

<u>TERMINO</u>	<u>Tiempo de alarma</u>	<u>Base científica</u>	<u>Posibilidad</u>	<u>Medidas de mitigación</u>
Alerta inmediata	0- 20 s	Velocidad de ondas electromagnéticas > Velocidad ondas sísmicas	Buena	Alarmas de protección inmediata; cierre de válvulas, apagado de gases
Predicciones de corto término	Horas a semanas	Aceleración en los deslizamientos asísmicos; ocurrencia de sismos premonitores; piezoelectricidad y acoplamientos EM	Desconocida	Inicio de planes de respuesta a emergencias, advertencias para permanecer en lugares seguros
Predicciones de término intermedio	2 meses a 10 años	Cambios en la sismicidad, deformaciones, químicas, presiones de fluidos	Aceptable para regiones bien monitoreadas	Reforzar estructuras y líneas de servicios; mejorar servicios de emergencia; reforzar o aumentar la instrumentación
Predicciones a largo término	10 a 30 años	Tasas de actividad de largo término; tasas de desplazamiento en fallas	Buena para fallas de alta tasa de actividad	Realizar estimativos de amenaza y riesgos; hacer obras que minimicen pérdidas

Tabla 1. Propiedades de varios tipos de predictores sísmicos (Modificada de Sykes et. Al, 1999)

de propiedades físicas, químicas o mecánicas de sistemas con amenaza. Aquí se incluyen deformaciones corticales(cambios geodésicos), cambios en la sismicidad, como formación de patrones de donas o quietud sísmica (Mogi, 1979, 1985), cambios de resistividad eléctrica y velocidades de onda, cambio en las emanaciones de radón. Estos cambios no siempre pueden preceder un evento sísmico grande, pueden ser sísmicos o asísmicos.

Las predicciones de corto término, de horas a semanas, incluyen cambios drásticos, algunos tipo exponencial, de la sismicidad, sismos premonitores (Jones and Molnar, 1979), de deformaciones corticales, inclinometría (Mogi, 1985), campos electromagnéticos (Fraser-Smith et al., 1990), Señales Eléctricas Sísmicas, SES, método VAN (Varotsos and Lazaridou, 1991); cambios de temperatura y nivel freático (Contadakis and Asteriadis, 2001). Estos tipos de predicción son los mas difíciles, básicamente por sus implicaciones sociales y porque en principio requiere conocer no sólo los datos, sino lo mejor posible las causa y procesos que conducen al rompimiento final en una falla. Ha habido éxitos: terremoto de Haicheng, China, en febrero 5 de 1975, y también fracasos: Tangshan, China, 1976 .

De la tabla en consideración se anota finalmente las “alarmas inmediatas”, de unos pocos segundos de anticipación y que de funcionar adecuadamente se podrían salvar vidas, ya que las comunicaciones que viajarían a velocidades de ondas EM, son más rápidas que las ondas mecánicas. Nota complementaria es la relacionada con predictores de corto plazo y de origen biológico, esto es, comportamiento anormal de animales, que se ha venido estudiando desde hace varias décadas, principalmente en China y Japón (Kirschvink,2000; Rikitake et al, 1993).

Jones (1996) involucra estos tipos de predicción dentro de dos objetivos diferentes, uno que tiene que ver con la amenaza y el otro con la causa física del fenómeno, dentro de este marco, clasifica los fenómenos sismológicos en: a) Informativos; b) precursores causales y c) precursores predictivos.

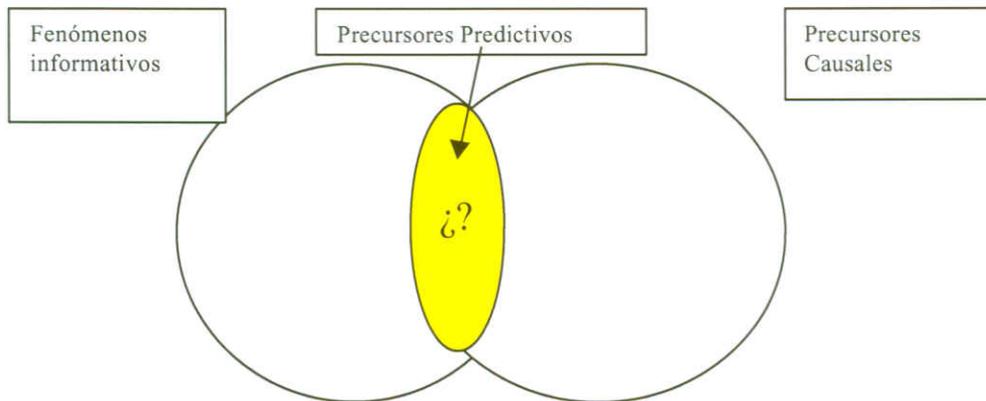


Figura 1. Clasificación de fenómenos relacionados con la sismicidad (Adaptado de Jones, 1996)

Dentro de los fenómenos informativos está la información no precursora, es la obtenida con la observación y estadísticas de eventos pasados, son pronósticos de largo plazo e incluye los predictores de largo periodo. No requiere conocer estructuras específicas de rompimientos, pero aporta la información necesaria para ser manejada y aprovechada por la sociedad. Los predictores causales son determinísticos y se relacionan con eventos particulares; aun cuando no se entienda exactamente la causa entre los predictores y el sismo principal, se asume que siempre existe una relación temporal entre ellos. Los predictores predictivos suponen una relación causal con el evento principal y proporcionan información acerca de la amenaza sísmica, mejor que la obtenida a partir de las estadísticas o probabilidades, este tipo de predictores requiere conocer mucho mejor el fenómeno del rompimiento.

Con respecto al entendimiento del proceso último de liberación de energía en un sistema mecánico complejo de esfuerzos y deformaciones, se ha realizado abundante trabajo en los últimos años. Uno de los primeros modelos de procesos físicos focales fue el llamado modelo LNT, desarrollado en la Unión Soviética (Sobolev, 1970) y luego el quizás más conocido, modelo de teoría de dilatación – difusión, o DD (Nur, 1972), un poco diferente de los anteriores fue el modelo de grietas y fricciones, conocido como modelo de nucleación, presentado por Das y Scholz (1981) y que tiene que ver con inestabilidades en tamaño y tiempo. Alternativamente al modelo DD que intentaba explicar variaciones de V_p y V_s , Aki (1985) propone un modelo Coda Q para ondas S. Ponomarev et al (1997) introducen el concepto de fractalidad o caos ordenado en los procesos y modelos de rompimiento, mediante trabajos de laboratorio donde estudia la distribución temporal de Emisiones Acústicas (AE) y muestra que en estos regímenes (AR) se incluyen las relaciones Gutenberg – Richter. Scheideger (1997) y Tutcott (1997) introducen en los modelos sísmicos el concepto de Auto Organización Crítica (SOC) o sistemas que se mantienen cerca de un punto crítico, este concepto se aplica en un nivel global, como generalmente se aplica el concepto fractal a la naturaleza. Para que el sistema satisfaga estadística fractal se requieren esencialmente dos características, primero la autosimilitud y segundo la invarianza de escala o carencia de una longitud característica de escala. Aki (1996) encuentra problemas en la aplicación generalizada de modelos fractales a la sismicidad, ya que aún en la misma relación GR, según él, no hay autosimilitud y por el contrario parece que para cada problema (falla) particular existe una longitud característica de escala, así parece existir una relación entre la disminución del valor de b y el aumento de Q^{-1} antes de eventos sísmicos de importancia, pero característica para diferentes magnitudes.

Del análisis del planteamiento del problema y del estado actual de estudios sobre sismicidad y predictores, se pueden resaltar los siguientes hechos:

1. Las predicciones de largo y corto periodo son de naturaleza diferente y quizás convenga llamar a las primeras, pronósticos, como lo hace Mogi (1985) y predicciones propiamente dichas a las segundas.
2. Se pueden hacer predicciones sin entender completamente el modelo verdadero, pero una predicción más útil o precursor predictivo (según Jones, 1996), requiere un entendimiento y comprobación del mecanismo en la región focal.

<u>TERMINO</u>	<u>Tiempo de alarma</u>	<u>Base científica</u>	<u>Posibilidad</u>	<u>Medidas de mitigación</u>
Alerta inmediata	0- 20 s	Velocidad de ondas electromagnéticas > Velocidad ondas sísmicas	Buena	Alarmas de protección inmediata; cierre de válvulas, apagado de gases
Predicciones de corto término	Horas a semanas	Aceleración en los deslizamientos asísmicos; ocurrencia de sismos premonitores; piezoelectricidad y acoplamientos EM	Desconocida	Inicio de planes de respuesta a emergencias, advertencias para permanecer en lugares seguros
Predicciones de término intermedio	2 meses a 10 años	Cambios en la sismicidad, deformaciones, químicas, presiones de fluidos	Aceptable para regiones bien monitoreadas	Reforzar estructuras y líneas de servicios; mejorar servicios de emergencia; reforzar o aumentar la instrumentación
Predicciones a largo término	10 a 30 años	Tasas de actividad de largo término; tasas de desplazamiento en fallas	Buena para fallas de alta tasa de actividad	Realizar estimativos de amenaza y riesgos; hacer obras que minimicen pérdidas

Tabla 1. Propiedades de varios tipos de predictores sísmicos (Modificada de Sykes et. Al, 1999)

de propiedades físicas, químicas o mecánicas de sistemas con amenaza. Aquí se incluyen deformaciones corticales(cambios geodésicos), cambios en la sismicidad, como formación de patrones de donas o quietud sísmica (Mogi, 1979, 1985), cambios de resistividad eléctrica y velocidades de onda, cambio en las emanaciones de radón. Estos cambios no siempre pueden preceder un evento sísmico grande, pueden ser sísmicos o asísmicos.

Las predicciones de corto término, de horas a semanas, incluyen cambios drásticos, algunos tipo exponencial, de la sismicidad, sismos premonitores (Jones and Molnar, 1979), de deformaciones corticales, inclinometría (Mogi, 1985), campos electromagnéticos (Fraser-Smith et al., 1990), Señales Eléctricas Sísmicas, SES, método VAN (Varotsos and Lazaridou, 1991); cambios de temperatura y nivel freático (Contadakis and Asteriadis, 2001). Estos tipos de predicción son los mas difíciles, básicamente por sus implicaciones sociales y porque en principio requiere conocer no sólo los datos, sino lo mejor posible las causa y procesos que conducen al rompimiento final en una falla. Ha habido éxitos: terremoto de Haicheng, China, en febrero 5 de 1975, y también fracasos: Tangshan, China, 1976 .

De la tabla en consideración se anota finalmente las “alarmas inmediatas”, de unos pocos segundos de anticipación y que de funcionar adecuadamente se podrían salvar vidas, ya que las comunicaciones que viajarían a velocidades de ondas EM, son más rápidas que las ondas mecánicas. Nota complementaria es la relacionada con predictores de corto plazo y de origen biológico, esto es, comportamiento anormal de animales, que se ha venido estudiando desde hace varias décadas, principalmente en China y Japón (Kirschvink,2000; Rikitake et al, 1993).

Jones (1996) involucra estos tipos de predicción dentro de dos objetivos diferentes, uno que tiene que ver con la amenaza y el otro con la causa física del fenómeno, dentro de este marco, clasifica los fenómenos sismológicos en: a) Informativos; b) precursores causales y c) precursores predictivos.