

Análisis microeconómico del seguro contra terremoto en México y estimación estocástica de riesgos sísmicos

Microeconomic analysis of earthquake insurance in México and stochastic estimation of seismic risks

David Conaly Martínez Vázquez^{a *}

Héctor Pérez Ávila

Resumen

Cerca del 95% de las viviendas en México no cuentan con un seguro contra terremoto según la *Asociación Mexicana de Instituciones de Seguros* (AMIS). Esto a pesar de que gran parte del territorio nacional está expuesto a riesgos sísmicos. Los objetivos de esta investigación son realizar un análisis microeconómico del comportamiento del seguro contra estos fenómenos naturales y una modelación estocástica mediante cadenas de Markov de la actividad sísmica en el país, para evidenciar los riesgos de estos sucesos, así como sus implicaciones económicas. En futuras investigaciones se considera hacer un análisis regionalizado y considerando otros ramos.

Palabras Clave: microeconomía, proceso de Markov, seguros, sismos.

Clasificación JEL: D12, C13, C14, C53, G22

Abstract

About 95% of homes in Mexico do not have earthquake insurance according to the Mexican Association of Insurance Institutions (AMIS). This despite the fact that much of the national territory is exposed to seismic risks. The objectives of this research are to carry out a microeconomic analysis of the behavior of insurance against these natural phenomena and a stochastic modeling using Markov chains of seismic activity in the country, to demonstrate the risks of these events, as well as their economic implications. In future investigations it is considered to make a regionalized analysis and considering other branches.

Keywords: microeconomics, Markov process, insurance, earthquakes

JEL Codes: D12, C13, C14, C53, G22

^a Universidad de la Costa (UNCOS), Sistema de Universidades Estatales de Oaxaca (SUNEO).

* Autor de correspondencia

Introducción

En México según el *Global Insurance Market Trends (2019)*, elaborado por la Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económicos (OCDE), la participación de los seguros como porcentaje del PIB es de aproximadamente 2.3%, muy por debajo del promedio de los países miembros 8.9%. Lo anterior se debe a diversos factores, de entre los que destacan la baja educación financiera, bajos salarios, falta de cultura de previsión, incertidumbre económica, etc.

En lo que respecta al ramo daños, menos del 7% de las viviendas en el país cuentan con un seguro de cobertura contra terremotos o inundaciones, a pesar de que la mayor parte del territorio se ubica en zona de riesgo. Y que un alto porcentaje de las unidades expuestas son viviendas, que representan el principal patrimonio o inversión de las familias.

En el tema particular de afectaciones provocadas por terremotos en México, existe un considerable historial de sismos que han generado lamentables pérdidas humanas y millones en afectaciones patrimoniales.

Al día de hoy, es imposible predecir con exactitud el momento en el que ocurrirá un temblor, en particular los de magnitud severa [7, 8.9] en escala Richter¹. Desde el 20 de enero de 1900 al 6 de Julio de 2020 se han registrado 198,963 sismos en todo el país, considerando todas profundidades y magnitudes, 85 de estos dentro del intervalo de magnitud [7,8.2]. Con respecto a los de mayor intensidad, el 3 de junio de 1932 a las 04:36:52 a. m. hora del centro de México ocurrió un terremoto en las costas de Jalisco y Colima de escala 8.2, considerado de los más severos en el mundo y en México, ochenta y cinco años después² el 7 de septiembre de 2017 vuelve a ocurrir dicho fenómeno aleatorio, con intensidad 8.2 grados Richter con epicentro en el golfo de Tehuantepec a las 11:49:17 p. m. (doce días antes de otro sismo de magnitud 7.1 registrado con epicentro en Axochiapan, Morelos).

El objetivo de esta investigación es realizar un análisis microeconómico del comportamiento del seguro contra terremotos en México, dentro del contexto económico y social que presenta en el país. Así como realizar una modelación estocástica mediante cadenas de Markov³ de la actividad sísmica, se utiliza el método de máxima verosimilitud para construir los estimadores de la matriz Markoviana, y se delimitan los intervalos de confianza para cada estadístico al 95% de confianza. Posteriormente, una vez identificada la distribución estacionaria del proceso, se calcula el tiempo de retorno promedio dentro de cada escala de intensidad. Por último se realizan 198,963 simulaciones de sismos a partir de las estructuras construidas, con el propósito de evidenciar los riesgos a los cuales se está expuesto el territorio nacional en términos de infraestructura y patrimonio por parte de la población.

El desarrollo de la investigación está presentado de la siguiente manera, en el siguiente apartado se presentan las investigaciones más relevantes y recientes sobre aplicaciones de cadenas de Markov al análisis sísmico así como sus implicaciones en el sector social y económico, posteriormente en la tercera sección se expone la metodología utilizada, en el cuarto apartado la evidencia empírica y por último se presentan las conclusiones obtenidas de esta investigación.

¹ Charles Richter desarrolló en 1935 la conocida escala logarítmica de base 10 que se puede usar para medir el tamaño de un terremoto en función de la cantidad de energía liberada. Esta escala de magnitud se define como el logaritmo de la amplitud de las ondas registradas por los sismógrafos (Cavers y Vasudevan (2012).

² El tiempo exacto transcurrido entre ambos sismos fue de 85 años, 96 días, 19 horas, 13 minutos.

³ La metodología utilizada, cadenas de Markov a tiempo discreto, se construyen con base al volumen de sismicidad ocurrido desde el 20 de enero de 1900 al 6 de Julio del 2020, considerando todas las magnitudes y profundidades, siendo un total de 198,963 sismos detectados en ese periodo de tiempo (120 años, 5 meses, y 15 días).

Marco teórico

La incertidumbre acompaña las decisiones de los individuos a causa de no conocer con exactitud toda la información de sucesos futuros, sobre todo en los riesgos que traen consigo el impacto de fenómenos naturales sobre los asentamientos humanos. El predecir estas perturbaciones del entorno que provocan diversos costos para la sociedad se vuelve un reto y una necesidad para las poblaciones, los seguros ayudan a diluir la incertidumbre de la gente y por ende deben ser nodales para el bienestar social, entre los estudios que justifican una implementación de acciones para la prevención, planificación y preparación encaminadas a diluir los efectos futuros de estos fenómenos naturales ubicamos el de Jovel (1989) quien analiza en una publicación de la CEPAL distintos fenómenos naturales que han golpeado fuertemente tanto en lo económico como en lo social en el desarrollo de la región de América Latina y el Caribe.

Las compañías de seguros deben de contar con basta información y análisis en torno a las predicciones de futuros fenómenos naturales, por la posibilidad de que produzcan un gran daño tanto económico como social, de los más devastadores para la sociedad tenemos a los terremotos, no únicamente generan un coste económico sin limitarse a daños en infraestructura como caminos, puentes, viviendas, puertos y aeropuertos además se afecta a fondo a la estructura social generándose fenómenos migratorios, precariedad en los distintos mercados laborales, fragmentación del tejido social, vulnerabilidad del sistema de salud y educación y lamentables pérdidas humanas, Enfedaque y Martínez (2014) estudian desde una perspectiva económica que las consecuencias de dichos fenómenos naturales extremos tienen una durabilidad larga en sus efectos sobre las sociedades.

Además los mismos autores Enfedaque y Martínez (2014) abordan elocuentemente el tema de los seguros y su vínculo con los temblores, puntualizando en el caso del terremoto que azotó la isla de Haití en el 2010, señalando que ningún tipo de seguro es capaz de resarcir la tragedia de la pérdida de una vida, no obstante, las demás consecuencias pueden ser solucionadas gracias a la contratación responsable de un seguro, en el caso haitiano, la falta de inmuebles asegurados como los son los edificios ocasiono que no hubieran medias de compensación para las pérdidas económicas. La falta de una cultura financiera en torno a los seguros, explican los autores, produjo una ausencia de compañías de seguros que supervisaran en los asuntos de las normativas contractivas de los edificios en la isla.

Camargo et al. (2007) observan que los seguros y reaseguros tendrían que ser parte fundamental en las políticas públicas, especialmente en las poblaciones susceptibles a ellos, analizando los daños que ocasionan los ciclones a la infraestructura de los centros poblacionales, en especial en las poblaciones urbanas de los litorales.

Un estudio en donde se reflexiona sobre la capacidad de hacerle frente a un terremoto potencialmente devastador por parte de una economía en vías de desarrollo lo encontramos en Suárez (2011), que analiza las consecuencias que han ocasionado temblores de alta intensidad en países desarrollados como Nueva Zelanda, Japón y Chile analizando las grandes pérdidas económicas que sucedieron en estos países, para después enfocarse en la capacidad de hacer frente a un terremoto por parte de países con un menor desarrollo económico como lo es Colombia, el cual no cuenta con mecanismos y herramientas suficientes para enfrentar la rehabilitación y reconstrucción de la infraestructura que pudiese quedar dañada, dado que en Colombia el 90% de la población no cuenta con la protección de un seguro ante terremotos además se cuestionan si las compañías aseguradoras amparan de manera correcta a la población ante un terremoto.

Para vislumbrar el daño que ocasionan tanto grandes desastres naturales y desastres no tan intensos podemos citar a Hsiang y Jina (2014), que señalan que tanto en los países desarrollados como en los países en vías del desarrollo el impacto de fenómenos naturales de gran intensidad puede ocasionar graves consecuencias que perduran durante varios años, por ejemplo, el impacto de un fenómeno meteorológico extremo ocasionaría una

reducción considerable de la renta per cápita, hablando de estimaciones del 7.4%, dicha reducción perduraría los 20 años siguientes con relación a la tendencia que se tenía antes del suceso; Burrus et al. (2002), que analiza que no únicamente fenómenos naturales extremos afectan los asentamientos humanos, también los de menor intensidad ocasionan una interrupción en los negocios.

En la economía, las finanzas, la naturaleza y en general en las distintas ramas científicas ocurren fenómenos aleatorios los cuales se presentan como distintos estados, así, al proseguir el tiempo pueden ir migrando o variando entre estos estados, aquí la relevancia de los procesos estocásticos que nos ofrecen métodos predictivos de dichos sucesos, una de las razones es la pérdida de memoria de la ocurrencia de un fenómeno a otro y a través de las herramientas que nos brindan los procesos estocásticos poder capturar el dinamismo con el que suceden.

El uso de cadenas de Markov para la predicción de fenómenos aleatorios como son los sismos, tiene ciertas ventajas ante otras técnicas de predicción, al asumir una pérdida de memoria se puede prescindir de un análisis con una gran cantidad de datos, que en ocasiones puede ser vital si no se cuenta con una base de datos robusta, Ontiveros, Pérez y López (2018) señala que este tipo de estudios, los procesos de Markov, tienen una mayor exactitud que predicciones utilizando el método ARIMA, la razón es que a través de un proceso Markoviano no se altera las probabilidades de los comportamientos en el futuro y no necesita una homogenización de los datos, llevando a resultados más precisos. Tsai, H. (2002) analiza la ocurrencia y retorno de sismos de gran magnitud en la región de Chiayi-Tainan (Taiwán), divide la información por periodos de tiempo, el primer periodo abarca 1990 a 1995 y el segundo intervalo de análisis de 1973 a 1995, de igual forma calcula el periodo de retorno en función del tiempo medio de recurrencia. De este análisis, obtiene que los terremotos de magnitud [6,6.9] tienen un periodo de retorno de 9.7 años (considerando el primer periodo) y 17 años (segundo intervalo de tiempo). Lefebvre (2019) analiza mundialmente mediante cadenas de Markov el comportamiento de los fenómenos de inundación y terremotos, en el periodo 2000 a 2016 y de 1983 a 2016 respectivamente. Define una matriz de transición de tres estados en ambos casos, y hace una proyección a largo plazo de los terremotos e inundaciones así como la distribución estacionaria de cada matriz. Concluye que este modelo es una importante herramienta para poder predecir el comportamiento a largo plazo de estos dos riesgos naturales que aquejan la continuidad de actividades vitales para el ser humano.

Fujinawa (1991) trabaja procesos Markovianos para así poder predecir la probabilidad de ocurrencia en sismos de gran intensidad, observando que tipo de sismos y en qué frecuencia son los precursores del desatamiento de un sismo de mayor intensidad, llegando a concluir que la probabilidad de ocurrencia para un sismo es mayor cuando suceden sucesivamente sismos previos además analiza que tipo de sismos son los que con mayor probabilidad anteceden a sismos de ciertas intensidades, para ello utiliza datos de sismos ocurridos en China. En la misma sintonía Altinok y Kolcak (1999) se basan en cadenas de Markov para poder estimar las probabilidades de ocurrencia en terremotos en Anatolia, Turquía.

Metodología

Un sismo es en esencia un fenómeno estocástico, evento aleatorio que con el paso del tiempo va migrando entre distintos niveles de magnitud (espacio de estados), y del cual el próximo nivel de intensidad solo depende el estado actual, es decir tiene la propiedad de pérdida de memoria. Lo anterior, en esencia es la definición teórica de un proceso Markoviano, que en términos de probabilidad se define:

$$P(X_{n+1} = x_{n+1} | X_n = x_n, X_{n-1} = x_{n-1}, \dots, X_0 = x_0) = P(X_{n+1} = x_{n+1} | X_n = x_n)$$

Donde la el futuro (X_{n+1}) solo depende del presente (X_n), estas estructuras pueden ser a tiempo discreto o continuo, y representarse matricialmente de la siguiente forma:

$$M = \begin{bmatrix} p_{00} & \cdots & p_{0n} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ p_{n0} & \cdots & p_{nn} \end{bmatrix}$$

Donde cada $p_{ij} \geq 0$, ya que es representa una probabilidad, y además cada renglón tiene la característica de que $\sum_j^n p_{ij} = 1$. Todo fenómeno aleatorio parametrizado por el tiempo, que posea estas características, se dice que es un fenómeno Markoviano. En la presente investigación se hará la modelación mediante cadenas de Markov a tiempo discreto. Cuando a parte de las filas, también las columnas suman 1, se dice que es doblemente estocástico.

Cada matriz estocástica posee características particulares, que dependen de la estructura del proceso y singularidades del fenómeno por analizar, entre ellas, destacan la comunicación, período, recurrencia y transitoriedad, y comportamiento limite, etc.

Clases de comunicación

Se dice que dos o más estados (o posibles resultados del fenómeno) pertenecen a una clase de comunicación si existe la posibilidad de migrar entre ellos en términos de probabilidad, y sea cual sea el número finito de pasos. En el marco de la investigación, y anticipando un poco el análisis empírico, es evidente que en el contexto de la sismicidad, existirá una sola clase de comunicación. Cada escala o nivel de magnitud sísmica debe ser accesible desde cualquier otro grado de severidad, ya que de no ser así, existirían escalas de intensidad Richter que no pudieran ser alcanzadas, lo cual no es cierto.

Período

El periodo es el máximo común divisor del número de pasos con los cuales un proceso se desplaza de un estado así mismo. Generalmente si existe un numero par e impar de pasos de retorno, se dice que es aperiódico o de periodo uno.

Recurrencia y transitoriedad

Las características de recurrencia y transitoriedad, son propiedad de clase, es decir si un estado pertenece a una misma clase de comunicación junto con otros, y alguno de estos es recurrente o transitorio, todos los estados que estén dentro de dicha clase, poseerán la misma característica. El concepto de recurrencia significa que con una alta probabilidad, se regresará a ese mismo estado, caso contrario a la transitoriedad, cuyo regreso es poco probable. En términos del fenómeno analizado, es claro que todos los estados serán recurrentes, ya que con una alta probabilidad los niveles de intensidad sísmica volverán a suceder a lo largo del período de análisis.

Ecuación de Chapman-Kolmogorov

La expresión matemática de Chapman-Kolmogorov explica que la transición de un estado i del fenómeno estocástico a un estado j , debe considerar todas las posibles trayectorias o pasos intermedios en la evolución del proceso.

Dados los números a y $b \geq 0$, la ecuación de Chapman-Kolmogorov, explica que la probabilidad de transición del estado i estado j " $a + b$ " número de pasos es:

$$P_{ij}^{a+b} = \sum_k P_{ik}^a P_{kj}^b, \quad \text{para todo } i \text{ e } j$$

Estacionariedad y comportamiento límite

Al ser procesos que cambian a lo largo del tiempo, toda cadena de Markov puede tener un comportamiento límite o estable conforme al paso del tiempo, o poseer varias distribuciones estacionarias o no poseer ninguna, en cuyo caso, los eventos no convergerían con el paso del tiempo.

$$(\pi_0, \pi_1, \dots, \pi_n) * \begin{bmatrix} p_{00} & \cdots & p_{0n} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ p_{n0} & \cdots & p_{nn} \end{bmatrix} = (\pi_0^*, \pi_1^*, \dots, \pi_n^*)$$

Donde $(\pi_0^*, \pi_1^*, \dots, \pi_n^*)$ solución al sistema de ecuaciones es dicha distribución estacionaria, y además $\sum \pi_i^* = 1$, que representa el comportamiento límite en la transición entre los estados de fenómeno aleatorio, es importante considerar que para que esta distribución exista, la cadena debe tener una sola clase de comunicación, ser aperiódica y de estados recurrentes.

Tiempo medio de retorno y ergodicidad

Toda cadena de Markov que posea la característica de ergodicidad con distribución estacionaria no nula, puede determinarse el tiempo promedio de retorno para cada estado dentro del espacio de estados de la cadena de Markov, de la siguiente forma.

$$T = \frac{1}{\pi_i^*}, \text{ con } i = 0, 1, 2, \dots, n.$$

Este elemento será de suma importancia dentro de la investigación, debido a que nos reflejará en términos concretos aquellos sismos de los cuales su retorno será más próximo.

Evidencia Empírica

Es un hecho que en México no existe una cultura de la previsión y del seguro, en parte esto debe a la baja o nula educación financiera, bajos salarios e incertidumbre económica. Pero en términos generales, la falta de medios y recursos económicos son una variable fundamental en esta problemática. No obstante, también es una realidad que es un país con una alta exposición al riesgo de fenómenos naturales; casi la mitad del territorio nacional es susceptible a sufrir pérdidas como resultado de terremotos, inundaciones, huracanes, actividad volcánica, etc.

En los últimos años ha habido un incremento en el número de pólizas en vigor, así como en las primas emitidas y sumas aseguradas, sobretodo en periodos posteriores a terremotos considerables en el país, como lo muestra la siguiente tabla.

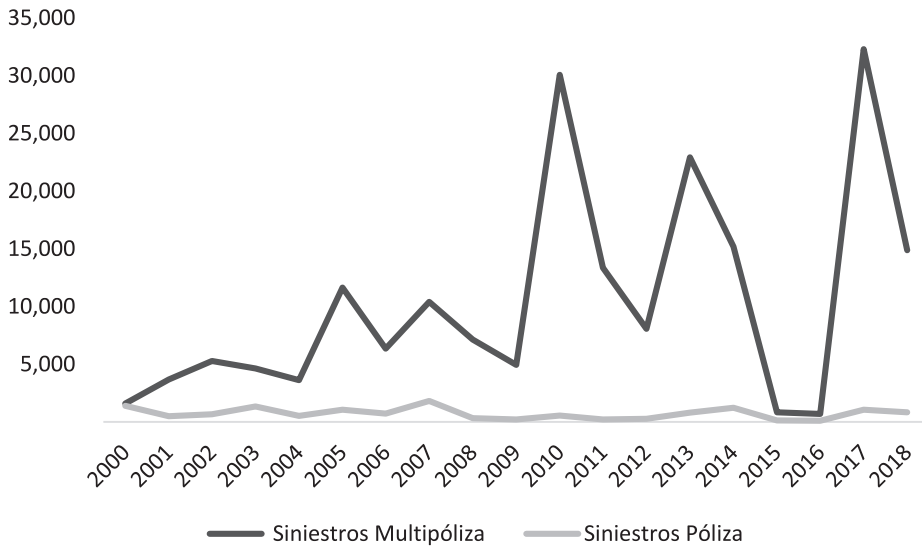
Tabla 1 Histórico seguro directo terremoto y otros riesgos catastróficos

<i>Seguro directo de daños por Terremoto y otros riesgos catastróficos (Pesos corrientes)</i>					
<i>Año</i>	<i>Tipo</i>	<i>Número de pólizas en vigor</i>	<i>Suma asegurada</i>	<i>Prima emitida</i>	<i>Costo de siniestros</i>
2018	Pol	17,225	\$ 245,006,073,461.00	\$ 1,507,502,905.00	\$ 1,372,715,721.00
	Multi	553,888	\$ 19,066,305,000,180.00	\$ 7,305,527,036.00	\$ 7,586,214,814.00
2017	Pol	15,711	\$ 746,884,633,678.00	\$ 907,786,563.00	\$ 5,867,535,202.00
	Multi	407,594	\$ 17,051,294,015,648.00	\$ 7,442,834,141.00	\$17,212,775,978.00
2016	Pol	14,711	\$ 657,668,112,155.00	\$ 517,644,416.00	\$ 2,465,375.00
	Multi	401,145	\$ 18,024,116,511,891.00	\$ 6,163,286,159.00	\$ 110,414,733.00
2015	Pol	11,634	\$ 322,119,512,616.00	\$ 441,889,027.00	\$ 2,743,591.00
	Multi	395,519	\$ 21,222,979,780,719.00	\$ 6,422,020,632.00	-\$ 68,712,941.00
2014	Multi	842,308	\$ 27,175,446,327,640.20	\$11,206,093,358.54	\$13,360,723,799.17
	Pol	16,609	\$ 1,402,953,467,144.42	\$ 2,201,772,006.36	\$ 1,864,662,878.88
2013	Multi	860,076	\$ 14,501,700,000,000.00	\$12,061,399,558.00	\$ 3,376,382,971.00
	Pol	8,041	\$ 463,130,000,000.00	\$ 1,725,545,888.00	\$ 1,661,336,730.00
2012	Multi	836,135	\$ 13,235,710,338,423.00	\$12,320,980,781.58	\$ 77,201,228.08
	Pol	28,583	\$ 1,773,978,385,992.00	\$ 2,783,542,966.87	\$ 172,309,018.21
2011	Multi	886,596	\$ 21,499,191,833,289.20	\$41,622,720,135.80	\$ 1,842,968,186.14
	Pol	6,625	\$ 2,479,072,155,708.32	\$ 2,742,550,976.24	\$ 93,485,557.45

2010	Multi	891,016	\$ 24,801,502,506,231.00	\$10,237,726,529.00	\$ 8,226,981,908.00
	Pol	12,962	\$ 1,625,057,089,543.00	\$ 1,258,540,023.00	\$ 689,738,281.00
2009	Multi	721,527	\$ 25,441,411,760,260.90	\$ 9,695,951,871.86	\$ 1,223,091,700.94
	Pol	7,680	\$ 1,591,821,419,922.51	\$ 1,393,320,715.02	\$ 362,537,485.61
2008	Multi	735,067	\$ 22,533,627,614,764.00	\$ 7,086,567,041.00	\$ 1,975,480,132.00
	Pol	22,785	\$ 3,901,079,546,530.00	\$ 1,332,372,384.00	\$ 388,367,445.00
2007	Multi	711,923	\$ 5,708,070,955,659.00	\$ 5,748,288,873.00	\$ 3,628,404,602.00
	Pol	29,040	\$ 2,738,353,585,283.00	\$ 1,636,440,723.00	\$ 1,509,437,913.00
2006	Multi	271,664	\$ 3,683,735,449,017.00	\$ 5,719,678,897.00	\$ 1,838,593,991.00
	Pol	136,972	\$ 860,163,337,394.00	\$ 989,341,369.00	\$ 143,018,506.00
2005	Multi	248,214	\$ 2,638,707,835,594.00	\$ 5,563,352,272.00	\$20,083,854,461.00
	Pol	26,411	\$ 455,844,590,066.00	\$ 902,019,321.00	\$ 1,378,007,465.00
2004	Multi	200,137	\$ 14,720,025,039,928.00	\$ 4,788,257,910.00	\$ 142,538,615.00
	Pol	32,569	\$ 854,914,598,720.00	\$ 1,064,843,659.00	\$ 22,091,613.00
2003	Multi	220,765	\$ 2,405,858,426,523.00	\$ 4,416,703,844.15	\$ 1,229,829,252.81
	Pol	27,823	\$ 615,975,038,675.00	\$ 1,602,397,616.76	\$ 685,816,120.05
2002	Multi	268,537	\$ 2,083,280,657,629.53	\$ 3,416,341,385.44	\$ 1,982,366,460.39
	Pol	11,014	\$ 1,227,917,120,022.18	\$ 1,375,400,022.99	\$ 1,278,893,117.68
2001	Multi	206,381	\$ 2,812,589,931,272.66	\$ 2,382,942,482.87	\$ 998,691,888.07
	Pol	15,417	\$ 796,814,316,752.76	\$ 947,198,849.93	\$ 189,490,108.12
2000	Multi	179,016	\$ 1,894,287,353,867.15	\$ 1,751,984,709.19	\$ 198,056,764.00
	Pol	41,670	\$ 986,335,254,867.22	\$ 726,498,405.31	\$ 113,121,678.77

Fuente: Elaboración propia con información CNSF (2020)

Gráfica 1 Histórico número de siniestros en pólizas de seguro directo terremoto y otros riesgos catastróficos en México (2000-2018)



Fuente: Elaboración propia con información CNSF (2020)

De igual forma, puede apreciarse que existen periodos donde ocurren más siniestros en forma de pólizas y multipólizas como lo refleja el grafico anterior; lo cual genera pérdidas patrimoniales para los asegurados.

Entre los riesgos catastróficos en México señalan Zúñiga y Villoria (2018) los que ocasionan una mayor letalidad son los de origen geofísico y aunque los seguros y reaseguros no resarcen la perdida de una vida, indirectamente cuando se tiene por parte de la población cultura responsable de contratar seguros para sus inmuebles, están creando los incentivos para que se las construcciones cumplan con ciertas medidas de seguridad, dada las inspecciones que realizan las aseguradoras a las propiedades, por ejemplo que el edificios cuente con ciertos lineamientos, por desgracia en ocasiones (más en los países en vías de desarrollo) se trata de recortar gastos a la hora de realizar algún proyecto de construcción.

Además, los mismos autores Zúñiga y Villoria (2018) subrayan que deben de abordarse con profundidad los temas de los desastres naturales, esto aportara para el diseño de políticas para la gestión de riesgos encaminadas a dar seguridad a la población, sobre todo a las poblaciones más vulnerables. Ejemplo de la gravedad en los costos económicos que causan los desastres naturales, señalan los mismos autores, se observan los terremotos de septiembre de 2017, ocurriéndose el 7 de septiembre un terremoto (el de mayor magnitud en los últimos 100 años en México), ocasiono el daño de más de 120,000 edificios tan solo en los estados de Chiapas y Oaxaca, y, el sismo del 19 de septiembre del mismo año, con epicentro muy cercano a la Ciudad de México en el estado de Morelos causo el daño en más de 1000 inmuebles, dejándolos inhabitables.

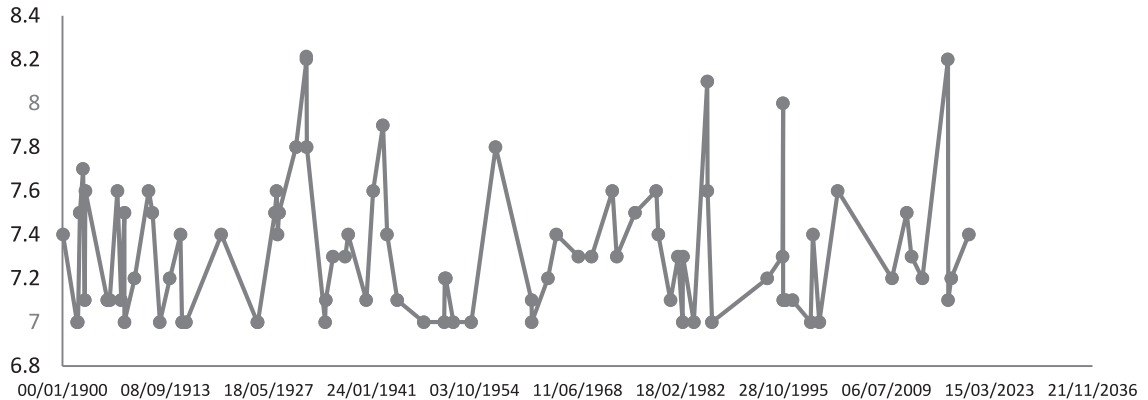
En el caso del temblor con epicentro en Morelos el 19 de septiembre, el cual coincidió con el fatídico temblor de septiembre de 1985, muchos edificios no debieron de haber sufrido daño estructural si se hubieran construido aplicando con rigor las normas de construcción en la CDMX, que como se ha mencionado, una cultura de los seguros serviría como arbitro al inspeccionar estos aspectos de la construcción y así cabe la posibilidad de una menor mortalidad además de resarcir las enormes pérdidas económicas.

Las poblaciones más vulnerables no tienen la capacidad para contratar pólizas de seguros a causa de sus bajos ingresos y no tener la capacidad de ahorro suficiente, en nuestro país la población que se encuentra en pobreza y pobreza extrema es más susceptible a sufrir daños por los desastres naturales, representando el 68% de los afectados (Fay y Solo; 2003).

Estimación estocástica

En la modelación de las cadenas Markovianas del grado de intensidad sísmica en México se utilizó el Catálogo de sismos del Servicio Sismológico Nacional (SSN), UNAM, del periodo 20 de enero de 1900 al 6 de julio del 2020⁴, siendo un total de 198,963 sismos detectados en ese periodo de tiempo (120 años, 5 meses, y 15 días) de todas las magnitudes, profundidades y en todo el país. Se construyó 1 matriz de transición, considerando todo el periodo de observación. En el gráfico siguiente puede observarse el histórico de temblores en México durante todo el periodo de estudio de magnitud severa.

Gráfica 2 Histórico sismos de magnitud [7,8.2] registrados de 1900 a 2020.



Fuente: Elaboración propia con información del SSN (UNAM).

⁴ Se consideró ese periodo debido a que la base de datos del SSN cuenta con información desde esa fecha.

Los sismos de magnitudes catastróficas para las sociedades por su potencial poder destructivo podrían ser considerados como “cisnes negros”, Taleb (2007) los define como sucesos con tres atributos: 1) es una rareza, pues habita fuera del reino de las expectativas normales, porque nada del pasado puede apuntar de forma convincente a su posibilidad; 2) produce un impacto tremendo; 3) pese a su condición de rareza, la naturaleza humana hace que inventemos explicaciones de su existencia después del hecho, con lo que se hace explicable y predecible. No obstante, aunque es verdad que podrían llegar a ser tan extraños y devastadores para las economías y el tejido social, las poblaciones deben de prepararse para la llegada de estos sucesos, y la implementación de políticas para poder mitigar sus efectos se vuelve imprescindible, siendo los seguros una manera eficiente de resarcir los costos causados en las sociedades.

Período de análisis Matriz Markoviana: 20/Enero/1900 – 6/Julio/2020

Tabla 2 Frecuencias observadas y probabilidades de transición (1900-2020).

<i>Periodo: 20/Enero/1900 a 6/Julio/2020</i>								
<i>Total de sismos: 198,963</i>								
<i>Frecuencias registradas: 198,962</i>								
	N.C.	[0, 2.9]	[3, 3.9]	[4, 4.9]	[5, 5.9]	[6, 6.9]	[7, 7.9]	[8, 8.9]
N.C.	15750	243	397	958	264	30	6	1
[0, 2.9]	248	941	2639	427	22	1	2	0
[3, 3.9]	404	2645	117297	20632	515	55	7	1
[4, 4.9]	931	438	20672	11211	483	47	9	1
[5, 5.9]	280	12	508	489	74	10	2	0
[6, 6.9]	30	1	37	64	11	52	30	0
[7, 7.9]	5	0	6	10	6	30	23	1
[8, 8.9]	1	0	0	2	0	0	1	0

Fuente: Elaboración propia con información del SSN (UNAM, 2020).

Tabla 3 Matriz Markoviana (1900-2020).

Periodo: 20/Enero/1900 a 6/Julio/2020
Total de sismos: 198,963
Probabilidad de transición

	N.C.	[0, 2.9]	[3, 3.9]	[4, 4.9]	[5, 5.9]	[6, 6.9]	[7, 7.9]	[8, 8.9]
N.C.	0.89	0.01	0.02	0.05	0.01	0.00	0.00	0.00
[0, 2.9]	0.06	0.22	0.62	0.10	0.01	0.00	0.00	0.00
[3, 3.9]	0.00	0.02	0.83	0.15	0.00	0.00	0.00	0.00
[4, 4.9]	0.03	0.01	0.61	0.33	0.01	0.00	0.00	0.00
[5, 5.9]	0.20	0.01	0.37	0.36	0.05	0.01	0.00	0.00
[6, 6.9]	0.13	0.00	0.16	0.28	0.05	0.23	0.13	0.00
[7, 7.9]	0.06	0.00	0.07	0.12	0.07	0.37	0.28	0.01
[8, 8.9]	0.25	0.00	0.00	0.50	0.00	0.00	0.25	0.00

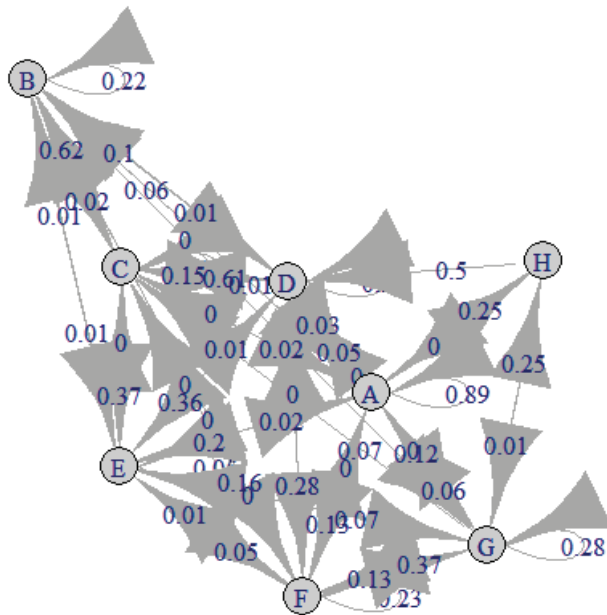
Fuente: Elaboración propia con información del SSN (UNAM, 2020).

La matriz Markoviana anterior presenta la probabilidad de transición desde cualquier sismo a uno de mayor o menor intensidad, cabe señalar que se han redondeado los números a 2 decimales, en el Anexo. Matriz de transición Markoviana se presente completa. Esta estructura sirve de apoyo para el cálculo de migrar de un evento de particular magnitud a los siguientes, en cualquier periodo de tiempo, dado el volumen de observaciones y periodo de análisis.

Para poder generar el diagrama de transición Markoviano, se asocio una letra a cada intervalo de magnitud, lo anterior para que fuera más sencilla su lectura.

Gráfica 3

Diagrama de transición 1900-2020.



Fuente: Elaboración propia.

Tabla 4

Error estándar y límites de las estimaciones

<i>Error estándar de estimación</i>								
	N.C.	[0, 2.9]	[3, 3.9]	[4, 4.9]	[5, 5.9]	[6, 6.9]	[7, 7.9]	[8, 8.9]
N.C.	0.007	0.001	0.001	0.002	0.001	0.000	0.000	0.000
[0, 2.9]	0.004	0.007	0.012	0.005	0.001	0.000	0.000	0.000
[3, 3.9]	0.000	0.000	0.002	0.001	0.000	0.000	0.000	0.000
[4, 4.9]	0.001	0.001	0.004	0.003	0.001	0.000	0.000	0.000
[5, 5.9]	0.012	0.003	0.016	0.016	0.006	0.002	0.001	0.000
[6, 6.9]	0.024	0.004	0.027	0.036	0.015	0.032	0.024	0.000
[7, 7.9]	0.028	0.000	0.030	0.039	0.030	0.068	0.059	0.012
[8, 8.9]	0.250	0.000	0.000	0.354	0.000	0.000	0.250	0.000

Fuente: Elaboración propia.

Límite inferior de la estimación

	N.C.	[0, 2.9]	[3, 3.9]	[4, 4.9]	[5, 5.9]	[6, 6.9]	[7, 7.9]	[8, 8.9]
N.C.	0.88	0.01	0.02	0.05	0.01	0.00	0.00	0.00
[0, 2.9]	0.05	0.21	0.60	0.09	0.00	0.00	0.00	0.00
[3, 3.9]	0.00	0.02	0.82	0.14	0.00	0.00	0.00	0.00
[4, 4.9]	0.03	0.01	0.60	0.33	0.01	0.00	0.00	0.00
[5, 5.9]	0.18	0.00	0.34	0.33	0.04	0.00	0.00	0.00
[6, 6.9]	0.09	0.00	0.12	0.23	0.02	0.18	0.09	0.00
[7, 7.9]	0.02	0.00	0.02	0.06	0.02	0.26	0.19	0.00
[8, 8.9]	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

Fuente: Elaboración propia.

Límite superior de la estimación

	N.C.	[0, 2.9]	[3, 3.9]	[4, 4.9]	[5, 5.9]	[6, 6.9]	[7, 7.9]	[8, 8.9]
N.C.	0.90	0.02	0.02	0.06	0.02	0.00	0.00	0.00
[0, 2.9]	0.06	0.23	0.64	0.11	0.01	0.00	0.00	0.00
[3, 3.9]	0.00	0.02	0.83	0.15	0.00	0.00	0.00	0.00
[4, 4.9]	0.03	0.01	0.62	0.34	0.02	0.00	0.00	0.00
[5, 5.9]	0.22	0.01	0.40	0.38	0.06	0.01	0.00	0.00
[6, 6.9]	0.17	0.01	0.21	0.34	0.07	0.28	0.17	0.00
[7, 7.9]	0.11	0.00	0.12	0.19	0.12	0.48	0.38	0.03
[8, 8.9]	0.66	0.00	0.00	1.00	0.00	0.00	0.66	0.00

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 5 Distribución estacionaria y tiempo medio de recurrencia

<i>Distribución estacionaria matriz de transición (1900-2020)</i>							
N.C.	[0, 2.9]	[3, 3.9]	[4, 4.9]	[5, 5.9]	[6, 6.9]	[7, 7.9]	[8, 8.9]
0.089	0.022	0.711	0.170	0.007	0.001	0.000	0.000

<i>Distribución estacionaria matriz de transición (1900-2020)</i>							
N.C.	[0, 2.9]	[3, 3.9]	[4, 4.9]	[5, 5.9]	[6, 6.9]	[7, 7.9]	[8, 8.9]
11.274	46.486	1.406	5.888	144.716	887.211	2503.997	49978.884

Fuente: Elaboración propia.

A partir de la distribución estacionaria subyacente de la matriz Markoviana se genera una simulación de 198,963 sismos (estados de transición).

Tabla 6 Simulación a partir de la distribución estacionaria (1990-2020)

<i>Simulación</i>							
N.C.	[0, 2.9]	[3, 3.9]	[4, 4.9]	[5, 5.9]	[6, 6.9]	[7, 7.9]	[8, 8.9]
17,271	4,263	141,808	33,915	1,373	240	89	4

Fuente: Elaboración propia.

Conclusiones

En el marco del complicado panorama mundial por el SARS-CoV-2, la situación económica de las familias y sus ingresos se han visto afectados, aunado a esta situación, los bajos salarios y falta de educación financiera no permiten que estas puedan acceder a un seguro contra terremotos, a pesar de que gran parte del territorio se encuentra expuesto a este y otro tipo de riesgos naturales.

Como resultado de la investigación se puede constatar que existe una alta probabilidad de que ocurran temblores dentro del intervalo [3,5] grados en escala Richter, dentro de todo el territorio nacional. Así mismo, el tiempo medio de recurrencia o de retorno de estos fenómenos es el menor, y dentro de la simulación se encontró que repitiéndose las condiciones de transición y de frecuencias en los sismos habría un mayor número de eventos dentro de estas escalas de magnitud. Lo anterior debe ser tomado en cuenta para el cálculo de primas y reservas en las compañías de seguros, así como para las provisiones necesarias por parte de individuos, empresas y Gobiernos, donde sus principales patrimonios se encuentran comprometidos. Para que una familia promedio pueda acceder a una vivienda, debe cumplir ciertos niveles de ingreso y esta forma parte de su principal patrimonio e inversión a largo plazo, puesto que tardan en adquirirlo en promedio de 20 a 30 años dependiendo el plazo y nivel de ingresos de los habitantes. Por otra parte, en el sector empresarial gran parte de sus activos físicos también tienen un grado de exposición al riesgo y la infraestructura Gubernamental (escuelas, hospitales, edificios administrativos, etc.), posee una alta probabilidad de sufrir afectaciones ante la ocurrencia de un sismo.

En los datos empíricos se observa que en los últimos cinco años las compañías de seguros han emitido mayores montos de primas y administrado un número mayor de pólizas. En especial en aquellos periodos de tiempo que han seguido después un sismo de gran magnitud 2017-2018.

En futuras investigaciones se espera ampliar esta investigación a otros ramos dentro de rubro de daños en compañías de seguros, así como hacer un análisis regionalizado por regiones sísmicas.

Referencias

- Altinok Y. y Kolcak D. (1999) An application of the semi-Markov model for earthquake occurrences in North Anatolia, Turkey. *Journal of the Balkan Geophysical Society*, 2:90–99
- Burrus Jr, R. T., Dumas, C. F., Farrell, C. H. y Hall Jr, W. W. (2002). Impact of low-intensity hurricanes on regional economic activity. *Natural Hazards Review*, 3(3), 118-125.
- Camargo, S. J., Barnston, A. G., Klotzbach, P. J. y Landsea, C. W. (2007). Predicciones estacionales de ciclones tropicales.
- Cavers, M. y Vasudevan, K. (2012). An application of Markov Chains in seismology. with eText for Lay's Linear Algebra.
- CNSF (2020). Información consolidada del sector asegurador. [En línea]. Recuperado el 2 de Julio 2020, <https://www.cnsf.gob.mx/EntidadesSupervisadas/InstitucionesSociedadesMutualistas/Paginas/InformacionConsolidada.aspx>
- Enfedaque, N. D. y Martínez, J. M. D. (2014). El impacto económico de los desastres naturales. *eXtoikos*, (15), 99-101.
- Fay, M., Ghesquiere, F. y Solo, T. (2003). Desastres naturales y pobres urbanos. *En Breve*, 32.
- Fujinawa, Y. (1991). A method for estimating earthquake occurrence probability using first-and multiple-order Markov chain models. *Natural hazards*, 4(1), 7-22.

- Hsiang, S. M. y Jina, A. S. (2014). The causal effect of environmental catastrophe on long-run economic growth: Evidence from 6,700 cyclones. National Bureau of Economic Research. (No. w20352).
- Jovel, J. R. (1989). Los desastres naturales y su incidencia económico-social. Revista de la CEPAL.
- Lefebvre, M. (2019, May). A Markov chain model for floods and earthquakes. In Critical Service continuity, Resilience and Security: Proceedings of the 56th ESReDA Seminar (p. 46).
- México. Universidad Nacional Autónoma de México, I. d. G., Servicio Sismológico Nacional. (2020). Catálogo de sismos. Extraído de <http://www2.ssn.unam.mx:8080/catalogo/>
- OCDE. (2019). GLOBAL INSURANCE MARKET TRENDS. Recuperado de <https://www.oecd.org/daf/fin/insurance/Global-Insurance-Market-Trends-2019.pdf>
- Ontiveros, M. A., Pérez, M. D. C. L. y López, M. J. C. S. (2018). Comparación del modelo Arima y Markoviano en la determinación de pronósticos de caudales en una estación hidrométrica. XXVIII congreso latinoamericano de hidráulica, Buenos Aires, Argentina.
- Suárez, A. D. (2011). Reflexiones sobre la cobertura de seguro para el riesgo de terremoto: Análisis de las cifras del caso chileno y la realidad del seguro en Colombia. Revista Ibero-Latinoamericana de seguros, 20(34), 215-228.
- Taleb, Nassim Nicholas. 2007. "The Black Swan. The Impact of the Highly Improbable". New York Times Bestseller, New York.
- Tsai, H. (2002). Estimates of earthquake recurrences in the Chiayi-Tainan area, Taiwan. Engineering geology, 63(1-2), 157-168.
- Zúñiga, R. A. A. y Villoria, A. M. G. (2018). Desastres en México de 1900 a 2016: patrones de ocurrencia, población afectada y daños económicos. Revista Panamericana de Salud Pública, 42, e55.

Anexo

Matriz de transición Markoviana

Periodo: 20/Enero/1900 a 6/Julio/2020

Total de sismos: 198,963

Matriz Markoviana

	N.C.	[0, 2.9]	[3, 3.9]	[4, 4.9]	[5, 5.9]	[6, 6.9]	[7, 7.9]	[8, 8.9]
N.C.	0.892401836	0.013768485	0.022494192	0.054280696	0.014958355	0.001699813	0.000339963	0.000056660
[0, 2.9]	0.057943925	0.219859813	0.616588785	0.099766355	0.005140187	0.000233645	0.000467290	0.000000000
[3, 3.9]	0.002853994	0.018685185	0.828626127	0.145751505	0.003638136	0.000388539	0.000049450	0.000007064
[4, 4.9]	0.027550900	0.012961648	0.611742424	0.331764915	0.014293324	0.001390862	0.000266335	0.000029593
[5, 5.9]	0.203636364	0.008727273	0.369454545	0.355636364	0.053818182	0.007272727	0.001454545	0.000000000
[6, 6.9]	0.133333333	0.004444444	0.164444444	0.284444444	0.048888889	0.231111111	0.133333333	0.000000000
[7, 7.9]	0.061728395	0.000000000	0.074074074	0.123456790	0.074074074	0.370370370	0.283950617	0.012345679
[8, 8.9]	0.250000000	0.000000000	0.000000000	0.500000000	0.000000000	0.000000000	0.250000000	0.000000000

Fuente: Elaboración propia.