



Theoretical methodological aspects about earthquake prediction

Liber Galbán-Rodríguez ^a

^a Facultad de Construcciones, Departamento de Ingeniería Hidráulica. Universidad de Oriente, Santiago de Cuba, Cuba. liberg@uo.edu.cu

Received: February 22th, 2021. Received in revised form: February 27th, 2021. Accepted: March 01st, 2021.

Abstract

Earthquakes are the geological events that have generated the most transformations in the history of our planet. Although to date scientists have not been able to predict or forecast an earthquake, the detailed knowledge of its genesis, the constant and combined application of the different theories and methods that have been designed for these tasks; as well as, the application of a set of regional studies and governmental, local organizational and executive measures could reduce the high-risk situations that exist today in several countries. On this occasion, a tour of the main edges of these issues is made, starting from its conceptual framework, some of the main earthquake prediction theories invented by man to date are reviewed, so that scientists and decision-makers at the international level They can apply the methodological precepts exposed to their daily work.

Keywords: prediction; earthquake; methodology; forecast; seism.

Aspectos teórico-metodológicos sobre la predicción de terremotos

Resumen

Los terremotos son los eventos de origen geológico que más transformaciones han generado en la historia de nuestro planeta. Si bien hasta la fecha los científicos no han podido predecir o pronosticar un terremoto, el conocimiento detallado de su génesis, la aplicación constante y combinada de las distintas teorías y métodos que se han diseñado para estas tareas; así como, la aplicación de un conjunto de estudios regionales, medidas organizativas y ejecutivas gubernamentales y locales, podrían reducir las altas situaciones de riesgo que hoy existen en varios países.

En esta ocasión se realiza un recorrido por las principales aristas de estas temáticas, partiendo de su marco conceptual, se revisan algunas de las principales teorías de predicción de terremotos inventadas por el hombre hasta la fecha, de manera que los científicos y decisores a nivel internacional puedan aplicar los preceptos metodológicos expuestos a su trabajo diario.

Palabras clave: predicción; terremoto; metodología; pronóstico; sismo.

1. Introducción

Los sismos o terremotos, por sus características, constituyen sin lugar a dudas uno de los fenómenos naturales más importantes debido a la rapidez de su aparición, sin que nada prácticamente indique su presencia y los efectos secundarios que producen en los suelos y edificaciones, impactando negativamente en la vida del hombre y sus bienes. La ocurrencia cada vez más frecuente de desastres ocasionados por los sismos, está poniendo en cuestionamiento la sostenibilidad de las ciudades y poblados, al generar destrucción masiva de estructuras físicas, pérdidas de vidas humanas, materiales y económicas incalculables, interrupción de actividades en distintos sectores y, en algunos casos, crisis sucesivas en el estado de salud de las personas sobrevivientes; además de la pérdida de capacidad de los gobiernos para recuperarse del impacto en un tiempo

relativamente corto. Lo cierto es que su número cada año se dispara (Tabla 1).

Hasta la actualidad la ciencia no ha encontrado fórmulas o maneras idóneas para predecir los terremotos con exactitud, lo único que saben los científicos hasta la fecha es cuáles son las zonas de conflicto y la frecuencia aproximada de los terremotos más intensos. Independientemente a estas consideraciones, lo cierto es que sólo una vez en la historia reciente los sismólogos lograron anticipar con éxito un gran terremoto y establecer comunicación y medidas gubernamentales para evacuar a la población.

La predicción ocurrió días antes del 4 de febrero de 1975, cuando un destructivo terremoto de 7,3 Richter azotó a la localidad de Haicheng, en el noreste de China, dañando casi la totalidad de las estructuras de la urbe. Distintos fenómenos

Tabla 1.

Números de terremotos mundialmente entre el 2007–2018 (11 años).

Rango de la magnitud	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018
8,0–9,9	1	1	1	2	2	2	1	1	1	1	1
7,0–7,9	14	12	17	21	19	15	36	11	19	16	10
6,0–6,9	178	168	144	151	204	129	123	143	127	130	84
5,0–5,9	2074	1768	1896	1963	2271	1412	1402	1577	1413	1550	904
4,0–4,9	12080	12292	6805	10164	13303	10990	9795	14941	13239	13701	8769
Total	14350	14240	8862	12300	15798	12548	11341	16674	14797	15397	9785

Fuente: [1].

inusuales fueron algunas de las señales de alerta. Unas horas antes se había emitido una inédita alerta por especialistas del servicio geológico chino ubicado en la localidad de Yingkou advirtiendo de la catástrofe, por lo que la población fue evacuada y la mayoría de los habitantes logró sobrevivir.

A principios de los años 70 del siglo XX estaba en boga la “teoría de la dilatación”, que indica que cuando se comprime una roca (tal y como ocurre en los límites de fallas, principalmente las que forman los sistemas de fallas de los límites de las placas), ésta cambia sus propiedades físicas, originando una serie de señales que son consideradas precursoras de los terremotos. Estos indicios se pudieron observar en Haicheng antes del sismo gracias al monitoreo que realizaron expertos liderados por Cao Xianqing, jefe de la Oficina Sismológica de Yingkou. Entre los fenómenos que se detectaron en los días previos, se cuentan cambios en la conductividad eléctrica de la tierra y en la velocidad de propagación de las ondas P y S (primarias o compresionales, y secundarias o transversales), así como alteraciones en el nivel de gas radón [2]. También se observó un aumento en el nivel del agua de los pozos, “porque cuando se comprime una roca, el agua que está contenida al interior de la roca, que actúa como una esponja, aflora”. Otras situaciones que llamaron la atención de los científicos, fueron cambios en el comportamiento de los animales. Era febrero en el hemisferio norte, hacía mucho frío, y algunos animales que hibernan, como cierto tipo de culebras, salieron a la superficie y murieron congeladas. [2]

Lo determinante para decretar la evacuación de la población fue la ocurrencia de una serie de “foreshocks” o temblores pequeños, considerados “precursores” de terremotos. Durante la madrugada del 4 de febrero de 1975 se registran varios de estos sismos, incluyendo uno que alcanzó una magnitud 5,1 Richter a las 7:51 AM. Poco después, a las 8:15 AM, se realizó una reunión de emergencia en la que el científico Cao Xianqing advirtió a las autoridades que un gran terremoto podía ocurrir ese mismo día, por lo que se debían adoptar medidas. Tras la cita, el gobierno local dispuso un amplio operativo para evacuar a la población, incluyendo las zonas urbanas y rurales, y al mediodía ésta ya se había concretado. A esa misma hora, Cao notó que había disminuido la actividad telúrica, lo que para él significaba que se comenzaba a acumular la energía final antes del gran terremoto que finalmente ocurrió a las 7:36 PM y fue de magnitud 7,3 Richter. [2]

De acuerdo a los reportes de la época, unas 2 mil personas murieron a causa del terremoto en Haicheng, pero de no haberse decretado la evacuación de la población se estima que la cifra habría superado las 100 mil víctimas. Éste es el

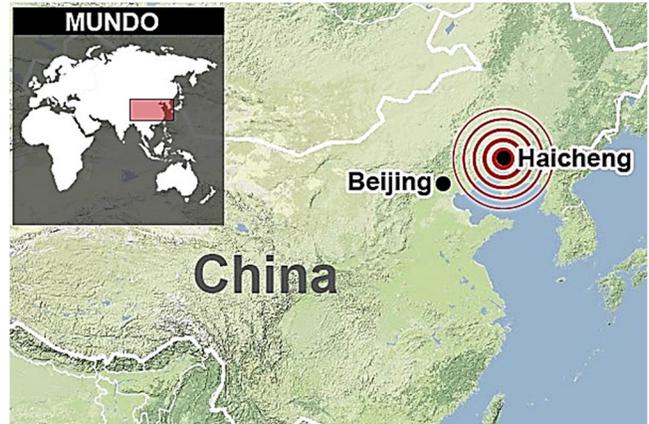


Figura 1. Mapa de localización de la localidad de Haicheng, en China, impactada por un fuerte terremoto en 1975.

Source: https://centinela66.files.wordpress.com/2012/07/mundo_162426.jpg



Figura 2. Imágenes de los daños causados por el impacto en 1975 a la localidad de Haicheng, en China, del único terremoto que la ciencia ha podido predecir.

Source: https://historiaybiografias.com/archivos_varios4/terremoto.jpg. <https://ugc.kn3.net/i/760x/http://aslcrstian.files.wordpress.com/2010/11/terremoto-de-china-asia2.gif>

único caso de predicción de un terremoto que ha sido reconocido por el mundo científico como verdaderamente certero. Haicheng fue el emblema de que la predicción de terremotos era posible y, que era cuestión de observar ciertos fenómenos para tener la respuesta. En ese momento todos creían que el problema de la predicción estaba resuelto, pero este entusiasmo duró muy poco tiempo. (Figs. 1 y 2)

Al año siguiente, el 28 de julio de 1976, en Tangshan, a sólo 400 kilómetros de Haicheng, se produjo otro terremoto de 7,5 Richter que causó la pérdida más grande de vidas humanas que se conoce tras un terremoto: 250 mil personas fallecieron según fuentes chinas, y 800 mil, de acuerdo a estimaciones occidentales. Este terremoto no se pudo anticipar, pese a que fue parecido al de Haicheng y a que se estaba realizando el mismo tipo de monitoreo. La diferencia es que esta vez no se presentó ninguno de los fenómenos

precursores que estuvieron en el primer caso [2]. Con este episodio quedó demostrado que estos fenómenos llamados precursores, no siempre se presentan antes de un temblor.

Tras el fracaso de esta teoría, la comunidad científica se desmotivó. De lo que se creía era un logro, que ya estaba prácticamente el problema resuelto, se pasó a una situación en la que nuevamente hay muchas incertidumbres. Pese a ello, en algunas zonas altamente sísmicas del planeta aún se realizan experimentos asociados a esta hipótesis de la dilatación de las rocas.

Se han producido muchas teorías y predicciones pseudocientíficas. La aleatoriedad natural de los terremotos y la actividad sísmica frecuente en ciertas áreas, pueden ser utilizadas para hacer "predicciones" que generen credibilidad injustificada. Generalmente, tales predicciones dejan ciertos detalles sin especificar, lo que incrementa la probabilidad de que los vagos criterios de predicción se reúnan y se ignoren los terremotos que no fueron previstos. A continuación, se refieren algunos de los preceptos teórico- metodológicos empleados hoy día para la predicción de terremotos.

2. Generalidades de la predicción de terremotos

La predicción del terremoto tiene sus raíces en la antigüedad. Estas predicciones se han basado en una variedad de fenómenos sísmicos y no sísmicos. Varias culturas antiguas consideraban que los terremotos y otros fenómenos naturales peligrosos (erupción volcánica, tormentas e inundaciones fundamentalmente) se producían por la ira de los dioses "cuando los humanos no cumplían con sus designios". En la mitología griega, Poseidón, el dios del mar, también el dios de los terremotos (en la mitología romana es conocido como Neptuno), se creía que cuando estaba de mal humor, golpeaba el suelo con un tridente, causando terremotos y otras calamidades. Esto significaba que cuando el mar estaba revuelto, se veía venir grandes tormentas (por el estado de las nubes y los truenos) o sentían intensas jornadas de calor, se creía que el dios Poseidón traería un terremoto, en aquella época conocido como gran temblor de tierra.

Por otro lado, los filósofos griegos de la antigüedad clásica desarrollaron ideas para explicar a su pueblo el origen de los sismos. [3] menciona las ideas de Aristóteles que lograron llegar hasta nuestros días. Esta hipótesis aristotélica refiere que en el centro de la tierra existe un fuego permanente que genera gases o exhalaciones que al desplazarse en el interior de la tierra provocan los temblores. En función de esto, también se creía que cuando se sentían intensas jornadas calurosas es porque iba a temblar.

Estas creencias ataban a las tribus y comunidades antiguas a seguir determinados patrones culturales, de disciplina, de comportamiento para evitar la furia de estos dioses; aun así, de vez en cuando la naturaleza seguía su curso, y la culpa de estos fenómenos seguía teniendo la misma explicación. Se sucedieron muchos esfuerzos de distintos filósofos y científicos desde esta época antigua hasta que, a mediados del siglo XIX de nuestra era, aparecieran las publicaciones de los trabajos científicos de Jhon Mitchel, Robert Malet, Charles Darwin, Alejandro de Humboldt, entre otros que dieron un giro a la sismología, a las creencias y las maneras de intentar predecir o pronosticar los terremotos.

Lo cierto es que la predicción de terremotos ha sido hasta la actualidad un desafío para la ciencia a nivel internacional. Varios investigadores, principalmente de naciones desarrolladas, han intentado elaborar teorías y metodologías para descifrar el momento en que va a suceder un terremoto de gran magnitud. En este intento han existido algunos aciertos, como la predicción realizada del terremoto de Haicheng en el noreste de China días antes su impacto el 4 de febrero de 1975; sin embargo, todavía existe una gran incertidumbre en el tema, debido a que la mayoría de estos estudios no se aproximan a la realidad, solo existen escasas coincidencias.

El autor de este trabajo define a la **predicción de terremotos** como el esfuerzo por pronosticar la ocurrencia de un terremoto en una región o localidad del planeta con una magnitud determinada en un momento dado; o sea, es la posibilidad de predecir la ocurrencia de un movimiento sísmico fuerte en un lapso de tiempo determinado en una localidad específica. En otras palabras, se trata de pronosticar la ocurrencia de terremotos en función de su localización geográfica, del tiempo y de su magnitud.

Actualmente existen científicos que prefieren denominar como *pronóstico* a los esfuerzos por descifrar cuándo va a ocurrir un terremoto de gran magnitud; en ambos casos se refiere al proceso de estimación en situaciones de incertidumbre. Según Kanamori [4] toda predicción sísmica debe incluir:

- Intervalo de tiempo definido.
- Lugar definido.
- Magnitud del evento.
- Nivel de confianza del pronóstico.
- Estimación del grado de incertidumbre del pronóstico.
- Propuesta de las indicaciones en caso de ocurrir el sismo. La predicción sísmica es importante porque:
- Permite preparar los servicios de emergencia.
- El gobierno puede emitir alertas a la población
- Los habitantes pueden buscar un lugar seguro
- Se cerrarían tuberías de gas o combustible y de esta forma se evitarían incendios.

Hasta la fecha, y a pesar de considerables esfuerzos de investigación por parte de los geólogos y sismólogos principalmente, no se han podido hacer predicciones científicamente reproducibles para un día o mes específico. No obstante, en el caso de los mapas de evaluación del peligro sísmico de fallas estudiadas, es posible estimar que la probabilidad de un terremoto de un tamaño dado afectará un lugar determinado durante un cierto número de años teniendo en cuenta el patrón de velocidad de corrimiento y las evidencias de movimientos sísmicos anteriores [5], tal y como ocurre con la Falla San Andrés ubicada en Norteamérica. La capacidad general para predecir terremotos con un porcentaje de exactitud relativamente elevado, ya sea en forma individual o en una base estadística, sigue siendo remota.

En el esfuerzo por predecir o pronosticar terremotos, se ha tratado de asociar un terremoto inminente con fenómenos tan variados como los patrones de sismicidad, campos electromagnéticos, movimientos del suelo, condiciones meteorológicas y nubes inusuales, contenido de gas radón o hidrógeno del suelo o agua subterránea, comportamiento

animal y las fases de la luna, determinaciones probabilísticas con el empleo de métodos matemáticos, equipamiento que analiza las ondas precedentes y emite alertas, entre otros.

2.1 Criterios para la predicción de terremotos

Atendiendo a diversos criterios la predicción de terremotos se puede clasificar según el tiempo o intervalo tiempo de aparición, según el área geográfica y según las técnicas aplicadas.

Según sea el intervalo de tiempo, se pueden presentar los siguientes plazos [6]:

- Inmediato: 0 a 20 segundos
- Corto: Horas a semanas
- Intermedio: 10 a 30 años
- Largo: Más de 30 años

La predicción inmediata ocurre cuando se emplean sensores remotos para la alerta temprana, permitiendo a las poblaciones más alejadas del epicentro tomar medidas urgentes para resguardarse del impacto del sismo; o sea, ubicarse en las más zonas seguras según el lugar donde se encuentren, de manera que el colapso de las estructuras impactadas por el sismo no los afecte o los afecten lo menos posible.

La predicción a corto plazo, debe brindar el lugar, la fecha y la magnitud del evento. Este tipo de predicción es el más difícil porque generalmente está asociada a un grado alto de incertidumbre. Existen múltiples factores que se han tratado de relacionar con la ocurrencia de un terremoto para tratar de encontrar una clave en la predicción. Dentro de los más populares están los cambios de potencial eléctrico, variación química del agua subterránea, cambios en la profundidad de los pozos de agua, niveles de gas radón liberado a la atmósfera cerca de una falla e incluso comportamiento animal extraño. [6]

La predicción a corto plazo más espectacular tuvo lugar en 1975 en ciudad de Haicheng en China. El 1 de febrero de 1975 comenzó a detectarse una oleada de sismos que continuó dos días más al tiempo que se observaron cambios en diversos parámetros físicos como el nivel de agua de los pozos. Como la actividad se incrementaba, se tomó la decisión de evacuar a las personas de la ciudad y el 4 de febrero ocurrió un fuerte terremoto de magnitud 7.3.

La predicción a largo plazo es una de las más usadas. Se basa en la teoría del rebote elástico que supone que, durante largos intervalos de tiempo, el esfuerzo a ambos lados de una falla va incrementándose hasta que esta se rompe y se genera un terremoto. El esfuerzo entonces se libera y se empieza nuevamente a acumular, de manera que en el futuro se vuelve generar un nuevo sismo en el mismo lugar. [6]

Existen tres métodos para la predicción de terremotos a largo plazo:

- Método de la brecha sísmica
- Método de la transferencia de esfuerzos
- Método de cambios en los patrones de sismicidad

Método de la brecha sísmica: Este método supone que, a lo largo de las zonas de contacto entre las placas tectónicas donde no han ocurrido sismos fuertes durante mucho tiempo y el nivel de sismicidad de eventos pequeños es bajo, es un sitio donde la energía se está acumulando y que podría liberarse en forma de un terremoto. (Fig. 3)

El ejemplo más famoso es el de Parkfield, en California,

Estados Unidos. Ahí se había notado que los sismos parecían sucederse con un intervalo de unos 22 años aproximadamente. Un sismo de magnitud de aproximadamente 6.0 ocurría en los años 1857, 1881, 1901, 1922, 1934 y 1966. Se esperaba que el próximo ocurriera a más tardar en 1993. De hecho, los científicos habían calculado que existía una probabilidad de 90 a 95% de que un sismo similar ocurriera entre 1985 y 1993. Sin embargo, el terremoto no ocurrió sino hasta el año 2004. [6] (Fig. 4)

Método de la transferencia de esfuerzos: Cuando ocurre un terremoto grande, los esfuerzos de la falla que lo origina se liberan, pero tienden a concentrarse en las zonas cercanas que, si existen fallas activas, pueden generar a su vez otro sismo en cuestión de décadas.

El ejemplo más notorio es el de un terremoto en 1992 de magnitud 7.3 que ocurrió en Landers, California. Horas después, un sismo de magnitud 6.3 (Big Bear) sucedió en un sistema de fallas cercanas a ese sismo. El evento de 6.3 fue producido por el cambio en los esfuerzos que se generaron cuando rompió la falla del evento mayor. (Fig. 5).

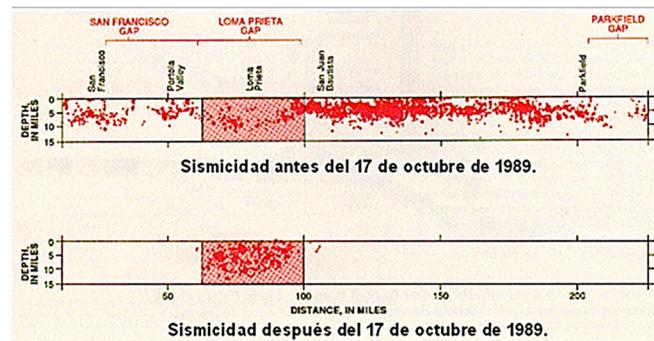


Figura 3. Proyección de eventos sísmicos sobre la falla de San Andrés. En la parte de arriba se muestran los "gaps" o brechas de San Francisco, Loma Prieta y Parkfield. La parte de abajo muestra la sismicidad luego de ocurrido el sismo de Loma Prieta en 1989. El mismo sucede en una zona donde la sismicidad era baja (había un "gap" o brecha) comparada con las zonas vecinas.

Source: [6].

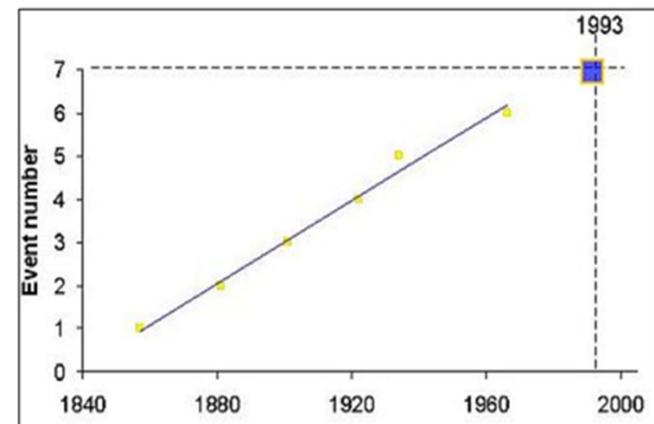


Figura 4. Proyección del año en que debía ocurrir el sismo de Parkfield. Se esperaba que a más tardar el sismo ocurriera en 1993 porque otros eventos similares sucedían en forma muy regular en la misma zona durante muchos años.

Source: [6].

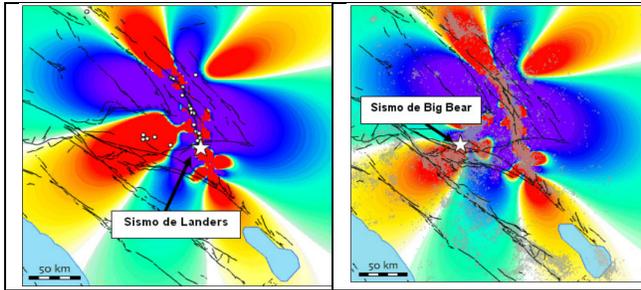


Figura 5. Distribución de esfuerzos luego del sismo de Landers (Izquierda). Distribución de esfuerzos luego de ocurrido el sismo de Big Bear (Derecha). Las partes rojas son las zonas donde se acumuló la energía sísmica.
Source: [6]

Método de cambios en los patrones de sismicidad: Estos consisten en observar cambios anómalos en la sismicidad normal de un área. Por ejemplo, puede suceder que no se registren sismos durante muchísimo tiempo y que esto sea indicativo de que un terremoto está a punto de ocurrir. Por otro lado, también se ha observado que algunas veces más bien empiezan a ocurrir muchos sismos donde no eran frecuentes, hasta que se produce un sismo grande.

La predicción de terremotos según el área que se evalúa puede ser:

- Local,
- Regional
- Global

Tanto la predicción local como regional tienen su fundamento en la medición de parámetros locales de los sismos donde se conoce que en el pasado han ocurrido estos fenómenos geológicos por la ruptura abrupta o corrimiento abrupto de fallas tectónicas, ubicadas generalmente en las inmediaciones de los límites tectónicos de las placas. Hoy existen varios investigadores a nivel internacional que trabajan esta línea, con algunos resultados aislados, los más destacados son los obtenidos del estudio del movimiento que experimenta la Falla San Andrés en Estados Unidos (Fig. 6)

Se ha logrado algún progreso en la predicción regional a largo plazo y en los pronósticos. Se han identificado "brechas sísmicas" en las zonas de contacto de las principales placas: las áreas con historia de grandes terremotos en el pasado (mayores de Ms7 - Escala Richter) y de muy grandes terremotos ($M_s > 7,75$), que no han sufrido un evento de esas magnitudes en los últimos 30 años. Los recientes estudios muestran que los principales terremotos no vuelven a ocurrir en el mismo lugar a lo largo de las fallas, hasta que no haya pasado suficiente tiempo para que se acumulen las tensiones, generalmente después de varias décadas.

En las principales regiones sísmicas, estas zonas "en silencio" presentan el mayor peligro de futuros terremotos. Confirmando la teoría de la brecha sísmica, varias "brechas" identificadas cerca de las costas de Alaska, México y América del Sur han experimentado grandes terremotos durante la última década. Aún más, el comportamiento de algunas fallas parece ser sorprendentemente constante: hay áreas donde los terremotos ocurren en el mismo lugar, pero décadas aparte, y tienen prácticamente idénticas características. El monitoreo de estas brechas sísmicas, por lo tanto, es un componente importante respecto a los terremotos, su predicción, y los preparativos para futuros eventos.

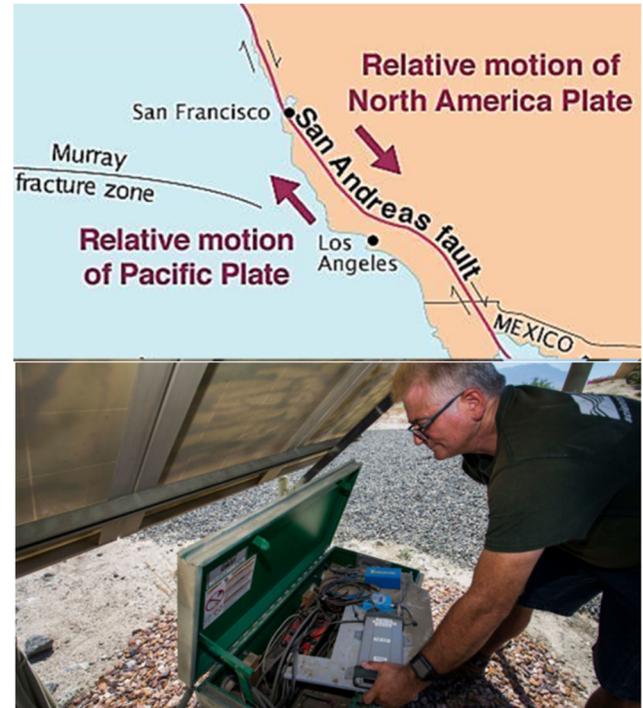


Figura 6. Imagen que muestra el resultado de los estudios locales y regionales realizados por especialistas del Servicio Geológico de los Estados Unidos sobre la Falla San Andrés, determinando que Los Angeles se mueve lentamente acercándose a San Francisco como consecuencia de la actividad sísmica en esta falla.

Source: <https://www.trbimg.com/img-5913869d/turbine/la->

En base a la teoría de la brecha sísmica, el U.S. Geological Survey ha preparado mapas de las costas de América Latina, sobre el Océano Pacífico adaptados de estudios de Stuart Nishenko. Estos mapas dan estimados de probabilidades y clasifican el peligro sísmico para un período de tiempo de 1986 a 2006, sin embargo, los pronósticos de este tipo sólo demarcan áreas relativamente grandes donde un terremoto podría potencialmente ocurrir en un período de tiempo de definición muy general. Ha habido pocas predicciones sísmicas exitosas, y son la excepción no la regla. La predicción de un terremoto involucra el monitoreo de muchos aspectos de la tierra, incluyendo pequeños desplazamientos del terreno, cambios en los niveles del agua, emisiones de gas de la tierra, entre otros. Es aún una ciencia muy joven.

La predicción local o regional se aplica también en ausencia de redes de medición, a las estimaciones probabilísticas de ocurrencia de sismos, teniendo en cuenta la cantidad de veces que ocurren los terremotos y su promedio probabilístico; lo que significa que se establecen "tiempos de recurrencia" a partir de estimaciones probabilísticas. Una técnica de predicción muy antigua, aunque totalmente inexacta hasta la fecha.

En cambio, la predicción global involucra a varias redes de medición en distintas regiones. Estas redes, por ejemplo, combinan sus resultados para establecer patrones de comportamiento y son usadas para los distintos países en particular o conjunto de países. Hoy estas asociaciones para el uso compartido de datos de redes sísmológicas son muy

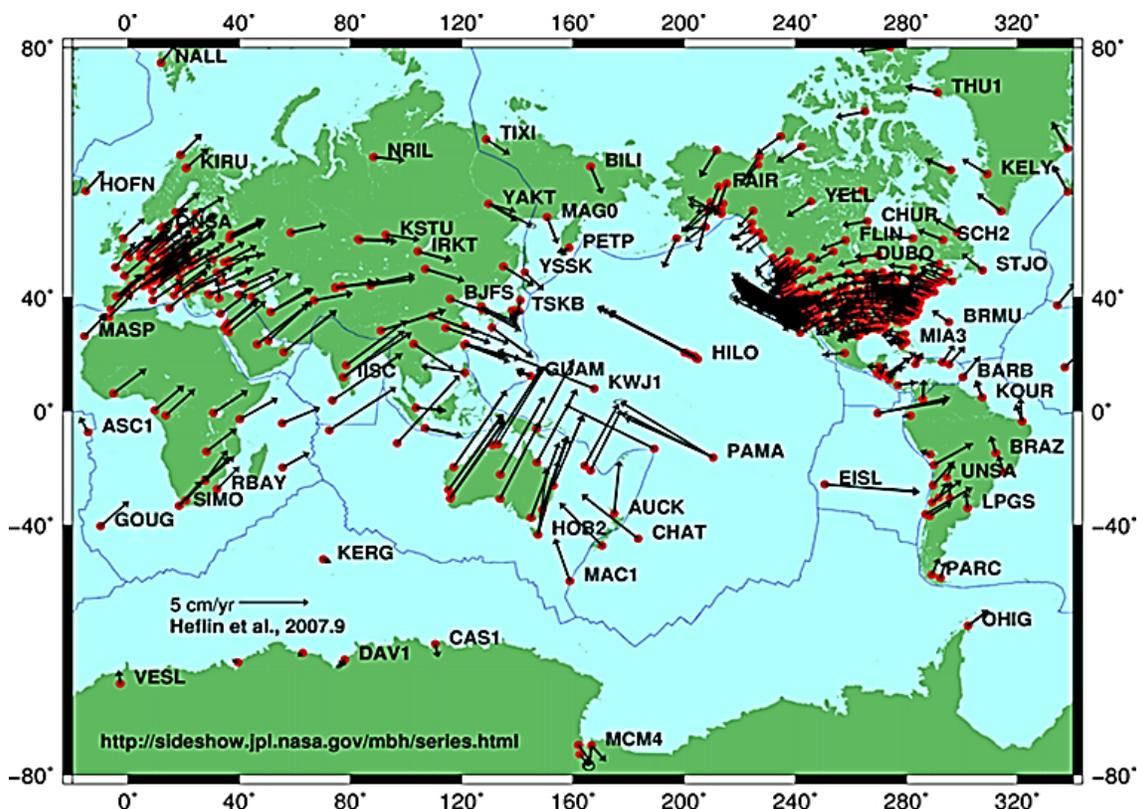


Figura 7. Vectores de velocidad de las placas tectónicas obtenidos mediante posicionamiento preciso GPS.

Source: <http://sideshow.jpl.nasa.gov/mbh/all/images/global.jpg>

comunes internacionalmente. Un ejemplo fehaciente lo constituye el empleo de datos generados por todos los servicios sismológicos de los distintos países del área del Caribe, para intentar predecir y registrar todos los eventos que ocurren en esta área geográfica. Este tipo de colaboración es muy efectiva, pues permite observar colectivamente la evolución detallada de los movimientos neotectónicos de una región implicada en una placa tectónica específica, y con ello predecir elementos como los posibles movimientos vectoriales futuros, su fuerza (magnitud), estimación de las posibles localidades de colapso, entre otros parámetros importantes.

Particularmente, los movimientos vectoriales de las placas tectónicas con los que se puede modelar el comportamiento sísmico de una región, es realizado a través del empleo de Sistemas de Posicionamiento Global (GPS), una eficiente herramienta de uso actual en las geociencias (Fig. 7).

La predicción de terremotos de forma global comprende la integración de registros sísmicos del globo terráqueo. Actualmente el Servicio Geológico de los Estados Unidos de América (USGS por sus siglas en inglés) promueve efectivamente la realización de estas predicciones; para ello emplea los datos obtenidos por una densa red de sismógrafos colocados en su país y otros obtenidos a través de la colaboración internacional con distintos países. Esta institución registra los terremotos ocurridos en el planeta prácticamente de forma instantánea y procesa sus datos en

tiempo real, realizando sucesivamente algunas predicciones de otros eventos aun inexactas.

Además, existen otras instituciones dedicadas a la llamada predicción o pronóstico de terremotos, como es el caso del Servicio de pronóstico de terremotos (EFS), también conocido como World Earthquakes™, un servicio ofrecido online en internet que se dedica a al pronóstico de terremotos basado en series de datos de terremotos pasados y presentes. Según la política de privacidad establecida por este servicio, los datos de EFS son solo para uso personal y pueden contener errores y no está permitido redistribuir ninguno de los datos de previsión de terremotos que estén disponibles en esta página web, a ninguna otra fuente (TV, Medios, Internet). La intención de EFS es reducir el daño y las víctimas causadas por los terremotos sin crear falsas expectativas. Sus algoritmos matemáticos – según declaran no pueden predecir la hora exacta, la ubicación o la magnitud de un terremoto, se asume que no hay conocimiento para hacer eso (world-earthquakes.com).

Los datos de EFS se basan en estadísticas de terremotos presentes y pasados que no pueden proporcionar un pronóstico preciso; son solo una estimación estadística usando series de datos de terremotos pasados y presentes. Consideran solo series de datos de terremotos de Mw 6.5+. Las listas se pueden actualizar automáticamente debido a la actividad sísmica global. Las probabilidades se calculan con métodos matemáticos complejos y utilizan series de datos EMSC y USGS de terremotos pasados y presentes con

algoritmos que son únicos en el mundo. (world-earthquakes.com).

Según las técnicas aplicadas, la predicción de terremotos puede ser:

- Teórica,
- Instrumental,
- Combinada

La predicción teórica de terremotos se basa fundamentalmente en dos manifestaciones:

- La concepción de eventos premonitores
- La aplicación de métodos matemáticos y estadísticos para predecir eventos futuros conociendo la ocurrencia de eventos sísmicos en el pasado, u otros indicadores o variables que se evalúen en el proceso.

La predicción instrumental de terremotos igualmente tiene dos vertientes:

- A través del registro de los movimientos de las placas empleando sistemas de posicionamiento global (GPS) y su correspondiente interpretación.
- A través del registro de los movimientos sísmicos por los sismógrafos y acelerómetros, u otros medios y su correspondiente interpretación.

La predicción combinada de terremotos emplea tanto la predicción instrumental como la teórica, encerrando estos estudios en la concepción de complejos modelos matemáticos, estadísticos y geofísicos, que finalmente también emplean otras maneras de interpretar las informaciones, entre estas:

- Brain storming (tormenta cerebral), realizada con el auxilio de consejos de expertos.
- Las redes neuronales artificiales.
- Lógica Fuzzy.
- La minería de datos
- El modelo LGR múltiple (Ponderación de resultados de distintos métodos de predicción de terremotos)

Se han producido muchas teorías y predicciones pseudocientíficas. La aleatoriedad natural de los terremotos y la actividad sísmica frecuente en ciertas áreas, pueden ser utilizadas para hacer "predicciones" que generen credibilidad injustificada. Generalmente, tales predicciones dejan ciertos detalles sin especificar, lo que incrementa la probabilidad de que los vagos criterios de predicción se reúnan y se ignoren los terremotos que no fueron previstos.

Viendo la complejidad de los sismos y comprendiendo que hasta los países más desarrollados tecnológicamente no han podido predecirlos, es importante que nosotros tomemos conciencia que estamos expuestos a un fenómeno muy importante y que este puede suceder en cualquier lugar y en cualquier momento.

Podríamos citar el caso del terremoto de Japón del 11 de marzo del 2011. El sismo de 9.0 tomó por sorpresa a los japoneses que más bien esperaban que ocurriera un sismo de aproximadamente magnitud 8.0 en la zona sur del país, conocida como Nankai. La zona norte, aunque presentaba sismicidad "normal", se pensaba que podría algún día romper con un sismo de quizás 8.0, pero no este año, sino en el futuro. Tampoco se pensaba que la magnitud del evento pudiera ser de 9.0 que es 30 veces más grande que uno de 8.0 desde el punto de vista de la liberación de la energía. Todo esto sustentado por años de estudio e investigaciones realizadas por los más prestigiosos sismólogos japoneses. (Fig. 8)

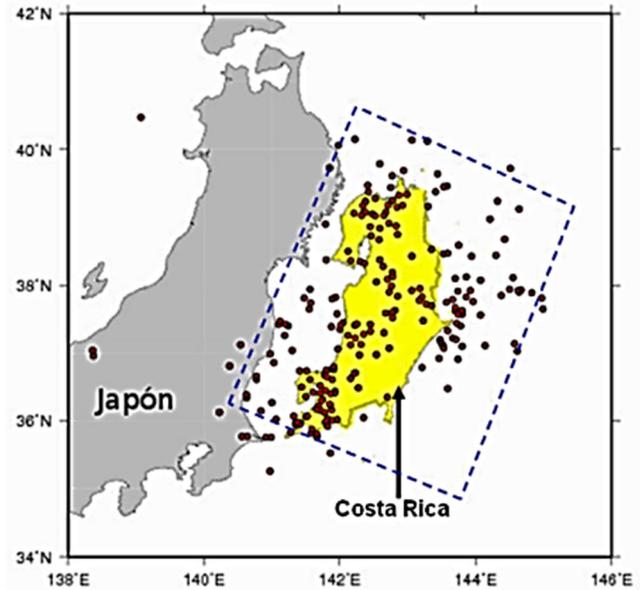


Figura 8. Réplicas del sismo del 11 de marzo del 2011 ocurrido en Japón. Cada punto rojo representa una réplica. La zona en azul, una aproximación del área de ruptura que produjo ese sismo.

Source: (Colectivo de autores, 2015)

El adecuado manejo de la información ante un eventual terremoto, no puede ser tomado a la ligera, mucho menos con la gran cantidad de información (acertada o errónea) que circula en la actualidad. Existen muchos métodos de predicción, algunos tienen más aciertos que otros, sin embargo, todos poseen sus grados de incertidumbre y ninguno de ellos es infalible ni podrá ser 100% seguro. Un aviso de terremoto que circule por la red, debe ser manejado siempre por los encargados de la seguridad ciudadana y cada método aplicado en su predicción debe ser sometido a una serie de cuestionamientos antes de su aprobación definitiva:

- ¿El método ha sido sometido a la comunidad científica?
- ¿Se ha presentado en conferencias y simposios?
- ¿Existen publicaciones científicas que demuestren la veracidad del método?
- ¿Se han hecho análisis de incertidumbre de la información?
- ¿Las predicciones cumplen con informar del lugar, tiempo y magnitud del evento?
- ¿Cuál es la calidad de los datos que se usan?
- ¿Qué instrumentación se ha utilizado?
- ¿Existe información técnica que sustente las predicciones?
- ¿Quiénes son los autores?
- ¿Cuál es la trayectoria de investigación de los desarrolladores, su especialidad?
- ¿Están los autores respaldados por una universidad o instituto de investigación?
- ¿Qué contactos tienen los desarrolladores con la comunidad sismológica?

Es importantísimo tener claro el origen de la información y más aún que esta haya sido evaluada por la comunidad científica a todo nivel, porque se está tratando un tema muy delicado, que puede traer serias consecuencias a la sociedad

civil. Todo método o procedimiento que intente predecir algún fenómeno natural, debe estar debidamente sustentado, hecho por personal académicamente preparado en el campo respectivo y debe ser transparente desde todo punto de vista. El solo hecho de que se pronostique un terremoto sin que se demuestre el procedimiento seguido, pierde toda validez desde el punto de vista científico y más bien se convierte en algo semejante a la clarividencia. (Colectivo de autores, 2015). Por estas razones se sugiere siempre aplicar los métodos existentes de forma combinada, de manera que cada vez sean más certeros los pronósticos o predicciones realizadas.

3. Conclusiones

- Los sismos o terremotos, por sus características, constituyen uno de los fenómenos naturales más importantes debido a la rapidez de su aparición, sin que nada prácticamente indique su presencia y los efectos secundarios que producen en los suelos y edificaciones, impactando negativamente en la vida del hombre y sus bienes.
- Se destaca la existencia de varios métodos o metodologías publicadas por científicos y comunidad en general para predecir terremotos, los cuales hasta la fecha son inexactos. Su aplicación combinada podría reducir las incertidumbres existentes hoy día sobre el tema.

Bibliografía

- [1] USGS, Recent earthquakes. [online]. 2019. Available at: <http://earthquake.usgs.gov/earthquakes/centeqsww/Quakes/usc0001xgp.php>
- [2] Ramírez, N., La historia del único terremoto que la ciencia ha podido predecir. 19 de Mayo de 2012 | 12:26 |, [en línea]. 2012. Disponible en: www.Emol.com
- [3] García, V., El pensamiento científico sobre el origen de los sismos. En: Los sismos en la historia de México, Fondo de cultura económica, II: 2001, pp. 71-110.
- [4] Kanamori, H. and Hanks, T.C., A moment magnitude scale. *Journal of Geophysical Research*, 84(B5), pp. 2348-50, 1979.
- [5] Varotsos, P. and Alexopoulos, K., Physical properties of the variations in the electric field of the earth preceding earthquakes, III. *Tectonophysics* (136), pp. 335-339, 1987.
- [6] Colectivo de autores. Predicción de Terremotos. Laboratorio de Ingeniería Sísmica INII-UCR. [en línea]. 2015. Disponible en: <http://www.lis.ucr.ac.cr/pdf/prediccion/predecir.html>

L- Galbán-Rodríguez, es graduado como Ing. Geólogo en 1995, Dr. en Ciencias Geológicas 2015, todos en la Universidad de Moa (anteriormente: Instituto Superior Minero Metalúrgico), Holguín, Cuba. Actualmente es profesor titular de la Universidad de Oriente en Santiago de Cuba, Cuba. Encargado de las disciplinas de geotecnia e hidrogeología en la carrera de Ingeniería Hidráulica, Facultad de Construcciones. Premio Nacional de la Academia de Ciencias de Cuba, 2014. Sus intereses de investigación se relacionan con evaluación de riesgos y desastres, vulnerabilidad y riesgos de obras hidráulicas, estudios medioambientales, estudios de peligros geológicos, entre otros relacionados.
ORCID: 0000-0002-2377-9008