

PREDICCIONES SÍSMOLÓGICAS

Luis Alberto Briceño Guarupe.

Profesor Asociado, Universidad Nacional de Colombia, Departamento de Geociencias, Grupo de Geofísica, apartado aéreo 14490, Bogotá D. C. Colombia. Email: lbriceno@ciencias.unal.edu.co

Resumen

El trabajo pretende orientar las discusiones, reflexiones y posibles investigaciones sobre la predicción sísmológica, inicialmente muestra una síntesis teórica del problema de la predicción científica, estableciendo diferencias entre predicción y pronóstico. Los sistemas en las geociencias esencialmente son no lineales, lo cual requiere en el caso particular, un acercamiento al problema del caos en geofísica y aclaraciones sobre el problema inverso en sismología. Cuál es la opinión de los sismólogos internacionales y nacionales sobre la predicción de los terremotos?. Dentro de esta discusión se muestran algunos resultados de laboratorio y campo sobre potenciales eléctricos y otros parámetros geofísicos que se vienen logrando en Colombia. Los resultados no se concluyen aún y por lo tanto las conclusiones son abiertas.

Palabras Clave: Predicción, pronóstico, terremotos, sismos

1. Introducción. Epistemología de las Geociencias.

Según Weisskopf (1977) los objetivos básicos de toda ciencia se pueden reducir a tres: comprensión, explicación y predicción, de éstos, es la predicción científica el propósito que más puede fallar, según Bunge (1957), básicamente por inexactitud de los enunciados de las leyes o por imprecisión de la información disponible o por la presencia de factores externos. La ciencia como búsqueda de la verdad mediante análisis sistemático de causa y efecto, difiere del arte y del quehacer rutinario de la mayoría de la sociedad, requerido para su subsistencia. Hay diferentes ciencias, según sea su objeto de estudio y su método de conseguir la solución del problema propuesto. Las ciencias naturales, dentro de las cuales se incluyen las Geociencias, tienen que ver con el mundo real, que a diferencia de las matemáticas, manejan sistemas no necesariamente exactos. Sin embargo, es tarea del hombre, encontrar las leyes generales que gobiernan sus comportamientos; ya lo decía Einstein que “lo más incomprensible del mundo es que el mundo sea comprensible”, o que “Dios no juega a los dados”, podríamos agregar: “la mayoría de las veces”. No sobra entonces recalcar que es naturaleza de la ciencia no ser absoluta y sí falible y perfeccionable.

Las Geociencias o Ciencias de la Tierra, tienen como objeto de estudio nuestro planeta, difieren nuevamente, del sistema o tópico que se considere y éste va a requerir de métodos específicos de investigación. Meteorología, oceanografía, volcanología, geoquímica, geografía, geología y geofísica, son algunas de estas ciencias, que tienen diferente objeto específico y a veces diferente metodología. Todas se complementan e interrelacionan y tienen la particularidad de que casi siempre sus modelos espaciales y temporales no son estrictamente lineales en la escala para la cual se requieren soluciones. La atmósfera terrestre es estudiada por la meteorología, la oceanografía, la geofísica y la geología entre otras, pero mientras que para la meteorología es objeto principal, no lo es para la geología o la geofísica. Este hecho puede marcar diferencias en concepciones y análisis, esto es, para la geología, atmósfera puede ser “hogar” de fenómenos de meteorización para las rocas, y a esa necesidad o escala, lineal y predecible. Sin embargo, la dinámica de partículas atmosféricas como causas climáticas, imposibles de trabajar como sistemas lineales. Mientras que para la geología la “retroacción” (que puede ser el término que señale el método de formular hipótesis de causas pasadas, a partir de observaciones presentes, por ejemplo, formación de continentes o rocas) es algo esencial, para la geofísica, la predicción es una parte fundamental de su desarrollo.

La Geofísica tiene como objetivo principal, conocer la composición y dinámica del planeta, o parte de él, mediante la interpretación de medidas de parámetros físicos. Como todas las ciencias tiene una justificación o “para qué?”. Se pretende con este conocimiento, a parte de satisfacer la curiosidad natural del científico, facilitar junto con otras ciencias, la ubicación de recursos mineros, energéticos e hídricos requeridos por la sociedad y escondidos en el subsuelo y por otro lado, prever la ocurrencia de eventos naturales catastróficos para el hombre, específicamente sismos y volcanes. El acercamiento a la verdad, por parte de la Geofísica requiere entre otras cosas, manejo de gran cantidad de datos, por lo que su desarrollo principal se da a la par con el desarrollo tecnológico de ubicación, transporte y procesamiento.

La sismología, como parte de la Geofísica o quizás como ciencia derivada de ella, debe observar (midiendo o cuantificando) toda la fenomenología relacionada con los sismos para entenderlos, explicarlos y predecirlos.

2. Predicción y pronóstico.

La ciencia requiere la mayor claridad en sus conceptos y parte de esto se logra definiendo adecuadamente términos nuevos o redefiniendo términos usados en el lenguaje cotidiano. Conceptos como velocidad, energía, clima o predicción, se usan a diario, tanto en el lenguaje popular como en el científico, pero no son exactamente iguales. La bella gitana, puede mirarnos la mano y luego decir: “la fortuna le sonreirá el próximo año”, por esta predicción sólo nos cobrará cinco dólares. La geofísica, después de tomar y analizar información para un problema de agua subterránea puede concluir: “dado que a mas o menos 90 m de profundidad se encuentra una unidad de 300 Ohm-m, que coincide con la resistividad medida para la arenisca X, se puede esperar que a esa profundidad exista una unidad acuífera con una certidumbre de mas del 50 %”. Esa es una predicción científica. El concepto de predicción en ciencia se toma de la estadística. Según Mendenhall (1982) “el objetivo de la estadística es hacer inferencias (predicciones, decisiones) acerca de una población, sobre la base de información contenida en una muestra.”, señala además la necesidad de dar una medida de la confiabilidad de la inferencia, o predicción.

El pronóstico o forecasting en inglés es la estimación de una probabilidad, teoría en la cual se supone “que la población es conocida y lo que nos interesa es calcular la probabilidad de observar una muestra particular. Exactamente lo opuesto es cierto en los problemas estadísticos, donde asumimos que la población es desconocida, que la muestra es conocida, y lo que deseamos es hacer inferencias acerca de la población. Así, la probabilidad razona desde la población hacia la muestra, mientras que la estadística actúa opuestamente, moviéndose de la muestra hacia la población” (Mendenhall, op.cit.). Predicción y pronóstico en la ciencia, son diferentes y se complementan en el conocimiento de un problema.

En el caso de la sismología se puede ver la diferencia, supongamos que en un sistema tectónico A, se ha observado que siempre que: a) aumenta la relación V_p/V_s , b) cambian abruptamente los niveles freáticos, c) aumentan los valores de campo eléctrico, se produce un sismo; entonces si en un sistema B, similar a A, que no había sido estudiado se comienzan a observar las mismas manifestaciones presísmicas del sistema A, se puede hacer la predicción de que un evento sísmico está por ocurrir, con un cierto margen de confiabilidad. Si para el sistema A, que lleva un aceptable tiempo de observación se ha podido establecer, con base a sismos de toda magnitud, que el sistema está caracterizado por la ecuación (GR):

$$N(m) = a + b \log m \quad (1)$$

Con $a = 2.2 \times 10^3$ /año y $b = 0.9$, constantes para el sistema. Entonces se puede calcular la probabilidad de ocurrencia de eventos de una cierta magnitud, es decir, se puede pronosticar información particular, a partir de una asumida generalidad. Es fácil encontrar confusión entre los conceptos de predicción y pronóstico. Incluso, algunos autores establecen diferencias entre predicciones de largo, mediano y corto término y aclaran como la teoría de probabilidades permite establecer los pronósticos generales de ocurrencia para la predicción de largo término, aquí las afirmaciones son válidas independientes del tiempo en el que se plantean

3. Planteamiento del problema.

La pregunta fundamental es: ¿ se pueden, o podrán predecir los sismos, de manera tal que sea posible salvar vidas ?. Esto es, según Jackson (1996), definir con exactitud, rangos de intervalo de tiempo, magnitud y volumen, que sean susceptibles de comprobación. Dado que la predicción de sismos es el objeto último de la sismología (o nó?), podríamos pensar que si ya se pudiera hacer dicha predicción, todo estaría conocido por esta ciencia. Se puede comprobar que actualmente la mayoría de los sismos no se pueden predecir, por lo tanto aún quedan problemas para la sismología y trabajo para los sismólogos. Pero, se podrán predecir ?. El mismo Richter, uno de los pilares de la sismología moderna, dudaba de que la predicción fuera posible, decía (Richter, 1958) que la predicción “...era tan difícil como cuando alguien intenta romper una tabla con su rodilla, no sabe cuándo ni por dónde se habrá de romper...”. Geller, R. et all (1997), plantean que la impredecibilidad puede ser una propiedad de los terremotos; por lo tanto, tendríamos que modificar la

definición de la sismología. Sin embargo, una buena cantidad de sismólogos aceptan el reto de la definición, entendiendo que como todo trabajo geofísico, predecir significará establecer modelos adecuados que satisfagan la dinámica de nuestro planeta, de este modo, el modelo no tiene que ser “exacto”, sino “perfeccionable”. Un modelo se desarrolla en Geofísica como parte de su desarrollo metodológico, aquí, comprender el problema se inicia con observación y datos, d , generados por lo que llamaremos el “modelo verdadero”, m , a partir de estos datos se reconstruye un “modelo estimado”, $\sim m$, mediante un proceso que permite la explicación y se define como *problema de estimación*, y conviene además investigar qué tanto se puede aproximar el modelo estimado, que satisface los datos, al modelo verdadero, esto es, solucionar el *problema de valuación*, definiendo que propiedades se recuperan y qué posible error se involucra. Este proceso geofísico es lo que se conoce como inversión, o problema inverso que será la suma de otros dos problemas, estimación y valuación. El problema inverso se “opone” al *problema directo*, en cuanto este último parte del modelo verdadero y mide u observa los datos generados. La relación entre modelos y datos puede ser lineal o no lineal (en el sentido físico y matemático) y de ahí su grado de complejidad en su solución. El problema que se plantea la Geofísica y en particular la sismología, no es fácil, generalmente complejo y motivante.

Dentro de este contexto, la pregunta básica se transforma en: ¿Cómo, a partir de unos datos, se puede elaborar un modelo dinámico que satisfaga o prediga la ocurrencia de los terremotos? .

4. Estado actual de la predicción sísmica.

A pesar de que ya se habían iniciado estudios aislados sobre predictores sísmicos, por lo menos desde la década del 30 del siglo XX (Rikitake, 1976), principalmente sobre comportamiento anormal de animales y sismicidad precursora, solamente hasta 1971, la comunidad geofísica organizada a través de la Unión Internacional de Geodesia y Geofísica (IUGG), decidió crear un proyecto internacional de cooperación para el estudio de la predicción sísmica en la reunión anual realizada en Moscú. Los primeros trabajos dentro del proyecto tuvieron que ver con lo que se denominó el modelo de dilatación o expansión volumétrica causada por aumento de microfracturas, y básicamente hacía mención a cambios de la relación V_p/V_s en la fase presísmica del ciclo sismológico (presísmica, cosísmica, postsísmica e intersísmica). Diversos autores (Mogi, 1985; Scholz, 2002, Bolt, 1981) describen con detalle los diversos métodos, a partir de clasificaciones temporales. Según Sykes et al (1999) existen diversos tipos de predicciones sísmicas que se muestran en la tabla 1, modificada; la clasificación se hace en términos de rangos de tiempo. En primer lugar se discuten las predicciones de largo periodo, mas de 10 años, se aplican estos estudios a segmentos específicos de fallas o fuentes sismogénicas, se supone que la sismicidad está asociada a ciclos de actividad tectónica y que las tasas de deformaciones y desplazamientos son mas o menos continuas. Este hecho se sintetiza en la ecuación (1), conocida como relación de Gutenberg – Richter, aceptada con limitaciones, pero que de ser válida sin restricciones estaría afirmando que sismicidad y magnitud, así como otros parámetros macrosísmicos satisfacen leyes de potencias, esto es, podrían considerarse como características fractales. Sin embargo, el fenómeno y la aplicación tiene límites. Las predicciones de largo periodo, presumen conocer la población y calcular la probabilidad de ocurrencia de ciertas muestras, en este sentido son mas pronósticos. A parte de datos de sismicidad instrumentales e históricos, forman parte de este conjunto de datos e información la obtenida con ayuda de paleosismicidad y neotectónica. Los conceptos de lagunas sísmicas, como predictores, estarían encajando dentro de estos pronósticos de distribución temporal. Cuando se aplican a niveles regionales, se utilizan en la definición de zonas de amenazas sísmicas (seismic hazard analysis).

Las predicciones de término medio, de 2 meses a 10 años, asociadas a la fase presísmica, analizan tasas de cambio o anomalías de un asumido comportamiento de fondo (background),