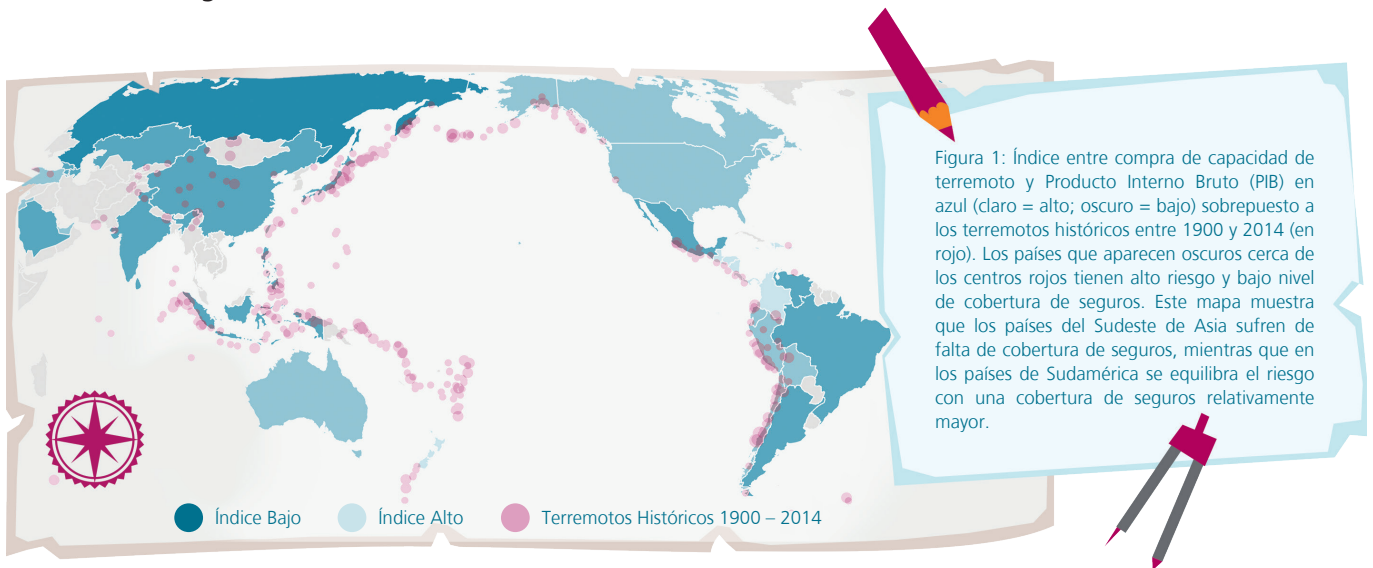




GUÍA SOBRE TERREMOTOS: PARTE I

Una Introducción a los Terremotos: Por Qué y Dónde Ocurren y Cómo se Miden



Generalidades

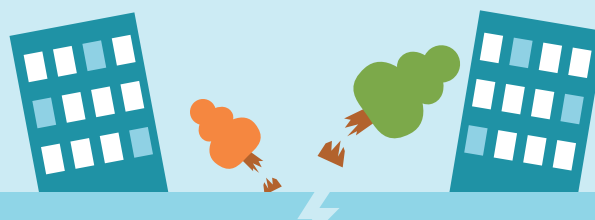
Han pasado cinco años desde la crítica serie de terremotos entre el 2010 y el 2011 en Haití, Chile, Nueva Zelandia y el Japón. Este aniversario es oportuno para evaluar el nivel actual de entendimiento del riesgo de terremoto, así como el estado actual de los modelos utilizados para administrar dicho riesgo dentro de la industria de los (rea)seguros.

Al tanto que en la década del 2000 se presentaron múltiples pérdidas, y algunas sorpresas, desde huracanes en grandes concentraciones aseguradas a lo largo de la costa este de los EE.UU., en tiempos más recientes terremotos muy dañinos han acaparado los titulares.

Muchos de estos eventos de grandes proporciones tuvieron un componente de sorpresa al compararlos con los modelos utilizados para evaluar el riesgo. La combinación entre una población cada vez más urbanizada y rápidamente creciente, una economía global cada vez más interconectada y recientes iniciativas de ampliación de la cobertura de seguros indica que cada vez es más importante entender este peligro, los factores que lo impulsan y los modelos que utilizamos.

En términos económicos globales, los terremotos son un componente significativo de las pérdidas debidas a desastres naturales. En un informe del 2013, la Oficina de las Naciones Unidas para la Reducción del Riesgo de Desastres estimó que los desastres naturales le han costado a la economía global US\$ 2,5 billones (1012) desde el año 2000, y que en el futuro el promedio de pérdidas sólo por terremotos será de unos US\$ 100.000 millones al año, seguido por los daños por vientos ciclónicos, con un promedio de US\$ 80.000 millones al año. Del potencial de pérdidas totales por terremoto a nivel global, el 76% se concentra en el Asia, el 8% en Europa, el 9% en Norteamérica y el 5% en América Latina¹.

“ESTOS EVENTOS HAN RESALTADO LA VULNERABILIDAD DE LAS EDIFICACIONES, LA INFRAESTRUCTURA Y LA SOCIEDAD ANTE LOS TERREMOTOS, ASÍ COMO LA IMPORTANCIA DE ESTE PELIGRO PARA LA INDUSTRIA ASEGURADORA.”



Sin embargo, en términos de seguros, la penetración del seguro de terremoto se estima en menos del 10% a nivel mundial², con grandes disparidades entre países. En la Figura 1 arriba se ilustra la proporción entre la cobertura de terremoto adquirida y el PIB, así como la proximidad a zonas de alto riesgo, por países alrededor del mundo. Se puede ver que varios países con economías medianas, especialmente en el Sudeste de Asia, están subasegurados con respecto del alto nivel de peligro.

Incluso en los EE.UU., donde la penetración de los seguros es generalmente alta, el índice de penetración del seguro de terremoto sigue siendo relativamente bajo: se estima que en tan sólo 1 de cada 10 viviendas en el Estado de California tienen cobertura de terremoto, lo que equivale a cerca de la mitad del nivel de cobertura al momento de presentarse el terremoto de Loma Prieta en 1989, que golpeó el área de la Bahía de San Francisco. En forma contrastante, gracias a la alta penetración de los seguros en Nueva Zelanda, como resultado de un fondo de terremoto administrado por el gobierno, un 80% de las pérdidas económicas causadas por el terremoto de Christchurch estaban amparadas por seguros, comparado

apenas el 17% en el caso del terremoto de Tohoku, en el Japón.

Puede que el aumento de la riqueza y la penetración de los seguros alrededor del mundo, combinado con un creciente reconocimiento de las ventajas de los seguros como instrumento preventivo que les ayuda a las comunidades y los negocios a reconstruirse luego de desastres, cambie este panorama en el futuro. Se están presentando iniciativas desde las Naciones Unidas, el Banco Mundial y otras organizaciones, tales como el G7 (Grupo de las 7 Mayores Economías del Mundo), con su Iniciativa de Seguro de Riesgo Climático, anunciada en junio del 2015, dirigidas a aumentar la adquisición de seguros contra catastróficas naturales.

En este boletín técnico de tres partes, revisamos las características físicas de los terremotos y el panorama global del riesgo de terremoto; analizamos los mayores eventos; y explicamos los modelos catastróficos de terremoto que se utilizan ampliamente en toda la industria aseguradora para evaluar dicho riesgo. Comenzamos en la Parte I con una revisión de las causas de los terremotos, los lugares donde ocurren y la forma como se miden.

¿Qué es un Terremoto?

Cada 30 segundos ocurre un terremoto en algún lugar del planeta. Sin embargo, los terremotos lo suficientemente fuertes para tener un efecto notorio

unas ocurren tan sólo 100 veces al año. En la siguiente Tabla 1 aparece una selección de los terremotos más destructivos que se han registrado hasta el momento.

Tabla 1: Algunas medidas extremas (costo, fatalidades y tamaño) asociadas con los terremotos

REGISTRO	AÑO	UBICACIÓN	PARÁMETRO	VALOR	FUENTE
Terremoto Más Costoso	2011	Japón	Costo Económico	US\$ 250.000 millones	Gabinete Ministerial Japonés
Réplicas Más Costosas	2011	Nueva Zelanda	Costo Económico	US\$ 16.000 millones	Instituto de Información de Seguros
Terremoto Más Mortal	1556	China	Fatalidades	830.000	USGS (Servicio Geológico de los EE.UU.)
Década Más Mortal	2001-2010	India, Irán, Sumatra, Pakistán, China, Haití	Fatalidades	700.000	Holzer y otros (2013) ³
Mayor Liberación de Energía	1960	Chile	Magnitud de Momento (Mw)	9,5	USGS
Mayores Réplicas	2005	Sumatra	Magnitud de Momento (Mw)	8,7	EOS (Sistema de Observación de la Tierra), publicado el 3 de junio del 2011.

Los terremotos los causa una liberación súbita de energía en la corteza terrestre. La tensión dentro de la corteza terrestre aumentan con el tiempo hasta que supera la resistencia de la

la roca, que falla rompiéndose a lo largo de una falla, o debilidad, en la corteza terrestre.

1 - UNISDR (Estrategia Internacional de las Naciones Unidas para la Reducción de Desastres), 2013. Del Riesgo Compartido al Valor Compartido: El Caso de Negocios de la Reducción del Riesgo de Desastres. Informe de Evaluación Global sobre la Reducción del Riesgo de Desastres. Ginebra, Suiza.

2 - Linnerooth – Bayer, J. y Mechler, R., 2008. Seguro Contra Pérdidas por Desastres Naturales en Países en Desarrollo. Sondeo Socioeconómico Mundial (WESS) de las Naciones Unidas No. 85

3 - Holzer, T.L. y Savage, J.C., 2013. Fatalidades por Terremoto y Población Global. Espectros Sísmicos: Febrero 2013, Vol. 29, No. 1, pp. 155 – 175



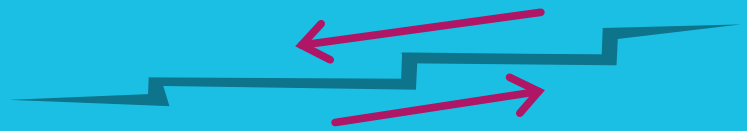
¿Qué Tipos de Movimiento se Producen?

Se producen dos tipos de movimiento:

Movimiento vibratorio, u ondas sísmicas, que se irradian desde la fuente del terremoto.

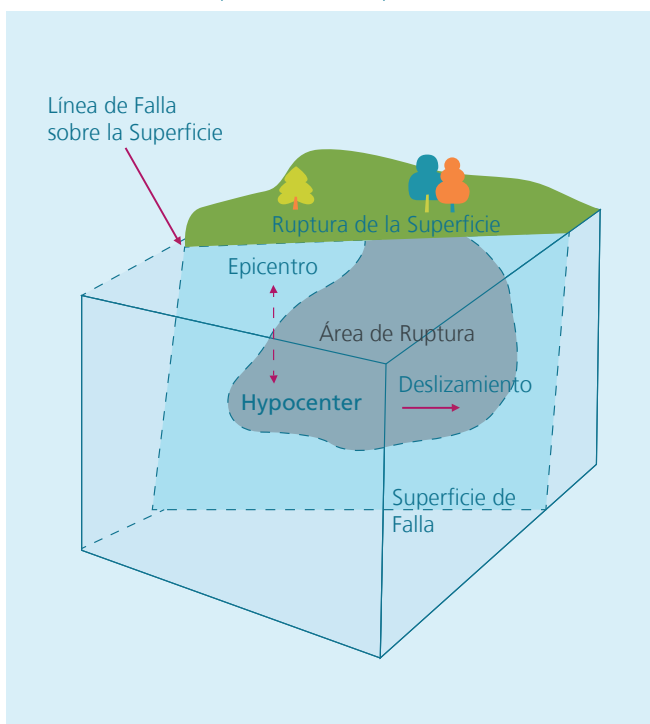


Deformación o desplazamiento permanente en toda la falla



Puede que la deformación rompa la superficie produciendo un desplazamiento horizontal o vertical (también conocido como “escarpe”). Sin embargo, en muchos terremotos, la superficie terrestre realmente no se rompe, así que la deformación permanente se limita a la combadura de la superficie terrestre.

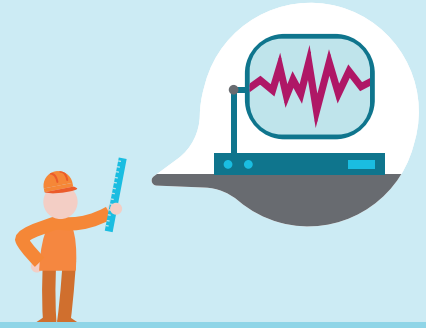
Figura 2: Ilustración de la mecánica de un terremoto. El hipocentro es donde se origina la ruptura dentro de la falla y el epicentro es el punto que queda directamente encima del hipocentro sobre la superficie del terreno.



Vibraciones

Las frecuencias de las vibraciones producidas por los terremotos van desde menos de 0,2 Hz hasta más de 20 Hz, justo debajo del rango de las vibraciones sonoras. Todas las estructuras construidas tienen su propia frecuencia de resonancia, que depende de las características de construcción, tales como la altura y los materiales con los que esté construida.

Los daños de una edificación dependen tanto de sus propiedades como las de los movimientos sísmicos en el terreno, y los mayores daños se presentan cuando la edificación se somete a vibraciones cercanas a su frecuencia de resonancia natural. Los edificios altos son más vulnerables a las vibraciones de baja frecuencia. Los edificios bajos vibran a frecuencias más altas y no se mecen mucho. Las vibraciones de baja frecuencia pueden viajar grandes distancias y se sienten en los edificios altos pero no los bajos. Por ejemplo, las personas que trabajan en edificios altos en el Japón generalmente reportan que éstos se mecen como respuesta ante terremotos que ocurren incluso lejos de la ciudad.



¿Cómo y Dónde se Generan los Terremotos?

Según la teoría aceptada de tectónica de placas, la superficie terrestre está compuesta por placas, o continentes, encima de un manto interior más fluido.

Tales continentes se mueven en relación con los demás mediante un proceso conocido como deriva continental. Por ejemplo, Europa y Norteamérica se alejan mutuamente (movimiento divergente) creando zonas de grieta como se puede ver en Islandia, donde el Asia y la India subcontinental se acercan mutuamente (movimiento convergente), lo que resulta en la Cordillera del Himalaya. Dos placas que se deslizan frente a frente conforman un límite de placa de transformación, tal como la mal afamada Falla de San Andrés a lo largo de la costa oeste de los EE.UU. Bajo los océanos se forma corteza nueva por la actividad volcánica a lo largo de las cordilleras interoceánicas donde las placas se alejan las unas de las otras. El flujo saliente se enfría y espesa gradualmente en un proceso conocido como expansión del lecho marino. Cuando las placas oceánicas se encuentran con las placas continentales, la placa oceánica, que es más densa, normalmente se zambulle bajo la placa continental, que es más liviana, lo que se conoce como subducción.

Más del 95% de la energía sísmica liberada a nivel global se presenta a lo largo de los límites de las placas tectónicas y el 85% corresponde a zonas de subducción. En la Figura 3, abajo, se ilustra el hecho que la mayoría de los terremotos se concentran a lo largo de los principales límites de placas tectónicas, particularmente los eventos de mayor magnitud.

Sin embargo, la deformación de la superficie terrestre también puede darse a través de placas continentales más antiguas causando terremotos intraplacas, como sucede a lo largo del cinturón Transalpino que se extiende desde el occidente del Mediterráneo a través del Medio Oriente hasta la India subcontinental, dentro de la zona sísmica de Nuevo Madrid en el sudeste de los EE.UU., que son los causantes de daños sísmicos en toda Australia, como los resultantes del terremoto de Newcastle con una magnitud de 5,4 Mw en 1989. Por lo tanto, no todo el riesgo de terremoto está asociado con los principales límites de falla, así que se deben considerar todas las fuentes posibles dentro de un modelo sísmico, con el fin de evitar la subestimación del riesgo alejado de los límites de las placas tectónicas.

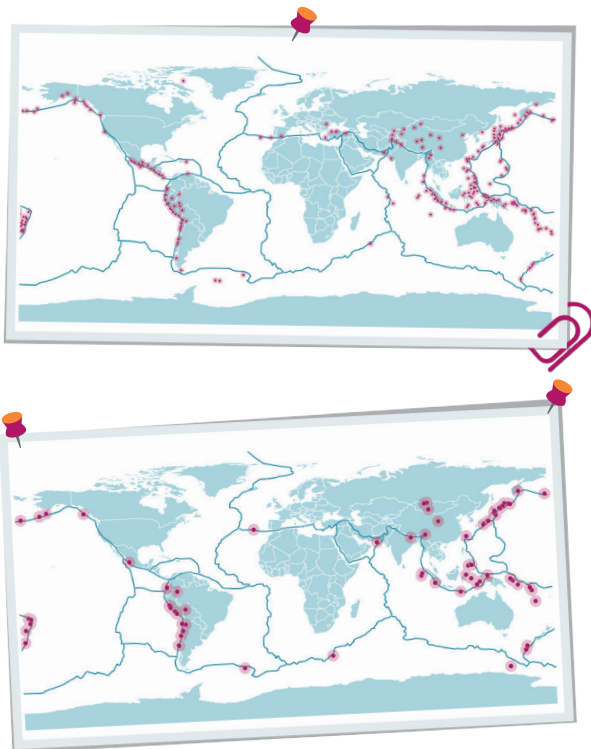
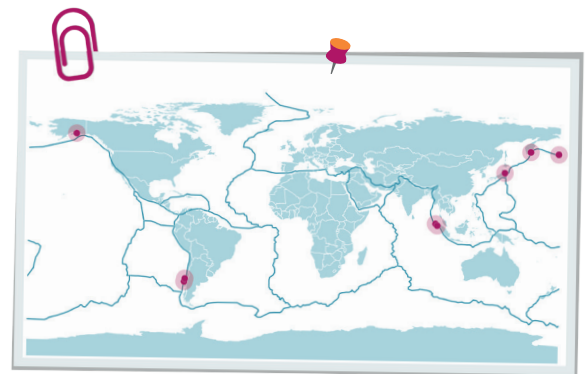


Figura 3:
Terremotos Históricos desde 1900
7,5 a 8,0 Mw (arriba a la izquierda)
8,0 a 8,6 Mw (abajo a la izquierda)
y **> 8,6 Mw** (arriba a la derecha)

a lo largo de los principales límites de placas tectónicas. Estas gráficas demuestran que la actividad sísmica histórica se concentra a lo largo de los principales límites entre placas, representados con líneas rojas, pero que también se ubica dentro de tales límites, como en el caso de la China (Fuente: GEM).





¿Cómo se Miden los Terremotos?

Existen diferentes medidas del tamaño y el peligro de los terremotos. La magnitud es una medida de la cantidad de energía liberada; la aceleración pico del terreno (PGA) es una medida del movimiento del suelo; y la intensidad es una medida cualitativa de los daños causados.

La mayoría de la gente está familiarizada con la escala de Richter, pero en realidad hay varias escalas de magnitud, basadas en diferentes técnicas de medición.

La escala de Richter, o de Magnitud Local (ML), se desarrolló originalmente en 1935, y mide la máxima amplitud de onda registrada por un tipo específico de sismógrafo a una distancia conocida del terremoto.

Sin embargo, esta escala no es precisa para magnitudes mayores que 8. La magnitud de onda de cuerpo (Mb) se determina midiendo la amplitud de las ondas P longitudinales (movimiento paralelo a la dirección de desplazamiento, como las ondas sonoras) que llegan primero luego de un terremoto. La magnitud de onda superficial (Ms) se determina midiendo la amplitud de las ondas S transversales (movimiento perpendicular a la dirección de desplazamiento, como las ondas de luz). La medida más confiable del tamaño de un terremoto es la magnitud de momento (Mw), que es una medida de la energía total liberada, basada en mediciones de la distancia del movimiento a lo largo de una falla o fractura, y el área superficial de dicha falla o fractura. Nótese que es común que las magnitudes se corrijan con posterioridad a un evento luego de una revisión de los datos por parte de un sismólogo.

A manera de ejemplo de las diferencias que se pueden presentar entre dichas escalas, el valor ML del terremoto de L'Aquila que se reportó inicialmente en el 2009 fue de 5,8, media unidad menos que su valor Mw de 6,3. Tales variaciones son comunes como reflejo de las diferencias en la forma como se han calibrado las escalas de magnitud, al igual que variaciones en las amplitudes de diferentes ondas sísmicas debidas a la orientación de la ruptura y las diferencias geológicas.

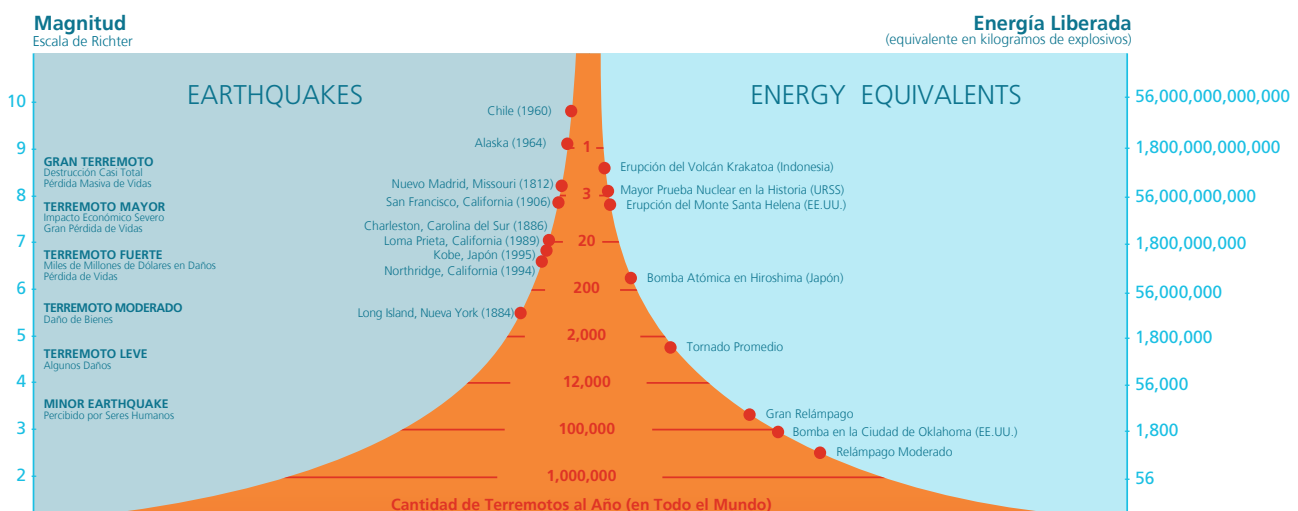
Las escalas de magnitud son logarítmicas debido al amplio rango de energías sísmicas: cada aumento integral (es decir +1) en la magnitud representa un aumento 10 veces mayor en la amplitud, con una energía liberada aproximadamente 32 veces mayor. Esto significa que un terremoto M4 libera energía equivalente a 56.000 kilogramos de explosivos, al tanto que un terremoto M5 libera energía equivalente a 1'800.000 kg de explosivos, como se ilustra en la Figura 4 abajo.

En los comunicados, generalmente los terremotos se categorizan así:

- > "pequeños" con magnitudes menores que 5,0;
- > "moderados" con magnitudes hasta 6,5;
- > "grandes" con magnitudes hasta 8,0;
- > "mayores" con magnitudes superiores a 8,0.

La magnitud de un terremoto guarda relación con la longitud de la ruptura de la falla. El área de la falla que se rompió en el terremoto de Nepal de 7,8 Mw era unas 250 veces mayor que la del terremoto de Christchurch de 6,1 Mw en febrero del 2011.

Figura 4: Equivalencia de energía sísmica liberada por una serie de terremotos de diferentes magnitudes (<http://www.mgs.md.gov/seismic/education/no3.html>)



En la siguiente Tabla 2 se ilustra el tamaño, la longitud de falla y la frecuencia típicas asociadas con un rango determinado de magnitudes.

Tabla 2: Tamaño y recurrencia típicos de los terremotos.

Magnitud	Falla		Índice Anual Mundial
	Longitud (km)	Deslizamiento (m)	
9.0	800	8	<1
8.0	250	5	3
7.0	50	1	20
6.0	10	0.2	200
5.0	3	0.05	2000

La aceleración pico en el terreno (PGA) resultante se mide en términos de fuerza gravitacional, o unidades de "g". Generalmente la aceleración en el terreno disminuye al aumentar la distancia desde la falla, pero los valores de aceleración en el terreno muestran gran variación incluso dentro de áreas pequeñas. Las variaciones en la geología bajo la superficie inciden sobre los valores de PGA, que resultan tan diferentes al registrarse durante los terremotos.

Por ejemplo, en el terremoto de Christchurch, Nueva Zelandia, de 6,1 Mw, la aceleración pico en el terreno fue de 2,2 g, registrada en la Escuela Primaria del Valle Heathcote. En el terremoto de Nepal, de 7,8 Mw, la mayor aceleración registrada fue de 0,6 g. En el terremoto de Canterbury, Nueva Zelandia, de 7,0 Mw en el 2010, la aceleración fue de 1,25 g. La mayor PGA registrada hasta la fecha es de 2,7 g, en la prefectura de Miyagi luego del terremoto de Tohoku de 9,0 Mw en el 2011.

¿Qué es un "Gran" Terremoto?

Como se puede observar, los grandes terremotos producen grandes longitudes de ruptura y cantidades de deslizamiento y, afortunadamente, son bastante raros.

"LA INTENSIDAD CUANTIFICA LOS EFECTOS DE UN TERREMOTO SOBRE LA SUPERFICIE TERRESTRE, LAS PERSONAS Y LAS ESTRUCTURAS HECHAS POR EL HOMBRE."

La escala de intensidad más ampliamente utilizada es la de Mercalli Modificada (MMI), cuyo rango va desde I (no se siente) hasta XII (destrucción total). Es reflejo de las diferencias en elementos tales como la profundidad del terremoto, las condiciones locales, la población y las normas de construcción. Esto quiere decir que un terremoto con la misma magnitud puede causar diferentes niveles de daños dependiendo de dónde se presente. Los orígenes de la escala MMI se remontan a finales de los años 1800s, adoptando su formato actual de 12 puntos en la década de 1930. En la siguiente tabla se describe la Escala de Intensidad de Mercalli Modificada (MMI):

Tabla 3: Versión abreviada de la escala MMI. Fuente: Servicio Geológico de los Estados Unidos (<http://earthquake.usgs.gov/learn/topics/mercalli.php>)

INTENSIDAD	SACUDIDA	DESCRIPCIÓN / DAÑOS
1	No se siente	No se siente movimiento ni agitación excepto unas pocas personas bajo ciertas condiciones favorables específicas.
2	Débil	Únicamente lo sienten unas cuantas personas en estado inmóvil, especialmente en pisos altos de edificios.
3	Débil	Lo sienten bastante claro las personas en áreas interiores, sobre todo en pisos altos de edificios. Muchas personas no lo reconocen como un terremoto. Puede que los automotores aparcados se mezan un poco. Vibraciones similares a las generadas por los camiones. Se puede estimar la duración.
4	Light	Muchas personas lo sienten en áreas interiores y algunas afuera si es de día. De noche algunas personas se despiertan. Platos, ventanas y puertas hacen ruido y las paredes pueden agrietarse. Se siente como si un camión pesado se estrellara contra la edificación.
5	Moderate	Lo sienten casi todas las personas; muchas se despiertan. Algunos platos y ventanas se rompen. Los objetos inestables se vuelcan. Los relojes de péndulo se detienen.
6	Strong	Todas las personas lo sienten; muchas se asustan. Algunos muebles pesados se mueven. Puede que el estuco se desprenda. Daños leves.
7	Very strong	Daños insignificantes en edificaciones de buen diseño y construcción; entre leves y moderados en estructuras ordinarias bien construidas; daños considerables en estructuras mal construidas o diseñadas; y algunas chimeneas rotas.
8	Severe	Daños leves en estructuras especialmente bien diseñadas; daños considerables en grandes edificios ordinarios con derrumbes parciales; grandes daños en estructuras mal diseñadas; caída de chimeneas, pilas, columnas, monumentos y muros; y muebles pesados volcados.
9	Violent	Daños considerables en estructuras especialmente bien diseñadas; estructuras con marco bien diseñadas desplomadas; grandes daños en edificios significativos con derrumbes parciales; y edificaciones sacadas fuera de sus cimientos.
10	Extreme	Algunas estructuras de madera bien construidas quedan destruidas; la mayoría de las estructuras de marco y mampostería quedan destruidas hasta los cimientos; y los ferrocarriles quedan doblados.

Un Concepto en Extinción

El terremoto característico: Parkfield, California. Un concepto importante en la ciencia sísmica ha sido el de los terremotos característicos. Éste se derivó de la observación de eventos similares repetidos en algunas fallas y la aparente relación entre esos terremotos y las características físicas de esas fallas. Sin embargo, tal parece que ese concepto se está volviendo cada vez más obsoleto teniendo en cuenta los eventos recientes.

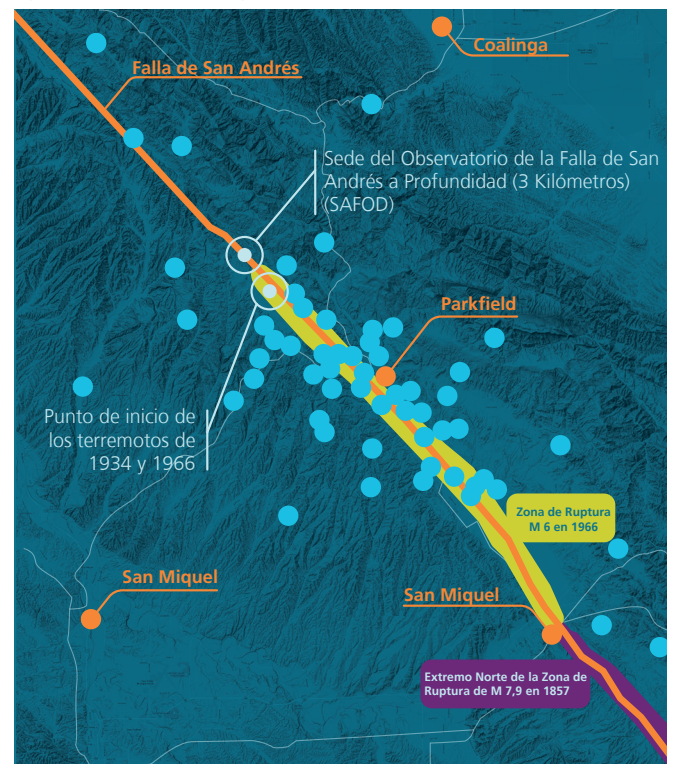
“ESTE CONCEPTO FUE EL FUNDAMENTO DEL EJERCICIO DE PREDICCIÓN CON BASE EN EL TERREMOTO DE PARKFIELD.”

Los terremotos de tamaño moderado, con una magnitud de aproximadamente 6, se han presentado en la sección Parkfield de la falla de San Andrés con intervalos más o menos regulares, en 1857, 1881, 1901, 1922, 1934 y 1966, lo que sugería un patrón de rupturas cada 22 años. Los sismos premonitores de tamaño similar también se presentaron 17 minutos antes de cada uno de los terremotos que ocurrieron en Parkfield en 1934 y 1966. Tal “evento característico” se predijo que volvería a ocurrir antes de 1933 con una probabilidad del 95%. Desafortunadamente, aunque sí tuvo una magnitud similar, el evento previsto no sucedió hasta el 2004, 11 años después de lo predicho y sin previo aviso o un sismo premonitor obvio.



Los supuestos que sustentan el modelo de terremoto característico – es decir, que el terremoto característico es el mayor posible en un segmento dado y presenta recurrencia periódica – pueden conducir a una sobrestimación de las frecuencias de los terremotos con magnitud característica. Esto va acompañado de una subestimación de la máxima severidad y frecuencia de los eventos mayores⁴. Ejemplos de lo anterior son los terremotos de Sumatra en el 2004 y de Tohoku en el 2011, cada uno de los cuales traspasó varios límites de segmentos, un escenario no previsto en el modelo de terremoto característico.

Figura 5: La ubicación del segmento Parkfield sobre la falla de San Andrés.



4 - Kagan, Y. Y., Jackson, D. D. y Geller, R. J., 2012. Modelo de Terremoto Característico 1884 – 2011 R.I.P. Cartas de Investigación Sismológica 83 (6): 951 – 953.

Resumen

Al tanto que los índices de penetración del seguro de terremoto son relativamente bajos a nivel global, se están evaluando asociaciones público-privadas con el fin de extender las coberturas de seguros para desastres naturales y los recientes terremotos han resaltado el hecho que se pueden presentar significativas pérdidas aseguradas.

La serie de grandes terremotos que se han presentado durante la década pasada han cuestionado las teorías tradicionales tales como la del modelo de terremoto característico. Ahora están avanzando investigaciones para entender la dinámica de las zonas de subducción alrededor del mundo, en un esfuerzo por actualizar nuestro entendimiento global del riesgo de un potencial terremoto.

En la segunda edición de nuestra serie de 3 partes, nos centraremos en la evaluación del riesgo. Vamos a referirnos a una serie de eventos sísmicos históricos que son notables para la modelación y la industria y analizaremos los posibles vínculos entre terremotos. Vamos a revisar el debate de la predictibilidad de los terremotos, utilizando mapas de peligros sísmicos y pronósticos probabilísticos, y sus aportes a la gestión de riesgos y las evaluaciones para efectos de mitigación. En la tercera parte trataremos la aplicación de modelos catastróficos probabilísticos y su desarrollo, junto con sus fortalezas, limitaciones y áreas de futuro desarrollo para la modelación del riesgo de terremoto.

“EL ENTENDIMIENTO DE LO QUE DESENCADENA LOS TERREMOTOS Y LOS LUGARES DONDE PUEDEN OCURRIR, ASÍ COMO LA TERMINOLOGÍA Y LOS MÉTODOS DE MEDIR LA SEVERIDAD SÍSMICA, SON FUNDAMENTALES PARA COMPRENDER EL RIESGO Y LOS MODELOS QUE UTILIZAMOS.”



Dr. CLAIRE SOUCH

Líder de Desarrollo y Evaluación de Modelos, SCOR Global P&C

csouch@scor.com

Para más información, por favor comuníquese con nuestro equipo:

Dr. Guillaume POUSSE, gpousse@scor.com

Dr. Kirsten MITCHELL-WALLACE, kmitchell-wallace@scor.com

POR FAVOR VISÍTENOS EN SCOR.COM

SCOR Global P&C
5, avenue Kléber
75795 Paris Cedex 16
France
scorglobalpc@scor.com

PARA CONSEGUIR LA COLECCIÓN COMPLETA DE BOLETINES TÉCNICOS, POR FAVOR DIRÍJASE A SCORGLOBALPC@SCOR.COM

Editor: SCOR Global P&C Estrategia y Desarrollo
ISSN: 1967-2136

Ninguna parte de esta publicación puede reproducirse en forma alguna excepto con previo permiso del editor. En SCOR hemos hecho todos los esfuerzos razonables por asegurarnos que la información proporcionada mediante nuestras publicaciones sea acertada al momento de incluirla y no asumimos responsabilidad alguna por cualquier inexactitud u omisión.

© Noviembre 2015 • Diseño y Producción: Periscope