

Malas Suposiciones o Mala Suerte: ¿Por qué los Mapas de Riesgo Sísmico Necesitan Pruebas Objetivas?

Por: Seth Stein, Robert Geller y Mian Liu

Durante la Segunda Guerra Mundial, el futuro ganador del Premio Nobel Kenneth Arrow, sirvió como meteorólogo militar. "Mis colegas tenían la responsabilidad de preparar pronósticos meteorológicos a largo plazo, es decir, para el mes siguiente", escribió. "Los expertos en estadística sometieron estos pronósticos a la verificación y encontraron que estos datos carecían en su totalidad de ser fiables. Los propios pronosticadores estaban convencidos y pidieron que se suspendieran las previsiones. La respuesta decía más o menos lo siguiente: "El General al mando está muy consciente de que las previsiones no son buenas, sin embargo, los necesita para propósitos de planificación." (Gardner 2010).

Los Sismólogos encuentran a menudo una situación similar al desarrollar Mapas de Riesgo Sísmico, donde describen idealmente el nivel de riesgo de terremotos en una región y proporcionan una base científica para la preparación y mitigación de los mismos. Sin embargo, en los últimos años muchos terremotos grandes y destructivos han ocurrido en lugares cartografiados como de relativamente bajo riesgo (Kerr 2011). Un ejemplo llamativo es el terremoto de marzo de 2011 M 9.1 de Tohoku, Japón, que ocurrió en un área mostrada por el Mapa Nacional Japonés de Amenaza Sísmica como de riesgo relativamente bajo. **La Figura 1**, de Geller (2011), nos indica que:

Las regiones consideradas como las más peligrosas son las zonas de tres "Escenarios de Terremotos hipotéticos" (Tokai, Tonankai y Nankai, ver mapa). Sin embargo, desde 1979, los terremotos que causaron 10 o más muertes en Japón ocurrieron realmente en los lugares asignados a una probabilidad relativamente baja. Esta discrepancia, la última en una serie de resultados negativos para el modelo de "terremoto característico" y su primo, el "modelo de brecha sísmica" (Gap), sugiere claramente que el mapa de riesgos y los métodos utilizados para producirlo son defectuosos y deben ser descartados.

Se han producido discrepancias similares en todo el mundo. El terremoto de Wenchuan de 2008 (M 7.9) en China ocurrió en un sistema de fallas previamente evaluadas basado en la falta de sismicidad reciente y tasas de deslizamiento lentas, para tener bajo riesgo. Otro ejemplo es el límite de placas convergente entre África y Eurasia en el norte de África. El Mapa Mundial de Riesgo Sísmico de 1999, que muestra la aceleración esperada a un 10% de probabilidad en 50 años, presenta un riesgo prominente de "ojo de buey" en el sitio del terremoto de M 7.3 de 1980 en El Asnam. Los mayores terremotos subsiguientes hasta la fecha, los acontecimientos de M 6.8 de Argelia y 2004 de M 6.4 Marruecos, no ocurrieron en el punto de mira ni en las regiones designadas como de alto riesgo. El terremoto de M 7.1 Haití de 2010 ocurrió similarmente en una falla cartografiada en 2001 como de bajo riesgo, y produjo un movimiento en tierra mucho mayor que el mapa predijo.

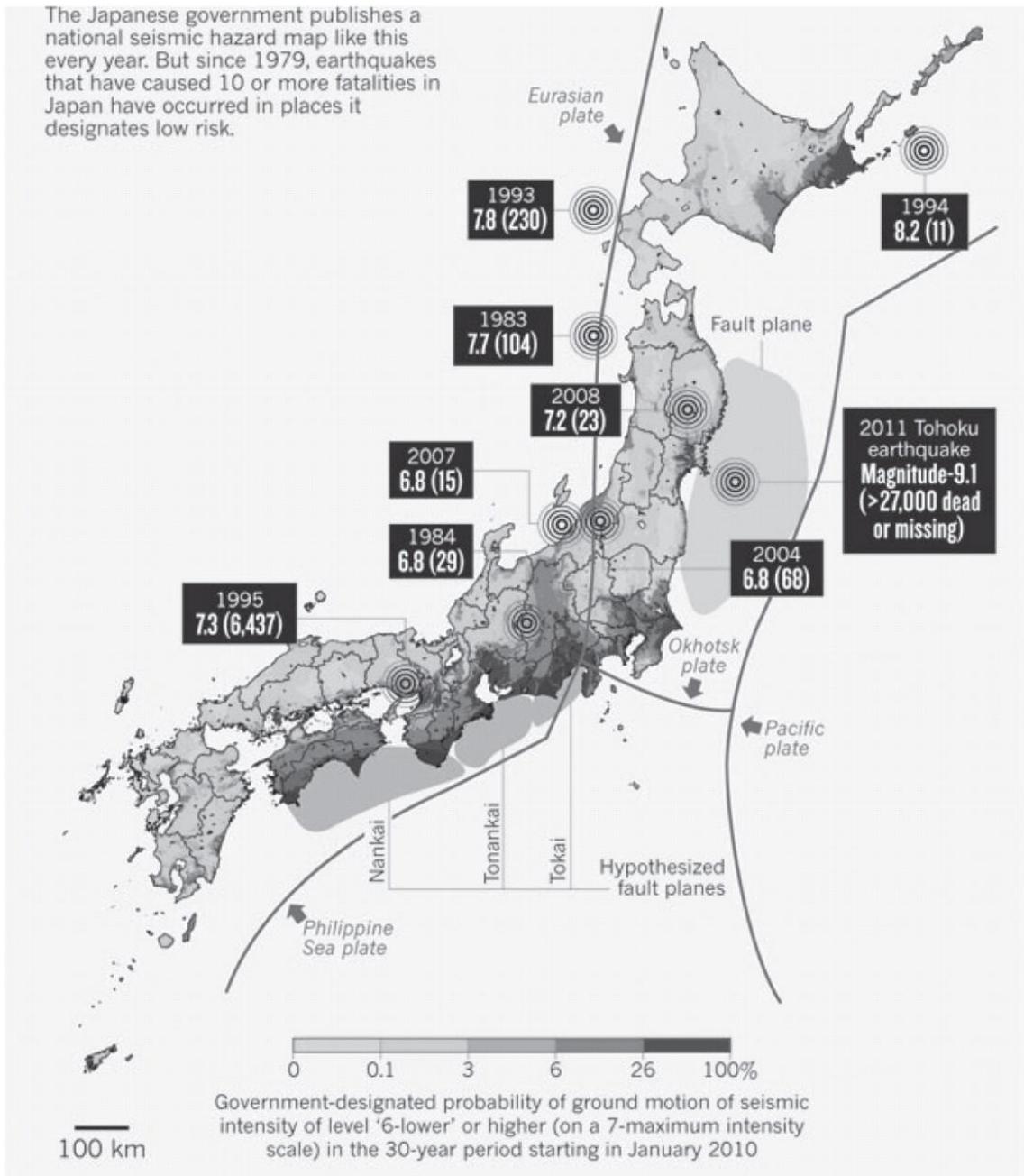
EVALUACIÓN DE LOS MAPAS DE RIESGOS:

En los casos antedichos, los mapas fallaron en predecir perceptiblemente el peligro del terremoto. Sin embargo, sus autores podrían argumentar que debido a que los mapas predicen el máximo temblor esperado con alguna probabilidad en algún intervalo de tiempo, los terremotos mucho mayores y las sacudidas resultantes que realmente ocurrieron son eventos raros que no deberían usarse para juzgar los mapas como equivocados. Entonces, ¿cómo debemos juzgar el desempeño de un mapa? Actualmente, no hay criterios generalmente aceptados. Es sorprendente que, aunque estos Mapas de Riesgo se utilizan ampliamente en muchos países, sus resultados nunca han sido objeto de pruebas objetivas.

Un principio básico de la ciencia es que los métodos deben ser aceptados sólo después de que se demuestre que son significativamente más exitosos que los basados en hipótesis vacías, que por lo general se basan en el azar casual. De lo contrario, deberían ser rechazados, independientemente de lo atractivo que aparenten.

Los resultados en otros campos de la ciencia, como la medicina basada en la evidencia, que evalúa objetivamente los tratamientos ampliamente utilizados, son instructivos. Por ejemplo, Moseley et al. (2002) encontraron que aunque cada año se realizaban más de 650.000 cirugías artroscópicas de rodilla a un costo aproximado de US\$5,000.00, un experimento controlado demostró que "los resultados no eran mejores que un procedimiento placebo".

Los pronósticos meteorológicos, que son conceptualmente similares a los Mapas de Riesgo Sísmico, se evalúan rutinariamente para evaluar cuán bien sus predicciones coinciden con lo que realmente ocurrió (Stephenson 2000). Los pronósticos también son probados para ver si lo hacen mejor que usar el promedio de esa fecha en años anteriores, o asumiendo que el tiempo de hoy será el mismo que el de ayer. A lo largo de los años, este proceso ha producido mejoras significativas en los métodos y resultados de predicción y ha permitido una evaluación mucho mejor de las dudas o incertidumbres. Este enfoque conceptual también es utilizado por los modeladores climáticos, quienes presentan y comparan las predicciones de una serie de modelos y discuten cómo las diversas suposiciones utilizadas en la construcción de los modelos contribuyen a sembrar dudas.



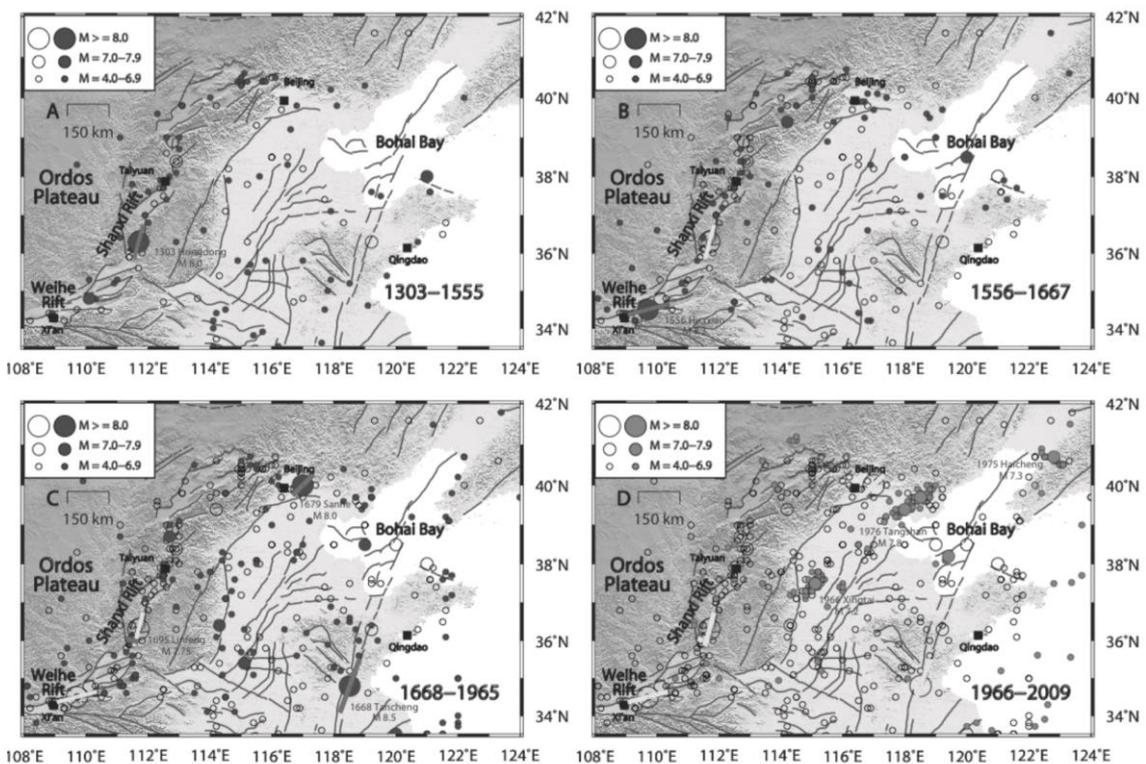
▲ **Figura 1.** Comparación del Mapa de Amenaza Sísmica del gobierno japonés con las localizaciones de los terremotos desde 1979 que causaron 10 o más muertes (Geller 2011).

Los ejemplos recientes de grandes terremotos que producen temblores mucho mayores de lo previsto por los mapas de riesgo indican la necesidad de un proceso análogo. Esto implicaría el desarrollo de criterios objetivos para probar tales mapas en comparación con la sismicidad que realmente ocurrió después de que fueron publicados. Dichos ensayos mostrarían lo bien que funcionaban los mapas, darían una mejor evaluación de sus verdaderas incertidumbres e indicar si los cambios en la metodología a lo largo del tiempo dieron como resultado un mejor desempeño. Se podrían utilizar varias medidas. Una natural sería la de comparar la aceleración máxima observada a lo largo de los años en regiones dentro del mapa de peligrosidad a la predicha por el mapa y por algunas hipótesis vacías. Una simple hipótesis vacía es la de una

distribución regionalmente uniforme de la sismicidad. La **Figura 1** sugiere que el Mapa de Riesgo Sísmico japonés está funcionando peor que una hipótesis vacía.

Es importante probar los mapas utilizando un registro por el más largo período de tiempo posible. Como resultado, el mayor desafío para tales pruebas es la disponibilidad de un registro de sacudidas de terremotos relativamente corto. Se podrían utilizar varios enfoques para abordar esta cuestión. Uno sería probar conjuntamente mapas de diferentes áreas, además de probar mapas de áreas individuales, lo que podría dar resultados estadísticamente más significativos.

En las pruebas, es importante evitar los sesgos o deformaciones debido a los nuevos mapas realizados después de un gran terremoto que los mapas anteriores no advirtieron. Los expertos en estadísticas se refieren a tales cambios a posteriori de un modelo como "Texas sharpshooting", en la que uno primero dispara al "Blanco" y luego dibuja círculos alrededor de los agujeros de bala. En algunos casos evaluar si y cuánto mejor puede un nuevo mapa predecir eventos futuros que uno más viejo puede tomar un tiempo, a veces cientos de años.



▲ Figura 2. Mapa de Terremotos históricos en el norte de China, mostrando que la sismicidad ha migrado de tal manera que ningún segmento de falla se ha roto dos veces en 2.000 años. Los círculos sólidos son ubicaciones de eventos durante el período que se muestra en cada panel; Los círculos abiertos son las localizaciones de los acontecimientos de 780 AC al final del período anterior (DC 1303 para el panel A). Las barras muestran las longitudes de ruptura para grandes eventos seleccionados (Liu et al., 2011).

La prueba de una hipótesis es el Alma del Método Científico. A pesar de las dificultades, es esencial que se lleve a cabo un proceso continuo de pruebas serias y objetivas para los métodos utilizados en producir mapas de Riesgo Sísmico. Mientras tanto, los mapas de

amenazas deben ser presentados al público y a los responsables de la formulación de políticas con una discusión clara de las dudas o incertidumbres en ellos.

¿SON RAZONABLES LAS SUPOSICIONES?

Varios supuestos cruciales se utilizan en la elaboración de mapas de riesgos. Éstos implican 1) dónde y cuándo ocurrirán grandes terremotos, 2) cuán grandes serán, y 3) cuánto movimiento del suelo producirá. Los dos primeros supuestos se basan en el concepto de recurrencia de los terremotos característicos, un modelo que ha fracasado incluso en un lugar aparentemente muy bien estudiado: Parkfield, California, en la falla de San Andreas (Jackson y Kagan, 2006). La historia del terremoto puede dar una cierta orientación, pero la historia del terremoto disponible con registros instrumentales y Paleo-Sismicidad es a menudo demasiado corta comparada al tiempo largo y variable de la recurrencia de los Grandes terremotos. En tales casos, las magnitudes de los mayores terremotos en el futuro y las sacudidas resultantes esperadas son poco conocidas. Así, por ejemplo, los autores de los mapas japoneses descontaron la probabilidad de un evento M 9 fuera de Tohoku (Stein y Okal 2011). La escasez de los registros sísmicos también puede hacer que la evaluación del riesgo sea sesgada por los recientes eventos de gran tamaño, que producen “Ojos de Buey” de alto riesgo en los mapas (Swafford y Stein 2007). Estos “Ojos de Buey” pueden ser engañosos, especialmente en medio de los continentes donde los patrones espacio-temporales de la sismicidad son más irregulares que los de los límites de las placas. Por ejemplo, un registro de 2,000 años del Norte de China muestra la migración de grandes terremotos entre sistemas de falla distribuidos en una amplia región de tal manera que ningún terremoto grande rompió el mismo segmento de falla dos veces en este intervalo (**Figura 2**). Por lo tanto, un subconjunto corto del registro influiría en la evaluación del riesgo.

Otro problema es si asumir que la probabilidad de un terremoto mayor es constante con el tiempo o varía. Este último, que asume que la recurrencia del terremoto sigue un Ciclo Sísmico, predice una probabilidad más baja para los primeros dos tercios del intervalo de recurrencia media y una probabilidad más alta más tarde cuando se supone que el terremoto se vence. La hipótesis del Ciclo Sísmico es atractiva y es la razón por la cual las áreas de Tokai, Tonankai y Nankai se prevé que presentan un alto riesgo en la **Figura 1**. Sin embargo, los grandes terremotos a menudo no ocurren preferentemente en las brechas sísmicas esperadas.

Los Mapas de Riesgo Sísmico por necesidad dependen de los supuestos de sus autores. Esta dependencia se puede ilustrar mediante la comparación de los mapas de la misma área hecha con diferentes supuestos, que pueden predecir los riesgos diferentes por factores de tres a cuatro. Estas diferencias ilustran algunas de las incertidumbres que hacen que la evaluación del desempeño de los Mapas de Peligrosidad sea crucial.

¿MISIÓN IMPOSIBLE?

Lo ideal sería que los Mapas de Peligrosidad no subestimaran el peligro, lo que conduciría a una preparación inadecuada, pero que tampoco lo sobreestimaran, desviando recursos innecesariamente. Se espera que las pruebas objetivas de las sucesivas generaciones de mapas de peligrosidad mejorarán su rendimiento. Sin embargo, hay límites en la forma en que se pueden hacer los Mapas de Peligrosidad. Algunas son impuestas por la falta de conocimiento y

la variabilidad intrínseca de los procesos sísmicos. Otros pueden reflejar el hecho de que los mapas se producen sobre la base de postulados, como los modelos de “Terremoto Característico” y / o del Ciclo Sísmico. Si estos modelos se diferencian fundamentalmente de la física no lineal real de la ocurrencia de un terremoto, como puede ser el caso, entonces ninguna cantidad de ajuste y ajuste de modelos puede producir mapas de peligrosidad que se aproximen al ideal. Tal desarrollo puede parecer desalentador, pero puede llegar a ser el caso. La prueba objetiva de los Mapas de Peligrosidad es la única manera de averiguarlo.

BIBLIOGRAFÍA

Gardner, D. (2010). *Future Babble: Why Expert Predictions Fail—and Why We Believe Them Anyway* (Toronto: McClelland & Stewart).

Geller, R. J. (2011). Shake-up time for Japanese seismology. *Nature* 472, 407–409.

Jackson, D. D., and Y. Y. Kagan (2006). The 2004 Parkfield earthquake, the 1985 prediction, and characteristic earthquakes: Lessons for the future. *Bulletin of the Seismological Society of America* 96, S397–S409.

Kerr, R. (2011). Seismic crystal ball proving mostly cloudy around the world. *Science* 332, 912–913.

Liu, M., S. Stein, and H. Wang (2011). 2000 years of migrating earthquakes in north China: How earthquakes in mid-continent differ from those at plate boundaries. *Lithosphere* 3; doi:10.1130/L129.

Moseley, J. B., K. O’Malley, N. J. Petersen, T. J. Menke, B. A. Brody, D. H. Kuykendall, J.C. Hollingsworth, C. M. Ashton, and N. P. Wray. (2002). A controlled trial of arthroscopic surgery for osteoarthritis of the knee. *New England Journal of Medicine* 347 (2), 81–88.

Stein, S., and E. Okal (2011). The size of the 2011 Tohoku earthquake needn’t have been a surprise. *Eos* 92, 227–228.

Stephenson, D. B. (2000). Use of the “Odds Ratio” for diagnosing forecast skill. *Weather and Forecasting* 15, 221–232.

Swafford, L., and S. Stein (2007). Limitations of the short earthquake record for seismicity and seismic hazard studies. In *Continental Intraplate Earthquakes, Special Paper 425*, 49–58, S. Stein and S. Mazzotti, eds. (Boulder, Colorado: Geological Society of America).

AUTORES:

Seth Stein, Department of Earth and Planetary Sciences Northwestern University Evanston, Illinois 60208 U.S.A. seth@earth.northwestern.edu

Robert Geller, Department of Earth and Planetary Science Graduate School of Science University of Tokyo Tokyo 113-0033 Japan. bob@eps.s.u-tokyo.ac.jp

Mian Liu, Department of Geological Sciences University of Missouri Columbia, Missouri 65211 U.S.A. lium@missouri.edu