

Predicción de Sismos: Una ojeada al futuro



Sólo el espíritu crítico es creador.
Oscar Wilde

Si la Tierra estuviera hecha de cristal y pudiéramos observar directamente todos los procesos que ocurren en su interior, cualquier hijo de campesino podría aprender a predecir terremotos. De hecho, el interior de la Tierra es más inaccesible a nuestras mediciones que muchas estrellas lejanas. Por lo tanto, los esfuerzos para predecir sismos no han fructificado hasta ahora. En este artículo me propongo discutir algunos problemas de predicción, sobre todo desde el punto de vista de la validez científica de los esfuerzos que actualmente se están realizando en otras partes del mundo.

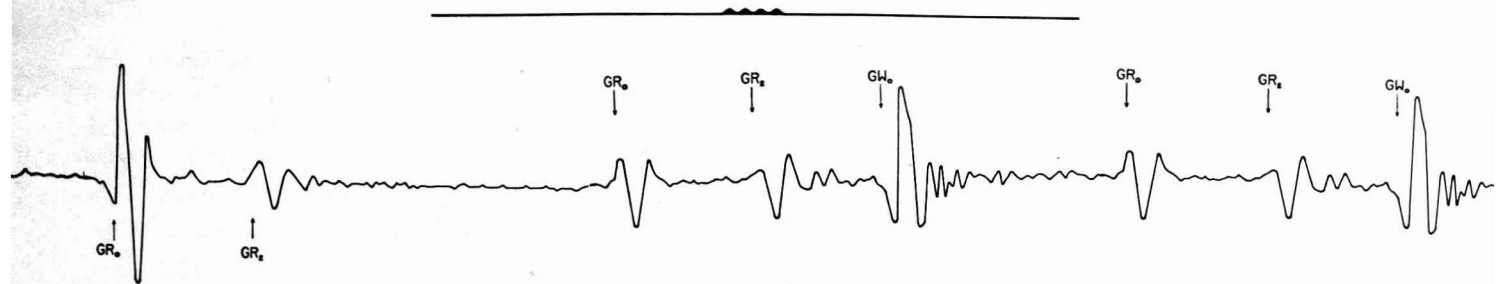
Muchos colegas han experimentado dudas, de tiempo en tiempo, en cuanto a diferentes aspectos de la predicción de sismos, tales como los sismos característicos, las vacancias sísmicas, la predicción de Haicheng, la de Shumagin, la de Oaxaca, la del Estado de Nueva York, la de Parkfield, etcétera. No parece útil insistir en tales dudas ya que a mi entender, estos episodios tienen más que ver con la política y con aspectos de la naturaleza humana que con la ciencia.

Me eduqué en una tradición científica que consideraba la predicción de temblores como ni más ni menos que brujería. Por ejemplo, recuerdo que Charles F. Richter guardaba los artículos y la correspondencia sobre predicción en un cajón especial que llamaba “el archivo de los locos” (*nut file*), y nos lo enseñaba para que los estudiantes pudiéramos percatarnos de la infinita e inagotable insensatez humana.

Gutenberg era un gran maestro y un científico cauteloso. Un día me pidió que le revisara una publicación que alegaba una pretendida correlación entre los sismos y las fluctuaciones del campo magnético terrestre. Tuve que informarle que el autor había manipulado la escala de las gráficas para exagerar el supuesto efecto: lo noté furioso y al mismo tiempo entristecido. Así supe que la esperanza nunca muere, hasta en el corazón del más escéptico de los geofísicos.

La Figura 1 resume el consenso del Grupo de Trabajo sobre Predicciones de Sismos en California (USGS, 1988) en cuanto a la probabilidad de que ocurran sismos importantes en diferentes segmentos de la Falla de San Andrés durante el periodo 1988-2018. Nótese que las probabilidades fluctúan entre más de 90% para la región de Parkfield a casi cero en la Bahía de San Francisco. En especial, nótese que al segmento de Santa Cruz, que se fracturó estruendosamente en el sismo de San Francisco del 17 de octubre pasado, se le había asignado una probabilidad de romperse de apenas 30% por ciento.

¿Cómo pensar que un mapa de este tipo no tendría efectos sobre la política preventiva en California? La Figura 1 apareció reproducida en *Earthquakes & Volcanoes* (1988), una revista de divulgación que publica el Servicio Geológico Nacional (USGS) de Estados Unidos. Si la cantidad de dinero disponible para prevención es finita, y si el experimento de Parkfield basado en esta predicción obtuvo financiamiento tanto federal como estatal, debe concluirse que hubo inversión preferencial en Parkfield, donde aún no ha temblado, cuando una inversión similar en San Francisco pudo haber redituado en términos de protección y prevención.



No sabemos si efectivamente ocurrió tal diversión de fondos; lo que afirmamos es que una predicción publicada con la aprobación de las más altas autoridades científicas y políticas *pudo* haber tenido tal efecto. La predicción de Parkfield fue oficializada en abril de 1985 mediante un oficio del director del Servicio Geológico Nacional a la Dirección General de Servicios de Emergencia del Estado de California. No hubo ningún cambio de actitud después del sismo de San Francisco; por lo tanto, es dable suponer que la predicción de Parkfield ha influido en la política de al menos una institución, que es el propio USGS.

Es legítima una influencia de este tipo en la medida en que la predicción de los sismos sea una disciplina científica reconocida y bien acreditada. Se ha dicho, por ejemplo, que "el experimento-prototipo de predicción de Parkfield representa un esfuerzo importante para reducir el riesgo sísmico a través del desarrollo de técnicas de predicción sísmica" (Bakun, 1988). Pero parece evidente que la verdad de un argumento de este tipo depende de cuán válida sea la filosofía que sustenta la disciplina de predicción de terremotos. Es lo que me propongo examinar en este breve artículo.

Supongamos que el sismo de Parkfield efectivamente ocurre, como tiene que suceder tarde o temprano. Recuérdese que la literatura menciona una increíble variedad de posibles fenómenos precursoros, desde anomalías magnéticas hasta cambios en el comportamiento de animales, pasando por fluctuaciones en los patrones de ocurrencia de sismos pequeños dentro y fuera de la región. Tales posibles "precursores" ocurren continuamente y la probabilidad de que al menos uno de ellos se produzca en las semanas y los meses anteriores al sismo de Parkfield es prácticamente una certidumbre.

Supongamos que ocurra un fenómeno A con una anticipación de días o meses antes del temblor. ¿Qué vamos a aprender de esto? Mejor dicho, ¿cuántos futuros sismos en Parkfield se necesitan para comprobar que se trataba efectivamente de un fenómeno precursor y no de una casualidad? ¿Cuántos más para desarrollar una técnica de predicción significativa? Se dice que los sismos de Parkfield se repiten cada 21.8 años en promedio; por lo tanto, tendríamos que esperar siglos hasta estar en situación de poder *reducir el riesgo sísmico* a través de tales técnicas. Pienso que una reflexión de este tipo es relevante en términos de cualquier discusión sobre estrategias efectivas para reducir el riesgo sísmico en un país como México.

La fusión en frío, el péndulo de Foucault y miles de experiencias esotéricas atestiguan la enorme credulidad del mundo postmoderno. Si se quiere evitar que la predicción de sismos se convierta en uno de estos pasatiempos más o menos inocentes, es indispensable ejercer una autocrítica permanente y vigi-

lante. La franqueza y la apertura a la discusión son factores esenciales.

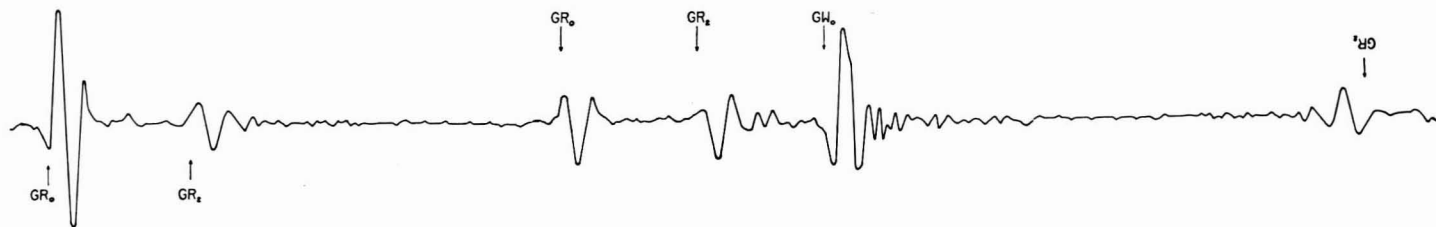
En principio, la predicción de cualquier fenómeno natural es una subdisciplina válida, en este caso de la sismología. No me cabe duda que algún día podrá tener éxitos similares a los que hoy conoce la predicción del tiempo. Pero al igual que esta última, la predicción de los sismos debe apoyarse en mediciones precisas en la región donde se producen los fenómenos que se quieren predecir. Mientras no dispongamos de tales mediciones, existe el peligro de que lo que actualmente se conoce como "predicción de sismos" se torne tan especulativo y potencialmente peligroso como el material que guardaba el Profesor Richter en su "archivo de locos".

El juego de las probabilidades

Supongamos que un precursor de sismos ha sido identificado y reconocido. Luego debe ser confirmado y certificado como tal a través de observaciones repetidas durante un periodo de varias décadas o de varios siglos. Esta dificultad, si bien raras veces es mencionada, ha sido una de las causas de que proliferaran las argumentaciones estadísticas en sismología. Algunos de estos argumentos son válidos, pero otros pretenden reemplazar la observación directa con la mera especulación.

Dada la ocurrencia previa de un evento B, se pretende calcular la probabilidad condicional del sismo A de la siguiente manera. Supongamos que el sismo A tiene una baja probabilidad de ocurrencia. Por lo tanto, la probabilidad combinada de que ocurran tanto A como B es menor todavía. Esto puede interpretarse como una elevada probabilidad de que tal ocurrencia conjunta no sea casual. En otras palabras, se establece la conjetura de una *relación causal* entre A y B, o sea, que B es un precursor de A. Tengo la impresión de que muchas argumentaciones en predicción de sismos se basan en un razonamiento de este tipo.

Obviamente, el razonamiento es falaz, puesto que el supuesto fenómeno predictor B fue identificado y seleccionado *ad hoc* por el científico. Si se me permite, daré un ejemplo para aclarar lo que pretendo decir. El 20 de noviembre de 1989 el presidente de la República otorgó el Premio Nacional de los Deportes a dos distinguidos atletas, un hombre y una mujer. Resulta que ambos premiados (sin ser parientes) tenían el mismo apellido, digamos X. ¿Es o no es casualidad? Un vistazo al directorio telefónico de la Ciudad de México nos vencerá que hay unos 10,000 apellidos; por lo tanto, la probabilidad de que se seleccionara el apellido X era de una entre 10,000 y la probabilidad de que dicho apellido fuera seleccionado dos veces seguidas de una entre 10,000 x 10,000, o sea de una entre cien millones. Como hay menos de cien millones



de habitantes en México, se infiere que no fue casualidad que se seleccionara precisamente a esos dos entre todos los hombres, mujeres y niños que constituyen la población de México.

Ahora bien, tal razonamiento hace caso omiso del hecho obvio y elemental de que los ganadores forzosamente tenían que tener algún apellido. Así, la probabilidad de que los dos apellidos coincidieran depende de la frecuencia con que se repiten *todos* los apellidos (no solamente el apellido X) en México. Vuelta al directorio telefónico y constatamos ¡oh sorpresa! que el apellido X ocupa 11.7 páginas en total de 1,752 páginas: esto significa una probabilidad de 0.67 por ciento. Pero hay otros muchos apellidos que también ocupan diez o más páginas en el mismo directorio. Finalmente se llegó a la conclusión que la probabilidad de que se repitieran los dos apellidos era casi de 10 por ciento.

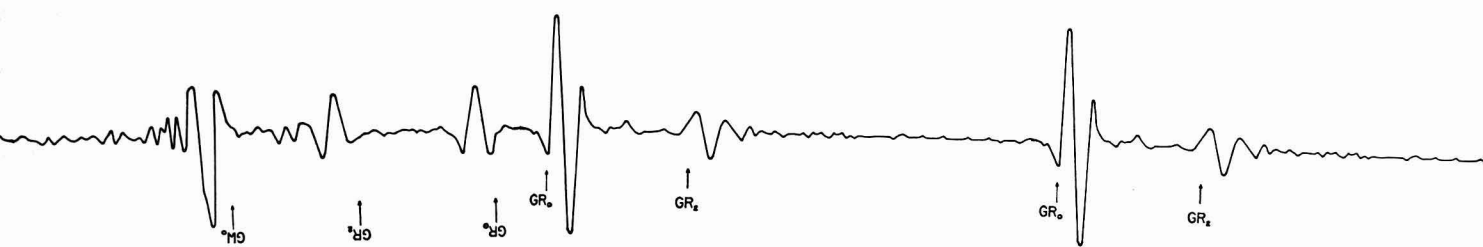
Evaluemos ahora la probabilidad de que el comité encargado de seleccionar a los ganadores no sólo se fijara en sus apellidos, sino que tuviera motivos inconfesables para otorgar el premio a una persona apellidada X y no a otra persona.

Quien esté dispuesto a apostar que tal probabilidad excede el 10% será capaz de creer cualquier cosa. Por ejemplo, tal persona se pondrá a buscar otras coincidencias sospechosas. Y si las hay. Uno de los ganadores era un distinguido montañista que había conquistado la cumbre del Everest, y la otra era campeona de Tae-Kwon-Do. ¿No habrá allí una clara relación con Asia? Y en efecto, los antropólogos afirman que los antepasados del pueblo mexicano atravesaron el Estrecho de Behring, viniendo desde Asia!

El caso de los sismos característicos

En fin, si se quiere encontrar relaciones causales entre dos fenómenos siempre se les encuentra. Veamos ahora el caso de la posible existencia de "sismos característicos", definidos en la siguiente forma: "Un evento característico es un sismo que rompe repetidamente el mismo segmento de falla y cuyas dimensiones definen tal segmento" (Nishenko y Buland, 1987). En la Tabla 1 del trabajo citado encontramos 14 segmentos





definidos de esta manera, entre ellos, por cierto, el de Parkfield. Estos segmentos están definidos con base en 62 temblores “característicos”, o sea 48 intervalos entre temblores, lo que hace un promedio de 3.43 intervalos para cada segmento. No es una muestra gigantesca. Un ejemplo típico es el siguiente:

Región	Eventos	Intervalo T	Promedio T_{ave}
San Marcos	1907-1845	62	56.0
	1957-1907	50	

Esto nos dice que el segmento de San Marcos (cerca de Acapulco) está definido por tres sismos “característicos”, en 1845, en 1907 y en 1957 (que fue el llamado “Sismo del Ángel”). Los intervalos respectivos fueron de 62 y 50 años, y el intervalo promedio fue de 56.0 años.

Ahora bien, en el mismo número del *Bulletin of the Seismological Society of America* aparece otro artículo (Nishenko y Singh, 1987) que casualmente habla del segmento de San Marcos. Dice lo siguiente: “Los sismos de 1937 y de 1950 y 1957 representan cada uno una ruptura parcial de la zona de 1907... Por lo tanto, los intervalos observados de recurrencia para la región de Acapulco-Ometepec durante el presente siglo varían entre más de 30 a 50 años (o sea, 1937 a 1907 y 1957 a 1907)”. Nótese que el primer autor de ambos artículos es la misma persona.

Resulta que uno de los sismos mencionados en el primer artículo, el de 1907, no era definitorio solamente del segmento de San Marcos sino también de un segmento más grande que lo incluye y que ahora se llama la “región” de Acapulco-Ometepec. Esta “región” se rompió parcialmente en el sismo de San Marcos de 1957, y también parcialmente en otros sismos (1937, 1950) que no se mencionan en el primer artículo. Todos ellos, sin embargo, siguen siendo sismos “característicos”.

¿No que los sismos característicos “definen” los segmentos en que ocurren? ¿Cómo puede decirse entonces que tanto el sismo de 1907 como el de 1957 “definen” el segmento de San Marcos, y que al mismo tiempo el de 1907 “define” el segmento de Ometepec, y además la región de Acapulco-Ometepec, que no es la misma?

En cuanto al intervalo promedio, ya no sabemos si es 56.0 años como afirma el primer artículo, o menos de 50 como dice el segundo. Quién sabe a qué sismos “característicos” se refiere cada uno de los artículos. Si los sismos “característicos” rompen repetidamente el mismo segmento de falla no deberían admitirse traslapes ni rupturas parciales. Una de dos: o bien algunos sismos citados no son eventos característicos (lo que arrojaría dudas sobre el autor común de ambos trabajos) o

bien los datos de la Tabla 1 eran incompletos. Aceptaremos esta última hipótesis, porque es la más compleja y por lo tanto probablemente más real; por lo demás, el co-autor del segundo trabajo es el más distinguido conocedor de la sismicidad de México, especialista en la zona de Guerrero y Oaxaca.

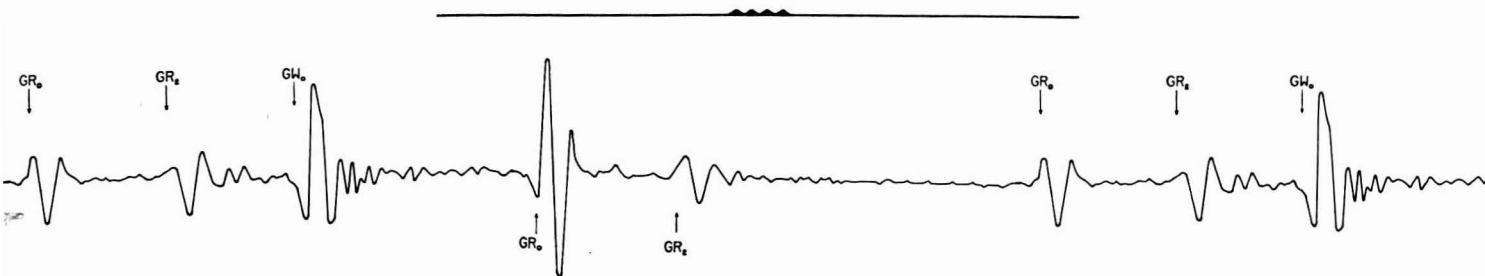
Ahora bien, si la muestra de San Marcos era incompleta ello debería modificar el promedio T_{ave} , cuyo papel en el primer trabajo es muy interesante. En efecto, Nishenko y Buland (1987) normalizan los intervalos T mediante su división por T_{ave} (sigamos, dividen 62 y 50 por 56), y hacen lo propio con todas las 14 regiones. Luego juntan todos los datos y los grafican en un mismo histograma, al que calzan una distribución logarítmico-normal. Reproduzco la conclusión de este procedimiento que suena a brujería: “Por lo tanto, la distribución de los intervalos de recurrencia para cada segmento de falla también es logarítmico-normal y $\ln(T)$ obedece a una distribución normal” (Nishenko y Buland, 1987).

Sobra decir que la distribución de muestras combinadas de 14 procesos logarítmico-normales no tiene por qué ser también logarítmico-normal. Pero eso no es todo. La normalización de las muestras no se justifica por nada. Los promedios T_{ave} , aun en el caso de que las muestras fueran completas, tienen una enorme varianza ya que el tamaño de las muestras es apenas de 3 a 4. No existe razón alguna para que la muestra combinada signiera alguna distribución en particular. Por lo demás, los autores nunca efectúan una prueba de normalidad de $\log(T)$.

Podría argumentarse que la distribución logarítmico-normal posee unas propiedades interesantes y que yo mismo he especulado con ella en mi libro (1974) por ser apta para representar la distribución de magnitudes de los temblores. Este resultado se basa en la idea de auto-similitud de las fracturas en la Tierra, cuyo mecanismo fuera discutido por primera vez por Kolmogorov (1941) y que ahora se ha hecho famoso con el nombre de *fractalidad*.

En tal caso, sin embargo, ¿cómo explicar el hecho de que los intervalos medios, en dos “segmentos” tan cercanos como Parkfield y Pallett Creek, ambos en la Falla de San Andrés, sean tan diferentes? El intervalo promedio de Parkfield (ya lo mencionamos) es de 21.8 años. El de Pallett Creek, de 194.3 años. Ambos supuestamente definidos con base en sismos “característicos”. Ambos sobre la misma falla. El corrimiento anual de la falla es el mismo en ambos lugares. Si hay auto-similitud el mecanismo de fractura debe ser homogéneo (Kolmogorov, 1941). Pero no lo es, puesto que hay diferencias tan enormes en el intervalo promedio de temblores.

Sin embargo, los autores explícitamente declaran que todos los sismos característicos son generados por *un solo proceso común*. Esto significa que debería poder predecirse un sismo de



Pallett Creek mediante observaciones hechas en Parkfield, lo que es absurdo puesto que los intervalos son completamente diversos. En conclusión, los sismos “característicos” no caracterizan nada, a no ser un gran deseo de predecir fenómenos que aún no entendemos suficientemente bien.

Parkfield

La predicción de un sismo en Parkfield para el año 1988 (Bakun y Lindh, 1985; Bakun, 1988) se basó en la secuencia siguiente de temblores supuestamente “característicos”.

1857, 1881, 1901, 1922, 1934, 1966.

Los intervalos respectivos son, en años:

24, 20, 21, 12, 32.

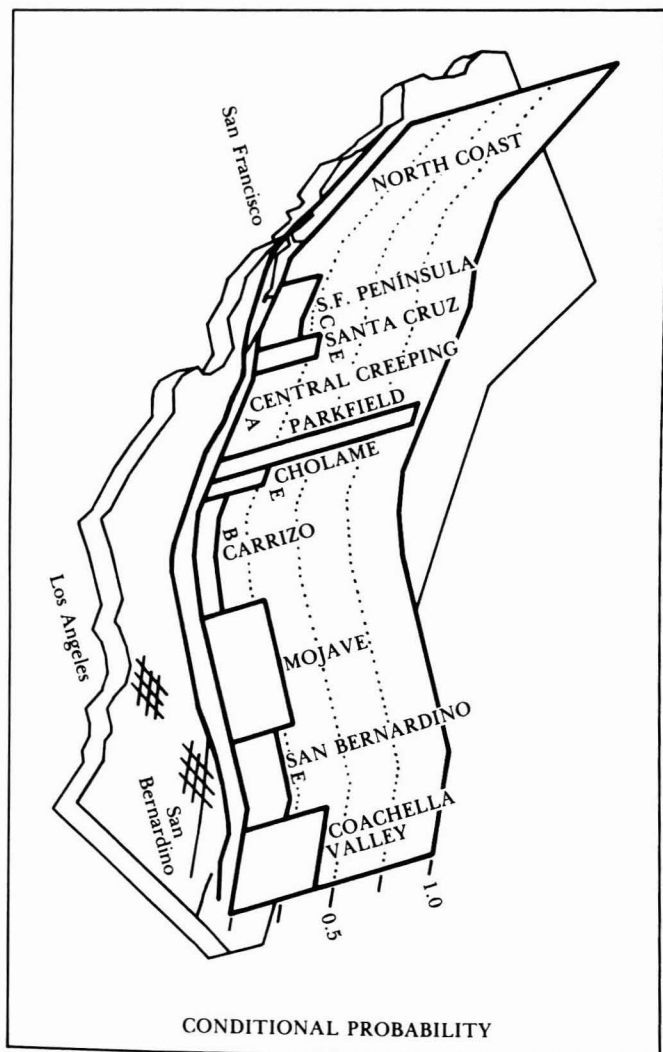


Figura 1

Esta secuencia de seis temblores ha sido descrita como “sismos de magnitud de cerca de 6 que ocurren cada 21 o 22 años y que tienen el mismo epicentro y la misma área de ruptura” (Bakun, 1988). Veamos si tal descripción corresponde a la realidad.

Notemos primero que la muestra es pequeña: apenas cinco intervalos. Luego, con la mejor buena voluntad, no puede afirmarse que los intervalos siempre sean de 21 o 22 años. El intervalo promedio sí es de 21.8 pero las observaciones varían entre 12 y 32 años, lo que representa una dispersión de más o menos diez años en torno al promedio. Esto viene a ser casi la mitad del promedio.

Hagamos una prueba a ciegas. Supongamos que estamos en 1950 y que el sismo de 1966 aún no ha ocurrido. Tenemos entonces cuatro intervalos con un promedio de $T_{ave} = 19.25$ años y una desviación estándar de 4.42 años. Hagamos nuestra predicción. Nuestro último temblor ocurrió en 1934, más exactamente (busqué la referencia) en 1934.45. Le agregamos el promedio T_{ave} más la desviación estándar:

$$1934.45 + 19.25 \pm 4.42 = 1953.7 \pm 4.42.$$

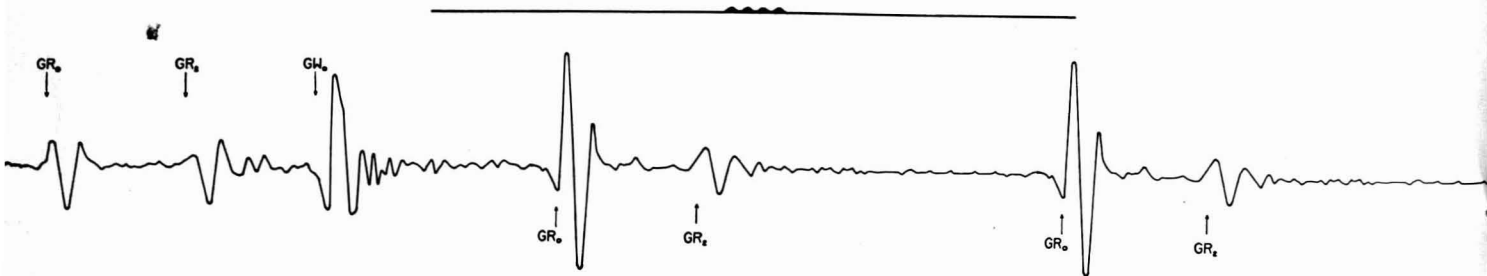
Pero esta predicción se equivoca en unos diez años, puesto que el sismo ocurrió en 1966.

El lector objetará que esto no merece llamarse “predicción” sino a lo sumo una extrapolación bastante simplista. Pero ese es exactamente el método que usaron Bakun y Lindh para la predicción hoy reconocida oficialmente (con una probabilidad de más de 90%) en California.

En este caso, resulta especialmente cuestionable el que usen la última fecha (1966) como punto de referencia para su actual predicción, puesto que el mismo método usado por ellos la predice con un error tan grande. Nótese que el intervalo precedente fue de 32 años, el intervalo extremo en toda la serie.

Bueno, podríamos ensayar nuestro propio método. Por ejemplo, si tomamos como punto de referencia el año de 1934 y le sumamos dos promedios vamos a predecir como fecha para el próximo sismo el año de 1978, con la misma probabilidad de éxito (91%) y con una variación probable de más o menos 4.3 años. Esa predicción ya pasó y con mucho; estamos en 1990 y aún no ocurre el temblor.

Otra posibilidad es la siguiente: simplemente extrapolamos el último intervalo registrado, que fue de 32 años. Obtenemos $1966 + 32 = 1998$, lo que quiere decir que aún faltarían ocho años. Pero esa predicción es tan buena como la de Bakun y Lindh, pues se basa en la suposición de que el proceso es una “caminata” aleatoria no estacionaria.



¿Qué nos queda entonces de la afirmación perentoria de que “un sismo de magnitud aproximada de 6 ocurrirá antes de 1993 sobre la Falla de San Andrés cerca de Parkfield” (Bakun, 1988)? Puede que sí, puede que no. Hay muchas alternativas plausibles. El mismo Bakun nos explica cuidadosamente que “la cantidad y la calidad de la información es dramáticamente inferior para los sismos más antiguos”. ¿Acaso deberíamos darle un peso menor a esa información del siglo pasado, época en que no había gente que vivía en la zona? (Actualmente Parkfield tiene menos de 100 habitantes y carece de todo tipo de edificios públicos.) Pero entonces deberíamos concluir que nuestro intervalo promedio está mal, puesto que las observaciones hechas después de 1901 son las que más se desvían del promedio de 21.8 años. Entre mejor sea la observación, menos se ajusta a la hipótesis de una “casi-periodicidad” que proponen los autores de la predicción.

Las “vacancias” sísmicas

El modelo más popular para predecir temblores es el de las llamadas *vacancias* (*gaps*). Básicamente, se dice que cuando 30 años han transcurrido desde el último sismo grande en una falla, es tiempo que ya ocurra otro. La zona en que se espera que ocurra se denomina “vacancia”.

Ahora bien: ¿qué hipótesis nula podemos oponer a esta hipótesis? Dicho de otra manera: ¿podemos imaginar un estado de cosas en que hubiera tales vacancias? Si la respuesta es “no”, entonces el concepto de vacancias es trivial y no puede servir para predecir nada.

Pensemos que el tamaño de la Tierra es finito. Por lo tanto, el largo de las fronteras de placas también lo es. Suponiendo que los sismos ocurren al azar en el espacio y en el tiempo, entre más largas son las rupturas mayor es la probabilidad de que se traslapen. Así, los sismos grandes tienden a repetirse en las mismas regiones o zonas de ruptura.

Por otra parte, el que se repitan inmediatamente o al poco rato es poco probable. Es más probable que pase un buen tiempo antes de que vuelva a romperse en el mismo lugar. Bueno, ¿no es esto lo mismo que dice la hipótesis de las “vacancias”? ¿Qué modelo de Tierra podríamos diseñar en que las cosas fueran de diferente manera? No se me ocurre ninguno. Se concluye que la hipótesis de las “vacancias” no contiene ninguna información que nos pueda ayudar a predecir temblores. Tomemos por ejemplo la “vacancia” de Guerrero, en el tramo entre Petatlán y Acapulco. Es verdad que no ha ocurrido una ruptura grande en este tramo en muchos años, quizá desde el año 1909. Muy bien. Tarde o temprano se volverá a romper. Pero eso lo hemos sabido siempre. ¿Quién nos dice que el próximo sismo ocurrirá precisamente allí y no en

la “región” de Acapulco-Ometepec o en Colima o Jalisco o en Michoacán o en Oaxaca? Se me dirá que es más probable, puesto que esas regiones han tenido rupturas más recientes. Pero hasta los defensores de la teoría de los sismos “característicos” reconocen que los intervalos entre éstos son de una variabilidad extrema y no los conocemos bien.

Golpes y porrazos

La política es menos interesante que la ciencia: todo se reduce a un puñado de personalidades y de dinero. Pero en el caso de la predicción de temblores, sería imposible entender su evolución sin adentrarse tantito en el campo de la política científica, que es política al fin.

Las personalidades, en nuestro campo, son pocas pero fuertes: Mao Zedong, Frank Press, Harrison Schmitt. En cuanto al dinero, ha salido principalmente de los bolsillos de los contribuyentes.

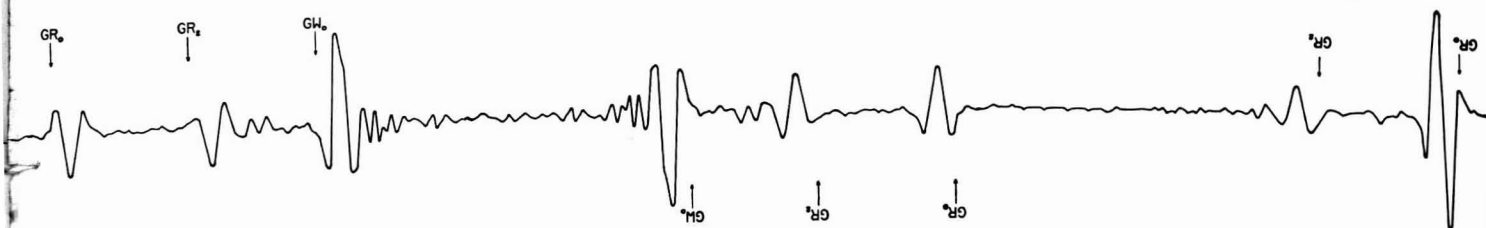
En un principio dominaban el estrecho campo de la sismología media docena de barones o señores feudales, tales como Jeffreys, Gutenberg, Ewing, Tsuboi, Merle Tuve y otros. Vivían como espartanos y hacían investigación como podían. Repentinamente surgió la política y el dinero empezó a fluir.

El proyecto VELA-Uniform (1960-1965) era un proyecto semisecreto destinado a encontrar un método para detectar las explosiones nucleares soviéticas mediante las ondas sísmicas registradas a gran distancia. Los sismólogos no estaban acostumbrados a tener dinero, y con la euforia terminaron su trabajo rápidamente y demasiado bien. Hubo que frenarlos, ya que de lo contrario podrían haber logrado un tratado prohibiendo todas las explosiones nucleares: y los políticos no estaban preparados para ir tan lejos.

En otras palabras: se vio que era enteramente factible controlar las explosiones nucleares desde cualquier distancia. Los generales de ambos bandos sostenían, en cambio, que era necesario permitir una inspección mutua en el terreno, cosa que nadie estaba dispuesto a conceder.

¿Cómo distraer a los sismólogos? El problema era similar al que estaba teniendo Mao. Él también tenía problemas con sus científicos e intelectuales. Los rusos y los japoneses, también. Todos tenían problemas en aquella lejana época.

En 1966 el primer ministro chino, Zhou En-lai, estaba visitando el pueblo de Singtai después de un fuerte sismo. Los sobrevivientes contaban historias de perros que ladraban y cochinos que enloquecían antes del temblor. Entonces Zhou tuvo una idea. Mao odiaba a los malditos intelectuales y no desperdiciaba oportunidad para amargarles la vida. ¿Qué tal si obligamos a los científicos a regresar a las mugrosas aldeas en que vivía el pueblo y a escarbar entre el estiércol de los



cerdos, en busca del secreto de los temblores? El Jefe estaría encantado...

Así nació la Resolución de 1966 del Partido Comunista Chino, que obligaba a los sismólogos a predecir temblores *a través de la sabiduría del pueblo*. Y lo hicieron. Empezaron a predecir temblores porque no tenían otra alternativa.

Los americanos estaban pensando en predicción en esa misma época; lo mismo los rusos y los japoneses. Estaba en el aire. En fin, pasaron los años, y en 1984, cuando Bill Clark, secretario del Interior de Estados Unidos, ordenó al USGS predecir el sismo de Parkfield, ya habían muchos precedentes para tan insólita acción. Su orden ejecutiva no sólo estaba basada en la de China en 1966 sino en una ley del Congreso: la Ley Nacional de Reducción de Riesgos Sísmicos de 1977. Ésta a su vez se basaba en una propuesta de 1967 promovida por un comité encabezado por Frank Press, distinguido sismólogo que después fue asesor del presidente Carter y hoy es el presidente de la Academia de Ciencias de Estados Unidos.

En aquella época (1967), el comité había agregado a su propuesta un anexo intitolado *Alternativas*, que empezaba así:

"Con base en los conocimientos hoy existentes, sin un programa de investigación de gran alcance, mucho podría hacerse para reducir las pérdidas de vida y los daños de los futuros sismos."

Esto sonaba más convincente que toda la propuesta anterior: por lo tanto, el Congreso rechazó el proyecto.

Diez años más tarde los sismólogos habían aprendido la lección: no hablaron de "alternativas" y el proyecto fue aprobado.

El Servicio Geológico Nacional fue encargado de todo lo que se refería a predicción de sismos. Pasó el tiempo, y en la primavera de 1982 la ley de Prevención de Sismos pasó a revisión y reautorización del Congreso. La revisión demostró que la predicción de los sismos no había avanzado un ápice y que posiblemente "el USGS no se estaba moviendo agresivamente en dirección a un sistema operacional de predicción de los temblores" (Filson, 1988).

El senador Harrison Schmitt, ex-astronauta y presidente de la Sub-Comisión de Ciencias, Tecnología y Espacio del Congreso, se expresó en términos fuertes y llegó a sugerir que otro servicio federal, el NOAA, podría "ser el organismo apropiado para encabezar lo de predicción y prevención de sismos", por tener experiencia en la predicción del tiempo. Finalmente el Senado le escribió al director del USGS diciendo: "Expreso mi fuerte convicción de que algún tipo de prototipo de sistema de predicción sísmica debe funcionar en los Estados Unidos de aquí a cuatro o cinco años."

Como lo hubiera hecho cualquier dependencia del gobierno federal, el USGS dobló las manos. "En 1983 y en respuesta a la inquietud del senador Schmitt, el jefe de Programas para

Predicción del USGS, James Dieterich, publicó su informe intitolado 'Evaluación de una Red Prototipo de Predicción Sísmica para el Sur de California' " (Filson, 1988).

Los antecedentes científicos e intelectuales de la predicción de temblores no eran especialmente brillantes, desde luego; pero la comparación con la predicción del tiempo había dolido al USGS. No hace falta decir que era injusta: los meteorólogos no adelantaron nada hasta que no tuvieron equipos para medir presiones y temperaturas en la alta atmósfera, donde se generan los cambios de tiempo. Hoy disponen de todo un arsenal de equipos de medición: globos-sonda, radio-sonda, radar, satélites meteorológicos, aviones especiales, etcétera. El interior de la Tierra, en cambio, sigue inaccesible a cualquier medición directa.

Resulta, además, que las incertidumbres en la estructura interna de la Tierra habían sido subestimadas, especialmente en el problema sísmico. Por ejemplo, la profundidad focal de un temblor no puede calcularse en principio, aunque la Tierra fuera esférica y compuesta de capas concéntricas, porque todas las mediciones están en la superficie. La precisión de nuestros conocimientos sobre el interior de la Tierra dependen en forma crítica de los experimentos con explosiones. La tomografía sísmica y otras técnicas similares suelen ignorar tales limitaciones y tienden a perpetuar los errores estructurales de generaciones de sismólogos.

Galletas de la suerte

En algunos restaurantes chinos se acostumbra servir al cliente una "galleta de la suerte", que no es otra cosa sino una tortillita de masa hecha tamal que contiene un papelito con una frase enigmática, que se supone predice la buena ventura.

Veamos algunos hechos poco conocidos de la evolución de la predicción de temblores en China. En primer lugar, la afamada "predicción exitosa" del sismo de Haicheng en 1975 no fue tal. Fueron los sismos premonitorios que empezaron a ocurrir diariamente, semanas antes del sismo, los que alarmaron a la población de Haicheng. Los sismólogos se beneficiaron de la reacción natural de la gente, que consistió en construir cabinas frente a sus casas y mudarse con bastante anticipación. No hubo pues una "evacuación" de la ciudad como se dijo después. La población se salvó con o sin los sismólogos.

Pese a que la predicción de Haicheng fue inflada por la propaganda, se la sigue citando en apoyo de cualquier propuesta de un gobierno occidental para programas de predicción.

Un año después de Haicheng ocurrió el gran sismo de Tangshan, de magnitud 8. Aquí no hubo sismos premonitorios, y por lo tanto tampoco hubo predicción. Casi 350,000 habitantes de Tangshan murieron en pocos segundos, en me-



dio de la noche. Se trataba de la peor catástrofe sísmica del mundo desde 1556, cuando murieron 810,000 personas también en China.

Seis meses después de Tangshan recibí una invitación personal a Beijing para una semana de discusiones sobre el terremoto. Fueron tantos los trabajos sobre predictores que escuché que finalmente me animé a preguntar: si tanta evidencia se tenía sobre fenómenos que anunciaban el sismo, ¿por qué no lo predijeron? En la noche, me visitó una pareja de jóvenes investigadores en mi hotel, para explicarme que todos esos “precursores” habían sido estudiados e identificados *después del sismo*.

Semanas después, recibí una carta de un distinguido colega chino en la cual me decía que en gran parte sucedía lo mismo en otras pretendidas “predicciones” que se habían anunciado. Es lo que tiene que suceder cuando una comunidad científica, no importa cuán distinguida, es presionada por el gobierno para producir resultados prematuros o fuera de su alcance. La mala ciencia se parece a la buena en que es fruto de determinadas circunstancias políticas y sociales.

Veamos cómo hacían nuestros colegas chinos para predecir los temblores. La estrategia que eligieron consistió en lo siguiente. Tomaron el *Libro rojo* y eligieron una frase, construyendo toda su teoría en torno a ella. La frase fue: “Para agarrar los cachorros del tigre es necesario entrar a la cueva del tigre” (Mao Zedong, 1937).

Un momento, se dirá. La frase es suficientemente enigmática como para emcontrársela en una galleta de la suerte, pero ¿cómo predecir temblores con ella? Tal pregunta no cuenta con el ingenio de nuestros sismólogos. Considérese la siguiente interpretación: el “tigre” es el sismo, los “cachorros” son los fenómenos precursoros y la “cueva del tigre” es el epicentro del temblor. Por lo tanto, lo que el Gran Líder está tratando de decirnos es esto: para encontrar los fenómenos premonitorios es necesario entrar a la región epicentral del sismo.

Pero ¿cómo hacerlo si el epicentro del futuro sismo es precisamente lo que deseáramos saber? *Oh*, dirían los sismólogos, *ahí está precisamente la genialidad del Líder. Puesto que no lo sabemos, es necesario cubrir todo el país con estaciones de aficionados, que son gente del pueblo cuya sabiduría debemos aprovechar. Miles de estaciones, con instrumentos caseros atendidos por analfabetas, no importa, pero algunos registrarán los fenómenos precursoros si están cerquita del epicentro.*

No se vale sonreír. La predicción por el método de las galletas de la suerte dio resultados tan buenos como cualquier otro método conocido hasta ahora. Yo mismo he sucumbido a la tentación de probar este método, usando una cita china de hace 2,500 años:

*Los grandes capitanes de antes se hacían invulnerables
Y acechaban la vulnerabilidad del enemigo.*

Tu propia defensa depende de ti;

La vulnerabilidad del enemigo depende de él.

Si bien el mejor comandante puede hacerse invulnerable

No podrá hacer vulnerable al enemigo.

Dicho de otra manera:

“uno puede saber jugar

pero no puede trocar sus naipes.”

Sun Tse: *El arte de la guerra.*

Mi interpretación es la siguiente. El “enemigo” es el sismo. El “juego” que jugamos es la estrategia de control del riesgo sísmico. El “comandante” es el sismólogo. El consejo que nos da Sun Tse desde su remota prehistoria es el siguiente: la invulnerabilidad contra los sismos puede hallarse solamente en la prevención. No busquemos predecir las movidas del enemigo (o sea, el temblor) hasta que no seamos invulnerables al sismo.

¿Es acaso buena la estrategia que apuesta a la predicción mientras nuestras ciudades, nuestros edificios, nuestros puentes y nuestras carreteras se siguen cayendo en los temblores? Es tanto lo que no sabemos en el aspecto de prevención que puede parecer contraproducente tratar de ganarle el juego a un enemigo que conocemos tan poco. Si nos preparamos en Parkfield nos golpeará en San Francisco; si nos preparamos





en la costa de Guerrero nos ha de golpear en cualquier otro lugar.

Los movimientos del suelo que se registraron en la zona lodosa de San Francisco fueron inesperados, como lo fueron también los que causaron la caída de 371 edificios en la Ciudad de México en 1985. Hay mucha investigación que hacer. Por ejemplo, no conocemos la longitud de ondas del movimiento destructivo, ni en México ni en San Francisco. He propuesto muchas veces que podría tratarse de olas hidrodinámicas cortas, con una longitud de onda de unos 20 metros. Muchos colegas me han dicho que ello no es posible, pese a que tanta gente las ha visto (Richter, 1956; Lomnitz, 1970); pero la discusión continúa y no hay mediciones.

El problema urgente de medir la respuesta dinámica de los materiales geológicos en movimientos fuertes es uno de tantos problemas no resueltos gracias a nuestra negligencia en "hacernos invulnerables". Si no hubieran existido edificios de 7 a 20 pisos de alto en una pequeña zona de 25 kilómetros cuadrados en el Distrito Federal, el sismo de 1985 no hubiera hecho noticia.

Algunos ejemplos de tecnologías que podrían usarse desde ya para controlar el riesgo sísmico en nuestras grandes ciudades:

a) Amortiguadores sísmicos. Como es sabido, las inclinaciones de los edificios en el sismo de 1985 han sido hasta diez veces mayores de lo que se calculaba. Es importante reducir estas inclinaciones durante los sismos futuros. Esto es factible. La instalación de un amortiguador pasivo de tres toneladas en la azotea de un edificio de quince pisos puede reducir el movimiento hasta en un 60%, lo que basta para que el edificio no se caiga.

El principio es el mismo del amortiguador de un coche. Un bloque de concreto corre sobre rieles al interior de un tinaco lleno de agua. Al sobrevenir el temblor el bloque se desplaza dentro del agua disipando energía y reduciendo el movimiento del edificio. Cada amortiguador tiene resortes y puede sintonizarse al periodo exacto de vibración del edificio, lo que representa una gran ventaja para México puesto que los periodos de vibración son conocidos y son los mismos en casi todos los temblores, cualquiera que sea su epicentro.

b) Cojinetes amortiguadores. Otra tecnología interesante es la de los cojinetes de amortiguamiento que se usan en las cimentaciones de los edificios con el objeto de aislarlos de las vibraciones sísmicas. Son bloques de hule que contienen láminas de plomo y son capaces de soportar cargas de muchas toneladas. Su efectividad ha sido comprobada especialmente en sismos vibratorios de alta frecuencia; pero también están siendo pro-

yectados para un edificio de Teléfonos de la Ciudad de México.

c) Refuerzos. La tecnología de refuerzos para edificios sísmicamente dañados ha tenido un importante desarrollo en México después del sismo de 1985. La experiencia mexicana sin duda es de las más importantes del mundo.

d) Diseño. El mejoramiento del diseño sísmico de estructuras sobre suelos blandos representa seguramente la oportunidad máxima para la ingeniería mexicana. Se trata de un tema de frontera, que depende aún considerablemente de la investigación. No creo equivocarme al predecir que México descollará en esta rama y que contribuirá a soluciones de gran prestigio en la ingeniería mundial.

e) Alarma sísmica. México puede y debe ser el primer país en desarrollar un dispositivo de alarma capaz de alertar a los ciudadanos del Distrito Federal con un minuto de anticipación a la llegada de las primeras ondas sísmicas desde un epicentro costero. Existen sistemas tales como el dispositivo mexicano patentado Olin® que pueden cumplir con este cometido y que eventualmente representan un importante rubro de exportación de tecnología para México. ¡Manos a la obra! ◇

Referencias

- Bakun, W. H. 1988. "Introduction, and History of significant earthquakes in the Parkfield area". *Earthquakes & Volcanoes*, 20, 41-51.
- Bakun, W. H., and A. G. Lindh, "The Parkfield, California earthquake prediction experiment", *Science*, 229, 619-624.
- Cornell, C. A., and S. R. Winterstein, 1988. "Temporal and magnitude dependence in earthquake recurrence models", *Bull. Seis. Soc. Am.*, 78, 1522-1537.
- Epstein, B., and C. Lomnitz, 1966. "A model for the occurrence of large earthquakes", *Nature*, 211, 954-956.
- Filson, J. R., 1988. "The role of the Federal government in the Parkfield earthquake prediction experiment", *Earthquakes & Volcanoes*, 20, 56-59.
- Kolmogorov, A. N., 1941. "Über das logarithmisch-normale Verteilungsgesetz der Dimensionen der Teilchen bei Zerstückelung", *Izv. Akad. Nauk SSSR*, 31, 1-99.
- Lomnitz, C., 1970. "Some observation of gravity waves in the 1960 Chile earthquake", *Bull. Seis. Soc. Am.*, 60, 669-670.
- Lomnitz, C., 1974. *Global Tectonics and Earthquake Risk*, p. 93 (Elsevier, Amsterdam, 320 pp.).
- Lomnitz, C., 1985. "Tectonic feedback and the earthquake cycle", *Geophys.*, 123, 667-682.
- Mao Zedong, 1937. *On Practice* (Complete Works, Beijing).
- Nishenko, and R. Buland, 1987. "A generic recurrence interval distribution for earthquake forecasting", *Bull. Seis. Soc. Am.*, 77, 1382-1399.
- Nishenko, S. P., and S. K. Singh, 1987. "The Acapulco-Ometepe, Mexico, earthquakes of 1907-1982: evidence for a variable recurrence history", *Bull. Seis. Soc. Am.*, 77, 1359-1367.
- Richter, C. F., 1956. *Elementary Seismology* W. H. Freeman, San Francisco.
- Savage, J. C., and R. S. Cockerham, 1987. "Quasi-periodic occurrence of earthquakes in the 1978-1986 Bishop-Mammoth Lakes sequence, eastern California", *Bull. Seis. Soc. Am.*, 77, 1347-1358.
- Shimazaki, K., and T. Nakata, 1970. "Time predictable recurrence for large earthquakes", *Geophys. Res. Letters*, 86, 279-282.
- USGS, Working Group on California Earthquake Prediction, 1988. "Probabilities of large earthquakes occurring in California on the San Andres fault system", *U. S. Geol. Survey Open-File Rept.* 88-398, 62 p.