

FACTORES DE INCERTIDUMBRE EN EL PRONÓSTICO DE LOS FENÓMENOS VOLCÁNICOS Y SÍSMICOS

Jorge Oyarzún Muñoz*

Resumen

Las causas y los mecanismos de los eventos geológicos de corta duración y gran liberación de energía, como los sismos y las erupciones volcánicas, son actualmente bien comprendidos en sus aspectos básicos. Sin embargo, la ocurrencia de eventos individuales está condicionada por una serie de parámetros que escapan a las posibilidades de observación y medición de los especialistas. Puesto que estas situaciones de incertidumbre han conducido a graves decisiones judiciales, es recomendable que los científicos especialistas sean especialmente cuidadosos en sus comunicaciones de riesgo a los organismos encargados de la toma de decisiones.

Palabras clave: Erupción; sismo; toma de decisiones ; catástrofe.

Las erupciones volcánicas, junto con los sismos de gran magnitud y los tsunamis asociados, constituyen los fenómenos geológicos más violentos, y junto con algunos tipos de deslizamientos de suelos y rocas, son los de más rápido desarrollo. Actualmente se cuenta con un alto grado de comprensión en lo que respecta a su origen y mecanismo gracias a la teoría de la Tectónica de Placas. Esta última permite explicar la distribución geográfica y señalar las fajas de mayor probabilidad de sismos, actividad volcánica y peligro relativo. Sin embargo, la predicción de sucesos discretos, esto es, donde ocurrirá el próximo sismo y cuál será su magnitud, sigue estando lejos de las posibilidades de la ciencia, incluso en aquellas fajas sísmicas altamente monitoreadas como es el ámbito de la zona de la Falla de San Andrés en

California (Lotto y Stein, 2016). Puesto que estos eventos pueden afectar gravemente a la población, las autoridades esperan que sus instituciones científicas entreguen información confiable a los organismos encargados de tomar decisiones en situaciones de emergencia. Básicamente se trata de saber en qué áreas y en qué grado es necesario intervenir, por ejemplo, para evacuar a la población al iniciarse una erupción volcánica, al desarrollarse una serie localizada de sismos o al producirse un sismo de gran magnitud que implique riesgo de tsunamis. Esto puede poner a los especialistas en situaciones complejas, cuyos informes pueden ser acusados de alarmistas si el peligro no se materializa o bien ser llevados a la justicia por no haber pronosticado un evento destructivo. Tal fue el caso del terremoto de Aquila, Italia, que llevó a la condena en primera

* Geólogo (U.Ch.), Dr. Geoquímica y Dr. de Estado en Ciencias (U. París). Profesor Titular del Departamento de Ingeniería de Minas, Universidad de La Serena. Destacado Colaborador de la Revista de Marina desde 2016. (joyarzun@userena.cl).



■ Volcán Peyehue, Cordon Caulle, junio 2011.

instancia a seis años de cárcel a seis científicos del Instituto Nacional de Geofísica y Vulcanología de ese país, aunque tres años después fueron absueltos. El terremoto, ocurrido el 6 de abril del 2009, afectó a una pequeña localidad montañosa, capital medieval de la región de los Abruzzos en Italia central, y causó la muerte de unas 300 personas. El sismo fue precedido por varios movimientos menores en los meses anteriores, que los expertos estimaron como liberaciones de energía de bajo riesgo (Walters y otros, 2009). Al respecto cabe destacar que la sismología carece aún de criterios seguros que permitan diferenciar entre liberaciones de energía sin consecuencias destructivas graves y aquellas que anuncian un evento mayor (Vidale y Shearer, 2006; SCSN, 2017). La situación descrita ha generado una natural inquietud entre los científicos y ha dado lugar a importantes artículos en defensa de la profesión como el de Bretton y otros (2015) en el prestigioso *Journal of Applied Volcanology*. En este artículo se enfatiza la necesidad de que los especialistas cuenten con estándares reconocidos para la comunicación de riesgos a los responsables de la toma de decisiones.

Factores de incertidumbre

Existe una tendencia en la vulcanología y sismología a destacar los logros alcanzados por encima de las limitaciones que naturalmente las afectan. Por otra parte, es natural la competencia entre estas con respecto a los recursos económicos del Estado en lo que se refiere a la asignación de fondos. Esto también lleva a los profesionales de estas disciplinas a resaltar los logros obtenidos. Sin embargo en materias de comunicación de riesgos, es muy importante establecer los factores de incertidumbre que están presentes en las evaluaciones y pronósticos que se realizan. Así, en materia de vulcanología, es necesario precisar que no es posible conocer directamente lo que ocurre en una cámara magmática, situada kilómetros bajo la superficie, y a la cual pueden acceder magmas de distintas características. Puesto que la explosividad de los magmas depende de su viscosidad y del contenido en agua y otras sustancias volátiles, una mezcla desafortunada, rica en sílice (SiO_2) y agua puede dar lugar a una erupción catastrófica con generación de flujos piroclásticos (nubes ardientes). Esto puede ocurrir en un volcán que hasta ese momento evoluciona

sin mayores problemas y bajo la vigilancia de vulcanólogos (Pallister y otros, 2007; Davidson y otros, 2012). Un caso así puede haber estado muy cerca de ocurrir durante la erupción del volcán Chaitén en 2008, mientras los lugareños insistían en regresar para cuidar de sus animales y las embarcaciones esperaban para evacuarlos.

Respecto a los sismos, uno de los principales desafíos a los que se enfrentan los especialistas es el relativo a los “enjambres” de sismos y su interpretación (¿liberación inofensiva de energía o preludio de un sismo mayor?). Al respecto, un documento de la red sísmica del sur de California (SCSN, 2017) apoya el punto de vista de Vidale y Shearer (2006), quienes indican que existe un amplio rango de ambientes tectónicos donde se pueden generar enjambres sísmicos, y por tanto la existencia de un enjambre sólo indica con seguridad que existe una perturbación geofísica subyacente. A diferencia de los volcanes, que en nuestro país se sitúan en sitios relativamente fáciles de evacuar, es difícil pensar en hacer lo mismo en ciudades por motivos de riesgo sísmico. Sin embargo, esto se podría haber realizado en el caso de Aquila (debido a la localización de los sismos precursores y al pequeño tamaño del pueblo) si hubiera existido la posibilidad de interpretar los sismos correctamente.

Respecto a los tsunamis es necesario distinguir entre: 1) aquellos de origen lejano, para los que existen procedimientos claros y seguros incluyendo una excelente cooperación internacional; de 2) los de origen cercano, generados por sismos mayores cuyo epicentro se sitúa entre la fosa oceánica y la costa. En el caso de los segundos hay que considerar que en el sitio de la ruptura del fondo oceánico se generan dos ondas. En el caso de Chile, una dirigida hacia el Oeste, que puede afectar a nuestras islas oceánicas y al borde occidental del Pacífico, y otra dirigida hacia nuestra costa. Como señala un estudio del Servicio Geológico de los EE.UU. (USGS, 2016), las características de esta segunda onda pueden ser muy complejas y difíciles de prever. En primer lugar influyen las características del plano de ruptura y del efecto de rebote generado, así como la profundidad a la que se produjo la ruptura tectónica. A destacar que la velocidad de ambas

ondas es proporcional a la raíz cuadrada de esa profundidad, información imposible de obtener y procesar durante el evento. Otros factores a considerar son los fenómenos de reflexión de la onda y el efecto de la morfología de la línea de costa, que puede producir entrampamientos de la misma, lo que causa avances y retrocesos paralelos a la costa. Ello se traduce en que se pueden generar varias llegadas del tsunami a un mismo punto, las que pueden extenderse a lo largo de varias horas, sobrepasando incluso la altura de la primera onda, como ocurrió en el tsunami asociado al sismo del 2010 en Chile central. Desde luego estos efectos pueden ser especialmente complejos en lugares como el Golfo de Arauco o en los archipiélagos y golfos del sur de nuestro país. Aunque la aplicación de modelos puede ser de cierta ayuda, esta es necesariamente limitada, considerando todos los factores que habría que conocer previamente para obtener una previsión razonablemente aproximada (los modelos son una aproximación a la realidad, no la realidad). Algo similar sucede con el uso de tecnologías avanzadas, cuya información puede ser difícil de interpretar e incluso puede conducir a mayores errores durante el desarrollo del fenómeno.

Es conveniente que estas limitaciones sean conocidas por los usuarios directos de la información, esto es, por quienes deben tomar decisiones. También sería conveniente que las limitaciones fueran conocidas por la sociedad, puesto que existen muchas ideas equivocadas, que sobrestiman la capacidad real de las instituciones y motivan reacciones negativas cuando los pronósticos fallan. Por ejemplo, existe cierto convencimiento, respaldado por los medios de prensa, de que una red más completa de sismógrafos ayudaría a enfrentar las amenazas sísmicas en Chile. La realidad es que ello solo contribuiría a incrementar el conocimiento sismológico nacional y mundial, pero sería de poco valor práctico a la luz del conocimiento actual. Por otra parte, aunque los análisis teóricos permiten estimar condiciones favorables para el desarrollo de un gran sismo (como en el caso del extremo norte de Chile), pueden pasar décadas antes de que algo así ocurra –si es que llega a ocurrir en la forma

pronosticada— lo que le otorga poco valor para la toma de decisiones.

La sociedad, el Estado y los especialistas

La sociedad actual tiene grandes expectativas respecto al papel del Estado y a su labor protectora respecto a todas las situaciones que puedan amenazar su seguridad y bienestar, así como en lo referente a una amplia gama de derechos que les han sido garantizados. Naturalmente ello incluye los efectos de los peligros geológicos, y como resultado de esto, las personas que se sientan afectadas por las omisiones o errores del Estado buscarán compensaciones a través de los tribunales de justicia. El Estado, por su parte, dispone de una amplia gama de organismos e instituciones que le permiten planificar y ejecutar las respuestas que estime más adecuadas para enfrentar las emergencias de carácter geológico o geofísico. En materia de planificación cuenta con instrumentos como las evaluaciones de impacto ambiental y el ordenamiento territorial, así como con leyes y disposiciones que regulan la calidad de las construcciones. Justamente es en el uso adecuado de esos instrumentos, como los estándares de construcción y la prohibición de construir en sitios que implican un alto riesgo, donde el Estado cuenta con sus mayores fortalezas. Sin embargo, es frecuente que estas no sean aprovechadas debido al efecto de la presión social (situación que se lamenta después de que sucede una catástrofe). Por otra parte el Estado dispone de un organismo (la ONEMI) encargado de tomar decisiones en situaciones críticas. También están las instituciones científico-profesionales como el Servicio Nacional de Geología y Minería y el SHOA, que le entregan la información necesaria para esa toma de decisiones.

A raíz del sismo del 2010 y a los procesos judiciales que le siguieron, así como se desprende de las repercusiones del caso Aquila en Italia, existe una mayor conciencia del riesgo a que se enfrentan tanto los especialistas científicos como quienes tienen que tomar decisiones frente a los errores que se puedan cometer, ya sea por falta de información necesaria, el escaso tiempo disponible para evaluarla, o bien por

errores de apreciación. En el fondo es la misma situación que llevó a los vulcanólogos a elaborar el artículo ya citado de Bretton y otros (2015). En dicho artículo se urge a los vulcanólogos a actuar con el máximo esmero profesional, considerando todos los factores posibles en sus recomendaciones, registrando con cuidado las evidencias consideradas, conservando copias de sus informes, y tomando en cuenta las posibles consecuencias legales de sus opciones. También se les recomienda un cuidado especial respecto a la comunicación de los peligros a quienes toman las decisiones, materia en la que se detectan vacíos importantes. Al respecto se reconoce que “una cultura de culpabilidad se ha instalado en la sociedad moderna”, junto con la judicialización de las relaciones y el estímulo que implican las indemnizaciones en dinero, situación a la cual “es improbable que puedan escapar los vulcanólogos”. Naturalmente el cuidado profesional debe considerar de manera especial las incertidumbres que implica la incompleta información disponible, destacando la naturaleza probabilística de las conclusiones que esas incertidumbres implican (Hasian y otros, 2014). En el presente análisis no hemos tratado lo referente a la situación de quienes están encargados de tomar decisiones, que también se enfrentan a situaciones difíciles frente a las presiones de los distintos sectores involucrados, las que en algunos casos pueden llegar incluso a las agresiones físicas.

La comunicación de los científicos con los miembros del poder judicial puede ser también un tema interesante a considerar. Aunque ambos tipos de especialistas utilizan el concepto de leyes, el origen de ellas es muy diferente cuando se trata de leyes humanas y leyes naturales. Las segundas no dependen de la voluntad humana y su compleja interacción puede implicar amplios campos de incertidumbre. En este sentido, el científico debe reconocer su ignorancia respecto a buena parte del comportamiento de la naturaleza, el que escapa a su observación directa. Por su parte, el mundo judicial procura evitar esas situaciones de “suspensión del juicio”. Tampoco la intervención de especialistas como testigos de cargo o de descargo es necesariamente una solución, puesto que pueden existir amplias diferencias de opinión, incluso entre connotados especialistas.

Conclusiones

Pese al notable desarrollo de las ciencias geológicas y los avances en materias tecnológicas y de modelación de eventos, persisten amplias zonas oscuras producto de la imposibilidad de conocer parámetros clave en el desarrollo de los eventos sísmicos y volcánicos individuales.

Puesto que esos eventos implican peligros que pueden comprometer muchas vidas humanas y las decisiones de evacuación deben ser tomadas en muy cortos períodos de tiempo, existe una fuerte presión sobre quienes deben informar sobre bases de conocimiento necesariamente incompletas.

Los procesos judiciales como los seguidos en Italia a raíz del caso de Aquila y en Chile a consecuencias del tsunami asociado al terremoto del 2010, han agregado un factor adicional a la natural presión que implica realizar esas evaluaciones.

Junto con extremar el cuidado profesional, se recomienda a los especialistas destacar la naturaleza probabilística de sus evaluaciones y pronósticos, así como los principales factores de incertidumbre que pueden afectarlos, sin olvidar que ellos pueden ser posteriormente materia de juicios legales.

* * *

BIBLIOGRAFÍA

1. Bretton, R. J., Gottsmann, J., Aspinall, W.P. y Christie, R. (2015) Implications of legal scrutiny processes (including the L`Aquila trial and other recent court cases) for future volcanic risk governance. *Journal of Applied Volcanology*, 4:18.doi10.1186/s13617-015-0034-x
2. Davidson, J.P., Collins, S y Morgan, D.J. (2012) The role of magma mixing in creating magmatic diversity. *Amer. Geophys. Union Fall Meeting*. <http://adsabs.harvard.edu/abs/2012AGUFM.T11F..05D>
3. Hasian, M. Jr, Paliewicz, N.S. y Gehl, R.W. (2014) Earthquake controversies, the L`Aquila trials, and the alternative struggles for both cultural and scientific power. *Canadian Journal of Communication*, vol 39, pp 557-576.
4. Lotto, G., y Stein, R. (2016) Earthquake swarms do not signal that "The Big One" is coming. *Temblor*. <https://www.earthmagazine.org>.
5. Pallister, J.S., Hoblitt, R.P., Meeker, G.P., Knight, R.J., y Siems, F. (2007) Magma mixing at Mount Pinatubo: Petrographic and chemical evidence from the 1991 deposits. *Geology*, June 2007, <https://pubs.usgs.gov/pinatubo/pallister>.
6. SCSN (2017) Earthquake swarms. Southern California Seismic Network. 6p, [www.scsn.org/index.php/earthquakes/earthquake-swarms /](http://www.scsn.org/index.php/earthquakes/earthquake-swarms/)
7. USGS (2016) Life of a tsunami. U.S. Geological Survey, Pacific Coast and Marine Science Center. <http://warrus.wr.usgs.gov/tsunami/basics.html>.
8. Vidale, J.E y Shearer P.M. (2006) A survey of 71 earthquake burst across southern California: Exploring the role of pore fluid pressure fluctuations and aseismic slip as drivers. *J. Geophys. Res.*, 111, B05312, doi:10.1029/2005JBOO4034.
9. Walters, R.J., Elliott, J.R., D`Agostino, N.D, England, P.C., Hunstad, I., Jackson, J.A., Parsons, B., Phillips, R.J., y Roberts, G. (2009) The 2009 L`Aquila earthquake (central Italy): A source mechanism and implications for seismic hazard. *Geophysical Research Letters*, vol., 36, L17312, 6p., doi:10.1029/2009GL039337,2009.