

# Reflexiones sobre Protección y Refugios contra Erupciones Volcánicas, relación Geométrica entre Volcanes, Hipótesis de Previsión de Actividad

---

Carlos Luis MARTÍN FERNÁNDEZ

---

Facultad de Arquitectura y  
Centro Integral de Gestión Ambiental  
Universidad tecnológica Indoamérica  
Calle Bolívar 20-35; Ambato, Ecuador  
carlosluis@coam.es

## RESUMEN

*La protección, ante el peligro que supone la actividad de los volcanes, se basa, no solo en una concienciación y evacuación, sino también, en ciertos casos, donde no es posible la evacuación, en disponer de refugios u otros sistemas de protección. La geometría sorprendente entre algunos volcanes podría tal vez dar claves para posible previsión de actividad. Un aspecto a destacar en volcanes con nieve y hielo es que en caso de calor de actividad volcánica, la masa solidificada de agua al derretirse, puede producir efectos mucho más dañinos que la lava u otros. El caso del agua derretida, al ser en ocasiones de millones de m<sup>3</sup>, puede alcanzar distancias mucho mayores que la de la lava, y a gran velocidad puede alcanzar rápidamente a poblaciones lejanas. El volcán del Chimborazo (Ecuador) es conocido por las gentes del lugar, como Volcán de agua, y puede suponer un factor de riesgo que hay que medir y así prever soluciones en caso de actividad. Se proponen refugios para lavas y otros efectos volcánicos, de al menos dos tipos: uno de ellos en los antiguos tubos de lava, y otro tipo, excavado bajo tierra. También se propone un sistema de protección en caso de excesiva caída de cenizas.*

## PALABRAS CLAVE

Arquitectura, protección contra volcanes, refugio, lava, volcán, actividad volcánica

## ABSTRACT

*Protection, to the danger supposed by volcanic activity, is based not only on awareness and evacuation, but also, in certain cases where evacuation is not possible, in having shelters or other protection systems. The surprising geometry between some volcanoes could perhaps provide clues to forecasting possible activity. A noteworthy aspect of volcanoes with snow and ice, is that in case of volcanic heat, the solidified ice mass melts rapidly, and may produce effects much more damaging than the lava itself or other factors. In the case of melted water, being sometimes millions of m<sup>3</sup>, may reach much greater distances than lava, at such high speed that can reach distant populations. The volcano of Chimborazo (Ecuador) is known by locals as water volcano, and it may be a risk factor to be measured and, thus provide solutions in case of activity. In this paper, two types of shelters against lavas and other volcanic effects are presented: one in the ancient lava tubes, and other, dug underground. Also a protection system in case of excessive ash fall is proposed.*

## KEYWORDS

Architecture, protection against volcanoes, shelter, lava, volcano, volcanic activity.



## 1. Introducción

Los sistemas de protección a efectos de volcanes no son apropiados en todos los casos. En particular, en casos de actividad súbita y en especial en la noche. Los refugios y sistemas de protección propuestos en este proyecto, podrían generar una serie de ventajas, para la población que pudiere verse afectada.

La construcción de refugios supone un incremento en el bienestar, pues favorece una mayor tranquilidad en las personas al saber que hay elementos físicos para la protección, además de planes para evacuar la zona. En la historia se han producido excesos de generación de cenizas de volcán que han perjudicado seriamente a poblaciones en el mundo, y no han habido refugios bien establecidos para proteger a la población.

Para los vulcanólogos es muy importante saber qué tipo de materiales arroja el volcán, a fin de analizar los efectos secundarios que puede causar dicha erupción y organizar un plan de contingencia para salvar vidas de las poblaciones potencialmente afectadas. Dependiendo del tipo de material, se deberían implementar distintos tipos de refugios o protección para las personas.

Cuando un volcán expulsa rocas, cenizas, vapor a la atmósfera (mezcla de componentes denominada "Tefra"), puede alcanzar a altas capas de la atmósfera siendo llevadas por el viento y depositadas en otros lugares muy distantes. Esta Tefra puede causar muchos daños en las poblaciones, pues entre otras cosas, posee vidrio volcánico en la ceniza. Los daños son mayores cuanto más cerca se esté del volcán, por su mayor concentración. Dichos daños pueden afectar a:

- la salud humana, dañando los ojos, garganta, vías respiratorias, y de forma prolongada puede producir efectos más serios;
- salud de animales;
- los cultivos, ya que pueden quedar inservibles,

al menos temporalmente, al cubrirse de cenizas, pudiendo incluso impedir así la fuente de alimentación de ganadería;

- vías de desfogue de aguas (lluvias) de la ciudad, debido a taponamiento;

- motores de autos, etc.

### 1.1 Antecedentes históricos mundiales

El día 24 de agosto del año 79 d.C. y durante tres días de erupción del volcán Vesubio, en la antigua ciudad de Pompeya (cerca de la ciudad de Nápoles, Italia), las cenizas crearon una capa de 6 metros de espesor, y más de 2.000 de sus 20.000 habitantes fueron enterrados bajo dicha capa de cenizas.

Aún de mayor consideración es el Flujo piroclástico, llamado también, nube ardiente, o avalancha incandescente: son gases calientes en forma de nube ardiente que se desplazan pendiente abajo a velocidades cercanas a los 200 km/h. Transportan fragmentos de rocas que, a causa del rebote de los gases calientes en expansión, se depositan a lo largo de más de 100 km desde su punto de origen. En el año de 1902, una nube ardiente de un pequeño volcán llamado Pelee («pelado») en isla Martinica destruyó a la ciudad portuaria llamada San Pedro. La destrucción fue tan devastadora que murió casi toda la población (unos 28.000 habitantes).

Otro elemento a considerar es el de los Lahares. Hay volcanes que ocasionan gran número de víctimas, debido a que sus grandes cráteres están durante el periodo de reposo convertidos en lagos o cubiertos de nieve. Al recobrar su actividad, el agua mezclada con cenizas y otros restos, es lanzada formando torrentes y avalanchas de barro, que cuentan con una enorme capacidad destructiva. Un ejemplo fue la erupción del Nevado de Ruiz (Colombia) el 13 de noviembre de 1985. El Nevado del Ruiz es un volcán explosivo, en el que la cumbre del cráter (5.000 msnm) estaba recubierta por un casquete de hielo; al ascender la lava se recalentaron las capas de hielo, for-

mando unas coladas de barro que invadieron el valle del río Lagunilla y sepultaron la ciudad de Armero, con 24.000 muertos y decenas de miles de heridos.

## 1.2 Prevenciones actuales

Hasta ahora las prevenciones o soluciones frente a la actividad volcánica son pocas. En el caso de cenizas no calientes, se recomienda permanecer dentro de los edificios con puertas y ventanas cerradas, ó protegerse con mascarillas y usar gafas con cierre lateral a los ojos. Aunque en el caso de que un temblor fuerte rompiere los cristales de las edificaciones, este sistema no sería tan válido.

En el caso de previsión de cenizas con gases calientes, o de lava, se recomienda el evacuar la zona. Pero esto tampoco es siempre posible, pues las erupciones volcánicas, hoy por hoy, son en algunos casos imprevisibles.

Se observa que ambas recomendaciones pueden ser contradictorias en algunos casos: es decir, se recomienda permanecer en edificios (si el problema es solo cenizas) y se recomienda lo contrario, evacuar la zona (si son cenizas con afección de lavas o flujos piroclásticos). La cuestión es que, a veces, al caer mucha ceniza (por ejemplo por la noche, al no recibir información por radio, por falta de electricidad), la población no sabe si debe huir o permanecer en la casa.

Es decir, que ninguno de estos métodos es totalmente confiable, ni puede prever pérdidas humanas en casos en que la evacuación es una opción. El objetivo de este trabajo es proponer refugios seguros y útiles en caso de actividad volcánica, así como modificaciones a los sistemas de construcción actuales, con base en recopilación científica y consultas a expertos en el tema.

## 2. Metodología

Para la recopilación de información, se reali-

zaron consultas con vulcanólogos expertos (como Patricio Ramón, Departamento de vulcanología, Universidad Politécnica, Quito) que trabajan actualmente en la materia. Se recopilieron datos existentes en la actualidad en distintos países (Atlas de las dinámicas del territorio andino: Población y bienes expuestos a amenazas naturales. Feriva S.A. Cali, Colombia, 2009). En base a los datos, se analizó en qué casos es más favorable, un tipo u otro de sistema de protección, y cuál debería ser su localización.

Se contrastaron datos existentes en centros de gestión de Riesgos, como la SNGR de la provincia de Chimborazo y la de Tungurahua, y se estudió de forma general qué estructuras, materiales, espesores, etc., permitirían los sistemas de protección. Además, se tomaron en cuenta ciertos estudios del tiempo de respiración humano y su emisión de anhídrido carbónico (CO<sub>2</sub>).

Igualmente se estudió qué sistemas de salida de los refugios, corresponderían tras el cese de la actividad volcánica. Se trataron los usos polivalentes de los refugios, para amortizar los gastos de una mejor manera, pues es bastante probable que algunos refugios no requieran de uso de por vida. Durante la investigación de campo, se visitaron volcanes de gran actividad, como el Tunguraha y otros que podrían activarse, como el volcán Chimborazo, ambos en Ecuador.

En concreto, este estudio propone el uso de dos soluciones al problema de los refugios: aquellos bajo tierra para protección de lava, gases y cenizas, cuando no es posible la evacuación, y las modificaciones de construcción para la protección en viviendas en caso de caída excesiva de cenizas.

## 3. Resultados y discusión

### 3.1 Ordenamiento de volcanes

**3.1.1.** A continuación se presentan algunos datos, que muestran la existencia de un orden o geometría entre volcanes, que al parecer, no

eran hasta ahora detallados de forma numérica. Se consideran, entre otros, los tres volcanes más altos alrededor de Ambato: El Chimborazo, el Tungurahua y el Cotopaxi.

**a.** El volcán Chimborazo, lugar más separado del centro de la Tierra, y el Tungurahua, volcán activo, con emanación de lava, más separado del centro de la Tierra, están a igual latitud de  $1.28^\circ$  sur.

**b.** El ángulo entre el Chimborazo y el Cotopaxi, volcán más activo y más alto del mundo sobre el nivel del mar, es de  $24^\circ$  que recuerda al del ángulo (eclíptica) entre el plano del Ecuador de la Tierra con el Plano de la Tierra con el Sol. El ángulo exacto actual de la eclíptica es de  $23.26^\circ$ , se reduce cada año un ángulo de 47 minutos. Tal vez, se puede sugerir como hipótesis, que en el momento en que el ángulo coincida exactamente con las salidas de cráteres (nótese que los cráteres de nuevas erupciones a veces están en otros puntos del volcán, a veces en sus faldas), supondrá un orden geométrico, que tal vez supondría unos empujes físicos, orientados, tales que podría suponer, facilitar los movimientos del magma, y facilitar erupciones de mayor orden que las habidas hasta ahora.

**c.** El Chimborazo y el Cotopaxi están justamente alineados Norte Sur (eje de giro de la Tierra) a  $78^\circ 26$  oeste.

**d.** El volcán Wolf, en Islas Galápagos, (lugar de la Tierra más influenciado por efectos de la zona de la línea ecuatorial), y el Volcán Cayambe (lo más elevado en el mundo en dicha línea ecuatorial), ambos en latitud cero, forman desde el volcán Cayambe el ángulo de la eclíptica con el Cotopaxi y el Chimborazo.

**e.** Incluso, algo que incrementa aún más ese orden, respecto a la geometría del Planeta, es que este triángulo está separado de la latitud cero, prácticamente la misma distancia "vertical" del triángulo, es decir, las bases del Tungurahua y el Cotopaxi, distan unos 70 km, y esta misma distancia es la existente entre el Cotopaxi y la latitud 0.00.

**f.** Aunque las fallas geológicas no estén alineadas, sigue siendo sorprendente las alineaciones tan claras mencionadas, por lo que se plantea la pregunta de por qué ocurre tal ordenamiento, es decir, si es algo más que puro azar.

A partir de estos datos anteriores de ordenamiento, se plantea como hipótesis, para ser investigada, que se pudiera prever la activación de los volcanes, en función de la latitud y/o su ordenamiento. Incluso tal vez, en un futuro, se podría llegar, ayudado del conocimiento de dichos ordenamientos, a prever terremotos o tsunamis a partir de observar un patrón de comportamiento ordenado. Es decir, si los volcanes disponen de una geometría definida en el espacio, tal vez podría existir también una relación en los tiempos de erupciones y actividades de terremotos. Con esto, se propone como futura línea de investigación la posible modelización (buscar patrones, etc.) de los parámetros de: geometrías de localización, ordenamientos en tiempos de actividades e intensidades. Quizá con ello, se podría ayudar en un futuro a los cálculos de predicciones de riesgos, y así tal vez poder mejorar a la evacuación de la población al disponer de más a tiempo.

**3.1.2.** La teoría aquí expuesta del ordenamiento como posible influyente en la determinación de activación de volcán (fuerzas de Coriolis, movimiento según latitud de magma, etc.) puede suponer tal vez menos de un 20% de la razón de dicha activación. Otros factores serían: la altitud, la geomorfología, el clima, la dilatación y contracción de la corteza terrestre por diferencia de temperaturas (verano invierno soleamiento etc.), vientos, fallas, etc.

## 3.2. Posibilidad de activación del volcán Chimborazo y afectación a Ambato en caso de derretirse sus hielos

### 3.2.1 Datos históricos

Según tesis doctoral (Diego Paul Barba, 2006): cada 1.000 años se activa el Chimborazo, desde los últimos 5.000 años, y la última vez ha



sido aproximadamente hace mil años. Con lo cual, en este siglo, según esos ciclos o recurrencia, se prevé que se pueda activar. Es decir que se podría activar en cualquier momento, por lo que se han de tomar las precauciones debidas: un sistema de monitoreo apropiado debe ser instalado en este volcán.

En Mayo del 2012, el autor de este artículo visitó el lado sur-oeste del volcán Chimborazo, y constató que, a 5.100 msnm, se oían ruidos en la montaña, a modo de crujidos, y al momento después caían rodando piedras, algunas de decenas de kilos. Esto ocurría aproximadamente cada 15 minutos. Se descartó la posibilidad de deberse a vientos (pues en esos momentos, a penas se sentía el viento), y también se descartó el deberse a derretimientos de hielos (pues la temperatura, aún siendo de unos 7 grados, la nieve o el hielo se podía deshacer con la mano, con lo cual no era tan dura como para mostrar sonidos de material tan duro como de rocas rompiéndose). Por tanto se consideró que podría ser debido a que la masa rocosa se fractura por que la montaña se está hinchando y abriendo por empujes del magma. Con estos nuevos datos, el vulcanólogo Patricio Ramón, informó, que dichos sonidos entonces puede ser porque se está activando el volcán.

Además hay que considerar que recientemente (año 2011) y según comentarios de personas, se anunció por televisión (Televisión en Riobamba) que ha surgido nuevo manantial de agua caliente en las zonas nevadas en dirección hacia Ambato. Si bien esto no implica necesariamente actividad volcánica, pero, al añadirse los datos de recurrencia del volcán (Diego Barba) y lo indicado de los crujidos, hace que se considere más seriamente la posibilidad de que se esté activando el volcán.

Actualmente hay fuentes de agua a 47° C al lado norte del Chimborazo. Convendría comprobar si esta temperatura asciende, pues podría ser síntoma de posible inicio de actividad.

Chimborazo es llamado por gente del lugar, volcán de agua. Se dice que es el segundo nevado más grande del mundo después del Éve-

rest. Tiene un cúmulo de nieves de mil años. El peso del hielo sobre el volcán, presiona hacia abajo de modo que (por efecto Poisson) los lados del volcán tenderían a ensancharse y esto podría hacer tender a abrir antiguos conductos y movilizar el magma hacia arriba.

En particular, se ha de monitorizar el Chimborazo, en cuanto a derretimientos de sus hielos. El volumen de hielo sobre el Chimborazo es de más de 100.000.000 m<sup>3</sup> (Diego Barba). Más en concreto, hay que estudiar la afección a la ciudad de Ambato. Podría suponer crecidas del río Ambato de 80 m o más. Estos valores podrían ser bastante mayores si el derretimiento fuera de tipo súbito (según indicación del Señor Barba), quizá por activación con flujos piroclásticos. Esto hace considerar que se ha de tomar medidas en Ambato respecto a grandes crecidas súbitas del río por actividad del Chimborazo.

Se puede señalar como ejemplo, que en la fuerte erupción en Islandia hace pocos años, los científicos islandeses monitorizaron el volcán Eyjafjallajokull mediante sismógrafos e instrumentos de localización satelital (Gudmundsson) y se destacó que el comienzo de la erupción fue tan moderado que apenas lo detectaron los instrumentos. "El volcán se ha estado hinchando desde principios de año, aumentando de tamaño e inflándose". Esto confirma que se debe de monitorear apropiadamente el Chimborazo.

Por el giro de la Tierra, en sentido desde el Chimborazo hacia el Tungurahua, y la masa magmática que tiende ir en sentido contrario, se puede considerar que se está enviando masa de magma desde el Tungurahua hacia el volcán Chimborazo. Esto sería por debajo de los conductos (se considera que no están los volcanes conectados directamente). El movimiento de dicho magma, se realizaría desde la base de la cámara del Tungurahua a la cámara del Chimborazo. Esto podría potenciar la activación del Chimborazo. Hay que indicar que el Tungurahua está claramente activo actualmente. Las fuerzas de Coriolis actuarían de algún modo en el magma en forma de espiral (sentido horario en el hemisferio sur). Se propone para futuras investigaciones si dichas fuerzas influyen en el

orden de activación volcánica, para así quizá prever erupciones y su intensidad.

El volcán Chimborazo tiene al menos tres volcanes dentro, con sus conductos independientes. Y también esos tres están ordenados del oeste hacia el este, del más antiguo (oeste) al más moderno (este).

El volcán Iguazata, al estar situado entre el Chimborazo y el Tungurahua, y prácticamente en contacto a sus faldas, y por el hecho posible de que pase la masa magmática dirección, este oeste, por debajo, podría provocar su activación, por lo que sería recomendable, al menos un monitoreo mínimo también en este volcán Iguazata.

### 3.2.2 Datos aportados por indígenas del lugar

Según historias que cuentan gentes indígenas del lugar: el Chimborazo lanzó piedras al volcán próximo, Tungurahua, por celos cuando este se relacionó con el volcán Cotopaxi. Todo esto se debería considerar como datos de hechos pasados, pues antepasados de esas gentes, experimentaron anteriores erupciones, y han transmitido la información en forma de historias. Y se entiende que se debería saber interpretar esto para tal vez prever posibles actividades volcánicas, suponiendo que se repitan hechos parecidos de forma casi periódica. Con esto cabe considerar que es posible que cuando el Cotopaxi y el Tungurahua estén activos a la vez, el Chimborazo en breve se reactive. Por lo que, en tal caso, se debería hacerse un monitoreo especial al Chimborazo.

Otra información que aportan los indígenas residentes en Pilahuin, localidad cuyo río viene de las aguas del Chimborazo, es:

- Llamam al Chimborazo el corazón del mundo.
- El Cotopaxi, Chimborazo y Tungurahua, son los montes más peligrosos.
- Según entrevista realizada a indígena de Pilahuin, estos tres están conectados bajo tierra, no demasiado profundo, y hace siglos, indígenas

exploraron los conductos, muriendo en la exploración 1 de cada 3 de ellos.

- 30% de los ancestros de los indígenas mencionados consideran que una futura explosión del Chimborazo será la mayor de la historia de la Tierra. Mientras que un 60% considera que el peso de tanta nieve impedirá que erupcione.
- Se le llama, según gente, incluso no indígena, del lugar, el volcán de agua.

### 3.3 Teoría de posible causa del gran derretimiento de nevados (ascenso por convección del calor del Magma).

Referente al derretimiento de hielos en los altos volcanes, se considera la hipótesis de que, al menos en parte, el derretimiento de los nevados en Ecuador se pudiera deber al ascenso, por convección, hacia la corteza terrestre, del calor del magma. Esto se ha comentado al experto vulcanólogo Patricio Ramón, quien considera que es una hipótesis a tener en cuenta. Esta hipótesis se basa en que, según datos, hasta el 35% de los hielos en los nevados de los Andes, se han derretido en aproximadamente los últimos 30 años hasta la fecha de este escrito. Se comenta de forma generalizada, que pueda ser debido al calentamiento global del planeta. Pero dicho calentamiento del planeta se considera que puede suponer sólo un 40% de ese 35%). Otros factores que se sabe que pueden influir al derretimiento pueden ser:

- a) la modificación de la capa de ozono;
- b) la reducción de precipitaciones de nieve en aproximadamente los últimos 30 años hasta la fecha;
- c) la mayor aparición de nubes (dichas nubes, como se sabe, producen ondas largas que aumentarían el calor, y habría por tanto reducción del reflejo de la luz solar sobre la nieve);
- d) obscurecimiento de la nieve por cenizas, absorbiendo así mayor calor solar;
- e) otros factores relevantes (aparte del ascenso del calor del magma).

La cuestión en concreto es: ¿La suma de la influencia de estos 6 factores (ozono, precipitaciones, etc.) supondría el 100% de la causa de los derretimientos? Pues en caso de no llegar, entonces la hipótesis de ascenso del calor de magma podría o debería tal vez ser considerada para previsión de actividad volcánica.

Según respuesta contestada por experto en derretimientos (Luis Maichindo, glaciología), referente a la pregunta del ascenso del calor, esta fue la respuesta:

a) El flujo geotérmico (flujo viniendo de la Tierra y dirigido hacia la atmósfera), es aproximadamente diez mil veces menor que el flujo radiactivo que recibimos del Sol.

b) La capa de ozono estratosférica tiene poca incidencia sobre el flujo de calor entrando y saliendo de la atmósfera. En cambio, otra cosa es el ozono troposférico que es un violento gas a efecto invernadero.

c) La reducción de las precipitaciones no ha sido comprobada globalmente en los Andes tropicales desde mediados del siglo XX, en cambio, las precipitaciones de nieve han podido disminuir sobre los glaciares desde esas fechas por la subida del límite nieve/luvia, consecuencia de un aumento probable de  $0,6^{\circ}\text{C}$ – $0,7^{\circ}\text{C}$  de la temperatura atmosférica (pero estas mediciones han sido hechas generalmente a menos de 4000 m).

d) Hay un cierto crecimiento comprobado, aproximadamente desde 1980, de la humedad relativa en la atmósfera y de la nebulosidad convectiva en ciertas regiones de los Andes tropicales. Pero esto tiene dos consecuencias contradictorias: disminución del flujo de ondas cortas incidente (intercepción por las nubes convectivas), pero aumento del flujo de ondas largas incidente y limitaciones de las pérdidas nocturnas.

e) Debido al hecho de que la fuente de energía, la más importante que sirve a derretir los glaciares, está relacionada con el balance radiactivo de ondas cortas, se piensa que hay una influencia sobre el albedo de los glaciares y que esto explica por gran parte el retroceso de los gla-

ciars. Esto ha sido comprobado en Ecuador (Favier et al., 2004 JGR Atmosphere).

Por tanto, con los datos aportados se explica gran parte del derretimiento, pero queda una parte que pudiere ser explicada por el posible ascenso del calor del magma (convección, etc.). Esta teoría parece confirmar lo indicado en la tesis doctoral, referente al Volcán Chimborazo, de Diego Paul Barba (2005) donde dice (pág. 41): El volcanismo observado en los Andes ecuatorianos es producto del ascenso de los magmas generados por la subducción hacia el Este de la placa Oceánica Nazca bajo la placa continental Sudamericana.

Referente a la no conexión entre volcanes, se sabe que los volcanes no están conectados, al menos de forma directa, pero se ha observado un hecho que parece contradecir quizá esto: en los conductos de lava, existentes junto a la carretera Panamericana en Mocha, a pies del Chimborazo y del Carihuairazo, llamados conductos de viento, y según entrevista, comentó una persona del lugar, los sonidos de aire fueron claramente más fuertes al comenzar la actividad del Tungurahua. Es decir, estos conductos, que se entiende que provienen del Chimborazo y/o Carihuairazo estarían de algún modo en contacto con el Tungurahua, por tanto la actual actividad del Tungurahua parece estar afectando a esos dos volcanes, y en particular por el largo período del Tungurahua en actividad desde el 1999.

### 3.4 Protección o refugios

El cráter de volcán Sierra Negra, a solo 20 km de la ciudad principal de la Isla Isabela, (Islas Galápagos), con dos mil habitantes, es el cráter mayor del mundo en activo, con diámetro de 10 km. La última erupción, en el 2005, fue prácticamente de improvisado, lanzándose grandes piedras a algunos kilómetros de distancia. Según el guía del parque nacional, en caso de que se vertiese lava, hay gran posibilidad que se dirigiera hacia la ciudad, y hay posibilidad de que se active sin tiempo a evacuar a la población. Por lo que un refugio al volcán sería apropiado en la ciudad. Este es sólo un ejemplo, para quizá mostrar que la evacuación a veces no es

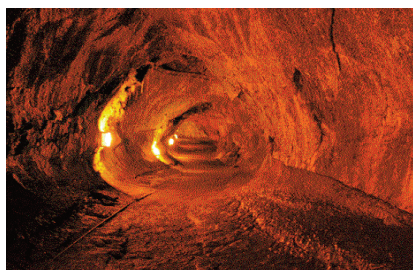
posible y se requiere de otros sistemas.

A pocos metros bajo la superficie superior del cráter de Sierra Negra (a unos 6 m), aun la lava está fresca. Incluso la superficie aun esta a mas de 70 grados Celsius de temperatura.

Se proponen dos tipos de refugio bajo tierra: uno, aprovechando los conductos de lava existentes; y otro construyendo refugio en forma de teatro o circo, con una bóveda de piedra volcánica, (pues dicha piedra es abundante en la zona), con espesor la bóveda de 2 a 3 metros, suficiente para aislar del calor de la lava. Estos dos se exponen a continuación, y también se expone otro sistema de protección referente a cenizas:

### 3.4.1. Refugios dentro de tubo de lava

*Refugio dentro de los tubos de lava existente:* Se sabe que en los volcanes no basálticos, como son los de Islas Galápagos, Hawai, etc., al ser fluida la lava, se facilita su movimiento, y al enfriarse forman tubos, de dimensiones en general, de varios metros (donde cabrían muchas personas) (Figura 1); y, cuando llega otra emisión de lava próxima, esta no pasa por dicho tubo (existente) sino que pasa por encima, con lo cual, queda protegido el tubo primero. Para la salida de las personas, podría bastar una torre resistente, de más de 10 m desde la superficie, con escaleras de escape. El hueco último de salida, dispondría de al menos un manto de carbono (como las máscaras de gas en la guerra) para evitar entrada de gases. La salida sería a realizar, en su caso, tras la primera emergencia, ayudado por equipo de helicópteros.



**Figura 1.** Tubo de lava acondicionado para el turismo en Hawái. Este tipo de espacios podrían ser usados como refugios (confirmando su resistencia según espesores de techo etc). Pues los futuros flujos de lavas pasarían por encima de este tipo de tubos.

### 3.4.2. Refugios contruidos artificialmente bajo tierra

*Refugios contruidos bajo bóveda de piedra volcánica:* Si bien podría ser de otro material, pero se entiende que en la zona existiría gran cantidad de este material. La ventaja es que en suficiente grosor (2m ó según casos) aísla del calor de la lava. Consistiría en realizar una especie de teatro circular o circo, donde las personas podrían estar sentadas, incluso ayudadas a la calma con actuaciones teatrales relajadas (o en su caso hasta con payasos para los niños).

Para dos mil personas bastaría con una superficie de 1.000m<sup>2</sup>, es decir 2 personas cada m<sup>2</sup>. Bastaría un espacio circular de unos 40m de diámetro, con una altura promedio de 10m. Se situaría por el centro de la ciudad. Preferible bajo plaza. Pudiendo estar también bajo calles. Para el acceso, sería según refugios nucleares en Suiza. Es decir con triple puerta. Lo cual evitaría paso de las altas temperatura de la lava.

Durante todo el año se pueden utilizar los refugios. Es decir, en refugios cubiertos colectivos, las construcciones a realizar tendrían un uso polivalente, pues además de poder ser utilizadas para seguridad, pueden ser de uso público, como por ejemplo, para fomentar la cultura, con exposiciones de arte, actuaciones musicales u otras, o pudiendo albergar ciertos deportes que se realizan bajo cubierta o protegidos de la acción del sol, etc.

Si bien sería preferible bajo rasante, por razones de resistencia, también se puede hacer sobre rasante, con tal de tener cerramientos que aíslen a la temperatura y al impacto.

Para la salida tras el paso de lava o gases, dispondría, similar a lo dicho en los tubos de lava, de alguna torre resistente, de doble altura a la altura de lava esperada, con escaleras interiores de pared hasta arriba, hacia una puerta (a su vez ventana de acceso de luz natural) que estaría cerrada por filtros contra gases, como las mascararas de gas. Al exterior de la torre otras escaleras similares permitiría la salida hacia abajo.

Esta torre sería a su vez espacio de ventilación. Su altura, en general sería de unos 20m, y su diámetro de unos 5m abajo y 3m arriba.

### 3.4.3. Protección arquitectónica a grandes caídas de cenizas

Para evitar riesgos de derrumbes de cubiertas por excesivo peso de caídas de cenizas (por ejemplo más de 50cm de grosor, ó 30cm de cenizas mojadas): Se recomienda construcciones de tejados muy inclinados (mayor de 45°). Sino, en las habitaciones bajo cubierta plana, se habría de situar un apuntalamiento. Bastaría en algunos casos, para evitar el hundimiento, en una habitación de unos 20m<sup>2</sup>, un soporte de madera, de unos 15cm<sup>2</sup>, entre el suelo y techo, situado hacia la mitad de la habitación. Pero habría que calcular casos particulares, según resistencia de cubierta, de otros elementos verticales, etc.

### 3.4.4. Consideraciones sociales

El turismo puede verse mejorado, sabiendo que la provincia de Tungurahua y otras provincias en condiciones similares de proximidad a volcanes análogos, disponen de refugios y sistemas de protección en casos de emergencia, ya sea de cenizas, de gases calientes, de lava, etc.

## 4. Conclusiones

1) Hay geometría ordenada entre los volcanes más altos, alrededor del punto más separado del centro de la Tierra (Volcán Chimborazo): Este-Oeste, Norte-Sur, y ángulo entre Sol y Tierra. Este ordenamiento podría dar clave para prever futuras actividades volcánicas e incluso terremotos o tsunamis, tal vez por el patrón existente en localización y temporalidad, además de por el giro del Planeta (y fuerzas de Coriolis) que arrastre el magma según un orden.

2) Al menos 8 aspectos hacen considerar que el volcán Chimborazo podría activarse en cualquier momento:

a) Su recurrencia es cada 1.000 años, y la anterior actividad fue precisamente hace unos 1.000 años.

b) Se han escuchado últimamente crujidos de rocas en sus zonas altas.

c) Al momento del crujido se han visto caer rocas.

d) El crujido y la caída de rocas era algo seguido, cada unos 15 minutos.

e) Ha surgido recientemente nuevo manantial de agua caliente en la zona helada.

f) El giro de la Tierra, la misma latitud y la proximidad al volcán activo Tungurahua facilita el paso subterráneo del magma hacia el Chimborazo.

g) La acumulación de al menos unos 1.000 años de hielos sobre el volcán, presiona hacia abajo, hinchando la montaña, facilitando así abrirse los conductos de lava.

h) El posible ascenso del calor magmático por convección aumenta la posibilidad de activación del volcán.

3) Actualmente hay fuentes de agua a 47° C al lado norte del Chimborazo. Convendría comprobar si esta temperatura asciende, pues podría ser síntoma de posible inicio de actividad.

4) Es posible que cuando el Cotopaxi y el Tungurahua estén activos a la vez, el Chimborazo en breve se reactive. Por lo que, en tal caso, se debería hacer un monitoreo especial al Chimborazo.

5) Por tanto, se considera que se ha de monitorear apropiadamente el Chimborazo, en particular, en cuanto a derretimientos de sus hielos ante activación del volcán, y su afección a Ambato. Podría suponer crecidas del río Ambato de 50 m o más.

6) Parte del derretimiento de las nieves en montes, volcanes etc., pudiere ser explicado por un posible ascenso del calor del magma (convección).



7) Se proponen, en caso de no ser posible la evacuación, refugios de 2 tipos: refugio dentro de los antiguos tubos de lava y refugio bajo tierra, bajo 2 metros de material de lava, con forma de teatro o circo, y polivalente durante el año como zona de espacio cultural.

8) El peso del hielo sobre el volcán Chimborazo y otros, presiona hacia abajo de modo que (por efecto Poisson) los lados del volcán tenderían a ensancharse y esto podría hacer tender a abrir antiguos conductos y movilizar el magma hacia arriba.

9) Las fuerzas de Coriolis actuarían de algún modo en el magma en forma de espiral (sentido horario en el hemisferio sur) y esto podría ayudar a determinar futuras actividades volcánicas.

10) Para evitar riesgos de derrumbes de cubiertas por excesivo peso de caídas de cenizas se recomienda construcciones de tejados muy inclinados o si no, en las habitaciones bajo cubierta plana, se habría de situar un apuntalamiento, al menos un soporte de madera resistente hacia el medio del techo.

11) Hasta ahora las prevenciones o soluciones consisten en:

a) el caso de caída de cenizas no calientes: permanecer dentro de los edificios (con puertas y ventanas cerradas, ó protegerse con mascarillas y uso de gafas con cierre lateral a los ojos).

b) el caso de lavas o flujos piroclásticos: huir. Pero, en el caso de que un temblor rompiere los cristales, o en su caso, que no se pueda huir, entonces estas prevenciones no serían tan válidas, y podría mejorarse según se indica en este artículo.

## 5. Recomendaciones

1) Sería recomendable verificar que: los crujidos oídos en el volcán Chimborazo; y los nuevos manantiales calientes surgidos en zonas altas, son o no de su activación, y realizar un monitoreo exhaustivo de su actividad volcánica.

2) También se recomienda, al menos un monitoreo mínimo en el volcán Igualata.

## 6. Agradecimientos

Por diversos datos facilitados sobre funcionamiento de volcanes, derretimientos de hielos, etc., se agradece a: Bernard Franco, Directeur de Recherche, Représentant de l'IRD en Bolivie (experto en derretimiento de volcanes), Institut de Recherche pour le Développement (IRD; Instituto de investigación para el desarrollo); Jean-Yves Collot representante del IRD - Institut de Recherche pour le Développement, Ecuador ; Doctor Juan la Calle (Director del Centro Integral de Gestión Ambiental); PhD Víctor Hugo Abril (Ingeniero Agrónomo); Doctora Lilian Morales, Directora del Instituto de Investigación, Innovación y Desarrollo (Economista); Departamento de Arquitectura, UTI (Fausto Ulloa y demás del equipo); Departamento de vulcanología (geofísica y sismología), Universidad Politécnica, Quito; Patricio Ramón, vulcanólogo Universidad Politécnica, Quito; Jorge Bustillos, Vulcanólogo; Jeff la Freniere, estudiante de PhD en Geografía; Centro integral de Gestión Ambiental, Universidad Indoamérica; INAMHI, Instituto de meteorología. Ingeniero, Luis Maichindo (glaciología); Hidrología, Universidad politécnica Nacional, Marcos Villacís.

## 7. Referencias

- [1] Instituto Geofísico de la Escuela Politécnica nacional. 2005. Los peligros volcánicos asociados con el Tungurahua., Quito, Ecuador, 2005.
- [2] Los peligros volcánicos asociados con el Cotopaxi. Instituto Geofísico de la Escuela Politécnica nacional, Quito, Ecuador, 2005.
- [3] Fourth Conference Cities on Volcanoes. Quito, Ecuador, 2006.
- [4] Diagnóstico de la amenaza tsunamigénica de las costas ecuatorianas. Fuerza naval Instituto oceanográfico Guayaquil. Guayaquil, 2010.
- [5] Tesis doctoral. Volcán Chimborazo. Diego Paul Barba. Ecuador, 2006. Página 41, 160, 161, 163 (nieve derretida hacia Ambato), 177 (monitoreo), y otras.

- [6] Revista Tecnológica de la UNAM. Fecha de la última actualización. Disponible en <http://www.revista.tecnologica.unam.edu.mx/>
- [7] Glaciers and Climate in the Andes Between the Equator and 30° S: What is recorded under extreme environmental conditions. U. Schotterer, M. Grosjean, W. Stichler. 2003.
- [9] Jones A, Siebert L, Kimberly P, and Luhr J F (2000). Earthquakes and Eruptions: Temporal and spatial display of earthquake hypocenters, seismic-wave paths, and volcanic eruptions, v. 1.0 (CD-ROM). Smithsonian Institution, Global Volcanism Program, Digital Information Series, GVP-2.
- [10] McClelland L, Simkin T, Summers M, Nielsen E, and Stein T C (eds.) (1989). Global Volcanism 1975-1985. Prentice-Hall and American Geophysical Union, 653 p.
- [11] Siebert L, and Simkin T (2002-). Volcanoes of the World: an Illustrated Catalog of Holocene Volcanoes and their Eruptions. Smithsonian Institution, Global Volcanism Program, Digital Information Series, GVP-3, (<http://www.volcano.si.edu/world/>).
- [12] Siebert L, Simkin T, and Kimberly P (2010). Volcanoes of the World, 3rd edition. University of California Press, Berkeley, 558p.
- [13] Simkin T, and Siebert L (1994). Volcanoes of the World, 2nd edition. Geoscience Press, Tucson, 349 p.
- [14] Simkin T., and Siebert L (2000). Earth's volcanoes and eruptions: an overview, In: Sigurdsson H (ed) Encyclopedia of Volcanoes, San Diego: Academic Press, p. 249-261.
- [15] Simkin T, Siebert L, McClelland L, Bridge D, Newhall C, and Latter J H (1981). Volcanoes of the World. Hutchinson-Ross, Stroudsburg, Pennsylvania, 232 p.
- [16] Simkin T, Tilling R I, Taggart J N, Jones W J, and Spall H (1989). This Dynamic Planet, 1 x 1.5 m wall map, SI and USGS.
- [17] Simkin T, Unger J D, Tilling R I, Vogt P R, and Spall H (1994). This Dynamic Planet, 1 x 1.5 m wall map, 2nd edition. SI, USGS, and NRL.
- [18] Simkin T, Tilling R I, Vogt P R, Kirby S H, Kimberly P, and Stewart D B (2006). This Dynamic Planet: World map of volcanoes, earthquakes, impact craters, and plate tectonics: U.S. Geological Survey Geologic Investigations Series Map I-2800, 1 two-sided sheet, scale 1:30,000,000.
- [19] Venzke E, Wunderman RW, McClelland L, Simkin, T, Luhr, J F, Siebert L, Sennert S, and Mayberry G (eds.) (2002-). Global Volcanism, 1968 to the Present. Smithsonian Institution, Global Volcanism Program Digital Information Series, GVP-4 (<http://www.volcano.si.edu/reports/>).
- [20] Atlas de las dinámicas del territorio andino: Población y bienes expuestos a amenazas naturales. Feriva S.A. Cali, Colombia, 2009.
- [21] Glaciares del Ecuador: Antisana y Carihuayazo. Balance de masa, Topografía, Pluviometría, Meteorología e Hidrología. Luis Maisincho. INAMHI. Septiembre 2007.