de riesgo estimadas. Por ejemplo, puede incluirse como factor adicional las condiciones climáticas por medio de alguna API.

La implementación y el diseño de una plataforma tecnológica que tenga la capacidad de ofrecer un seguro bajo el esquema UBI propuesto en este trabajo no se da de la noche a la mañana, sobre todo porque para tener resultados confiables se requiere de una profundidad histórica para que el modelo sea lo más robusto posible.

7. COMENTARIOS FINALES

Como se mencionó en el apartado correspondiente, muchos de los esquemas UBI se basan en la distancia recorrida, es decir, se basan en la exposición real tomando como base los kilómetros recorridos. Esto no necesariamente refleja el nivel de riesgo de un trayecto. Lo anterior se verifica con las reglas de negocio obtenidas, las cuales no contemplan la distancia recorrida como un factor a considerar al momento de categorizar un viaje. No es lo mismo recorrer cinco kilómetros en una vía rápida y con alta afluencia vehicular, que recorrer cinco kilómetros en

una carretera rural poco transitada, esto es, el factor lugar juega un papel imprescindible. De la misma manera, el factor temporal juega un papel importante, ya que no es lo mismo conducir en horas pico, que conducir a altas horas de la madrugada en donde la afluencia vehicular es baja.

Las estrategias basadas en tecnologías marcarán una pauta en el desarrollo de los negocios en muchos sectores. De la mano del Big Data, de las técnicas analíticas y de las nuevas tecnologías, el sector asegurador se puede beneficiar en la forma de hacer negocio. Si bien las compañías aseguradoras no son expertas en temas tecnológicos, se puede recurrir a las alianzas estratégicas con empresas tecnológicas. En este trabajo se utilizaron dos fuentes de información completamente ajenas entre sí por representatividad, como por temporalidad. La información de los viajes considera únicamente la de los usuarios registrados por CLUPP en un momento determinado. Mientras más usuarios hagan uso de este tipo de aplicaciones o de dispositivos OBD se recolectarán más datos, lo que resultará en una mejora de las estimaciones realizadas. Por otro lado, la información de los incidentes viales proviene de la población asegurada de AXA, la cual a pesar de ser una de las compañías grandes en el sector, no garantiza la representatividad de la población.

Una de las características de los fenómenos es que son dinámicos, por lo que los modelos que pretenden describir dichos fenómenos deben de ser revisados y actualizados con cierta periodicidad para capturar dicha dinámica, lo que también es un reto. El mantenimiento y seguimiento de los modelos es vital. El uso de diversas técnicas podría contribuir a la robustez de los resultados obtenidos. El abanico de posibilidades es bastante amplio. En los últimos años han surgido nuevas tendencias como lo son las redes neuronales y el Deep Learning. Sin embargo, se deben ir explorando técnicas de menos a más atendiendo al principio de parsimonia.

Finalmente, con esta propuesta de medición de riesgo se logra una tarificación justa que permitirá una reducción importante en los costos, con lo que se puede ahorrar de un 50 %, a un 80 % del costo de la prima (vea [Anónimo \(2021\)](#)). Esto sin duda incrementaría la penetración del seguro en México.



A. DESCRIPCIÓN DE DATOS INCIDENTES VIALES AXA

Campos	Descripción	Tipo
the geom*	Sin descripción	Caracter
edad lesionado*	Sin descripción	Numérico
the geom web-mercator*	Sin descripción	Caracter
Siniestro	Identificador del percance vial	Numérico
Latitud	Ubicación geográfica latitudinal	Numérico
Longitud	Ubicación geográfica longitudinal	Numérico
Código postal	Ubicación postal del percance vial	Numérico
Calle	Nombre de la calle	Caracter
Colonia	Nombre de la colonia	Caracter
Tipo de percance	Tipo: atropello; colisión y/o vuelco; daños por la carga; fenómenos naturales; huelgas o alborotos; Incendio, Rayo o Explosión; transportación	Caracter
Tipo vehículo	Tipo de vehículo: Auto, Camión, Camión ligero y motocicleta	Caracter

(Continúa)



Campos	Descripción	Tipo
Color	Color del vehículo asegurado	Caracter
Modelo	Año del vehículo asegurado	Numérico
Nivel daño Vehículo	Valores: alto, bajo, medio y sin daños	Caracter
Punto impacto	Frontal, trasero, lateral derecho, lateral izquierdo	Caracter
Año reporte	Año en que se registró el percance vial. No necesariamente corresponde al año de ocurrencia	Numérico
Mes reporte	Mes en que registró el percance vial. No necesariamente corresponde al mes de ocurrencia.	Numérico
Día reporte (número)	Día en que registró el percance. No necesariamente corresponde al día de ocurrencia.	Numérico
Día reporte (letra)*	Día en que registró el percance. No necesariamente corresponde al día de ocurrencia.	Caracter

(Continúa)



Campos	Descripción	Tipo
Hora reporte	Hora de ocurrencia del percance vial. No necesariamente corresponde a la hora de ocurrencia.	Numérico
Estado	Nombre del estado en donde ocurrió el percance	Caracter
Ciudad municipio	Ciudad de ocurrencia del percance vial	Caracter
Total lesionados	Cantidad de personas lesionadas en el siniestro	Numérico
Rol lesionado	Valores: Conductor, Pasajero, Tercero conductor, Tercero pasajero, Tercero peatón, Tercero viajero	Numérico
Edad lesionado	Corresponde a la edad de cada lesionado	Caracter
Genero lesionado	Corresponde al género de cada lesionado	Numérico
Nivel lesión	Valores: alto, bajo, medio y sin daño	Numérico
Hospitalizado	Valor que confirma si cada lesionado fue o no hospitalizado	Booleano

(Continúa)



Campos	Descripción	Tipo
Fallecido	Valor que confirma si cada lesionado falleció o no en el siniestro	Booleano
Ambulancia	1, si una ambulancia estuvo presente al momento del percance	Booleano
Árbol	1, si un árbol, arbusto, rama o tronco estuvieron involucrados en el accidente	Booleano
Piedra	1, si una piedra, roca o peña estuvieron involucradas en el incidente vial	Booleano
Dormido	1, si el asegurado manifestó haberse dormido segundos antes del accidente	Booleano
Grúa	1, si una grúa fue necesario después del percance	Booleano
Daño obra civil	1, si el incidente vial causó daños en la infraestructura civil (banqueta, postes, sardinel, etc.)	Booleano

(Continúa)



Campos	Descripción	Tipo
Pavimento mojado	1, si había evidencia de pavimento mojado en el lugar del percance	Booleano
Explosión llanta	1, si el asegurado manifiesta explosión de llantas como consecuencia del incidente.	Booleano
Volcadura	1, si el ajustador manifiesta volcadura del vehículo durante el percance	Booleano
Pérdida total	1, si el auto fue enviado para valuación de pérdida total	Booleano
Conductor distraído	1, si el asegurado manifestó haberse distraído segundos antes del accidente.	Booleano
Tercero fuga	1, si el el asegurado o ajustador manifiestan fuga del tercero responsable.	Booleano
Alcohol	1, si el ajustador percibe aliento alcohólico en el conductor o estado de ebriedad	Booleano

(Continúa)



Campos	Descripción	Tipo
Motocicleta	1, si el ajustador manifiesta involucramiento de motocicleta en el accidente	Booleano
Bicicleta	1, si el ajustador manifiesta involucramiento de bicicleta en el incidente	Booleano
Aseguradora	1, si alguno de los terceros vinculados en el percance vial contaba con un seguro de autos o responsabilidad civil	Booleano
Servicio taxi	1, si alguno de los vehículos involucrados correspondía a un servicio público de taxi o especial	Booleano
Animal	1, si en el accidente estuvo involucrado algún semoviente (perro, burro, vaca, gato, otros)	Booleano

B. DESCRIPCIÓN DE DATOS CLUPP

Descripción de datos TripsUsers.

Campos	Descripción	Tipo
--------	-------------	------

(Continúa)



Campos	Descripción	Tipo
accel	Grado de aceleración registrado.	Numérico
distance	Indica la distancia recorrida respecto del registro inmediato anterior.	Numérico
eventAccel	Indica si se registró algún evento extremo de aceleración. Puede tomar los valores 1, 2 ó 3 dependiendo del grado del evento.	Numérico
eventBrake	Indica si se registró algún evento extremo de frenado. Puede tomar los valores 1, 2 ó 3 dependiendo del grado del evento.	Numérico
eventSpeed	Indica si se registró algún evento extremo de velocidad. Puede tomar los valores 1, 2 ó 3 dependiendo del grado del evento.	Numérico
eventTurn	Esta variable aún no recopila ningún tipo de información.	Numérico
final bearing	Indica el rumbo de la brújula al inicio.	Numérico

(Continúa)



Campos	Descripción	Tipo
initial bearing	Indica el rumbo de la brújula al final.	Numérico
latitude	Indica la latitud del punto registrado.	Numérico
longitude	Indica la longitud del punto registrado.	Numérico
speed	Indica la velocidad en el punto de registro.	Numérico
timestamp	Indica el tiempo (fecha y hora) del punto registrado.	Caracter
trip id	Es el ID del viaje.	Caracter
turn	Esta variable aún no recopila ningún tipo de información.	Numérico

Descripción de datos TripsUsersDetail.

Campos	Descripción	Tipo
bluethooth triggered	Esta variable no registra dato, por lo que su valor será el mismo en todos los registros.	Unario
gradeAccel	Indica la calificación obtenida de la conducta de aceleración del usuario para el viaje registrado.	Numérico

(Continúa)



Campos	Descripción	Tipo
gradeBrake	Indica la calificación obtenida de la conducta de frenado del usuario para el viaje registrado.	Numérico
gradeSpeed	Indica la calificación obtenida de la conducta de velocidad del usuario para el viaje registrado.	Numérico
gradeSpeed	Indica la calificación obtenida del viaje registrado considerando las conductas de aceleración, frenado y velocidad.	Numérico
gradeTurn	Esta variable no registra dato, por lo que su valor será el mismo en todos los registros.	Unario
tripFirebaseID	Corresponde el ID del viaje.	Caracter
trip distance	Indica la distancia recorrida en metros.	Numérico
trip duration	Indica la duración del viaje en segundos.	Numérico
trip end latitude	Indica la latitud del punto de fin del viaje.	Numérico
trip end longitude	Indica la longitud del punto de fin del viaje.	Numérico

(Continúa)



Campos	Descripción	Tipo
trip end times-tamp	Indica el tiempo (fecha y hora) del fin del viaje.	Caracter
trip speed	Indica la velocidad del viaje.	Numérico
trip start latitudo	Indica la latitud del punto de inicio del viaje.	Numérico
trip start longitudo	Indica la longitud del punto de inicio del viaje.	Numérico
trip start times-tamp	Indica el tiempo (fecha y hora) del inicio del viaje.	Caracter
trip start times-tamp numeric	Indica el tiempo (fecha y hora) del inicio del viaje en formato numérico.	Numérico
vehicle	Esta variable aún no recopila ningún tipo de información.	Caracter
visible	Esta variable aún no recopila ningún tipo de información.	Numérico

C. SELECCIÓN DEL NÚMERO DE GRUPOS

El índice Davies-Bouldin permite identificar el número de grupos de tal forma que cada grupo creado sea de calidad. Mientras menor sea este índice para un número de grupos, mejor será la calidad de los grupos. En la Figura 26 se observa una mejora en la calidad de la agrupación a partir de los cuatro grupos para el método Ward. Por otro lado, para el método de k -medias no se aprecia un número de grupos óptimo.

La gráfica del criterio Elbow basa la elección del número óptimo de grupos de acuerdo con en el punto de

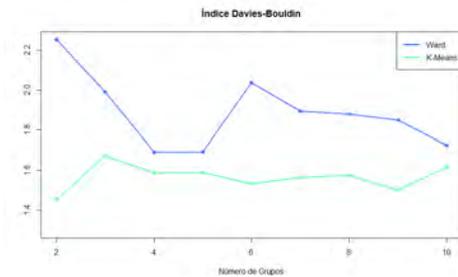


Figura 26 Optimización por el método de Ward. Elaboración propia.

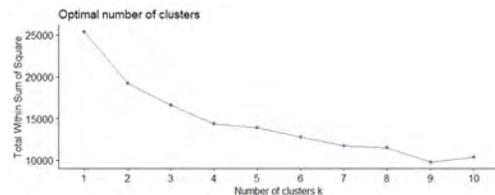


Figura 27 Método de Elbow. Elaboración propia.

inflexión de la gráfica, la cual sugiere la elección dos o cuatro como el número óptimo de grupos (vea la Figura 27).

Por otro lado, el método Silhouette sugiere que el número óptimo de grupos es de 2, ya que con este número de grupos dicho índice se maximiza. Vea la Figura 28.

Finalmente, la gráfica correspondiente al método Gap (cf. Figura 29) sugiere elegir uno grupo como el óptimo. Sin embargo, se observa que la elección de cuatro grupos es también factible.

De lo anterior se eligió crear cuatro grupos con base en el método Ward.

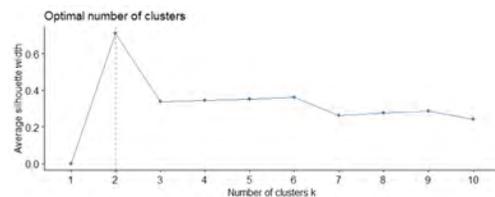


Figura 28 Método Silhouette. Elaboración propia.



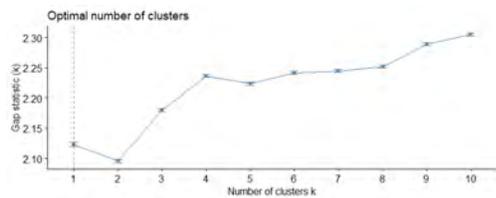


Figura 29 Método Gap. Elaboración propia.

REFERENCIAS

2008 Instituto internacional de ciencia de datos. Obtenido de [aquí](#).

2017 Seguro x Kilómetro. AIG, Obtenido de [aquí](#).

2018 Kimmo. Obtenido de [aquí](#).

2021 Seguros de auto por kilómetro en México. Clupp **14 de diciembre**, Obtenido de [aquí](#).

7 de Mayo de 2015 Telematics.com. Obtenido de [aquí](#).

Anonymous, 2021 What happens in one minute on the internet. Wersm **julio**, Obtenido de [aquí](#).

Anónimo, 2015 *Breve Guía sobre la historia de la telemática*. TomTom.

Anónimo, 2021 Seguro de auto por kilómetro. Ahorra Seguro **Septiembre**, Obtenido de [aquí](#).

Asociación Insurtech México, 2021 Radar insurtech México. Entorno **2 de marzo**, Obtenido de [aquí](#).

Asociación Mexicana de Instituciones del Seguro, 2020 Informe del sistema estadístico del sector asegurador del ramo de automóviles. Sistema Estadístico del Sector Asegurador del Ramo de Automóviles.

Butler, P., T. Butler, and L. L. Williams, 1988 Sex-divided mileage, accident, and insurance cost data show that auto insurers overcharge most women. *Journal of Insurance Regulation* pp. 242–420.

Casanova, F. and C. Cabral, 2018 La brecha de protección de automotor en Latinoamérica. Swiss Re Institute **septiembre**, Obtenido de [aquí](#).

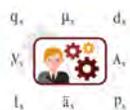
Chapman, P., T. Khabaza, and C. Shearer, 2000 *Step-by-step data mining guide*. The CRISP-DM consortium, SPSS.

Delgado, M., 2021 Lanza bbva México seguro de auto por kilómetro de wibe. Rastreador.mx **5 de noviembre**, Obtenido de [aquí](#).

Edlin, A., 2003 Per-mile premiums for auto insurance. *Economics for an Imperfect World* pp. 53–82.

García, A. and L. Paqui, 2018 *World InsurTech Report 2018: La colaboración entre aseguradoras tradicionales e insurtech gana terreno*. Prensa Capgemini, Madrid.

Gutierrez, F., 2021 Identifican a 80 insurtech que operan en México. *El Economista* **9 de junio**.



Hundstad, L., R. Bernstein, and J. Turem, 1994 Impact analysis of weighting auto rating factors to comply with proposition. California Department of Insurance **103**.

Husnjak, S., D. Perakovic, I. Forenbacher, and M. Mumdzic, 2015 Telematics system in usage based motor insurance. *ScienceDirect* pp. 816–825.

Litman, T., 2011 *Pay-As-You-Drive Pricing For Insurance Affordability*. Victoria Transport Policy Institute, California.

Litman, T., 2018 *Distance-based vehicle insurance as a TDM strategy*. Victoria Transport Policy Institute, Obtenido de [aquí](#).

Ptolomeus Consulting Group, 2018 Global ubi market dashboard. Finance docbox **6 de febrero**, Obtenido de [aquí](#).

Riquelme, R., 2018 México sigue a emergentes en tendencias fintech. *El Economista* **2 de Febrero**.

Statista Research Department, 2021 Volume of data/information created, captured, copied, and consumed worldwide from 2010 to 2025 **7 de julio**, Obtenido de [aquí](#).

Sugarman, S., 2018 *Pay at the Pump Auto Insurance: The California Vehicle Injury Plan for Better Compensation, Fairer Funding, and Greater Safety*. University of California, Berkeley.

The Statistics Portal, 2018 Connected car.

Tselentis, D., G. Yannis, and E. Vlahogianni, 2016 Innovative motor insurance schemes: A review of current practices and emerging challenges. *Accident Analysis and Prevention* **98**: 139–148.

Vickery, W., 1968 Automobile accidents, tort law, externalities, and insurance: An economist's critique. *Law and Contemporary Problems* **33**: 464–487.



Fernando Roque Maye se tituló como Actuario por la Universidad Nacional Autónoma de México en 2007. Tiene una Maestría en Ciencia de Datos y Procesamiento de Datos Masivos por la Universidad Cuauhtémoc Aguascalientes en 2019. Cuenta

con certificaciones en programación SAS (Básico y Avanzado) y en SAS Enterprise Miner. Forma parte del grupo de Instructores del Diplomado en Minería de Datos con SAS en el Instituto Matemático Actuarial Mexicano desde 2013. Entre sus experiencias profesionales están puestos en AXA Seguros y Seguros Citibanamex. Actualmente trabaja en BBVA Seguros como Risk Manager. Es el responsable de la firma y elaboración de la prueba de Solvencia Dinámica de las compañías de previsión del Grupo BBVA, y de la elaboración del informe de la autoevaluación de riesgos y solvencia institucional.

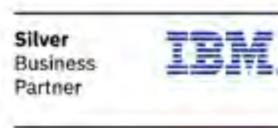


Actuaría & Finanzas

PROYECTOS ESPECIALIZADOS

- **Afores - INFONAVIT - IMSS**
- **Seguros**
- **Pensiones**
- **Certificación en Estándares de Competencia Laboral CONOCER**
- **Aula Virtual - Capacitación**

Contacto: webmaster@actuariayfinanzas.net



55 8055 4463

VAIID

VISIÓN ACTUARIAL SOBRE LA
INNOVACIÓN, LA INVESTIGACIÓN Y
EL DESARROLLO



Anáhuac
México



La Facultad de Ciencias Actuariales de la Universidad Anáhuac México te invita a sus sesiones mensuales de: "VISIÓN ACTUARIAL SOBRE LA INNOVACIÓN, LA INVESTIGACIÓN Y EL DESARROLLO"

Facultad de
Ciencias Actuariales

PREMIO FUNDADORES

**Cómo evitar que la industria
petrolera se quede sin seguros**



Cómo evitar que la industria petrolera se quede sin seguros

José Daniel López Barrientos*

*Facultad de Ciencias Actuariales de la Universidad Anáhuac y Facultad de Ciencias Físico-Matemáticas de la Benemérita Universidad Autónoma de Puebla

RESUMEN Este trabajo obtuvo el primer lugar en el Segundo Premio Fundadores, organizado y patrocinado por la Asociación Mexicana de Actuarios. El artículo utiliza técnicas clásicas de programación dinámica estocástica para determinar la prima de equivalencia que cada uno de dos agentes extractores de un recurso natural no renovable debe pagar a una aseguradora para cubrir el riesgo de que el pozo de extracción explote. Usamos métodos estadísticos y geológicos para calibrar la distribución del tiempo hasta el fallo del estatus de extracción de cada agente y conjuntamos un sencillo esquema de aproximación con el estándar actuarial de las recomendaciones de Bühlmann para cobrar a los agentes extractores una prima de varianza, mientras que la aseguradora obtiene un rédito por su inversión en riesgo.

Palabras clave

Recomendaciones
de Bühlmann
Tasa de fallos
Gradiente de
presión vertical

Derechos reservados © 2022 por el Colegio Nacional de Actuarios
Última actualización del manuscrito: 23 de junio de 2022
Este artículo es publicado por el Colegio Nacional de Actuarios (CONAC) y contiene información de una variedad de fuentes. Es un trabajo cuyo fin es únicamente informativo y no debe interpretarse como asesoramiento profesional o financiero. El CONAC no recomienda ni respalda el uso de la información proporcionada en este estudio. El CONAC no ofrece ninguna garantía, expresa o implícita, ni representación de ningún tipo y no asume ninguna responsabilidad en relación con el uso o mal uso de este trabajo.



1. INTRODUCCIÓN

A finales de 2020, *Lloyd's of London* anunció sus planes para dejar de vender seguros para algunos tipos de compañías de combustibles fósiles para 2030. De hecho, se espera que varias compañías de seguros sigan su ejemplo. Además del daño que las labores de extracción le producen al medio ambiente, y de la subsecuente presión social y gubernamental a la que la industria extractiva de combustibles fósiles está sujeta, la decisión de la industria del seguro se debe a que, durante los últimos treinta años, las aseguradoras han perdido aproximadamente sesenta mil millones de dólares exclusivamente en este sector, mientras que las pérdidas en todos los demás sectores ascienden a sólo treinta millones de dólares. Vea [Johansmeyer \(May 27, 2021\)](#). A pesar de ello, no resulta claro, ni que los gobiernos del mundo (por ejemplo el de México) estén preparados para dejar de invertir en la industria de los combustibles fósiles, ni que las empresas de este ramo estén listas para hacer frente por sí mismas a los riesgos inherentes a su actividad. De cualquier modo, el elevadísimo valor de un solo siniestro relacionado con las plataformas de petróleo y el corto plazo que la industria del seguro ha determinado para detener su exposición a estos riesgos, hacen que el problema de valuación de primas de seguro para las actividades de extracción amerite la atención inmediata de los miembros del gremio actuarial.

Grosso modo, lo que las compañías de seguros hacen en general es asignar capital utilizando datos históricos y otros factores para calcular la combinación correcta de riesgos agresivos y conservadores, y tratan de equilibrar la frecuencia y la severidad. Sin embargo, estas estimaciones de riesgo *no* se realizan con base en consideraciones técnicas de corte geológico o geofísico, y por lo tanto, el cálculo de primas y beneficios no toma en cuenta las condiciones geológicas de la zona donde se perforó o se perforará un pozo.

El riesgo que nos interesa estudiar en este trabajo es que el pozo explote durante la perforación. Abordado correctamente, y con base datos sísmicos y estadísticos, es posible que las compañías de seguro capitalicen el riesgo –al menos– hasta 2030. En efecto, con los datos sísmicos de la zona de la extracción, es posible invocar los resultados presentados en [Sayers et al. \(2002\)](#) para calcular la presión del poro. Este dato, juntamente con la información estadística sobre el comportamiento de los pozos en el área nos ayudará a estimar los parámetros de

la distribución de probabilidad del tiempo hasta que este evento se dé mientras el pozo está siendo perforado.

En el ámbito actuarial, es de sobra sabido que si la probabilidad de que ocurra el siniestro resulta ser baja, la compañía aseguradora podría cobrar una prima muy competitiva y diferenciable en el mercado. Si por el contrario, la probabilidad de una explosión resultara ser demasiado alta, la aseguradora podría declinar asegurar el pozo, disminuyendo el riesgo financiero de manera considerable, para su propio beneficio.

Los trabajos [Gromova and López-Barrientos \(2016\)](#) y [López-Barrientos et al. \(2020\)](#) usan el principio de programación dinámica para exhibir que, cuando la función de utilidad de un agente extractor de un recurso no renovable (por ejemplo, petróleo) es logarítmica, entonces se cumple una especie de principio de equivalencia (vea la p.2 y el Ejemplo 6.1.1 en [Bowers et al. \(1997\)](#)), a saber

$$x - u^*(t, x) \cdot \bar{a}_t = 0, \quad (1)$$

donde x es el nivel de recurso disponible para su extracción, $u^*(t, x)$ es el control óptimo para el agente extractor al tiempo t cuando el nivel del recurso es x , y \bar{a}_t es una anualidad contingente valuada a una tasa nula de interés y pagadera continuamente emitida en favor del agente cuando ha extraído el recurso durante t años. De hecho, en [Real-Miranda and López-Barrientos \(2022\)](#) se hace un análisis detallado sobre el comportamiento de las reservas de fondeo para un solo agente cuando los tiempos de paro siguen las distribuciones Gamma, Weibull y Chen.

Más aun, si en vez de considerar un solo agente, consideramos dos, y para $i = 1, 2$, el i -ésimo extractor recibe un premio de c_i si continúa extrayendo recursos al momento en que el otro se ha detenido, entonces ([López-Barrientos et al. 2020](#), Theorem 3) nos da que podemos reemplazar (1), por la relación

$$x - u_i^*(t, x) \cdot \left(\bar{a}_{[t]_1:[t]_2} + c_i \bar{A}_{[t]_i:[t]_{-i}} \right) = 0, \quad (2)$$

donde $\bar{a}_{[t]_1:[t]_2}$ es una anualidad contingente de vidas conjuntas y $\bar{A}_{[t]_i:[t]_{-i}}$ representa una función contingente que paga una unidad monetaria al i -ésimo extractor cuando el $-i$ -ésimo deja el sistema. Note que aquí echamos mano de las nomenclaturas estándar de selección en cálculo actuarial, y de la teoría de juegos para referirnos a los jugadores. Especialmente al mencionar al $-i$ -ésimo jugador: o sea, *no el i -ésimo*.

Para garantizar que las relaciones (1) y (2) rigen, los cálculos se realizan con variables aleatorias pertenecientes a la familia exponencial (vea ([Mood et al. 1974](#), Chapter VII.4.4)), y son replicables hasta el punto en que las



¹ Autor de correspondencia. Correos electrónicos: daniel.lopez@anahuac.mx y jose.lopezbar@correo.buap.mx

consideraciones estadísticas de las extractoras en una zona, y sísmicas en esa misma área satisfagan esta condición. En este trabajo, basamos las consideraciones geológicas en el modelo de [Bowers \(1995\)](#) para estimar el gradiente vertical de presión en el pozo petrolífero.

El resto del artículo se divide como describimos a continuación. La sección siguiente presenta los preliminares técnicos de nuestro trabajo, mientras que la sección 3 presenta la aplicación de [Sayers et al. \(2002\)](#) para calibrar los parámetros de las distribuciones utilizadas para modelar el tiempo hasta el fallo del estatus de extracción. La sección 4 usa las recomendaciones de [Bühlmann \(1985\)](#) y un sencillo esquema numérico para calcular una prima pagadera por cada agente de tal suerte que la aseguradora obtenga dividendos por su incursión en el negocio de asegurar la extracción de recursos no renovables. La sección 5 está dedicada a presentar nuestras conclusiones.

2. PRELIMINARES MATEMÁTICOS Y ACTUARIALES

Comenzamos nuestro estudio describiendo el problema de nuestro interés y presentando las definiciones elementales a las que nos referiremos en lo subsecuente.

Consideremos el proceso de control de conflictos en la extracción de un recurso no renovable en el que están involucrados dos participantes (para evitar la monotonía, usaremos de manera intercambiable los términos *participantes, jugadores, agentes extractores, extractores o agentes*). Supondremos que los dos agentes están presentes en el sistema al inicio del tiempo³.

Usamos modelo presentado en ([Dockner et al. 2000](#), Chapter 10.3) para describir la dinámica del consumo del recurso, según el cual,

$$\dot{x}(t) = -u_1(t) - u_2(t), \text{ con } x(t_0) = x_0, \quad (3)$$

donde $x(t)$ es la cantidad disponible de recurso al tiempo $t \geq 0$, $u_i(t)$ es la tasa de extracción del i -ésimo agente al tiempo t , x_0 es la cantidad inicial del recurso, e $i = 1, 2$.

Sea $\mathcal{G}(x_0)$ un juego diferencial cuyo sistema satisface los Supuestos 2.1 y 2.2 descritos a continuación.

Hipótesis 2.1 (a) *Ambos jugadores actúan simultáneamente y comienzan el juego en algún momento inicial t_0 desde el estado x_0 .*

³ Se puede estudiar el caso en el que los agentes deciden el momento en que comienzan a extraer petróleo. El trabajo [Gromova and López-Barrientos \(2016\)](#) lo hace de este modo.



(b) *Las variables de control de los jugadores son sus respectivas tasas de extracción en cada momento, a saber $u_1, u_2 : [0; \infty[\rightarrow \mathcal{U}$, donde \mathcal{U} es un subconjunto compacto de $[0; \infty[$.*

(c) *La dinámica del sistema está dada por (3).*

El sistema (3) refleja el hecho de que el recurso no es renovable porque, según el Supuesto 2.1(b), $x(\cdot)$ no aumenta.

En este trabajo, daremos por hecho que la extracción del i -ésimo agente se detiene en un momento aleatorio τ_i para $i = 1, 2$, que cuando uno de los agentes alcanza su tiempo de paro, se retira del juego, y el otro participante continúa extrayendo el recurso hasta alcanzar su propio tiempo de paro (cosa que puede ocurrir cuando el recurso se extingue).

Hipótesis 2.2 (a) *Los tiempos de paro de cada agente son independientes entre sí.*

(b) *Los tiempos de paro pertenecen a la familia exponencial (cf. ([Klugman et al. 2019](#), Appendices A.2-A.4), y ([Mood et al. 1974](#), VII.4.4)). Esto es, si $F_{\tau_i}(\cdot)$ es la función de distribución del tiempo de paro del i -ésimo extractor, entonces*

$$F_{\tau_i}(t) = 1 - \exp\left(-\int_0^t \lambda_i(s) ds\right), \quad (4)$$

donde $\lambda_i(\cdot)$ es la tasa de fallos de τ_i del i -ésimo extractor para $i = 1, 2$.

Definición 2.3 *La variable aleatoria de tiempo hasta el fallo del primer extractor se define como $\tau := \min\{\tau_1, \tau_2\}$.*

A partir de los Supuestos 2.1 y 2.2, es posible caracterizar a la función de distribución de τ usando ([Promislow 2011](#), Chapter 16.3) y ([Bowers et al. 1997](#), Chapter 9.3) mediante la relación:

$$\begin{aligned} F_{\tau}(t) &= 1 - (1 - F_{\tau_1}(t))(1 - F_{\tau_2}(t)) \\ &= 1 - \exp\left(-\int_0^t (\lambda_1(s) + \lambda_2(s)) ds\right). \end{aligned} \quad (5)$$

Sean u_1 y u_2 los controles que los agentes pueden aplicar. Definimos el índice de rendimiento del i -ésimo extractor como

$$\begin{aligned} K_i(x_0, u_1, u_2) &= \mathbb{E}_{x_0}^{u_1, u_2} \left[\int_0^{\tau_i} h_i(x(t), u_1(t), u_2(t)) dt \cdot \chi_{\{\tau_i \leq \tau_j\}} \right] \\ &+ \mathbb{E}_{x_0}^{u_1, u_2} \left[\int_0^{\tau_j} h_i(x(t), u_1(t), u_2(t)) dt \cdot \chi_{\{\tau_i > \tau_j\}} \right] \\ &+ \mathbb{E}_{x_0}^{u_1, u_2} \left[\Psi_i(x(\tau)) \cdot \chi_{\{\tau_i > \tau_j\}} \right], \end{aligned} \quad (6)$$

para $i = 1, 2$, donde $\mathbb{E}_{x_0}^{u_1, u_2}[\cdot]$ representa la esperanza condicional de \cdot , dado que (3) comienza en x_0 , y los jugadores usan los controles u_1 y u_2 ; $\chi_{\mathcal{A}}$ es la función indicadora del evento \mathcal{A} ; y h_i y Ψ_i son funciones de utilidad corriente y terminal, respectivamente.

Observación 2.4 Como es de esperarse, el índice de rendimiento $K_i(x_0, u_1, u_2)$ refleja el pago total que el i -ésimo agente obtendrá mientras las labores de extracción sean conjuntas. En particular, $\chi_{\{\tau_i \leq \tau_j\}}$ en (6) significa que si el i -ésimo agente deja el sistema antes que el j -ésimo ($i, j = 1, 2, i \neq j$), entonces recibirá –en promedio– la recompensa total $\mathbb{E}_{x_0}^{u_1, u_2} \left[\int_0^{\tau_i} h_i(x(t), u_1(t), u_2(t)) dt \right]$. Si, por otro lado, ocurre que el j -ésimo agente deja el sistema antes que el i -ésimo, entonces el i -ésimo participante recibirá la recompensa $\mathbb{E}_{x_0}^{u_1, u_2} \left[\int_0^{\tau_j} h_i(x(t), u_1(t), u_2(t)) dt \right]$ especificada en (7), en adición a la recompensa terminal $\mathbb{E}_{x_0}^{u_1, u_2} [\Psi_i(x(\tau))]$, mencionada en (8).

Naturalmente, estamos interesado en modelar la situación en que cada jugador desea maximizar su propio índice de rendimiento. Para este efecto, echamos mano de la definición tradicional de equilibrio de Nash.

Definición 2.5 Para $i = 1, 2$, sea Π^i el conjunto de los controles medibles (en el sentido de Lebesgue) $u_i : [0; \infty[\rightarrow [0; x_0]$. Decimos que un par de estrategias $(u_1^*, u_2^*) \in \Pi^1 \times \Pi^2$ es óptimo para el juego diferencial $\mathcal{G}(x_0)$ si se trata de un equilibrio de Nash. O sea,

$$\begin{aligned} K_1(x_0, u_1^*, u_2^*) &\geq K_1(x_0, u_1, u_2^*) \text{ para todo } u_1 \in \Pi^1 \text{ y} \\ K_2(x_0, u_1^*, u_2^*) &\geq K_2(x_0, u_1^*, u_2) \text{ para todo } u_2 \in \Pi^2. \end{aligned}$$

La Proposición 1 en López-Barrientos *et al.* (2020) prueba que, si $\int_0^t h_i(x^*(s), u_1^*(s), u_2^*(s)) ds < \infty$ para todo $t > 0$ (donde $x^*(s)$ representa la trayectoria que (3) sigue cuando se usan las estrategias a las que se refiere la Definición 2.5) y bajo nuestras hipótesis, el pago óptimo esperado para cada jugador es

$$\begin{aligned} &K_i(x_0, u_1^*, u_2^*) \\ &= \int_0^\infty h_i(x^*(s), u_1^*(s), u_2^*(s))(1 - F_\tau(s)) \\ &\quad + \Psi_i(x^*(s)) f_{\tau_j}(s)(1 - F_{\tau_i}(s)) ds, \end{aligned}$$

donde $f_{\tau_j}(\cdot)$ es una función de densidad para τ_j . Más aun, el Teorema 1 en López-Barrientos *et al.* (2020) usa técnicas comunes de programación dinámica estocástica para probar que si un solo agente explota un pozo de un recurso no renovable y su función de utilidad es logarítmica, *i.e.*, $h(x, u) = \ln u$, entonces el control óptimo para

ese extractor es de *lazo cerrado* y es de la forma⁴

$$u^*(t, x) = \frac{x}{\bar{a}_t}. \quad (9)$$

Aquí,

$$\bar{a}_t := \int_0^\infty \frac{1 - F_\tau(t+s)}{1 - F_\tau(t)} ds, \quad (10)$$

es decir, \bar{a}_t representa la anualidad contingente típica del cálculo actuarial de vida (con tasa de interés nula).

La expresión (9) invita a relacionarla con la prima neta nivelada a la que hace referencia cualquier texto básico de cálculo actuarial (como el capítulo 6 en Bowers *et al.* (1997)), así como de establecer expresiones como (1). Es más, el Teorema 3 en López-Barrientos *et al.* (2020) retoma el caso de dos participantes que estudiamos en este trabajo, y prueba que si las funciones de utilidad corriente de los jugadores son logarítmicas (*i.e.*, $h_i(x, u_i) = \ln u_i$ para $i = 1, 2$), y la función de pago terminal del i -ésimo jugador es

$$\Psi_i(x(t \wedge \tau)) = c_i \ln(x(t \wedge \tau)) = c_i \ln(x) \cdot \chi_{\{\tau \leq t\}},$$

donde c_i es una constante no negativa conocida, para $i = 1, 2$, entonces

$$u_i^*(t, x) = \frac{x}{\bar{a}_{[t]_1:[t]_2} + c_i \bar{A}_{[t]_1:[t]_2}^{-1}}. \quad (11)$$

Aquí, si $i = 1$, entonces $-i = 2$ y viceversa; $\bar{a}_{[t]_1:[t]_2} = \int_0^\infty \frac{1 - F_\tau(t+s)}{1 - F_\tau(t)} ds$ (con τ como en (5)) y $\bar{A}_{[t]_1:[t]_2}^{-1} = \int_0^\infty \frac{1 - F_\tau(t+s)}{1 - F_\tau(t)} \lambda_{-i}(t+s) ds$. A partir de (11), es posible establecer relaciones como (2) para tratar de visualizar un modelo para asegurar las actividades de extracción de ambos agentes. En ambos casos, las funciones de utilidad de los asegurados son logarítmicas, la *suma asegurada* ascenderá a x , y *bajo una variante del supuesto de equivalencia actuarial*, las primas netas niveladas estarán dadas por (9) y (11).

Al emprender el camino para revisar la posibilidad de asegurar la extracción de un solo agente y de conducir el correspondiente análisis de reservas basado en los resultados de (Bowers *et al.* 1997, Chapter 7), el lector planteará un cálculo actuarial para recursos no renovables al estilo de la sección 3 en Real-Miranda and López-Barrientos

⁴ De hecho, lo que (López-Barrientos *et al.* 2020, Theorem 1) demuestra es el caso particular en el que la variable aleatoria τ sigue la ley Weibull, o la de Chen. Sin embargo, no es difícil extender exactamente la misma prueba al caso general en donde la distribución satisface (4) en el Supuesto 2.2.



(2022). Esto le conducirá a usar (9) para definir la *variable aleatoria de pérdida prospectiva*:

$${}_tL := x^*(w + \tau) \cdot v^{\tau-t} - u^*(w, x^*) \cdot \bar{a}_{\tau-t} \quad (12)$$

donde w es el momento de la emisión de la póliza, x^* representa la trayectoria que resuelve (3) (para el caso de un solo jugador) cuando se usa el control óptimo (9), v^z es el factor de descuento de z períodos propio del interés compuesto y \bar{a}_{τ} es una anualidad cierta para z períodos.

Observación 2.6 Aunque en (12) se hace alusión expresa al factor de descuento y a la anualidad cierta, mantenemos el enfoque utilizado en nuestros cálculos previos, y tomaremos una tasa de interés nula. La razón por la que hemos usado estos símbolos financieros es que deseamos mantener la presentación tan cercana como sea posible al cálculo actuarial de vida. Reconocemos, sin embargo, que hacer esto resulta redundante.

¿Reservas negativas?

Calculamos la reserva matemática ${}_t\bar{V}(x(w)) := \mathbb{E} [{}_tL | \tau > t]$ encontrando la distribución condicional de la vida futura en t para una “vida” seleccionada en (w) , dado que ha sobrevivido hasta $t > t_0$. Así, suponemos –como es usual– que $T(w + t) = [T(w) - t | T(w) > w]$ y demostramos que

$$\begin{aligned} {}_t\bar{V}(x(w)) &= x(w + t) - u^*(w, x) \cdot \bar{a}_{w+t} \\ &= x(w + t) - \frac{x(w)}{\bar{a}_w} \cdot \bar{a}_{w+t}. \end{aligned} \quad (13)$$

(Los detalles que conducen de (12) a (13) pueden encontrarse en la sección 3.3 de [Real-Miranda and López-Barrientos \(2022\)](#).) Para fijar ideas, consideraremos distribuciones que, por la forma de su tasa de fallos (vea la Figura 1), y por satisfacer el Supuesto 2.2(b), ajusten adecuadamente el tiempo hasta el fallo del extractor (lea [\(Henley and Kumamoto 1992, Chapter 1\)](#)).

Una interpretación plausible de la Figura 1 es que, conforme el tiempo sigue su marcha, la tasa de fallos pasa de ser una función decreciente, a ser *más o menos* constante, hasta arribar a una etapa de franco deterioro. En esta sección trabajaremos con las variables aleatorias Gamma, Weibull y Chen. A continuación presentamos las definiciones correspondientes para contribuir a la autocontención de este trabajo. Sin embargo, las demostraciones de que las tasas de fallo correspondientes lucen como la Figura 1 para ciertas elecciones de los parámetros deberá consultarse en [López-Barrientos et al. \(2020\)](#) (revise la Nota 2.10 más adelante).

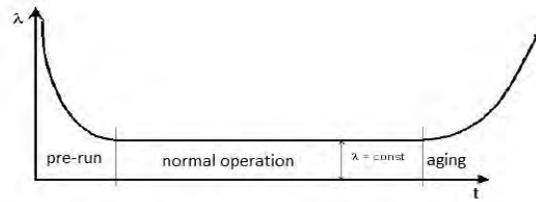


Figura 1 Observe que la tasa de fallos $\lambda(t)$ se asemeja a una tina de baño. Fuente: [Henley and Kumamoto \(1992\)](#); [López-Barrientos et al. \(2020\)](#).

Definición 2.7 (Cf. [\(Klugman et al. 2019, A.3.2.1\)](#).) Decimos que una variable aleatoria τ con soporte en $]0; \infty[$ tiene distribución Gamma con parámetros de forma $\alpha > 0$ y de escala $\theta > 0$ si la función de distribución de τ está dada por $F(t) = \int_0^t f(s) ds$, donde f es una función de densidad dada por

$$f(t) = \frac{t^{\alpha-1} e^{-t/\theta}}{\theta^\alpha \Gamma(\alpha)} \text{ para } t > 0 \text{ y } \Gamma(\alpha) := \int_0^\infty x^{\alpha-1} e^{-x} dx.$$

La tasa de fallos de la distribución Gamma está dada por

$$\lambda(t) = \frac{t^{\alpha-1} e^{-t/\theta}}{\Gamma(\alpha) - \Gamma_t(\alpha)} \text{ para } t \geq 0 \text{ y } \Gamma_t(\alpha) := \int_0^t x^{\alpha-1} e^{-x} dx.$$

En este caso, escribiremos $\tau \sim \Gamma(\alpha, \theta)$.

Definición 2.8 (Vea [\(Klugman et al. 2019, A.3.2.3\)](#).) Decimos que una variable aleatoria τ con soporte en $]0; \infty[$ tiene distribución Weibull con parámetros de forma $\alpha > 0$ y de escala $\theta > 0$ si la función de distribución de τ está dada por

$$F(t) = 1 - \exp\left(-\left(\frac{t}{\theta}\right)^\alpha\right) \text{ para } t > 0.$$

La tasa de fallos correspondiente es

$$\lambda(t) = \frac{\alpha}{\theta} t^{\alpha-1} \text{ para } t > 0.$$

En este caso, escribiremos $\tau \sim \text{Weibull}(\alpha, \theta)$.

Definición 2.9 (Cf. [Chen \(2000\)](#).) Decimos que una variable aleatoria τ con soporte en $]0; \infty[$ tiene distribución Chen con dos parámetros de forma $\alpha > 0$ y $\lambda > 0$ si la función de distribución de τ está dada por

$$F(t) = 1 - \exp\left(\lambda \cdot (1 - e^{t^\alpha})\right) \text{ para } t > 0.$$

La tasa de fallos correspondiente es

$$\lambda(t) = \alpha \lambda t^{\alpha-1} \exp(-t^\alpha) \text{ para } t > 0.$$

En este caso, escribiremos $\tau \sim \text{Chen}(\alpha, \lambda)$.

Observación 2.10 Para las variables aleatorias de las Definiciones 2.7-2.9, se cumple que si el parámetro de forma $\alpha < 1$, entonces la maquinaria cuyo tiempo útil modela τ está en una etapa de plenitud; si $\alpha = 1$, entonces la tasa de fallos $\lambda(t)$ es más o menos constante; y si $\alpha > 1$, la maquinaria está en una etapa de envejecimiento. Revise los detalles en López-Barrientos et al. (2020).

Para el caso en que $\tau \sim \Gamma(\alpha, \theta)$, la reserva matemática se obtiene de sustituir las expresiones citadas en la Definición 2.7 en (10), y los resultantes, en (13) (los detalles técnicos pueden leerse en la sección 3.3 en Real-Miranda and López-Barrientos (2022)). Vea la Figura 2.

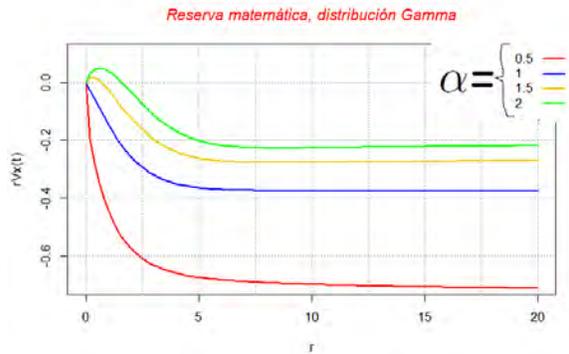


Figura 2 Reserva matemática, ${}_t\bar{V}(x(0))$, para la distribución Gamma con parámetros $\theta = 1$, $\alpha = 0.5, 1.0, 1.5, 2.0$.

Para el caso en que $\tau \sim \text{Weibull}(\alpha, \theta)$, la reserva matemática se obtiene de sustituir las expresiones citadas en la Definición 2.8 en (10), y los resultantes, en (13) (los detalles técnicos pueden verse en la sección 3.3 en Real-Miranda and López-Barrientos (2022)). Vea la Figura 3.

Para el caso en que $\tau \sim \text{Chen}(\alpha, \theta)$, la reserva matemática se obtiene de sustituir las expresiones citadas en la Definición 2.9 en (10), y los resultantes, en (13) (los detalles técnicos pueden encontrarse en la sección 4.2 en Real-Miranda and López-Barrientos (2022)). Vea la Figura 4.

Observación 2.11 La sección 7.3 en Bowers et al. (1997) menciona que, en la mayoría de las aplicaciones, las reservas

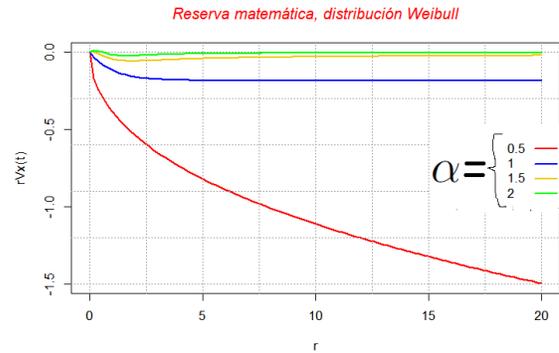


Figura 3 Reserva matemática, ${}_t\bar{V}(x(0))$, para la distribución Weibull con parámetros $\theta = 1$ y $\alpha = 0.5, 1.0, 1.5, 2.0$.

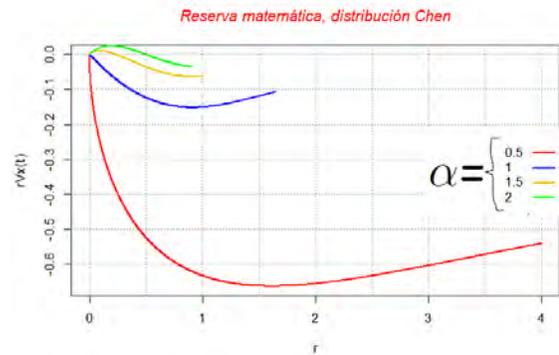


Figura 4 Reserva matemática, ${}_t\bar{V}(x(0))$, para la distribución Chen con parámetros $\theta = 1$ y $\alpha = 0.5, 1.0, 1.5, 2.0$.

matemáticas son positivas. Sin embargo, no existe un sustento teórico que lo garantice. De hecho, las Figuras 2-4 representarían un contraejemplo fehaciente a algún resultado que afirmara que las reservas deben ser positivas. También es importante observar que los valores que asignamos al parámetro de forma α en cada uno de los casos estudiados, corresponden a distintos períodos de operación de la herramienta de extracción (vea (Henley and Kumamoto 1992, Chapter 1)): desde el período en que la maquinaria es nueva ($\alpha < 1$), pasando por el período de operación normal ($\alpha = 1$), y hasta llegar al período de decaimiento ($\alpha > 1$). Llamen la atención dos cosas.

- El parámetro de escala θ permanece inmutable en todos los cálculos. ¿Qué pasaría si utilizáramos un parámetro



más ad hoc a la industria extractiva de recursos no renovables?

- Valdría la pena revisar lo que ocurre cuando no se cobra sólo la "prima de equivalencia"⁵ a cambio de la protección del seguro. ¿Es posible cobrar un monto que garantice una ganancia para quien asegure a todos los extractores?

Las secciones 3 y 4 se encargan del primer y segundo puntos recién señalados, respectivamente.

3. UN PARÁMETRO REALISTA DE ESCALA PARA LA DISTRIBUCIÓN WEIBULL EN EL GOLFO DE MÉXICO

En esta sección usamos herramientas geológicas comunes para estimar la presión del poro en el que ha de llevarse a cabo una perforación, con el fin de usarla como parámetro para calcular una distribución *a priori* de probabilidad que resulte adecuada para modelar los tiempos hasta el fallo de los agentes. Con estos datos a la mano, sería factible complementar las observaciones recabadas de la experiencia con alguna técnica Bayesiana para estimar una distribución *a posteriori* para estas variables (por ejemplo, el estudio [Lei \(2008\)](#) presenta un interesante comparativo entre tres de estas técnicas en un contexto forestal). Hasta donde sabemos, esta propuesta es nueva y por ende no se aplica en el ámbito actuarial.

Los especialistas en geofísica saben que antes de perforar un poro en aguas profundas para extraer petróleo, es necesario estimar la presión interna mediante el procesamiento de datos de reflexión sísmica. No hacer esto implica consecuencias que pueden resultar fatales (sin mencionar que pueden ser extremadamente costosas). Consideramos natural utilizar el gradiente de la presión vertical en aguas profundas para calibrar la distribución del tiempo hasta el fallo del agente extractor.

Sea h la profundidad bajo el suelo marino (medida en metros). Habiendo medido con suficiente precisión la velocidad sísmica, es posible concluir el proceso de estimación del gradiente de la presión $p(h)$ (medida en $\frac{Pa}{m}$) aplicando alguna función que la transforme en la presión del poro de nuestro interés. Los métodos más comúnmente utilizados en la industria son:

- El de Bowers (cf. [Bowers \(1995\)](#)):

$$p(h) = \frac{d}{dh} \left[g \int_0^h \rho(z) dz - \sqrt[B]{\frac{v(h) - v_0}{A}} \right] \quad (14)$$

donde $g = 9.8067 \frac{m}{s^2}$ es la aceleración de la gravedad en la Tierra, ρ es la densidad (medida en $\frac{kg}{m^3}$) del sedimento, $v(h)$ es la velocidad (medida en $\frac{m}{s}$) de los sedimentos h metros bajo el suelo marino y v_0 es la velocidad de los sedimentos no-consolidados saturados de líquido. Los parámetros A y B son artificiales y describen la variación en la velocidad cuando la tensión diferencial crece; y en el Golfo de México toman valores de $A = 28.3711$ y $B = 0.6207$ (vea [Sayers et al. \(December 2005\)](#)). De hecho, en el Golfo de México, la velocidad de los sedimentos normalmente presurizados varía de manera lineal, y satisface $v(h) = v_0 + k \cdot h$, donde k está medida en $\frac{1}{s}$, representa el gradiente vertical de la velocidad, y en esa región, cumple que $k \in [0.6; 1]$ (vea [Sayers et al. \(2002\)](#); [Slotnick \(1936\)](#); [Xu et al. \(1993\)](#)). Con esta simplificación, (14) se reduce a

$$\begin{aligned} p(h) &= \frac{d}{dh} \left[9.8067 \int_0^h \rho(z) dz - \sqrt[B]{\frac{k \cdot h}{A}} \right] \\ &= 9.8067 \rho(h) - \frac{1}{B} \sqrt[B]{\frac{k}{A}} h^{\frac{1-B}{B}}. \end{aligned} \quad (15)$$

- Y el de Eaton (cf. [Eaton \(1975\)](#)):

$$p(h) = \frac{d}{dh} \left[g \int_0^h \rho(z) dz - \sigma_{\mathcal{N}}(h) \left(\frac{v(h)}{v_{\mathcal{N}}(h)} \right)^n \right], \quad (16)$$

donde $\sigma_{\mathcal{N}}(h)$ es la tensión diferencial vertical normal del sedimento –o sea *sin* la acción del hombre– a h metros bajo el suelo marino (medida en Pa) y $v_{\mathcal{N}}(h)$ es la velocidad sísmica normal h metros debajo el suelo marino. El exponente n no tiene unidades, y describe la sensibilidad de la velocidad sísmica al diferencial de tensión, y en el Golfo de México es común tomar $n = 3$ (vea [Sayers et al. \(December 2005\)](#)).

Como ya hemos expresado en la sección 2, está comprobado que si la tasa de fallo de una variable aleatoria tiene forma de tina de baño (como la Gamma, la Weibull y la Chen), entonces es adecuada para modelar el tiempo hasta el fallo (explosión o exhaustión) de un agente extractor. Sin embargo, trabajos como [López-Barrientos et al. \(2020\)](#);

⁵ Encerramos estas palabras entre comillas porque en realidad, no se trata de una prima de equivalencia. Recordemos que ese caso se presenta cuando la función de utilidad del asegurado es lineal (vea ([Bowers et al. 1997](#), Example 6.1.1)). Sin embargo, sabemos que, por el Teorema de Doob de convergencia de submartingalas (vea el Teorema (1) en ([Grimmett and Stirzaker 1994](#), Chapter 12.3)) y las notas en la sección D.1.1 en [Schmidli \(2008\)](#), la bancarrota es un evento cierto si la aseguradora no cobra más que la prima de equivalencia.



Real-Miranda and López-Barrientos (2022) simplifican la modelación considerado que uno de los parámetros es unitario. Nuestra intención es usar (15) o (16) para reemplazar este dato irreal por el inverso multiplicativo de la presión del poro aún cuando no hay datos disponibles sobre las velocidades de intervalo. En este último caso, los especialistas en geología (cf. Sayers et al. (December 2005, 2002)) proponen tomar una muestra de N presiones en pozos razonablemente cercanos a aquel cuya presión se desea estimar, y tomar un estimador de la presión $\hat{p}(h)$ tal que el estadístico de error cuadrático medio de la muestra

$$\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (p_i(h) - \hat{p}(h))^2$$

sea mínimo. Este enfoque resulta muy atractivo para quien ha sido entrenado en técnicas estadísticas, pero además es muy conveniente para su uso en la industria del seguro, pues valida la averiguación de los datos de las presiones en los poros aledaños al que se desea asegurar.

Para fijar ideas, usaremos las estimaciones de los parámetros válidas para el Golfo de México en el método de Bowers. Según Traugott (1997), la densidad promedio del sedimento en el Golfo de México satisface la relación empírica

$$\rho(h) = 1953.1638 + 1.95538406399448h^{0.6}. \quad (17)$$

Insertando $A = 20.3711$, $B = 0.6207$, $k = 0.6$ y la densidad (17) en (15), obtenemos la tabla siguiente y la Figura 5.

h (en m)	$p(h)$ (en $\frac{kPa}{m}$)
0	19.15
500	19.95
1000	20.36
1500	20.69
2000	20.98
2500	21.25
3000	21.49

Observe que, a pesar de que la relación (15) es claramente no-lineal, practicamos una regresión lineal con los puntos obtenidos:

$$\hat{p}(h) = 0.0007h + 19.46. \quad (18)$$

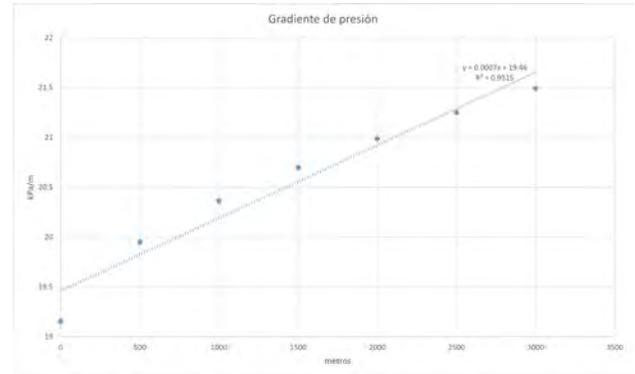


Figura 5 Estimaciones del gradiente de la presión a partir de la profundidad.

Esto nos resulta en un estadístico R^2 del 95.15%, y lo que es más importante: nos da un método *lineal* de estimación para la presión en un pozo submarino de extracción de petróleo en el Golfo de México.

Con esto en mente, podemos suponer que el tiempo de fallo (medido en años) de un agente extractor está modelado por $\tau \sim \text{Weibull}\left(\alpha, \frac{1}{p(h)}\right)$. La tabla que mostramos a continuación nos enseña la probabilidad de que el agente tenga que dejar las labores extractivas antes de cumplir un mes realizándolas. Esto es,

$$\mathbb{P}\left(\tau \leq \frac{1}{12}\right) = 1 - \exp\left(-\left(\frac{p(h)}{12}\right)^\alpha\right),$$

con $h = 0, 500, 1000, 1500, 2000, 2500, 3000$ y $\alpha = 0.5, 1, 1.5, 2$.

		α			
		0.5	1	1.5	2
α	$\frac{1}{19.75}$	71.73 %	79.73 %	86.69 %	92.17 %
	$\frac{1}{19.95}$	72.46 %	81.04 %	88.28 %	93.7 %
	$\frac{1}{20.36}$	72.82 %	81.68 %	89.04 %	94.39 %
	$\frac{1}{20.69}$	73.11 %	82.18 %	89.62 %	94.89 %
	$\frac{1}{20.98}$	73.35 %	82.60 %	90.10 %	95.31 %
	$\frac{1}{21.25}$	73.57 %	82.98 %	90.53 %	95.65 %
	$\frac{1}{21.49}$	73.77 %	83.32 %	90.90 %	95.96 %



Recuerde la Nota 2.10. Observe que, a medida que el equipo de extracción *envejece* (o sea, cuando el parámetro de forma α crece), las probabilidades de explosión aumentan *aún en un horizonte tan breve como lo es el de un mes*. Por otra parte, mire que a medida que la profundidad h , y por ende, el gradiente de presión vertical $p(h)$ crecen, la probabilidad de que un accidente ocurra también se incrementa. Una crítica válida que las parametrizaciones que mostramos merecen, es que las probabilidades de experimentar un siniestro pueden parecer *demasiado grandes*. Sin embargo, para estudiar la causa de las grandes pérdidas que las aseguradoras han experimentado en el pasado (documentadas en Johansmeyer (May 27, 2021)), requerimos conseguir exactamente este efecto en las probabilidades. De cualquier manera, invitamos al lector a revisar la herramienta computacional [disponible aquí](#) para formarse su propio criterio y llegar a sus propias conclusiones.

4. UNA APROXIMACIÓN NUMÉRICA AL MODELO DE BÜHLMANN PARA ASEGURAR A DOS AGENTES WEIBULL

Ahora vamos a extender la teoría presentada en, por ejemplo (Kaas *et al.* 2008, Chapter 5.2) para asegurar las actividades de extracción de dos agentes Weibull, cobrarle a cada cual una prima (de varianza), y obtener el pago de un dividendo sobre el capital con que se asegure el portafolios.

El algoritmo que permite lograr este cometido tiene dos pasos y apareció por primera vez en Bühlmann (1985). Supone que el tomador de decisiones sabe cuál es la probabilidad de ruina ε aceptable para sí y el porcentaje que quiere obtener como dividendo $q \in [0; 1]$ del capital w que aporte. El primer paso es que el tomador de decisiones calcule el capital necesario para cubrir un riesgo S :

$$w = \sqrt{\text{var}S} \sqrt{\frac{|\ln \varepsilon|}{2q}}. \quad (19)$$

El segundo paso es que el tomador de decisiones calcule la prima de varianza que cada asegurado deberá pagarle a cambio de aceptar cubrir el riesgo X_i :

$$r_i = \mathbb{E}X_i + \frac{|\ln \varepsilon|}{w} \text{var}X_i. \quad (20)$$

Si una sola aseguradora se compromete a asegurar las actividades de los dos agentes extractores inmersos en el juego diferencial $\mathcal{G}(x_0)$ descrito en la sección 2, entonces,



por (2), se enfrenta al riesgo de pagar $x(\tau)$ a cada uno de los agentes.

Vale la pena puntualizar que, aunque, por su naturaleza, el juego $\mathcal{G}(x_0)$ debería pagar sólo al jugador que permanece extrayendo petróleo, es factible que ambos jugadores deban dejar el sistema debido al mismo siniestro. Vea la Figura 6.



Figura 6 La catástrofe del 20 de abril de 2010 en Deepwater Horizon dejó sin los beneficios de la plataforma a sus tres socios comerciales: México, Cuba y Estados Unidos de América. Fuente: Reuters/US Coast Guard.

Dicho esto, debe ser claro que $X_i = x(\tau)$, donde τ es la variable aleatoria de la Definición 2.3; y que $S = 2x(\tau)$. O sea que $\tau = \min\{\tau_1, \tau_2\}$ y $\tau_i \sim \text{Weibull}\left(\alpha_i, \frac{1}{p}\right)$, con $p \equiv p(h)$ para $i = 1, 2$. La razón por la que tomamos la misma presión para cada agente, es que suponemos implícitamente que usan el mismo pozo para extraer el recurso. Note, sin embargo, que los parámetros de forma no necesariamente son iguales entre sí. De esta manera tomamos en cuenta las diferencias tecnológicas entre los participantes.

Con el fin de encontrar el capital w referido en (19), debemos calcular $\text{var}S = 4\text{var}x(\tau)$. Esto requiere descubrir la forma funcional de $x(t)$. Insertar (11) en (3) y resolver la ecuación diferencial resultante nos da la variable aleatoria que buscamos para especificar la suma asegurada:

$$x(\tau) = x_0 e^{-\int_0^\tau \frac{1}{a_{|t|_1:|t|_2} + c_1 \bar{A}_{|t|_1:|t|_2}} + \frac{1}{a_{|t|_1:|t|_2} + c_2 \bar{A}_{|t|_1:|t|_2}} dt}. \quad (21)$$

Para simplificar el trabajo, resolveremos solamente el caso particular en el que la recompensa terminal para ambos jugadores es nula, esto es $c_1 = 0 = c_2$. Con esto

en mente, (21) se reduce a

$$x(\tau) = x_0 \exp\left(-2 \int_0^\tau \frac{1}{\bar{a}_{[t]_1:[t]_2}} dt\right),$$

y usando (5), la transformamos en

$$\begin{aligned} x(\tau) &= x_0 e^{-2 \int_0^\tau \frac{(1-F_{T_1}(t))(1-F_{T_2}(t))}{\int_0^\infty (1-F_{T_1}(t+s))(1-F_{T_2}(t+s)) ds} dt} \\ &= x_0 e^{-2 \int_0^\tau \frac{\exp(-(tp)^{\alpha_1}) \exp(-(tp)^{\alpha_2})}{\int_0^\infty \exp(-[(t+s)p]^{\alpha_1}) \exp(-[(t+s)p]^{\alpha_2}) ds} dt} \\ &= x_0 e^{-2 \int_0^\tau \frac{\exp(-(p^{\alpha_1} t^{\alpha_1} + p^{\alpha_2} t^{\alpha_2}))}{\int_0^\infty \exp(-(p^{\alpha_1} (t+s)^{\alpha_1} + p^{\alpha_2} (t+s)^{\alpha_2})) ds} dt} \\ &= x_0 e^{-2 \int_0^\tau \frac{1}{\int_0^\infty \exp(-p^{\alpha_1} ((t+s)^{\alpha_1} - t^{\alpha_1}) - p^{\alpha_2} ((t+s)^{\alpha_2} - t^{\alpha_2})) ds} dt} \end{aligned} \quad (22)$$

La segunda igualdad surgió de sustituir la función de distribución de Weibull especificada en la Definición 2.8 en (22). Por otro lado, la integral en el denominador de la última expresión depende absolutamente de los valores que asignemos a los parámetros de forma de cada agente.

Con el afán de ilustrar el resultado, consideramos que la tecnología del primer agente es obsoleta (o sea $\alpha_1 = 2$) y que el segundo está en el período de operación normal de su maquinaria (así, $\alpha_2 = 1$). Asimismo, suponemos que se encuentran perforando a una profundidad de 771.4285714 metros bajo el suelo marino del Golfo de México, y usamos la recta de regresión (18) para que $\hat{p} = 20 \frac{kPa}{m}$. Esto nos da que

$$\begin{aligned} &\int_0^\infty e^{-p^{\alpha_1} ((t+s)^{\alpha_1} - t^{\alpha_1}) - p^{\alpha_2} ((t+s)^{\alpha_2} - t^{\alpha_2})} ds \\ &= \frac{1}{20} \exp\left(\left(20t + \frac{1}{2}\right)^2\right) \int_{20t+\frac{1}{2}}^\infty e^{-z^2} dz \\ &= \frac{1}{40} \sqrt{\pi} e^{(20t+\frac{1}{2})^2} \left(2\Phi\left[\sqrt{2}\left(20t + \frac{1}{2}\right)\right] - 1\right), \end{aligned}$$

donde, como es habitual, $\Phi(z)$ representa la probabilidad de que una variable aleatoria Normal estándar no exceda z . Esto nos da que

$$x(\tau) = x_0 \exp\left(-\frac{80}{\sqrt{\pi}} \int_0^\tau \frac{\exp\left(-\left(20t + \frac{1}{2}\right)^2\right)}{2\Phi\left[\sqrt{2}\left(20t + \frac{1}{2}\right)\right] - 1} dt\right).$$

A continuación mostramos algunos puntos de esta trayectoria, juntamente con las densidades correspondientes⁶ para la variable aleatoria τ .

⁶ Note que, gracias a (5), es fácil obtener la expresión que corresponde a una densidad para τ :

$$f_\tau(t) = (\alpha_1 p^{\alpha_1} t^{\alpha_1 - 1} + \alpha_2 p^{\alpha_2} t^{\alpha_2 - 1}) \exp(-p^{\alpha_1} t^{\alpha_1} - p^{\alpha_2} t^{\alpha_2}) \text{ para } t > 0.$$

ℓ	t_ℓ	$x(t_\ell)$	$f_\tau(t_\ell)$
1	0.01	x_0	23.8600261
2	0.06	$0.00499679x_0$	86.4449422
3	0.11	$7.203 \times 10^{-7}x_0$	1513.42599
4	0.16	$2.4017 \times 10^{-12}x_0$	168925.366
5	0.21	$1.6814 \times 10^{-19}x_0$	129144432
6	0.26	$2.3541 \times 10^{-28}x_0$	6.9651×10^{11}
7	0.31	$6.4203 \times 10^{-39}x_0$	2.6902×10^{16}
8	0.36	$3.354 \times 10^{-51}x_0$	7.5068×10^{21}
9	0.41	$3.3185 \times 10^{-65}x_0$	1.5217×10^{28}
10	0.46	$6.1796 \times 10^{-81}x_0$	2.2491×10^{35}
11	0.51	$2.1531 \times 10^{-98}x_0$	2.4302×10^{43}
12	0.56	$1.399 \times 10^{-117}x_0$	1.9233×10^{52}
13	0.61	$1.689 \times 10^{-138}x_0$	1.1165×10^{62}
14	0.66	$3.783 \times 10^{-161}x_0$	4.7595×10^{72}
15	0.71	$1.569 \times 10^{-185}x_0$	1.4912×10^{84}
16	0.76	$1.205 \times 10^{-211}x_0$	3.4362×10^{96}
17	0.81	$1.7 \times 10^{-239}x_0$	5.827×10^{109}
18	0.86	$4.459 \times 10^{-269}x_0$	7.275×10^{123}
19	0.91	$2.144 \times 10^{-300}x_0$	6.69×10^{138}
20	0.96	0	4.533×10^{154}
21	0.99	0	3.727×10^{164}

Como la variable aleatoria $x(\tau)$ es una función de τ , podemos usar la ley del estadístico inconsciente y los datos de la tabla para encontrar una aproximación discreta de $\mathbb{E}[x(\tau)]$. Para este efecto, defina el *tamaño de paso* Δ_ℓ como la *diferencia hacia adelante* $\Delta_\ell := t_{\ell+1} - t_\ell$. Así,

$$\mathbb{E}[x(\tau)] \approx \sum_{\ell=1}^{21} x(t_\ell) \cdot f_\tau(t_\ell) \cdot \Delta_\ell = 0.260252164x_0.$$

De manera análoga, es posible aproximar

$$\text{var}[x(\tau)] = \mathbb{E}\left[(x(\tau))^2\right] - (\mathbb{E}[x(\tau)])^2 \approx 1.125378033x_0^2.$$

De acuerdo a (19), el capital que la aseguradora necesita invertir para obtener un rendimiento de q es de



$w \approx 2.121676727x_0\sqrt{\frac{|\ln \epsilon|}{2q}}$, y la prima que el i -ésimo agente debe pagar según (20), es $r_i = 0.260252164x_0 + 1.125378033x_0^2\frac{|\ln \epsilon|}{w}$ para $i = 1, 2$. Para ilustrar nuestro resultado, tomaremos $x_0 = 1$ en las unidades adecuadas, una probabilidad de ruina del 5%, y un dividendo del 10%. Así,

$$w = 8.211371742 \text{ y } r_i = 0.670820751 \text{ para } i = 1, 2.$$

Es importante notar que, como la reserva inicial de petróleo es unitaria, nuestro resultado indica que cada extractor debe hacer un pago considerablemente grande (en comparación con la prima de equivalencia, pues r_i es del orden de 2.5 veces $\mathbb{E}[x(\tau)]$) para hacerse acreedor al beneficio en la eventualidad de un siniestro. Por otro lado, éste es el efecto que se logra al calibrar la distribución de $\tau = \min\{\tau_1, \tau_2\}$ con los parámetros que nuestro ejemplo señala.

Por otro lado, observe que el supuesto de que las recompensas terminales son nulas implica que las primas que cada uno de los agentes paga son idénticas. Una interpretación de índole económica de esto es que los agentes que extraen recursos en la misma plataforma, ciertamente compiten para maximizar su propio beneficio, pero mantienen una colaboración entre ellos por el bien de sus propios negocios. En nuestro caso, el primer agente cuenta con tecnología obsoleta, y el segundo, con equipos en estado normal de operación, pero ambos pagan la misma prima.

5. CONCLUSIONES

Este trabajo representa un esfuerzo por conjuntar técnicas propias de las disciplinas matemática, geológica, de los juegos estocásticos, y del cálculo actuarial de vida y no-vida. Consideramos que un enfoque multidisciplinario como el que presentamos puede conducir a una reinención del modo en que las aseguradoras incursionan en el mercado de los riesgos inherentes a la industria extractiva.

Hemos conseguido plantear el problema de competencia entre dos agentes por extraer petróleo en aguas profundas desde el punto de vista de la teoría de juegos, y apoyándonos en los resultados de López-Barrientos *et al.* (2020), presentar el análisis de las reservas resultantes como si se tratara del elemental principio de equivalencia del cálculo actuarial clásico. En esta labor, nos hemos basado en los resultados presentados en Real-Miranda and López-Barrientos (2022), y hemos constatado de primera mano los resultados matemáticos que afirman que

el riesgo no es asegurable si se cobra sólo la “prima de equivalencia”.

Posteriormente, usamos herramientas elementales en geología y estadística para proponer un método para calibrar una de las distribuciones de probabilidad típicamente usadas para modelar el tiempo hasta el fallo de los extractores. Aquí, los artículos Bowers (1995); Sayers *et al.* (December 2005, 2002) fueron vitales para nuestros resultados. Finalmente, usamos toda la maquinaria desarrollada en el cuerpo del trabajo para extender el modelo de Bühlmann para calcular primas que permitan a la aseguradora cubrir el riesgo, al tiempo que obtiene un dividendo por su incursión en el mercado de la extracción de recursos no renovables.

Consideramos que es posible estudiar una extensión de los resultados aquí presentados usando Teoremas de optimización de seguros mediante la aplicación de deducibles (como en (Bowers *et al.* 1997, Theorem 1.5.1) y (Kaas *et al.* 2008, Theorem 1.4.3)) o de coseguros (como en (Kaas *et al.* 2008, Chapter 5.5)) y así re-estimar las primas en los niveles de base y de portafolios. Otra posibilidad de trabajo a futuro es poner a prueba los resultados obtenidos por la vía analítica mediante simulaciones de Monte Carlo para verificar que la probabilidad de la ruina no excede el valor ϵ citado en la sección 4. Para ello, creemos que podemos basarnos en el enfoque presentado en Cano-Ramos and López-Barrientos (2022). Adicionalmente, nos declaramos listos para calibrar las otras dos distribuciones del tiempo hasta el fallo del extractor presentadas en las Definiciones 2.7 y 2.9.

REFERENCIAS

- Bowers, G., 1995 Pore pressure estimation from velocity data: Accounting for pore pressure mechanisms besides undercompaction. SPE Drilling and Completion **10**: 89–95.
- Bowers, N., H. Gerber, J. Hickman, D. Jones, and C. Nesbitt, 1997 *Actuarial Mathematics*. The Society of Actuaries.
- Bühlmann, H., 1985 Premium calculation from top down. ASTIN Bulletin **15**: 89–101.
- Cano-Ramos, A. E. and J. D. López-Barrientos, 2022 ¿“¡Te lo aseguro!” o “¡te lo apuesto!”? He ahí el dilema... Miscelánea Matemática **72**: 1–17.
- Chen, Z., 2000 A new two-parameter lifetime distribution with bathtub shape or increasing failure rate function. Statistics & Probability Letters **49**: 155–161.



- Dockner, E., S. Jørgensen, N. van Long, and G. Sorger, 2000 *Differential Games in Economics and Management Science*. Cambridge University Press.
- Eaton, B., 1975 The equation for geopressure prediction from well logs. *SPE* **5544**.
- Grimmett, G. and D. Stirzaker, 1994 *Probability and random processes*. Oxford Science Publications.
- Gromova, E. V. and J. D. López-Barrientos, 2016 A differential game model for the extraction of nonrenewable resources with random initial times—the cooperative and competitive cases. *International Game Theory Review* **18(02)**: 1640004.
- Henley, E. and H. Kumamoto, 1992 *Probabilistic risk assessment: reliability engineering, design, and analysis*. IEEE Press, New York.
- Johansmeyer, T., May 27, 2021 *How the Insurance Industry Could Bring Down Fossil Fuels*. Harvard Business Review, Disponible [aquí](#).
- Kaas, R., M. Goovaerts, J. Dhaene, and M. Denuit, 2008 *Actuarial Risk Theory using R*. Springer-Verlag, Berlin.
- Klugman, S., H. Panjer, and G. Willmot, 2019 *Loss Models. From Data to Decisions*. John Wiley and Sons.
- Lei, Y., 2008 Evaluation of three methods for estimating the weibull distribution parameters of chinese pine (pinus tabulaeformis). *Journal of Forest Science* **54(12)**: 566–571.
- López-Barrientos, J. D., E. V. Gromova, and E. S. Miroshnichenko, 2020 Resource exploitation in a stochastic horizon under two parametric interpretations. *Mathematics* **8**: 1081.
- Mood, A. M., F. A. Graybill, and D. C. Boes, 1974 *Introduction to the theory of statistics*. McGraw-Hill New York, third edition.
- Promislow, D., 2011 *Fundamentals of Actuarial Mathematics*. Wiley.
- Real-Miranda, R. and J. D. López-Barrientos, 2022 Reserva matemática actuarial para la extracción de recursos no-renovables a partir de variables de pérdida no-negativas. *Revista Electrónica de Comunicaciones y Trabajos de ASEPUMA* **22(1)**, Disponible [aquí](#).
- Sayers, C., L. den Boer, Z. Nagy, P. Hooyman, and V. Ward, December 2005 Pore pressure in the Gulf of Mexico: Seeing ahead of the bit. *World Oil* pp. 55–58.
- Sayers, C., G. Johnson, and G. Denyer, 2002 Pre-drill pore-pressure prediction using seismic data. *Geophysics* **67(4)**: 1286–1292.
- Schmidli, H., 2008 *Stochastic Controls in Insurance*. Springer-Verlag, London.
- Slotnick, M., 1936 On seismic computation with applications. *Geophysics* **1**: 9–22.
- Traugott, M., 1997 Pore/fracture pressure determinations in deep water. In *World Oil, Deepwater Technology Special Supplement*, p. 68–70.
- Xu, Y., G. Gardner, and J. MacDonald, 1993 Some effects of velocity variation on avo and its interpretation. *Geophysics* **58**: 1297–1300.



José Daniel López Barrientos es Actuario por la Universidad Anáhuac México. Cuenta con una Maestría y un Doctorado en Ciencias, ambos en la especialidad en Matemáticas, por el Cinvestav. Hizo dos postdoctorados; uno en la HEC de Montreal, y otro en la Facultad de Matemáticas Aplicadas de la Universidad Estatal de San Petersburgo. Ha impartido clases en las varias universidades, en los niveles de Licenciatura, Maestría y Doctorado, y ha sido expositor en diversos foros nacionales e internacionales de investigación en Matemáticas. Actualmente se desempeña como Profesor-Investigador en la Facultad de Ciencias Actuariales de la Universidad Anáhuac México y en la Benemérita Universidad Autónoma de Puebla, es Investigador Nacional de nivel 1, y preside el Comité permanente de Investigación y Desarrollo Actuarial del Colegio Nacional de Actuarios desde 2014.



- **Dashboards (Tableau - Power BI - IBM Cognos Analytics- SAP - Excel)**
- **Financial Modelling & KPIs**
- **Risks Assessment**
- **Credit Modelling & Scoring**



Contacto: webmaster@actuariayfinanzas.net



Silver
Business
Partner



55 8055 4463



COLEGIO
NACIONAL
DE ACTUARIOS

MÉXICO