

Análisis del *efecto* del CAMBIO CLIMÁTICO

En los últimos años ha tenido lugar un amplio debate sobre la variación en la frecuencia e intensidad de los huracanes debido al cambio climático. Junto a la variedad de argumentos que han surgido en esta discusión, la información disponible muestra que mientras en el Atlántico Norte la frecuencia de huracanes parece haber aumentado, en el Pacífico Este la frecuencia parece haber disminuido. Este fenómeno es de suma importancia para el sector asegurador, principalmente en países como México, que están expuestos a este tipo de catástrofes y que en años

sobre las pérdidas por huracanes

ENRIQUE DE ALBA
Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI)
Universidad de Waterloo, Canadá

RICARDO ANDRADE
Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI)

recientes han experimentado algunas de sus mayores pérdidas históricas debido a estos fenómenos. Los esquemas de transferencia de riesgo resultan de gran utilidad para afrontar este tipo de catástrofes, pero su complejidad hace difícil el cálculo de las pérdidas una vez aplicados. Los mo-

delos de simulación son una buena alternativa para solucionar este problema y resultan adecuados cuando se requiere trabajar con escenarios hipotéticos. En este trabajo se analiza el impacto del incremento en la frecuencia e intensidad de los huracanes sobre una cartera asegurada con un esquema de reaseguro complejo. El modelo de simulación utilizado está basado en un modelo desarrollado a solicitud del organismo regulador de las instituciones de seguros en México, cuyo uso es obligatorio para el cálculo de reservas de riesgos catastróficos en este país.



canes en México



La medición y transferencia de riesgos constituyen la esencia del negocio de los seguros. De ahí que se promueva el desarrollo de técnicas cuantitativas que permitan cumplir con estos objetivos. Dichas técnicas son de suma importancia para todos los participantes de esta industria: aseguradores, reaseguradores, reguladores, agencias calificadoras y consumidores finales. En el caso de riesgos catastróficos, la aplicación de técnicas cuantitativas adquiere una relevancia particular debido a la magnitud de las pérdidas potenciales, Woo



MÉXICO ES UN PAÍS MUY SUSCEPTIBLE DE SUFRIR PÉRDIDAS POR HURACANES. LOS REGISTROS DEL SERVICIO METEOROLÓGICO NACIONAL DE MÉXICO INDICAN QUE ESTE PAÍS REGISTRÓ ENTRE 1970 Y 2006 UN PROMEDIO DE 1,6 HURACANES AL AÑO

(1999)¹. Un evento catastrófico fuerte (o una secuencia de ellos) puede alcanzar pérdidas tan altas que si no se dispone de una reserva y un capital suficientes, o si no se cuenta con un reaseguro o retrocesión adecuados, la aseguradora puede ir a la quiebra. Este hecho tendría graves consecuencias para otros agentes económicos y para la sociedad.

México es un país muy susceptible de sufrir pérdidas tanto por huracanes como por terremotos. Los registros del Servicio Meteorológico Nacional (SMN) de México indican que de 1970 a 2006, este país fue afectado una media de 1.7 huracanes al año. En este artículo se consideraron las cinco categorías de huracán de la escala Saffir-Simpson más una categoría para tormentas tropicales, las cuales están definidas por la velocidad del viento, como se indica en el cuadro 1. La figura 1 muestra los huracanes que impactaron el territorio mexicano en el periodo mencionado. En ese periodo, el 30% los casos en que México fue alcanzado por un huracán éste tuvo una velocidad superior a los 177 km/h (categoría 3 o más en la escala Saffir-Simpson). Tan sólo en 2005, un año con mucha activi-

dad ciclónica en el océano Atlántico, la Asociación Mexicana de Instituciones de Seguros (AMIS) estimó que las pérdidas ocasionadas por los huracanes Emily, Stan y Wilma (figura 2) ascendieron a 2.282 millones de dólares. Más aún, la AMIS incluye a estos tres huracanes entre las diez catástrofes más costosas en la historia del sector asegurador mexicano (cuadro 2).

La medición correcta del riesgo de una sucesión de eventos catastróficos, y no sólo uno en particular, es algo imprescindible, especialmente en países expuestos tanto a daños hidrometeorológicos como a daños por terremoto, como Estados Unidos, Japón y México. La generación de este tipo de eventos catastró-

ficos y el daño ocasionado son fenómenos muy complejos, por lo que resulta necesario recurrir al apoyo de expertos, tales como meteorólogos, ingenieros, actuarios, financieros y otros especialistas que puedan ayudar a construir modelos que los representen de forma razonable. En general, los modelos desarrollados para estimar pérdidas catastróficas están basados en las leyes físicas de la naturaleza que gobiernan los fenómenos que las originan. Con la representación matemática de estos fenómenos, combinada con información sobre los inmuebles asegurados (como valor y tipo de construcción) y sobre los contratos de seguro y reaseguro correspondientes, se pueden construir modelos de riesgo que provean a las compañías aseguradoras de amplia información sobre las pérdidas potenciales que se pueden llegar a presentar. Clark (2002) explica cómo es que los modelos computacionales pueden utilizarse para estimar pérdidas catastróficas, e incluso indica los distintos componentes de estos modelos, así como las etapas en su construcción y aplicación. Dichos componentes están presentes en el proceso de modelación utilizado por la empresa Evaluación de Riesgos Naturales (ERN), en el cual se basan los modelos desarrollados en este trabajo. McNeil *et al.* (2005) distinguen distintos enfoques para la medición de riesgos, entre ellos el enfoque basado en la distribución de pérdidas que aquí se sigue.

Categoría	Velocidad del viento (km/h)
Tormenta tropical (TS)	61 a 118
Huracán Categoría 1 (H1)	119 a 153
Huracán Categoría 2 (H2)	154 a 177
Huracán Categoría 3 (H3)	178 a 209
Huracán Categoría 4 (H4)	210 a 249
Huracán Categoría 5 (H5)	más de 249

Cuadro 1: Clasificación de los ciclones tropicales. Fuente: NOAA (EE.UU.).

¹ Para el propósito de este trabajo los riesgos catastróficos se definen como aquellos con baja frecuencia y alta severidad.



(a) Huracanes moderados (b) Huracanes intensos
Figura 1: Huracanes que impactaron a México entre 1970 y 2008.
 Fuente: SMN (Mex.).

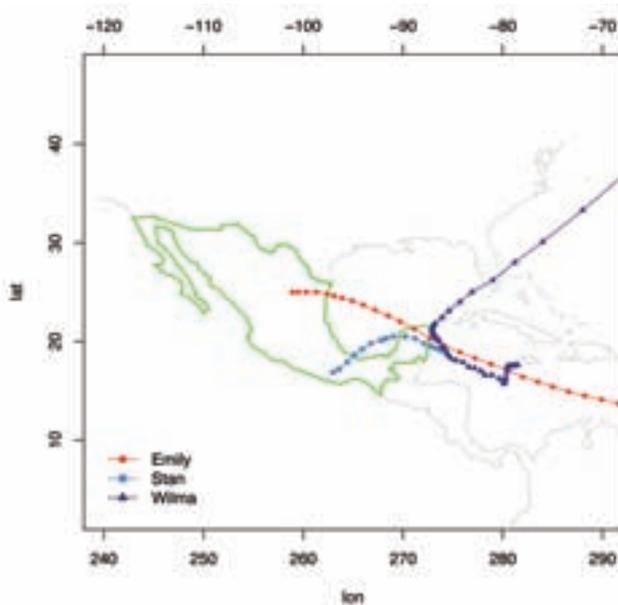


Figura 2: Trayectoria de los huracanes Emily, Stan y Wilma.

Evento	Año	Pérdidas (millones de USD)
Huracán Wilma	2005	1.752
Inundación en Tabasco	2007	700
Huracán Gilbert	1997	567
Terremoto en la Ciudad de México	1985	473
Huracán Isidore	2002	308
Huracán Emily	2005	302
Huracán Stan	2005	228
Huracán Kenna	2002	176
Huracán Julliette	2001	90
Huracán Pauline	1997	62

Cuadro 2: Catástrofes más costosas en México. Fuente: AMIS.

Dada la magnitud de las pérdidas potenciales de los riesgos catastróficos, en estos seguros es común que la mitigación del riesgo se haga a través del uso de distintos tipos de reaseguro tradicional (proporcional y no proporcional) y esquemas alternativos de transferencia de riesgos (*cat-bonds* y similares), de Alba *et al.* (2008). Para entender claramente la exposición de la cartera y lograr una mitigación del riesgo efectiva desde el punto de vista financiero y regulatorio, es necesario realizar una medición del riesgo adecuada, con y sin transferencias de riesgo. El reaseguro no proporcional puede reducir considerablemente la cola de la distribución de pérdidas del cedente. En condiciones de operación estándar, los aseguradores utilizan varias «capas» de reaseguro no proporcional y éstas se pueden combinar con algún tipo de reaseguro proporcional. La estructura de reaseguro resultante no es fácil de analizar, Verlaak y Beirlant (2003), lo cual se complica aún más si la distribución de probabilidad de pérdidas no se conoce analíticamente. De hecho, en la mayor parte de la literatura sobre optimización de reaseguro se parte del supuesto de que dicha distribución es conocida.

TENDENCIAS EN LA ACTIVIDAD DE LOS CICLONES TROPICALES

En los últimos años ha habido una fuerte discusión sobre la existencia de una tendencia creciente en el número e intensidad de los huracanes y tormentas tropicales debido al cambio climático. En general, los argumentos a



LA MEDICIÓN CORRECTA DEL RIESGO DE UNA SUCESIÓN DE EVENTOS CATASTRÓFICOS ES ALGO IMPRESCINDIBLE EN PAÍSES EXPUESTOS TANTO A DAÑOS HIDROMETEOROLÓGICOS COMO A DAÑOS POR TERREMOTO

favor de dicha tendencia se basan en el fenómeno del calentamiento global y en el hecho de que los huracanes requieren para su formación una superficie del mar cálida, Emanuel (2005) y Agata (2007). Por su parte, los argumentos en contra afirman que las tendencias que se observan son ficticias debido al subregistro de huracanes anteriores a las épocas del monitoreo mediante satélites o aviones, Landsea (2005); o que el creciente poder destructivo de los huracanes es un efecto artificial que obedece a cambios en la sociedad, Pielke (2005); o simplemente que si existe alguna tendencia ésta es insignificante, Landsea *et al.* (2006). Trenberth (2005) opina que el factor clave no es si existen tendencias en el número y trayectorias de los huracanes, sino saber cómo están cambiando. Aquí se analizará el impacto de un incremento potencial en el número de huracanes. En la figura 3 se muestra el número de tormentas tropicales y huracanes por

año en el océano Pacífico Este y en el océano Atlántico Norte. Nótese que entre 1979 y 2007 (periodo entre las líneas punteadas verticales) hubo un ligero incremento en la frecuencia de ciclones tropicales en el Atlántico Norte, mientras que en ese mismo periodo en el Pacífico Este se registró un incremento hasta principios de los noventa y después el número de ciclones tropicales comenzó a decrecer.

Como parte de esta discusión, algunos autores consideran que los huracanes se están volviendo cada vez más intensos. En particular, Knutson y Tuleya (2004) afirman que bajo condiciones de cambio climático es más probable la ocurrencia de huracanes más intensos. En ese mismo sentido, Webster *et al.* (2005) comentan que la proporción de huracanes intensos (definidos de aquí en adelante como huracanes con categoría 4 o 5) se incrementó en los últimos 30 años, como se muestra en el cuadro 3. Algunos argumentos en contra de estas ideas han sido dados por Kerr (2008).

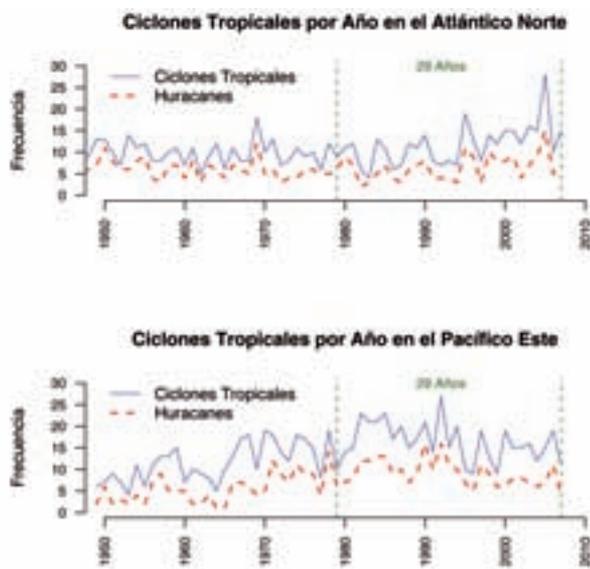


Figura 3: Frecuencia de los ciclones tropicales de 1950 a 2007.



Océano	Periodo			
	1975-1989		1990-2004	
	Número	Porcentaje	Número	Porcentaje
Atlántico Norte	16	20	25	25
Pacífico Este	36	25	49	35

Cuadro 3: Cambio en el número y porcentaje de huracanes con categoría 4 y 5 entre los periodos 1975-1989 y 1990-2004. Fuente: Webster *et al.* (2005).

Aun cuando los huracanes se hubieran vuelto más frecuentes e intensos en los últimos años, faltaría determinar si esto se debe al cambio climático o si es simplemente el efecto de variaciones multidecadales, Goldberd *et al.* (2001). Esta complicada discusión está más allá

de los objetivos de este trabajo, pero permite dejar claro que el sector asegurador debe estar pendiente de posibles cambios en la actividad ciclónica. Por este motivo, el análisis que se presenta considera un escenario base, en el cual no se suponen tendencias en la actividad ciclónica, y distintos escenarios de cambio climático, en los cuales se supone que la frecuencia o intensidad de los ciclones tropicales aumenta.

SIMULADOR DE PÉRDIDAS DE ERN

En México, el organismo regulador de las instituciones de seguros, la Comisión Nacional de Seguros y Fianzas (CNSF), ha patrocinado la construcción de un modelo de pérdidas por

huracanes que deberá ser utilizado para el cálculo de las primas de riesgo y la reserva catastrófica que se calcula de acuerdo a la Pérdida Máxima Probable (PML, por sus siglas en inglés). Los resultados de este modelo, desarrollado por la empresa Evaluación de Riesgos Naturales (ERN), se utilizan para garantizar que las reservas computadas sean suficientes de conformidad con la regulación. El componente inicial de este modelo es la frecuencia con que ocurren los huracanes, simulada con un Proceso de Wiener que utiliza como semilla las trayectorias registradas de los huracanes. Entonces, para una trayectoria de huracán definida por los puntos $\{(x(t), y(t))\}, t \in \mathbb{N}$, los puntos correspondientes a la trayectoria simulada están dados por:

$$(x_s(k), y_s(k)) = \left(x(k) + \sum_{t=1}^k e_{x(t)}, y(k) + \sum_{t=1}^k e_{y(t)} \right),$$

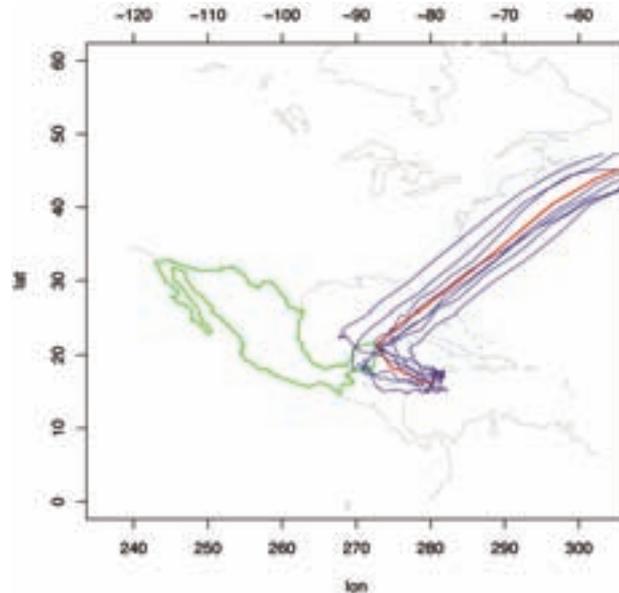
donde $e_{i(t)} \sim N(0, \sigma^2)$. La figura 4 muestra un ejemplo de varias trayectorias simuladas que fueron generadas al perturbar la trayectoria observada del huracán Wilma. El *software* de ERN genera la prima de riesgo y la PML, como se muestra en la figura 5.

Adicionalmente a la prima y a la PML, el *software* de ERN genera información con la que se pueden realizar simulaciones que permiten generar datos que son útiles en distintas aplicaciones. Con ellos pueden estimarse distribuciones de pérdida, probabilidades de excedencia y otros parámetros de interés para distintos niveles potenciales de pérdida (al año y por ocurrencia) que

ENTRE 1979 Y 2007 HUBO UN LIGERO AUMENTO EN LA FRECUENCIA DE CICLONES TROPICALES EN EL ATLÁNTICO NORTE; EN EL PACÍFICO ESTE CRECIERON HASTA LOS AÑOS 90 Y LUEGO COMENZARON A DECRECER



Figura 4: Simulaciones generadas al perturbar la trayectoria observada del huracán Wilma.



EL ORGANISMO REGULADOR DE LAS INSTITUCIONES DE SEGUROS EN MÉXICO HA PATROCINADO LA CONSTRUCCIÓN DE UN MODELO DE PÉRDIDAS POR HURACANES QUE DEBERÁ USARSE PARA CALCULAR LAS PRIMAS DE RIESGO

una compañía podría sufrir dada su cartera de exposiciones, Clark (2002). Existen varios modelos de simulación comerciales (AIR, EQECAT, RMS) que hacen esto. Lo que aquí se pretende mostrar es cómo un modelo interno similar de la compañía aseguradora puede utilizarse por las compañías de seguros. Por consiguiente, según las recomendaciones de asociaciones internacionales, como la Asociación Internacional de Supervisores de Seguros (IAIS) y la Asociación Internacional de Actuarios (IAA), que promueven el uso de modelos matemáticos y métodos de simulación, se ha utilizado la información de salida del *software* de ERN para construir un programa que permita al actuario generar las distribuciones de pérdida anual para una cartera de seguros. El algoritmo incluye la posibilidad de simular, entre otras cosas, la ocurrencia de uno o más huracanes en un año, su impacto en la cartera asegurada y el efecto de transferencia del riesgo en los esquemas que mezclan

diferentes tipos de reaseguro. Las distribuciones de pérdidas se obtienen con información de los huracanes (como velocidad del viento, radio ciclostrofico y presión en el ojo del huracán), com-

binada con información de las características de cada construcción asegurada y los efectos locales producidos por determinados huracanes sobre las mismas. Esto conlleva a una distribución de la proporción del daño para cada construcción. Las distribuciones individua-

RESULTADOS DE LA EVALUACIÓN DE RIESGO HIDROMETEOROLÓGICO DE LA CARTERA						
ERN		Fecha de creación: Octubre 28, 2007				
		Fecha de corte: Septiembre 30, 2007				
		Responsable: ERN, Evaluación de Riesgos Naturales				
Archivos analizados						
Tipo ID: MDRD_PAL_2007_007: E-400 Cartera Independiente.aud						
Tipo ID: MDRD_PAL_2007_007: E-400 Cartera Colocada.aud						
Asegurable						
Items	1	284,334,306,760.20				
Prima para total	1	185,721,391.73				0.654 años
Prima para derroga	1	89,805,329.54				0.309 años
Prima para no derroga	1	73,498,610.37				0.259 años
PAL	1	7,080,011,228.88				1.731%
Retención						
Items	1	148,218,887,642.86				33.401% a retención
Prima para total	1	158,522,691.25				0.473 años
Prima para derroga	1	88,483,690.00				0.231 años
Prima para no derroga	1	81,890,282.75				0.231 años
PAL	1	4,787,885,239.05				1.323%
PAL						
Periodo de Retorno		Total		Retenido		
75	0	1,345,488,224.89	0.38%	0	880,036,421.09	0.30%
100	0	1,671,063,203.33	0.56%	0	1,106,720,811.40	0.44%
200	0	2,310,816,381.48	0.79%	0	1,640,316,280.06	0.63%
300	0	3,423,428,477.89	1.18%	0	2,735,722,876.08	0.89%
1,000	0	4,498,034,344.80	1.21%	0	3,348,156,854.37	1.23%
1,500	0	5,080,101,229.80	1.73%	0	4,087,898,239.20	1.38%
2,000	0	5,866,884,320.56	2.03%	0	4,787,885,239.05	1.62%

Figura 5: Resultados de la evaluación de riesgo hidrometeorológico en una cartera utilizando el *software* de ERN.



les de las proporciones de pérdida de cada edificación en la cartera se agregan para obtener la distribución de toda la cartera². Este proceso se aplica tantas veces como haya huracanes en un año para obtener un panorama general de las pérdidas totales anuales. Se generan tantas réplicas según la precisión requerida en la simulación.

MODELO INTERNO

La información disponible permite analizar la intensidad y trayectoria de los ciclones tropicales desde 1851 en el océano Atlántico Norte y desde 1949 en el océano Pacífico Este. Sin embargo, es importante mencionar que antes de la década de los setenta no se realiza-

ban monitoreos con satélites geoestacionarios y que el reconocimiento con aviones comenzó en la década de los cuarenta, de modo que la información más antigua es menos fiable y, por lo tanto, las comparaciones en periodos largos no son del todo válidas. Dadas las características de la información, resulta difícil para un asegurador medir

este tipo de riesgos. Como la distribución de pérdidas debido a huracanes en una cartera grande de riesgos es generalmente desconocida, es posible que la única manera de cuantificar los riesgos sea mediante simulaciones.

Se utilizó el algoritmo descrito en la sección anterior con los datos (disfrazados) de la cartera de una aseguradora mexicana. La cartera consiste en 26.000 construcciones. Esta compañía tiene un sofisticado esquema de reaseguro que combina reaseguro proporcional y no proporcional. El esquema de reaseguro no proporcional consiste en cinco capas y tiene las características indicadas en el cuadro 4. En la columna 5, «Rol» se refiere al *rate online cost* de la prima de reaseguro en cada capa, mientras que en la columna 6, «Reins» indica el número de reinstalaciones que el contrato de reaseguro establece para

**EL 'SOFTWARE' DE ERN
PERMITE SIMULAR,
ENTRE OTROS, LA
OCURRENCIA DE UNO O
MÁS HURACANES EN UN
AÑO Y SU IMPACTO EN
LA CARTERA
ASEGURADORA**

² Para una descripción detallada ver ERN (2007).

cada capa. Adicionalmente la aseguradora cuenta con un contrato de reaseguro cuota-parte con una retención del 10% para pérdidas inferiores al deducible de 7,5 millones de dólares correspondiente a la primera capa.

Como un primer paso se utilizaron únicamente los datos de salida de ERN para simular 150.000 años de actividad ciclónica. Para cada año simulado se consideró que un total de tres huracanes llegaron a México³. La intensidad de estos huracanes no se modeló específicamente, por lo que a lo largo de toda la simulación se conservaron las proporciones por categoría observadas históricamente. El cuadro 5 muestra algunas estadísticas de las pérdidas brutas (sin reaseguro) y de las pérdidas netas de reaseguro. El segundo renglón muestra la pérdida neta incluyendo los costos del reaseguro, mientras que el tercer renglón muestra las pérdidas sin los costos de reinstalación. El nivel de retención resultante para toda la cartera se muestra en el cuarto renglón. Suponiendo dado el modelo de huracanes, estos resultados muestran cómo un ejercicio de simulación relativamente simple puede proveer información muy valiosa que no se puede obtener mediante procedimientos analíticos.

La metodología utilizada en el *software* de ERN para identificar y clasificar los huracanes que llegan a México está basada en la categoría máxima registrada a lo largo de toda su trayectoria.

³ El modelo de ERN considera 3,31 huracanes al año.

Capa	Prioridad USD	Cobertura USD	Prima de restitución USD	Rol %	Reins
1	7.500	7.500	1.586	21.1	2
2	15.000	15.000	1.890	12.6	2
3	30.000	30.000	2.268	7.6	1
4	60.000	40.000	1.548	3.9	1
5	100.000	130.000	2.574	2	1

Cuadro 4: Esquema de reaseguro no proporcional utilizado (cantidades monetarias en miles de dólares).

	Min USD	Cuartil 1 USD	Mediana USD	Media USD	Cuartil 3 USD	Max USD
Pérdida bruta	0	42	720	8.087	5.381	1.189,000
Pérdida neta	0	42	720	2.927	5.142	952,000
Pérdida neta s/rest.	0	42	720	2.399	5.000	944,100
Retención	5%	100%	100%	88%	100%	100%

Cuadro 5: Simulación 1: Datos brutos de ERN (cantidades monetarias en miles de dólares).

Esto significa que aunque se busca modelar sólo el daño ocasionado por huracanes, se incluye información del daño causado por algunos ciclones que llegaron a México con categoría de tormenta tropical, pero que en algún momento de su trayectoria alcanzaron la

categoría de huracán (escala Saffir-Simpson). Para los fines que aquí se buscan se consideró más adecuado elaborar una clasificación conforme a la categoría registrada en el momento en que pasaron por México. Para esta reclasificación se utilizaron los registros de la



LA METODOLOGÍA UTILIZADA EN EL 'SOFTWARE' DE ERN PARA IDENTIFICAR Y CLASIFICAR LOS HURACANES QUE LLEGAN A MÉXICO ESTÁ BASADA EN LA CATEGORÍA MÁXIMA REGISTRADA A LO LARGO DE TODA SU TRAYECTORIA

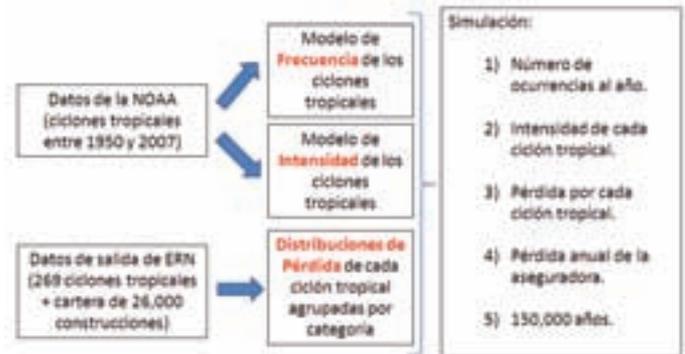


Figura 7: Esquema de modelación utilizado.

Administración Nacional Oceánica y Atmosférica de Estados Unidos (NOAA) sobre los ciclones tropicales en el Atlántico Norte y en el Pacífico Este, de 1950 a 2007. Se consideraron las cinco categorías de huracán de la escala Saffir-Simpson más una categoría para tormentas tropicales, las cuales están definidas por la velocidad del viento, como se indica en el cuadro 1. Esto permitió combinar el simulador de pérdidas de ERN con un modelo independiente y no determinista de frecuencia e intensidad de los ciclones tropicales construido *ad hoc*. Esta nueva clasificación también implicó un cambio en la distribución de las pérdidas ocasionadas por los

ciclones tropicales con respecto a la categoría de éstos. La figura 6 muestra un comparativo de los rangos de la pérdida esperada por categoría en ambas clasificaciones⁴. En esta figura es notorio que con la nueva clasificación se tiene una mayor diferenciación en el nivel de pérdidas por categoría.

Visto de manera esquemática, como se muestra en la figura 7, el modelo interno se compone de un par de modelos probabilísticos para la frecuencia y la intensidad de los ciclones tropicales, basados en información de la NOAA de 1950 a 2007; y un modelo probabilístico para las pérdidas ocasionadas por cada ciclón, basado en el si-

mulador de ERN y en la nueva clasificación. El procedimiento general consiste en simular 150.000 años de actividad ciclónica, en los que para cada año se generan aleatoriamente, conforme a los modelos de frecuencia e intensidad, el número de ciclones tropicales y las categorías correspondientes. Después, para cada ciclón tropical se simulan los daños ocasionados conforme a la distribución de pérdida asignada y los contratos de reaseguro en vigor.

ESCENARIOS

En esta sección se presentan distintos escenarios de actividad ciclónica y las pérdidas que sufriría la cartera expuesta de una aseguradora en cada uno de ellos. Primero se construye un escenario base que representa la actividad ciclónica observada entre 1950 y 2007. Después se definen algunos escenarios

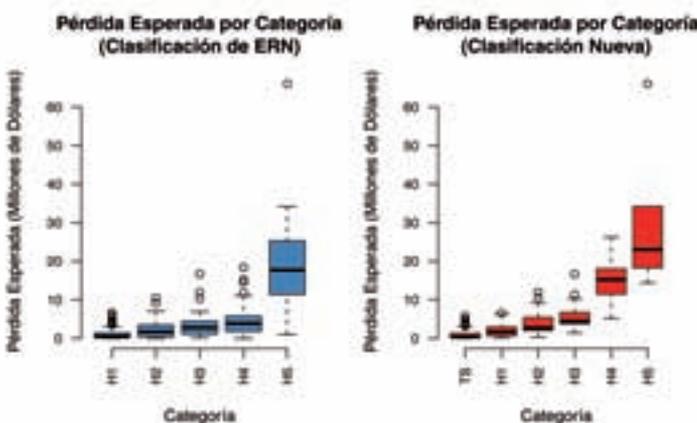


Figura 6: Comparativo de la distribución de pérdidas esperadas por categoría en cada clasificación.

⁴ Para cada ciclón tropical registrado en la base de datos de ERN, se tiene una distribución de pérdidas en particular, de ahí que se pueda hablar del rango de valores de la pérdida esperada por categoría.

alternativos de cambio climático (ECC) en los que se suponen incrementos en la frecuencia y la intensidad de los ciclones tropicales con respecto al escenario base. Aunque hay una componente arbitraria en la construcción de este tipo de escenarios, es necesario que se utilicen supuestos plausibles, ya que de lo contrario el modelo resulta irreal y de poca utilidad. De acuerdo con el Panel Intergubernamental de Cambio Climático, el uso de periodos de referencia de 30 años en la construcción de ECC permite captar cambios observados en la media de algunos fenómenos meteorológicos. En este caso se utilizaron dos periodos de 29 años: de 1950 a 1978 y de 1979 a 2007.

1. Escenario base

El promedio de ciclones tropicales que golpearon a México entre 1950 y 2007 es de 3,7 por año (1,1 ciclones por el Atlántico y 2,6 ciclones por el Pacífico). En este análisis el número de huracanes y tormentas tropicales por año se generó aleatoriamente como la suma de dos variables con distribución Poisson,

PARA CALCULAR LAS PÉRDIDAS POR ESCENARIOS ALTERNATIVOS DE CAMBIO CLIMÁTICO SE PARTE DE ESCENARIOS BASE Y LUEGO SE DEFINEN SUPUESTOS CON MAYOR FRECUENCIA E INTENSIDAD DE ACTIVIDAD CICLÓNICA

correspondientes a los ciclones tropicales del Atlántico Norte y del Pacífico Este. La figura 8 muestra los histogramas del número observado de huracanes por año provenientes de cada océano y las distribuciones ajustadas: Poisson con media 1.15 y 2.58, respectivamente. La intensidad de los ciclones tropicales se modeló con una distribución multinomial con las seis categorías mostradas en el cuadro 1. Los estimadores de máxima verosimilitud de la probabilidad de ocurrencia de cada categoría corresponden a las proporciones observadas entre 1950 y 2007 (cuadro 6).

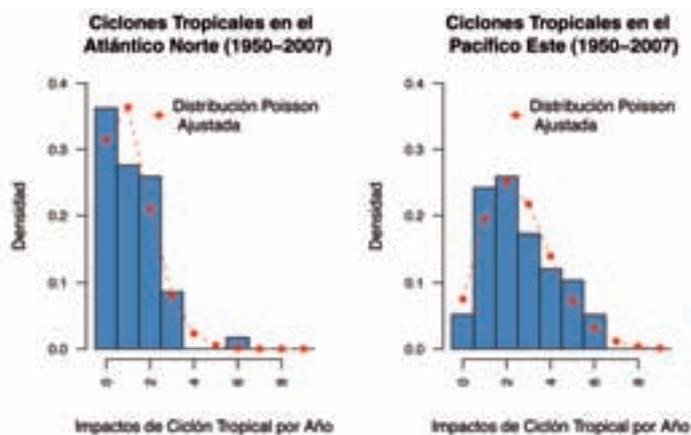


Figura 8: Distribuciones Poisson ajustadas a los datos del Atlántico y del Pacífico.

El cuadro 7 muestra los resultados de la simulación al combinar los modelos de frecuencia e intensidad con los datos de ERN y el esquema de reaseguro descrito previamente. Estos resultados difieren considerablemente de los mostrados en el cuadro 5 debido a que, como se mencionó anteriormente, fueron obtenidos con una metodología distinta: en primer lugar, el escenario base se construyó con una clasificación distinta de los ciclones tropicales, lo cual induce, como muestra la figura 6, un cambio en las distribuciones de pérdidas por cada categoría; y en segundo lugar, en el escenario base la frecuencia está dada por un modelo probabilístico en el que en promedio hay 3,7 ciclones tropicales al año, mientras que en el modelo anterior se tiene un modelo determinista con 3 «huracanes» al año.

2. Escenarios de cambio climático

En la figura 9 se muestran las diferencias en las medias de los ciclones tropicales (totales y que impactaron a México) entre los periodos 1950-1978 y 1979-2007. Se observa que aunque la frecuencia de ciclones tropicales totales aumentó en ambos océanos, la frecuencia de los impactos en el Pacífico disminuyó un 23%. Como escenario de cambio climático para la frecuencia (ECCF) se consideró un incremento del 19% y del 38% en la media de los ciclones tropicales que impactan a México del lado del Atlántico y del Pacífico, respectivamente (figura 10). El cuadro 8 muestra los resultados de la simulación utilizando

Océano	TS	H1	H2	H3	H4	H5
Atlántico Norte	51%	19%	4%	9%	9%	7%
Pacífico Este	55%	31%	8%	3%	3%	1%

Cuadro 6: Porcentaje de ciclones tropicales de cada categoría que impactaron a México entre 1950 y 2007.

	Min	Cuartil 1	Mediana	Media	Cuartil 3	Max
Pérdida bruta	\$ 0	\$ 61	\$ 1.136	\$ 1.910	\$ 8.236	\$ 1.027.000
Pérdida neta	\$ 0	\$ 6	\$ 114	\$ 1.682	\$ 853	\$ 780.000
Pérdida neta s/rest.	\$ 0	\$ 6	\$ 114	\$ 905	\$ 750	\$ 770.100
Retención	0%	10%	10%	10%	10%	78%

Cuadro 7: Pérdidas simuladas en el escenario base (cantidades monetarias en miles de dólares).

el ECCF y los compara con los resultados del escenario base.

En lo que respecta a la intensidad, es un poco más difícil establecer un incremento en las proporciones observadas de un periodo a otro. En los cuadros 9 y 10 se observa que en el Atlántico Norte la proporción de huracanes intensos prácticamente se mantuvo igual en ambos periodos, mientras que en el Pacífico Este la proporción de huracanes intensos sí se incrementó

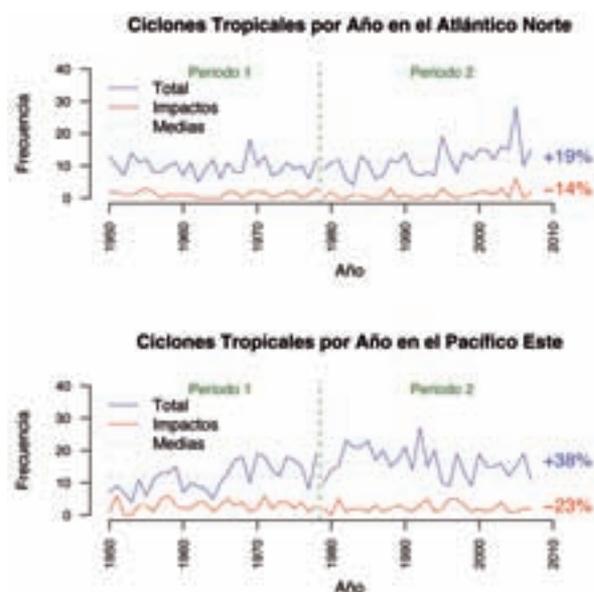


Figura 9: Cambio en la frecuencia media de los ciclones tropicales entre los periodos 1950-1978 y 1979-2007.

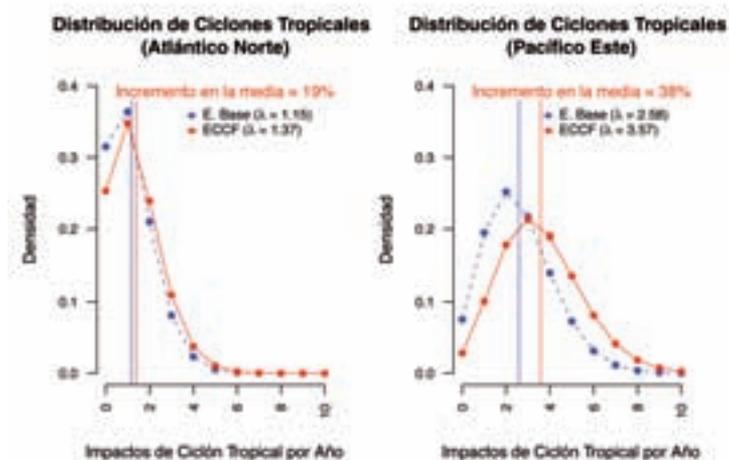


Figura 10: Distribuciones Poisson utilizadas en el escenario base y en el ECCF.

		Min	Cuartil 1	Mediana	Media	Cuartil 3	Max
Pérdida bruta	Base	\$ 0	\$ 61	\$ 1.136	\$ 1.910	\$ 8.236	\$ 1.027,000
	ECCF (+/-%)	\$ 0	\$ 259	\$ 2.483	\$ 15.330	\$ 12.800	\$ 1.285,000
Pérdida neta	Base	\$ 0	\$ 6	\$ 114	\$ 1.682	\$ 853	\$ 780,000
	ECCF (+/-%)	\$ 0	\$ 26	\$ 248	\$ 2.153	\$ 1.635	\$ 1.064,000
Pérdida neta s/rest.	Base	\$ 0	\$ 6	\$ 114	\$ 905	\$ 750	\$ 770,100
	ECCF (+/-%)	\$ 0	\$ 26	\$ 248	\$ 1.156	\$ 770	\$ 1.054,000
Retención	Base	0%	10%	10%	10%	10%	78%
	ECCF (+/-pp)	0.00	0.00	0.00	0.30	0.45	4.75

Cuadro 8: Comparativo de pérdidas entre el ECCF y el escenario base (cantidades monetarias en miles de dólares).

Proporciones por categoría en el Atlántico Norte

	Total			Impactos		
	P1	P2	+/-pp	P1	P2	+/-pp
TS	39%	45%	6.1	53%	48%	-4.4
H1	22%	25%	2.1	19%	19%	-0.1
H2	11%	9%	-1.4	3%	6%	3.7
H3	15%	9%	-6.5	8%	10%	1.3
H4	9%	9%	-0.2	11%	6%	-4.7
H5	4%	4%	-0.1	6%	10%	4.1

Cuadro 9: Cambios en la distribución de las intensidades de los ciclones tropicales en el Atlántico Norte.

Proporciones por categoría en el Pacífico Este

	Total			Impactos		
	P1	P2	+/-pp	P1	P2	+/-pp
TS	52%	44%	-7.8	61%	46%	-15
H1	30%	19%	-11.6	32%	29%	-2.5
H2	6%	10%	-3.9	1%	17%	15.7
H3	5%	10%	-5.1	2%	5%	2.3
H4	6%	15%	+9.2	2%	3%	0.7
H5	1%	2%	-1.2	1%	0%	-1.2

Cuadro 10: Cambios en la distribución de las intensidades de los ciclones tropicales en el Pacífico Este.

considerablemente. No obstante, la proporción de huracanes intensos que efectivamente golpearon a México (impactos) se mantuvo relativamente constante en ambos casos.

Se construyeron distintos escenarios con cambios en la intensidad de los ciclones tropicales. Primero se ajustó una distribución de valores extremos a la velocidad máxima observada de los ciclones tropicales y conforme a esta distribución se obtuvieron las proporciones en cada categoría, las cuales definieron el primer escenario de cambio climático para la intensidad (ECCI-1). La figura 11 contiene algunas gráficas que muestran el ajuste de la distribución Pareto generalizada a los datos del Atlántico Norte y del Pacífico Este.

Las gráficas que se introducen son: el histograma con la densidad ajustada (abajo a la derecha); la de arriba a la izquierda corresponde al «P-P plot»; por su parte, la de arriba a la derecha es el



LA BAJA FRECUENCIA DE CICLONES Y LA ESCASA INFORMACIÓN HISTÓRICA FIABLE DE QUE SE DISPONE HACE NECESARIO QUE EL ANÁLISIS DE ESTOS FENÓMENOS SE LLEVE A CABO MEDIANTE SIMULACIONES

«q-q plot»; y la de abajo a la izquierda presenta la velocidad del viento de los ciclones tropicales en función de los periodos de retorno. Las de arriba indican un buen ajuste y en el histograma el ajuste es bueno en la cola de la distribución, por lo que se usó como una alternativa para generar un escenario. El problema con este escenario es que la proporción de huracanes intensos del Atlántico Norte resulta menor que en el escenario base. Se decidió hacer una modificación de tal modo que el incremento en puntos porcentuales de las proporciones de huracanes intensos fuera igual en ambos océanos (ECCI-2). Otra alternativa para modificar las proporciones del Atlántico Norte consistió en hacer una transferencia de peso en la distribución de valores extremos ajustada, y obtener las proporciones en cada categoría a partir de la distribución resultante (ECCI-3). Este último procedimiento reduce la proporción



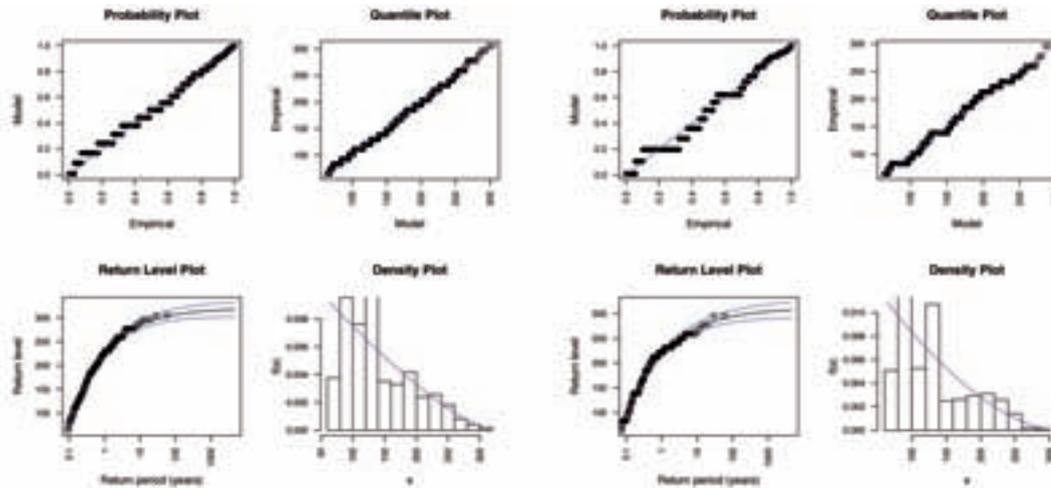


Figura 11: Gráficos del ajuste de la distribución Pareto generalizada a las velocidades máximas observadas en los ciclones tropicales. Salida del paquete Extremes Toolkit de R., Gilleland y Katz (2005).

(a) Atlántico Norte

(b) Pacífico Este

		TS	H1	H2	H3	H4	H5
Escenario Base	Atlántico	51%	19%	4%	9%	9%	7%
	Pacífico	55%	31%	8%	3%	3%	1%
ECCI-1	Atlántico (+/-%)	43%	21%	11%	11%	9%	5%
	Pacífico (+/-%)	49%	21%	11%	10%	7%	2%
		-5.49	-9.45	2.64	6.56	4.05	1.69
ECCI-2	Atlántico (+/-%)	49%	18%	3%	8%	13%	9%
	Pacífico (+/-%)	49%	21%	11%	10%	7%	2%
		-5.49	-9.45	2.64	6.56	4.05	1.69
ECCI-3	Atlántico (+/-%)	49%	18%	7%	7%	10%	8%
	Pacífico (+/-%)	49%	21%	11%	10%	7%	2%
		-5.49	-9.45	2.64	6.56	4.05	1.69

Cuadro 11: ECCI vs escenario base.

de las velocidades que están al centro de la distribución e incrementa las de los extremos sin alterar la media. De este modo se tiene una distribución con la misma media, pero más riesgosa, Eckhoudt *et al.* (1996).

El cuadro 11 muestra las proporciones de los ciclones tropicales por categoría en cada escenario y la diferencia en puntos porcentuales con respecto a las proporciones del escenario base. Las pérdidas ocasionadas por un ciclón tropical en cada categoría varían considera-

blemente según la distribución de daños, por lo que no está claro cuál de estos tres escenarios induce a una mayor cantidad de pérdidas en toda la cartera, ni en qué magnitud se incrementarán con respecto a las pérdidas del escenario base.

Se realizaron las simulaciones de pérdidas correspondientes a cada uno de los tres ECCI, combinados con el escenario base para frecuencias. Los resultados se muestran en el cuadro 12: los renglones que contienen (+/- %) o (+/- pp) muestran el incremento de ca-



		Min	Cuartil 1	Mediana	Media	Cuartil 3	Max
Pérdida bruta	Base	\$ 0	\$ 61	\$ 1.136	\$ 11.910	\$ 8.236	\$ 1.027,000
	ECCI 1	\$ 0	\$ 92	\$ 1.700	\$ 15.134	\$ 11.525	\$ 1.319,968
	(+/-%)	0%	52%	50%	27%	40%	29%
	ECCI 2	\$ 0	\$ 92	\$ 1.778	\$ 17.036	\$ 12.846	\$ 1.237,688
	(+/-%)	0%	52%	56%	43%	56%	21%
Pérdida neta	Base	\$ 0	\$ 6	\$ 114	\$ 1.682	\$ 853	\$ 780,000
	ECCI 1	\$ 0	\$ 9	\$ 170	\$ 2.162	\$ 1.421	\$ 1.100,584
	(+/-%)	0%	52%	50%	29%	67%	41%
	ECCI 2	\$ 0	\$ 9	\$ 178	\$ 2.511	\$ 1.684	\$ 1.018,019
	(+/-%)	0%	52%	56%	49%	98%	31%
Pérdida neta s/rest.	Base	\$ 0	\$ 6	\$ 114	\$ 905	\$ 750	\$ 770,100
	ECCI 1	\$ 0	\$ 9	\$ 170	\$ 1.171	\$ 752	\$ 1.090,718
	(+/-%)	0%	52%	50%	29%	0%	42%
	ECCI 2	\$ 0	\$ 9	\$ 178	\$ 1.416	\$ 753	\$ 1.008,153
	(+/-%)	0%	52%	56%	56%	0%	31%
Retención	Base	0%	10%	10%	10%	10%	78%
	ECCI 1	0%	10%	10%	11%	10%	83%
	(+/-%)	0.00	0.00	0.00	0.10	0.00	5.33
	ECCI 2	0%	10%	10%	11%	10%	82%
	(+/-%)	0.00	0.00	0.00	0.13	0.05	4.20
ECCI 3	0%	10%	10%	11%	10%	83%	
	(+/-%)	0.00	0.00	0.00	0.11	0.00	5.20



Cuadro 12: Comparativo de pérdidas entre los ECCI y el escenario base (cantidades monetarias en miles de dólares).

da escenario con respecto al escenario base, ya sea en porcentaje o en puntos porcentuales. El ECCI-2 es el que induce el mayor incremento en las pérdidas, seguido del ECCI-3. Cabe resaltar que aún cuando el ECCI-1 para el Atlántico Norte tiene una proporción menor de huracanes intensos que el escenario base, se registra un aumento considerable en las pérdidas.

Finalmente, para analizar el impacto de un incremento simultáneo en la frecuencia e intensidad de los ciclones tropicales, se creó otro escenario (ECC-FI) que considera el modelo de frecuencia del ECCF y el modelo de intensidad del ECCI-2. El cuadro 13

muestra el resumen de las pérdidas simuladas con este escenario. Cabe resaltar que, aún suponiendo aumentos en la



PLANTEAR ESCENARIOS DE CAMBIO CLIMÁTICO NO ES SENCILLO, PERO SU USO ES CONVENIENTE ANTE LA INCERTIDUMBRE SOBRE LAS TENDENCIAS EN LOS EFECTOS CATASTRÓFICOS RELACIONADOS CON EL CLIMA

frecuencia y en la intensidad de los huracanes, el porcentaje de retención hasta el tercer cuartil sólo es del 10% del valor de las pérdidas. Con esto se muestra la importancia de evaluar la reducción de las pérdidas mediante la aplicación de un esquema de reaseguro adecuado.

CONCLUSIONES

La aplicación de modelos matemáticos y probabilísticos permite el estudio de fenómenos complejos con consecuencias potencialmente catastróficas como los terremotos y los huracanes, por lo que estas técnicas se convierten en una herramienta de gran utilidad para el



La información histórica sobre escenarios relacionados con el cambio climático es aún escasa.

		Min	Cuartil 1	Mediana	Media	Cuartil 3	Max
Pérdida bruta	Base	\$ 0	\$ 61	\$ 1.136	\$ 11.910	\$ 8.236	\$ 1.027,000
	ECCF (+/-%)	\$ 0	\$ 400	\$ 3.888	\$ 21.770	\$ 19.326	\$ 1.197,047
		0%	561%	242%	83%	135%	17%
Pérdida neta	Base	\$ 0	\$ 6	\$ 114	\$ 1.682	\$ 853	\$ 780,000
	ECCF (+/-%)	\$ 0	\$ 40	\$ 389	\$ 3.238	\$ 2.753	\$ 967,474
		0%	561%	242%	92%	223%	24%
Pérdida neta s/rest.	Base	\$ 0	\$ 6	\$ 114	\$ 905	\$ 750	\$ 770,100
	ECCF (+/-%)	\$ 0	\$ 40	\$ 389	\$ 1.857	\$ 833	\$ 956,750
		0%	561%	242%	105%	11%	24%
Retención	Base	0%	10%	10%	10%	10%	78%
	ECCF (+/-pp)	0%	10%	10%	11%	11%	81%
		0.00	0.00	0.00	0.48	1.48	3.03

Cuadro 13: Comparativo de pérdidas entre el ECC-FI y el escenario base (cantidades monetarias en miles de dólares).

sector asegurador. La baja frecuencia de este tipo de eventos, junto con la escasa información histórica fiable de la que se dispone, hace necesario que su análisis se lleve a cabo mediante simulaciones. En este trabajo se mostró cómo una adecuada modelación en combinación con métodos de simulación permite un estudio detallado de las pérdidas que puede tener una aseguradora utilizando un esquema de transferencia de riesgos que combina reaseguro proporcional y no proporcional. Los métodos de simulación utilizados permitieron no sólo el estudio de la información histórica, sino que ilustran cómo pueden modificarse las pérdidas de la aseguradora ante escenarios de cambio climático. El planteamiento de escenarios de cambio climático no es sencillo y requiere que se establezcan distintos supuestos que pueden resultar cuestionables. Sin embargo, su utilización es conveniente ante la incertidumbre sobre las tendencias en los eventos catastróficos relacionados con el clima. A medida que se tenga mayor información histórica y más fiable, se podrán realizar análisis y ejercicios de simulación aún más precisos que lleven a una mejor comprensión de las consecuencias de este tipo de eventos. ■



REFERENCIAS

- [1] **Agata, H.** (2007), El cambio climático: repercusiones económicas para el seguro, XIX Seminario Internacional de Seguros y Fianzas de la CNSF.
- [2] **Bernardo, S.M.** y **Smith, A. F. M.** (1994), Bayesian theory, Wiley and Sons.
- [3] **Clark, K. M.** (2002), The use of computer modelling in estimating and managing future catastrophe losses, Geneva Papers on Risk and Insurance, 27: 181-195.
- [4] **de Alba, E., Zúñiga, J.** y **Ramírez-Corso, M.** (2008), Measurement and transfer of catastrophic risks. A simulation analysis. Enviado a ASTIN Bulletin.
- [5] **Eeckhoudt, L., Gollier, C.** y **Lambson, V.** (1996), Risk: Evaluation, management and sharing, Harvester Wheatsheaf.
- [6] **Emanuel, K.** (2005), Increasing destructiveness of tropical cyclones over the past 30 years. Nature 436, 686-688.
- [7] **ERN** (2007), Estudio metodológico y sistema de cómputo sobre la estimación del valor de las pérdidas originadas por eventos hidrometeorológicos. Nota Técnica.
- [8] **Gilleland, E.** y **Katz, R. W.** (2005), Tutorial for the extremes toolkit: Weather and climate applications of extreme value statistics. <http://www.assessment.ucar.edu/toolkit>
- [9] **Goldberg, S.B., Landsea, C. W., Mestas-Nuñez, A.** y **Gray, W.M.** (2001), The recent increase in Atlantic hurricane activity: Causes and implications, Science Vol. 293, 474-479.
- [10] **Kerr, R.A.** (2008), Hurricanes won't go wild, according to climate models, Science Vol. 320, 999.
- [11] **Knutson, T.R.** y **Tuleya, R.E.** (2004), Impact of CO₂-induced warming on simulated hurricane intensity and precipitation: Sensitivity to the choice of climate model and convective parameterization. Journal of Climate 17(18), 3477-3495.
- [12] **Landsea, C.W.** (2005), Hurricanes and global warming, Nature 438(22), E11-E12.
- [13] **Landsea, C.W., Harper, B.A., Hoarau, K.** y **Knaff, J.A.** (2006), Can we detect trends in extreme tropical cyclones?, Science Vol. 313, 452-454.
- [14] **McNeil, A.J., Frey, R.** y **Embrechts, P.** (2005), Quantitative risk management. Concepts, techniques and tools, Princeton University Press, Princeton.
- [15] **Pielke, R.A.** (2005), Are there trends in hurricane destruction?, Nature 438, E11E13.
- [16] **Trenberth, K.** (2005), Uncertainty in hurricanes and global warming, Science Vol. 308, 1753-1754.
- [17] **Verlaak, R.** y **Beirlant, J.** (2003), Optimal reinsurance programs: An optimal combination of several reinsurance protections on a heterogeneous insurance portfolio, Insurance: Mathematics and Economics 33,2, 381-403.
- [18] **Webster, P.J., Holland, G.J., Curry, J.A.** y **Chang, H.-R.** (2005), Changes in tropical cyclone number, duration, and intensity in a warming environment, Science Vol. 309, 1844-1846.
- [19] **Woo, G.** (1999). The mathematics of natural catastrophes, Imperial College Press.