

Esfuerzos para predecir sismos

Referencia para el periodo 1968 – 1978. Revisión general. Reconocimiento de percusores. Distribución temporal y espacial de fenómenos precursoros. Alcances temporales de la predicción.

Referencia para el periodo 1990 - 2007. Introducción. Estudios basados en precursoros sísmicos. Cambios anómalos en campos electromagnéticos. Comportamiento anormal de animales. Quietud sísmica. Temblores previos. Falla por creep y deformaciones continuas. Observaciones geoquímicas anómalas. Estudios basados en análisis de datos históricos. Distribución y predicción de magnitud de sismos. Modelo de tiempo de falla. Esfuerzos en predicción de corto plazo. Monitoreo institucional. Final.

Referencia para el periodo 1968 – 1978

Ting Kuo-yu, Ma Tsung-chin and Mei Shih-jung (State Seismological Bureau, Peking, China). *Methods of Earthquake Prediction*. International Symposium on Earthquake Prediction. Unesco Headquarters, 2-6 April 1979. Paris.

Revisión general

La ocurrencia de grandes sismos ha motivado en muchos países el desarrollo de estudios de predicción de sismos. Desde 1970, las predicciones enfatizaron los aspectos físicos: las relaciones entre placas tectónicas y sismos, las variaciones en la relación de velocidad de las ondas P respecto a las S, los mecanismos de falla, la elaboración de modelos de dilatancia, el estudio de sismos inducidos y la posibilidad del control sísmico, así como las observaciones en diferentes partes del mundo, muestran los avances en la predicción de sismos.

Desde años previos al estudio, los mayores esfuerzos se han centrado en los fenómenos precursoros a la ocurrencia de sismos. Se trata de predecir los siguientes tres parámetros de un sismo: lugar, tiempo y magnitud. Los esfuerzos se dirigen tanto a las predicciones de largo plazo, de mediano plazo, de corto plazo e inminente.

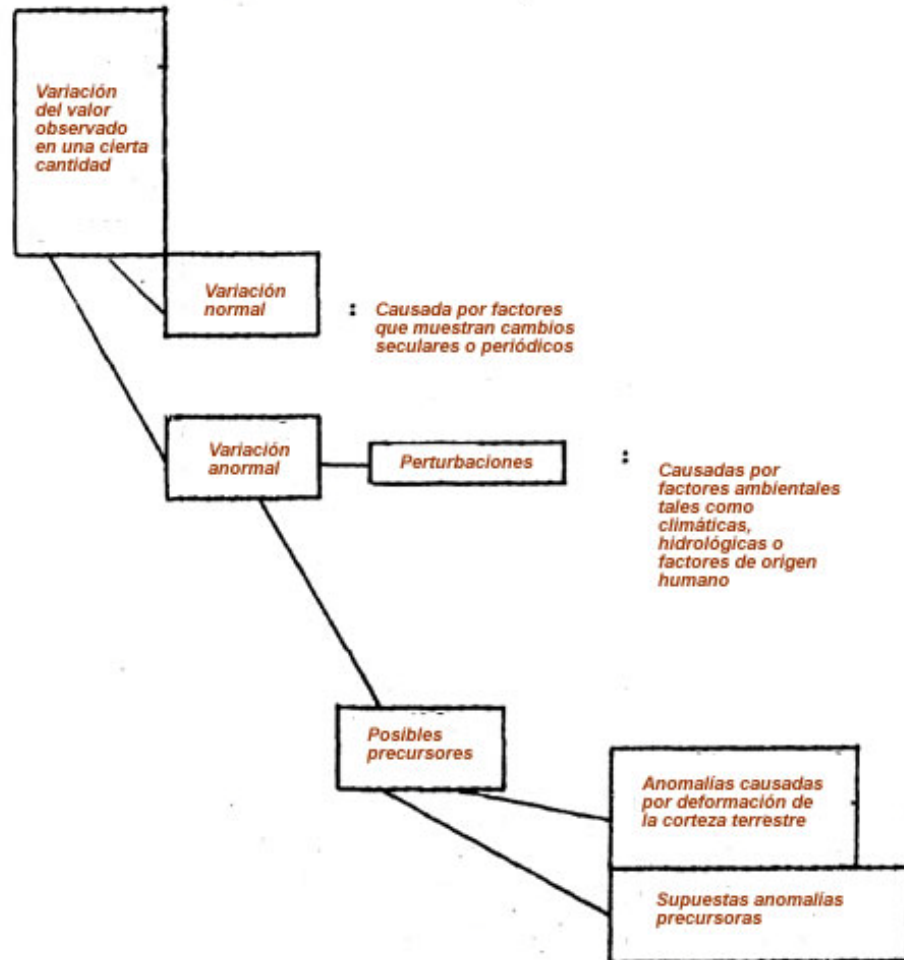
Reconocimiento de percusores

La predicción de sismos está principalmente basada en la observación de fenómenos precursoros. Es fundamentalmente empírico y enfrenta muchas dificultades.

La primera tarea es reconocer un precursor. Han sido identificados muchos, pero ninguno ha sido confirmado como un verdadero precursor. Su reconocimiento se basa en la identificación y reconocimiento de un fenómeno anómalo, tratando de encontrar en él las posibles señales que pueden ser utilizadas en la predicción de sismos.

Entre las dificultades de reconocimiento: distinguir entre ocurrencias periódicas y aquellas anómalas, o el tiempo pequeño de la variación. Pero también hay una gama de posibilidades entre anomalías mecánicas, físicas y químicas causadas por movimientos de la corteza terrestre.

El reconocimiento de un precursor se alcanza cuando es posible estimar una probabilidad de ocurrencia de un sismo. Entonces se le llama *posible precursor*.



RECONOCIMIENTO DE PRECURSORES

Distribución temporal y espacial de fenómenos precursores

Tanto en tiempo como en forma, los fenómenos anómalos se presentan en forma diferente. Puede tratarse de una variación lenta o de un precursor abrupto.

Se han encontrado relaciones directas entre la distribución espacial de precursores y la predicción del lugar y magnitud de un sismo. Sin embargo la distribución espacial es complicada dada la anisotropía de la corteza terrestre o las desiguales condiciones de esfuerzos. En general, la cercanía al epicentro provoca un mayor número de anomalías.

Alcances temporales de la predicción

Las predicciones de largo plazo usualmente tratan con tendencias de la actividad sísmica de una región según un tratamiento probabilístico (periodicidad y repetición de grandes sismos, brecha sísmica, acumulación de deformaciones y otros).

Las predicciones de mediano plazo, para unos cuantos meses o pocos años, se apartan de métodos estadísticos. Se usan precursores como: liberación acelerada de energía, relaciones anormales de velocidades de onda, deformaciones anómalas de la corteza, resistividad del suelo, campo geomagnético, nivel de agua subterránea, y contenidos químicos de agua subterránea.

En la predicción de corto plazo, se utilizan los precursores típicos de mediano plazo, pero a un nivel más intenso de anomalía. Además, peculiaridades estaciones y otros factores ambientales se emplean para estas predicciones.

La predicción inminente de grandes sismos se basa sobre el siguiente tipo de fenómenos: ondas *corriendo*, sonidos y luces del sismo, interferencia con propagación de ondas eléctricas, cambios en el comportamiento de animales, corrientes telúricas, contenidos químicos de agua subterránea.

La predicción de réplicas es de gran importancia. Comienza con la pregunta si ya ha ocurrido o no el sismo principal. También en distinguir si los fenómenos anormales son producto o consecuencia del sismo principal, o son precursores de un nuevo movimiento. El estudio del resto de la energía liberada combinado con el estudio de fenómenos anómalos puede ayudar a estimar la magnitud de las réplicas.

Referencia para el periodo 1990 - 2007

Ashif Panakkat (M Engineering, Chicago, Illinois, USA) and Hojjat Adeli (Department of Civil and Environmental Engineering and Geodetic Science, Ohio State University, Columbus, Ohio). *Recent Efforts in Earthquake Prediction (1990 - 2007)*. Natural Hazards Review. Vol 9, N° 2, May 1, 2008. ASCE, USA.

El análisis de sismicidad en una región es de particular importancia para la gestión de emergencias y preparación de riesgos. En los últimos 15 años se han llevado adelante un buen número de esfuerzos en la predicción de sismos. El artículo se ocupa de una revisión de tales esfuerzos. Los parámetros sísmicos más significativos en esta revisión son: el tiempo de ocurrencia, la localización del epicentro, y la magnitud. Los estudios de predicción pueden agruparse según su aproximación básica, la misma que puede identificarse como: geofísica teórica, mutaciones genéticas y biología, estadística, matemática, y modelaje computacional de datos registrados en catálogos de regiones sísmicas. Los artículos que han sido revisados para este estudio están clasificados en dos grupos: (1) estudios basados en registro y análisis de precursores de temblores, a través del monitoreo sísmico, y (2) estudios basados en análisis histórico de datos sísmicos. No obstante la complejidad del problema de predicción sísmica los autores consideran que la comunidad científica debe investigar sobre esta materia en forma vigorosa.

Introducción

Los primeros intentos por predecir sismos datan de 1939. De ahí en adelante sólo existieron esfuerzos esporádicos hasta mediados de los 80 en que se desarrollaron modelos usando algoritmos computacionales. Hasta el comienzo de los 90 se reconoció que estos modelos de predicción solamente tuvieron significación local. Ello porque el consenso general desde entonces es que los procesos presentes en la ocurrencia de un sismo importante alteran las características geofísicas previas, lo cual hace inútil la aplicabilidad de los modelos anteriores de predicción.

Aunque con pocos recursos, se desarrollaron investigaciones para predicción de sismos desde el 90, los cuales son objeto de atención de este estudio. El campo de la predicción es multidisciplinario e involucra investigaciones en

sismología, física, geología, matemáticas, ciencias de la computación, ingeniería e incluso ciencias sociales. La Academia de Ciencias de Estados Unidos define la predicción de sismos como el estimado de uno o más parámetros de un sismo futuro; esto es, tiempo de ocurrencia, localización del epicentro, y magnitud. Algunas investigaciones incluyen otros parámetros como el de velocidad de onda de corte, o de efectos no lineales, o parámetros de atenuación del movimiento del suelo.

Los mapas de riesgo sísmico constituyen una herramienta importante para gestión de emergencias y preparación para eventuales problemas. Están basados en probabilidades de ocurrencia de grandes sismos. Se efectúan predicciones retrospectivas y cálculo de probabilidades, que para el caso de la magnitud se basa en medidas estadísticas a partir de datos recopilados.

Los artículos que se revisan en esta investigación se agrupan en: (1) estudios basados en el registro y análisis de precursores de sismos (por monitoreo de sismos), y (2) estudios basados en análisis de datos históricos de sismos.

Estudios basados en precursores sísmicos

Se trata del registro y análisis de señales precursoras (ocurridas antes de los mayores sismos). Se reconoce que la principal razón de actividad sísmica se debe al choque de dos o más placas tectónicas que se mueven en diferentes direcciones acumulando energía elástica potencial y deformaciones unitarias. Al exceder algún umbral, ocurren los mayores sismos. Como esta liberación de energía ocurre gradualmente, resulta precedida por *precursores sísmicos*.

La Asociación Internacional de Sismología y Física del Interior de la Tierra (IASPEI) desarrolla y mantiene una lista de tales precursores, como: temblores previos, quietud sísmica, disminución de las concentraciones de radón y otros fenómenos geoquímicos, y un incremento en los niveles de agua. También se investigan otros precursores al margen de esta Asociación, como: cambios anómalos en campos electromagnéticos, comportamiento animal atípico, fallas por creep o deformaciones unitarias continuas. Los estudios revisados en este artículo están basados en cambios anormales en el campo electromagnético, comportamiento anormal de los animales, quietud sísmica, temblores previos, falla por creep y deformaciones continuas, y registros anómalos geoquímicos.

Cambios anómalos en campos electromagnéticos

Se trata del método VAN (acrónimo de Varotsos, Alexopoulos and Nagao, de la Universidad de Atenas, Grecia, 1984), en el que a través de estaciones se registran cambios en los campos eléctricos y magnéticos de la tierra (conocidos como señales eléctricas sísmicas). Con el uso de varias estaciones, los autores desarrollaron un método para predecir posibles localizaciones. Auxiliados por fórmulas empíricas (relativas a la frecuencia y amplitud de las señales) sugieren el tiempo de ocurrencia de un próximo sismo. El tiempo abarca entre algunas horas y varios días. Cubren con estaciones (2002 a 2005) el sector sísmico del arco helénico. Aunque no siempre han acertado, el método ha mostrado ser mejor que el uso de chances aleatorios.

Entre 1994 a 1998 fue desarrollado un modelo de redes neurales a partir de cambios de estas señales eléctricas sísmicas y con el propósito de predecir magnitudes y profundidades del epicentro. Los reportes se presentan en rangos de 0.5 Richter y 0.3 grados en localización del epicentro.

También se han formulado explicaciones a estos cambios de los campos electromagnéticos. En 1996 se postuló que la corteza terrestre muestra mayor conductividad a los cambios eléctricos en zonas de actividad sísmica.

Ello, por el incremento de fluidos en la corteza de estas áreas en las que se distingue una mayor porosidad de las rocas por la mayor densidad de fractura a lo largo de la zona de falla. En días previos al sismo principal, el movimiento de fluidos ocasiona cambios medibles en los campos, tanto eléctrico como magnético, debido a la hidroelectricidad. Las mediciones se realizan en bandas de muy baja frecuencia. Dispositivos adicionales fueron desarrollados en el Japón (2000) para medir estos cambios. También pueden hacerse estas mediciones con el auxilio de satélites de baja altitud, según fue observado en 1992.

Otra explicación (2001) tienen que ver con las altas presiones inducidas en minerales como el cuarzo (dióxido de silicio), los cuales emiten señales eléctricas y magnéticas vía la piezoelectricidad. Se han registrado coincidencias en Grecia (2001), aunque se necesitan de diferentes estaciones para aproximar una localización triangulada. Este método tiene la desventaja de asumir varias hipótesis.

También se han considerados emanaciones térmicas solares dirigidas a la tierra (2002) causadas por fluctuaciones magnéticas mayores en el sol, y que se correlacionan con sismos importantes. Citan el caso de un sismo de la India (2000) según registros de imágenes satelitales.

Comportamiento anormal de animales

A través de la observación consistente del comportamiento anormal de animales se busca una predicción del tiempo. Fue sugerido (1982) el comportamiento especialmente de peces y anfibios. Otro ejemplo (también en 1982) ha sido con abejas, que evacúan sus colmenas minutos antes del sismo. También con ciempiés, sanguijuelas, calamares y hormigas (1996).

La explicación que se arguye (1967, 1969, 1982) está en que determinadas comunidades de animales son capaces de percibir ondas P que no alcanzan a la sensibilidad de los humanos, y que se expresan en sonido ultrasónico provocados por fractura de rocas, deslizamiento de taludes, cambios de humedad, corriente eléctrica y cambios en el campo magnético. También se explican (1976) por la evolución genética en los animales para resistir eventos catastróficos. Otra explicación es que los animales poseen capacidades auditivas más allá del rango humano, como en el caso de ultrasonido en microsismos (1969). O percibir (1997) las ondas P que preceden a las más destructoras ondas S.

También (2000) se ha intentado explicar la evolución y percepción sensorial animal como una base para la predicción de sismos. Se atienden las siguientes preguntas: (1) ¿hay características establecidas en el comportamiento genético de animales frente a sismos?, (2) ¿hay eventos físicos o químicos en la corteza terrestre que pueden ser percibidos?, y (3) ¿pueden tales características ser preservadas en el repertorio genético de las especies frente a la ausencia de sismos por largos periodos? De acuerdo a una simulación con Montecarlo se estableció que sólo es necesario un bajo número de sismos para mantener tales variaciones genéticas en la siguiente generación.

Quietud sísmica

Se han observado largos periodos de calma antes de la ocurrencia de un sismo mayor. Ello ha sido considerado (1988, 1999, 2000, 2003) como una herramienta en la predicción de sismos. Enfrenta algunas dificultades: la de establecer los periodos de quietud, la ausencia de procedimientos estadísticos probados, y las inexactitudes en la medición de la magnitud (1987, 2000). Ha sido sugerido (2001) el empleo de áreas geográficas suficientemente grandes, periodos muy amplios como de 20 años, para determinar la existencia y tamaño de la quietud sísmica.

En el 2002 se condujo una prueba sistemática de quietud sísmica previa a grandes sismos en Europa. Con técnicas estadísticas avanzadas (de pruebas de hipótesis que permiten generar una población desde una muestra aleatoria). El estudio en Alemania, Francia, y Suiza (2003) concluyó en la validez de la quietud sísmica.

En China (1997, 1999) se emplearon precursores sísmicos que incluyen quietud sísmica, cambio en el componente vertical de geomagnetismo, y anomalías en la deformación de la corteza terrestre. De 15 sismos de magnitud 5.0 o más, ocho se encontraron en la predicción en un margen de 7 días.

Temblores previos

Se trata de eventos sísmicos que preceden a un sismo mayor. Utilizando probabilidad condicional con exigentes intervalos de confianza, se han efectuado predicciones basadas en movimientos previos (1984, 1987). De hecho se han desarrollado (2003) sistemas que al ingresar un evento inusual calculan la probabilidad de la ocurrencia de un sismo importante.

En Japón (1996) también se ha trabajado con eventos sísmicos previos. Éstos son calificados como tales en base a cuatro parámetros: magnitud, tamaño de la región geográfica, intervalo de tiempo (10 días en el caso de la referencia), y el número de temblores que ocurren en una relación determinada espacio/tiempo. Han sido elaborados registros para valores óptimos de estos parámetros asociados a magnitudes mayores de 6.0.

En Estados Unidos (1996) se analizaron sismos para relacionar la tendencia entre tamaño y frecuencia de temblores previos con el tamaño, tiempo y profundidad del sismo principal. Concluyeron: (1) menos de la mitad de los temblores de magnitud 5.0 o más fueron precedidos por eventos previos, (2) la magnitud del sismo principal es independiente del número o magnitud de sismos previos o la duración de la secuencia previa, (3) la probabilidad de un sismo con temblores previos decrece con la profundidad, y (4) existe una aparente dependencia de temblores previos con la orientación del plano de falla.

En las fallas entre Japón y Australia (2005) se registran muchos movimientos previos y pocos temblores posteriores, mostrando la alta transformación de las fallas, incluso no se diferencian claramente los movimientos previos, el principal y los posteriores.

Falla por creep y deformaciones continuas

A diferencia de desplazamientos bruscos en fallas geológicas que provocan sismos importantes, otros ocurren después de movimientos continuos por un periodo de tiempo (de 10 días a algunos años). Las fallas por creep y deformaciones continuas son monitoreadas en varias zonas sísmicas (1993, 2003, 2000).

En Nueva Zelanda (1989) un movimiento importante fue precedido por deformaciones lentas del orden del 15% de la deformación en el movimiento principal durante 10 días antes. Se ha sugerido (1995, 1999) que los grandes sismos tienen zonas nucleadas (aquellas donde se desarrollan los primeros signos de movimientos) que exhiben deformaciones lentas por largo periodo.

En el Japón (1980) una predicción se hizo popular al estar basada en una falla de creep y en el tamaño de un sismo reciente. Las mediciones de deformaciones lentas requieren de equipamiento electrónico sofisticado. La predicción requiere de varias hipótesis dado el desconocimiento de la deformación acumulada durante de sismos importantes. Asumiendo una

distribución típica de sismos, un modelo (2002) ha sido sometido a prueba a debate en años recientes.

Se ha explicado también (1999) que las ondas de corte registradas en zonas sísmicas están influenciadas por micro-agrietamiento de las capas rocosas, de ahí que también pueden predecirse sismos por registros de fallas de corte.

Existe consenso de que la falla por creep resulta de una liberación continua de esfuerzos en regiones con alta actividad sísmica. El reto es desarrollar un modelo físico abierto que continuamente acumule y libere energía a través de deformaciones lentas. En 1994 se explicó que las réplicas y movimientos posteriores son el resultado de un proceso de redistribución de esfuerzos en las rocas que siguen la orientación de la falla.

También (1996) se ha propuesto el uso de emisiones acústicas con sensores de alta frecuencia para detectar micro-grietas de rocas en la zona de falla. Éstas comienzan varios días antes del movimiento principal. La experiencia se planteó en materiales y estructuras hechos por el hombre.

Se ha propuesto (2000) un modelo computacional para el estudio de falla por fricción con un movimiento lento paralelo a la falla. Otro procedimiento numérico (2000) basado en diferencias finitas ha sido usado para estudiar procesos tectónicos lentos de larga duración.

En Francia (2000) se ha observado el comportamiento de rupturas frágiles violentas en minas como herramientas de predicción. Se les reconoce como sismos en miniatura. Usualmente están precedidos por un lento proceso de agrietamiento y emisión de calor. Se le califica de un *comportamiento crítico*. El colapso crítico de una falla geológica está precedido por actividad sísmica de menor intensidad se acelera en forma similar a la ruptura en minas. Se estudió su ocurrencia en minas de África del Sur y se registraron varios días de liberación de energía previos a la ruptura de rocas.

Observaciones geoquímicas anómalas

Comúnmente se trata de picos de concentración de radón en suelos observados previamente a un sismo importante. La emisión de gases en suelos a lo largo de fallas activas, como en California central, ha sido monitoreada (1980) para ver si su contenido de radón muestra cambios. Aunque se han registrado incrementos de radón en el doble de su proporción normal, estos aumentos no están sistemáticamente relacionados con las condiciones climáticas, pero sí con la ocurrencia razonable en tiempo y espacio con sismos en magnitud de 4.0 o más.

Se ha estudiado (1998) que el contenido de radón en profundidades de suelos a 50 cm está afectado por las condiciones climáticas, pero no así a una profundidad de 100 cm. Esta es la profundidad recomendada para su uso como precursor de sismos. Un análisis en retrospectiva proporcionó coincidencias aceptables en Asia.

En Tailandia (2002) se ha usado un modelo de redes neurales con diferentes concentraciones de radón en suelos. El estudio reporta mejores resultados usando redes neurales que con el análisis lineal de series de tiempo.

Además han sido estudiadas otras relaciones. En Francia (1999), un sismo de 5.2 de magnitud fue relacionado con picos de concentraciones de plomo en agua subterránea alrededor del epicentro, cuatro días antes de su ocurrencia y hasta ocho días después.

En el 2005 se elaboró un estudio agrupando los atributos geoquímicos e hidrogeológicos como parámetros precursores, según se reportaron en 200 investigaciones. Se consideraron: cambios en la concentración de radón en

el suelo; exhalaciones de helio, argón, y otros gases inertes desde la corteza terrestre; variaciones del nivel de agua subterránea; y concentraciones de ión disuelto también en el agua subterránea. Los atributos estudiados: la duración de los fenómenos precursoros, la distancia al epicentro desde el lugar del monitoreo, y la magnitud del sismo que ocurrió. Se encontró que la duración de la señal precursora es el atributo de mayor correlación con el tamaño del siguiente sismo.

Estudios basados en análisis de datos históricos

Constituyen la base de las investigaciones más antiguas y persistentes (1939, 1956, 1985, 1997, 2002, 2004). Se ha centrado en el tiempo y localización de actividad sísmica frecuente y las magnitudes de sismos importantes que marcan tendencias en actividades sísmicas regionales.

Para una región de Taiwán (2002) se trabajó un modelo de redes neurales para predecir picos de valores de aceleración. Se consideraron como ingresos: distancia del epicentro desde las estaciones de medición, profundidades focales, y magnitudes de sismos pasados. El modelo de redes neurales condujo a una correlación con coeficientes del rango de 0.6 a 0.98 comparados con 0.6 a 0.75 obtenidos con modelos de análisis de regresión no lineal.

Distribución y predicción de magnitud de sismos

En un buen número de estos estudios se ha considerado una relación entre la magnitud y la distribución de frecuencia de ocurrencia de los sismos. En general, los modelos dan resultados útiles.

◆ Ley de distribución de potencia inversa Gutenberg – Richter

Sobre la base de una relación empírica de Ishimoto e Iida (1939), Gutenberg y Richter (1956) propusieron una ley de distribución de potencia inversa, que relaciona las magnitudes, M , como inversamente proporcional al logaritmo de sus frecuencias, N . En varias regiones, esta relación puede ser usada como una herramienta potencial independiente de las circunstancias geofísicas.

En China (1999) se usó un modelo de red neural para predecir magnitudes de futuros grandes sismos, usando seis indicadores sísmicos, parámetros físicos y matemáticos que ayudan a definir el potencial sísmico de una región. Los indicadores: tiempo transcurrido en un número de eventos sísmicos significativos, la pendiente de la relación Gutenberg – Richter, la media del cuadrado de la desviación respecto a la línea de regresión de la misma relación, la magnitud promedio de los últimos eventos, la diferencia entre la máxima magnitud observada y el valor esperado de la relación, y la tasa de la raíz cuadrada de la energía sísmica durante el tiempo.

En Estados Unidos (2004) se aplicó la relación Gutenberg – Richter para predecir la ocurrencia de dos sismos sucesivos de magnitud moderada. También en el 2004 se presentó un modelo computacional de falla por fricción a lo largo de una zona de falla en un sismo importante. La energía por acumulación de fricción entre las fronteras de la falla, fue simulada con factores de esfuerzos que alcanzan un pico antes de ocurrir la falla.

En el 2005, se correlacionó una secuencia de un sismo importante seguido de réplicas de diferente magnitud. Se observó una distribución tipo Gutenberg – Richter.

◆ Distribución característica de sismos

La distribución de un sismo característico está basada en la teoría de la brecha sísmica (Fedotov 1965, y sus modificaciones por otros autores 1973,

1979, 1991), según la cual los segmentos de tramos en la frontera de una placa que no ha tenido ruptura durante un tiempo (llamado precisamente brecha sísmica), tienen el mayor chance de romperse en sismos futuros. Se reconoce una manera cíclica en cada sección de la falla como el resultado de la acumulación de energía y su subsecuente liberación (según fue postulado en la teoría del rebote elástico de Reid (1910). Al identificarse un sismo característico para un segmento de la falla, se puede estimar la probabilidad condicional de ocurrencia del siguiente sismo característico. El procedimiento no permite la predicción de magnitud o localización de epicentro.

Sobre esta base se han estudiado secuencias y ciclos en diferentes lugares como California (1994, ciclo de 11 años) o Alaska (1999, ciclo de 22 años). Se han desarrollado ajustes (1993) a la teoría de la brecha sísmica. Igualmente, se reconoce que no es aplicable a regiones sísmica según la distribución espacial y concentración de sismos (1991).

En el 2007 se han desarrollado tres modelos de redes neurales (de propagación en reversa, red recurrente y función radial) para predicciones de la magnitud de sismos usando ocho indicadores o parámetros sísmicos. Estos modelos están entrenados y probados usando datos de las regiones: sur de California y la bahía de San Diego.

Resulta razonable distinguir el tipo de distribución se aplica a cada predicción. En algunas regiones resulta apropiada la distribución Gutenberg - Richter. En otras, la distribución del sismo característico.

◆ **Distribución aleatoria de un sismo**

También se han usado otras distribuciones de probabilidades (1984, 1988, 1989, 1997) como la Gamma, Weibull o Poisson. Esta última es la que proporciona (2001) mejores resultados.

Modelo de tiempo de falla

La idea básica de este modelo (1993) es que la tasa de progresiva ruptura o creep en un material estresado es inversamente proporcional al tiempo faltante de falla. Esto significa que el intervalo entre sismos previos se reduce consistentemente en la medida que se acerca el sismo principal. También se conoce el modelo como de liberación acelerada de energía. Se elabora y utiliza una curva de falla como base para un análisis de regresión. El modelo se aplica en regiones de alta actividad sísmica a fin de ajustar apropiadamente la curva (2001).

El modelo ha sido probado en varias regiones, reportándose errores de predicción de 35 días (1998) o de 100 días (1999). Pero en algunos casos ha resultado ser incorrecta.

En el 2005 se desarrolló un estudio para diferentes regiones entre Grecia y Japón con registros de 20 años. Reportaron que la mayoría de los sismos están precedidos por un incremento acelerado (exponencial) de esfuerzos liberados en la región del epicentro. Se concluyó en curvas de falla.

Esfuerzos en predicción de corto plazo

En el rango de uno a pocos segundos antes de que empiece el sismo mayor, se desarrolló (1996) un modelo basado en la velocidad, amplitud y características espectrales de las ondas primarias o P, como ingreso a una red neural. Se predice el tiempo de llegada, la intensidad, y la duración de las ondas secundarias S (así como las Raleigh y Love).

En el 2004 se presentó un modelo matemático de atenuación de velocidad para predecir la localización del epicentro. Utiliza las dos primeras estaciones que registran las ondas primarias P y sigue el movimiento de las

otras estaciones en donde arribará la onda P. El modelo aproxima la localización en un máximo de 10 segundos antes de ocurrir el sismo principal.

Monitoreo institucional

Un esfuerzo de largo plazo empezó en 1985 que agrupó dos instituciones y monitorea los movimientos de la falla en California, usando una densa red de instrumentos. Se registran los valores de todos los precursores físicos y químicos posibles.

Final

A juicio de los autores, aunque se han hecho muchos esfuerzos, todavía queda mucho por investigar. Y que pese a opiniones de escepticismo, consideran que la comunidad científica debe impulsar las investigaciones en forma vigorosa.