



Revista Geológica de América Central

ISSN: 0256-7024

ISSN: 0256-7024

Universidad de Costa Rica

Alvarado, Guillermo E.; Esquivel, Lidier; Sánchez, Blas
Mejoras en el paradigma del manejo de la gestión del riesgo en los
parques nacionales volcánicos de Costa Rica, entre el año 2000 y el 2020
Revista Geológica de América Central, núm. 64, 2021, Enero-Junio, pp. 1-15
Universidad de Costa Rica

DOI: <https://doi.org/10.15517/rgac.v0i64.46615>

Disponible en: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=45469883001>

- Cómo citar el artículo
- Número completo
- Más información del artículo
- Página de la revista en redalyc.org

UAEH redalyc.org

Sistema de Información Científica Redalyc
Red de Revistas Científicas de América Latina y el Caribe, España y Portugal
Proyecto académico sin fines de lucro, desarrollado bajo la iniciativa de acceso
abierto

Mejoras en el paradigma del manejo de la gestión del riesgo en los parques nacionales volcánicos de Costa Rica, entre el año 2000 y el 2020

Improvements in risk management paradigm in Costa Rican volcanic national parks between 2000 and 2020

Guillermo E. Alvarado*, Lidier Esquivel y Blas Sánchez

Comisión Nacional de Prevención de Riesgos y Atención de Emergencias (CNE),
Unidad de Investigación y Análisis del Riesgo, San José, Costa Rica

*Autor para contacto: galvaradoi@ice.go.cr

(Recibido: 23/08/2020; aceptado 13/01/2021)

RESUMEN: Costa Rica es conocida a nivel mundial como una meca turística. A partir de 1955, casi todos los grandes volcanes comenzaron a ser declarados parques nacionales, deteniendo la ocupación y explotación humana en la cúspide de estos sectores, al tiempo que varios parques han estado expuestos a la actividad eruptiva de los cinco volcanes históricamente activos. Los parques nacionales volcánicos están sujetos al turismo y, con ello, al peligro de que se puedan generar afectación y pérdidas en vidas humanas. La muerte de una turista norteamericana y su guía costarricense en el año 2000, así como la repentina erupción del Poás en el año 2017, aunado a la persistente actividad eruptiva del Turrialba por más de 10 años, fueron los mecanismos disparadores de cuatro grandes cambios en el manejo y seguridad de los parques volcánicos costarricenses: a) la generación del decreto de restricción del uso de la tierra alrededor del Arenal en el 2001 y su actualización en el 2006, b) el mejoramiento en los sistemas de vigilancia volcánica en tiempo real, c) la construcción de pantallas de protección antibalísticos volcánicos en el mirador del cráter Activo del volcán Poás en el 2018 y medidas de manejo controlado; así como la construcción de pantallas de protección en el volcán Turrialba en el 2018, para el personal que atiende las torres de comunicaciones, los vulcanólogos, los técnicos especializados en vigilancia volcánica y los turistas, y d) la señalización preventiva e informativa en varios parques volcánicos a partir del 2020. De forma previa, en el volcán Irazú, el ICE ya había construido en 1964 un búnker para que los vulcanólogos y guardias pudieran realizar observaciones geofísicas y vulcanológicas. Dicho búnker se ubicó dentro de los primeros cinco observatorios temporales en el mundo y dentro de los primeros –si no el primero– en el continente americano y en el mundo en construir una obra de protección de este tipo. Se discutirá sobre ciertos razonamientos (ventajas y limitaciones) inherentes a este tipo de estructuras y reglamentaciones, dentro del delicado balance del manejo de la gestión del riesgo en volcanes turísticos. Todo esto forma parte de la Política Nacional de Gestión del Riesgo (2016-2030).

Palabras clave: gestión del riesgo; turismo; parques nacionales volcánicos; pantallas de protección; restricción.

ABSTRACT: Costa Rica is known worldwide as a tourist mecca. As of 1955, almost all the major volcanoes began to be declared national parks, stopping the human expansion and exploitation in those areas, while several parks have been exposed to the eruptive activity of the five historically active volcanoes. Parks are subject to tourism and thus to the danger that they may be affected or lost in human lives. The death of an American tourist and its Costa Rican guide in the year 2000, as well as the sudden eruption of the Poás in 2017, coupled with the persistent eruptive activity of Turrialba for more than 10 years, were the mechanisms of four major



changes in the Management and safety of the Costa Rican Volcanic Parks: a) The generation of the decree to restrict the use of land around the Arenal in 2001 and its updating in the 2006, b) the improvement of volcanic monitoring systems in real time, c) the construction of volcanic ballistic protection screens in the viewpoint of Active crater of the Poás volcano in 2018 and controlled management measures; and the construction of volcanic bomb protection screens in Turrialba in 2018, for the personnel that attends the communications towers, the volcanologists and technicians specialized in surveillance Volcanic, and d) the preventive and information labels in several volcanic parks. Previously, in the Irazú volcano, the ICE had already built in 1964 a bunker so that the volcanologists and guards could make geophysical and volcanological observations. This bunker is located within the first five temporary observatories in the world and within the first -if not the first- in the American continent and in the world to build a work of protection of this type. It will discuss some reasoning (advantages and limitations) inherent to this type of structures and regulations, within the delicate balance of management of risk control in tourist volcanoes. All of this is part of the National Risk Management Policy (2016-2020).

Keywords: Risk Management; Tourism; Volcanic National Parks; Volcanic Ballistic Protection Screens; Restriction.

INTRODUCCIÓN

Costa Rica es conocida a nivel mundial como una meca turística, uno de los lugares de la lista de los sitios que muchas personas desean conocer. Su biodiversidad, bandera ecologista, abolición del ejército y democracia por varias décadas, la han catalogado como uno de los países más estables del mundo, aunado a la presencia de una zona azul de longevidad, algunos de los distintivos que la hacen un lugar atractivo para extranjeros y nacionales.

Uno de los orgullos del país son los parques nacionales y otras zonas protegidas, tanto marítimas como terrestres, dentro de las cuales sobresalen los parques volcánicos. La primera protección oficial se dio en julio de 1888, con base en el decreto n.º LXV (vigente), que declaró inalienables las montañas en que tienen su origen las aguas que abastecen a Heredia y Alajuela. De forma posterior, se establece la Ley Orgánica del Instituto Costarricense de Turismo del 29 de julio de 1955, ley n.º 1917, en su artículo 6º decía que la custodia y conservación de las zonas comprendidas en un radio de dos kilómetros alrededor de todos los cráteres de los volcanes del país, se recomienda en forma absoluta al Instituto Costarricense de Turismo, de acuerdo con el artículo 5º, incisos e) y f) de esta ley se declaran tales zonas, Parques Nacionales (artículo derogado el 25 de noviembre de 1969). A partir de allí, casi todos los grandes volcanes comenzaron a ser declarados parques nacionales, deteniendo la expansión de la frontera agrícola y el desarrollo de infraestructura hacia sectores potencialmente peligrosos, particularmente en las zonas cercanas a los cráteres. Así, poco a poco, se comenzaron a crear y a desarrollar los diferentes parques con su infraestructura variada y a mostrar sus atractivos geológicos y biológicos, particularmente.

Estas zonas protegidas comprenden los edificios volcánicos con actividad histórica (volcanes Rincón de la Vieja, Arenal, Poás, Irazú y Turrialba), volcanes comprobadamente dormidos (Miravalles, Chato, Hule, Barva), volcanes poco estudiados (Orosí, Cacao, Tenorio, Platanar, Porvenir, Congo y Cacho Negro) u otros volcanes monogenéticos (activos una única vez por un lapso corto) extintos, pero que no se excluye la posibilidad de formación de uno nuevo en su vecindad en el futuro (p. ej. el cono Tortuguero). Así que, varios parques, desde su creación en 1955 o en años posteriores, han estado expuestos a la actividad eruptiva de los cinco volcanes históricamente activos supra citados. Al ser parques con visitación turística, también están sujetos a que se puedan dar afectación o pérdidas en vidas humanas, como en efecto ha sucedido.

La muerte de una turista norteamericana y su guía en el año 2000, así como la repentina erupción del Poás en el 2017, esta última sin pérdidas humanas que lamentar, aunado a la persistente actividad eruptiva del volcán Turrialba por más de 10 años, fueron los mecanismos disparadores de grandes cambios en el manejo y seguridad de los parques volcánicos costarricenses:

a) la generación del decreto de restricción del uso de la tierra alrededor del volcán Arenal en el 2001 y su actualización en el 2006,

b) mejoramiento substancial en los sistemas de vigilancia volcánica en tiempo real,

c) la construcción de pantallas de protección antibalísticos volcánicos en el mirador del cráter Activo del volcán Poás en el 2018 y otras medidas de manejo controlado, así como la construcción de pantallas de protección antibalísticos volcánicos en el volcán Turrialba en el 2018 para el personal que atiende las torres de comunicaciones, los vulcanólogos y técnicos especializados en vigilancia volcánica; y a partir de diciembre del 2020, de los turistas, y

e) la extensiva rotulación (aún en proceso) informativa y preventiva de varios parques volcánicos y sus regiones vecinas.

De forma previa, en el volcán Irazú, el Instituto Costarricense de Electricidad (ICE) ya había construido en febrero de 1964 e inaugurado el 13 de marzo de ese año (unas tres semanas de construcción), un búnker para que los vulcanólogos y guardias de control pudieran realizar observaciones geofísicas y comunicar la actividad mediante estaciones de radio, protegidos de las lluvias de rocas volcánicas. La obra consistía en una tubería con vigas de acero y protección con concreto, que se dispuso en una zanja excavada en los depósitos de escorias y cenizas en la pared superior del borde caldérico de Playa Hermosa. Poseía un piso de madera elevado y sus dimensiones estimadas eran de unos 3 m de altura, por 3 m de ancho y unos 6 m de profundidad (se ubicó camino a las torres o la cima). El búnker se pintó y fue cubierto por 1 m de piroclastos para amortiguar aún más los impactos y poseía una ventana corrediza de madera gruesa y pesada (chiricana, familia Humiriaceae). La ventana era pesada y corrediza, permitiendo observar el cráter Activo, mientras que la puerta daba al camino de acceso, que es el mismo que conduce a las antenas en la cima del volcán (Fig. 1).

Dicho lugar fue utilizado temporalmente por casi un mes por el conocido vulcanólogo Haroun Tazieff (1914-1998), quien lo definió como el “primer observatorio vulcanológico del continente americano” (Tazieff, 1965). Al respecto, Tazieff (1964, p. 6) comentó:

Este refugio [búnker antibalísticos volcánicos], el primer observatorio vulcanológico edificado sobre todo el territorio del continente americano, está constituido de elementos subcilíndricos de acero, colocados trozo a trozo y recubiertos de tierra. La entrada se hace por una puerta que da al lado del extremo del túnel, mientras que dos ventanas equipadas con persianas corredizas, hechas en madera, se abren hacia el lado del cráter. Todo fue construido de manera rápida y ejemplar por el Instituto Costarricense de Electricidad (ICE).

Aunque históricamente sí existió una casa rural temporal donde se instalaron equipos de observación vulcanológica durante la erupción del volcán Parícutín en México en 1943 (H. Delgado y C. de la Cruz Reina, com. escrita, 2018), con toda probabilidad el búnker se ubica dentro de los primeros cinco observatorios temporales en el mundo y Costa Rica se constituiría dentro de los primeros –si no el primero– en construir una obra de protección de este tipo en el continente americano y en el mundo. El citado búnker fue desmantelado años después.

La idea de realizar obras de protección para eventuales bombardeos balísticos volcánicos, también llamados “búkeres”, para los volcanes costarricenses durante el siglo XXI, fue nuevamente planteada varias veces en el Comité Asesor Técnico (CAT) de Sismología y Vulcanología a inicios de la década del 2010 para el Poás, así como para el Turrialba, tal y como está estipulado y recomendado en el informe de Soto (2012, p. 97, 155 y 161) solicitado y dirigido a la CNE. Refugios similares se han construido pocos a nivel mundial. Particularmente existen en los volcanes Sakurajima, Ontake y Aso en Japón, en el volcán Etna en Italia (ya en desuso), en el volcán Merapi en Indonesia y en el volcán White Island en Nueva Zelanda (aunque en este último volcán no se le indicaba de su existencia a los turistas, según lo relató María Martínez, com. escrita, 2020). Muchos de ellos son lugares de alta visitación turística y existen muchos otros volcanes más en el mundo, con alta visitación, pero sin ninguna medida de prevención alternativa.

Dado que personal del ICE y de otras instituciones requieren subir con cierta frecuencia a las torres localizadas en la cima del volcán Turrialba, a unos 900 m al este de su cráter Activo, teniendo que transitar incluso a distancias más cercanas (400 m del cráter Activo), para darle servicio a unas 20 instituciones del país que dependen de dicho mantenimiento, el cual le da servicio a más de medio millón de costarricenses, es que se consideró meritorio crear unos alberges temporales para los funcionarios. Además, otros funcionarios gubernamentales también tienen que subir con cierta frecuencia a la cumbre del Turrialba para dar mantenimiento a los equipos de vigilancia volcánica y realizar el monitoreo de rutina. Todo ello fue la razón por la que se comenzó a retomar, valorar y discutir nuevamente si era adecuado o no contemplar la construcción de obras de protección tipo “búnker”, para que el personal tuviera eventualmente una alternativa de abrigo. En el ICE se comenzó a discutir el 9 de noviembre del 2012 y se retomó el tema tanto en el ICE como en el CAT de Sismología y Vulcanología a inicios del 2015, por lo que para junio de ese año se tenía un modelo tipo iglú (Fig. 2a), o tipo parada de buses para diciembre del 2017 (Fig. 2b) o bien tipo arco-túnel para abril del 2018 (Fig. 2c), siendo este último el que finalmente se construyó.

En los párrafos posteriores se discutirá sobre su construcción final y ciertos razonamientos sobre las ventajas y limitaciones inherentes a este tipo de estructuras.

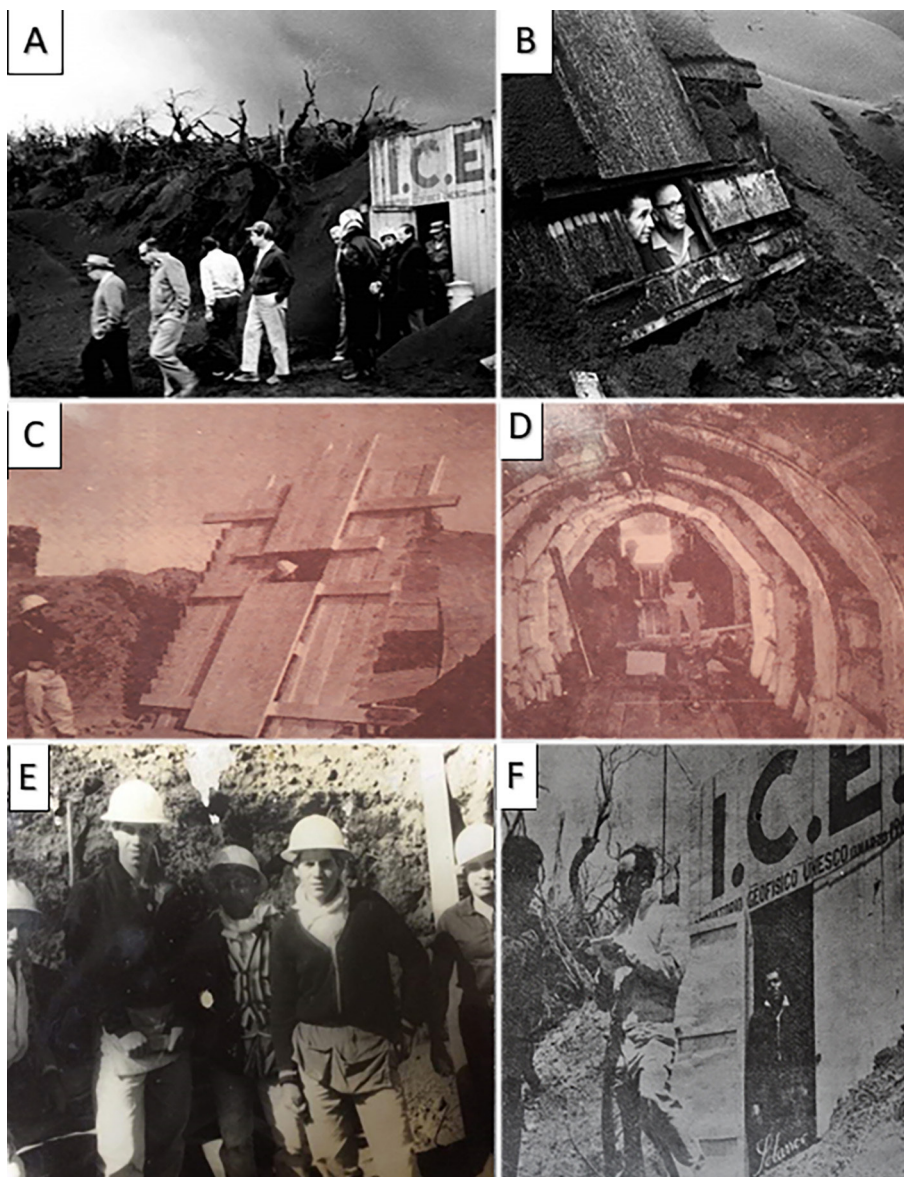


Fig. 1: Refugio antibalístico volcánico construido por el ICE en febrero-marzo de 1964, tanto en su entrada (A, F), frente (B y C), donde el presidente de la República de ese entonces, don Francisco Orlich, junto al embajador de EE.UU., observan el cráter Activo. La parte interna del refugio (D) durante su construcción, junto con los trabajadores del ICE (E). Fotografías cortesía de Yehudi Monestel, Federico Gutiérrez y Gilberth Solano, el segundo más alto en la fotografía E.

LA RESTRICCIÓN DEL USO DE LA TIERRA ALREDEDOR DEL VOLCÁN ARENAL

Una de las primeras medidas interesantes sobre el manejo de la gestión del riesgo en parques volcánicos de Costa Rica en el siglo XXI se tomó justamente en el volcán Arenal.

Desde el punto de vista histórico, el volcán Arenal inició su actividad eruptiva reciente el 29 de julio de 1968. Después de las 78 muertes generadas durante sus primeros tres días de actividad, el volcán se mantuvo regularmente activo por años con periodos eruptivos sobresalientes como los de 1975, 1993, 1998, entre muchos otros. Aunque fue el 23 de agosto del 2000 que

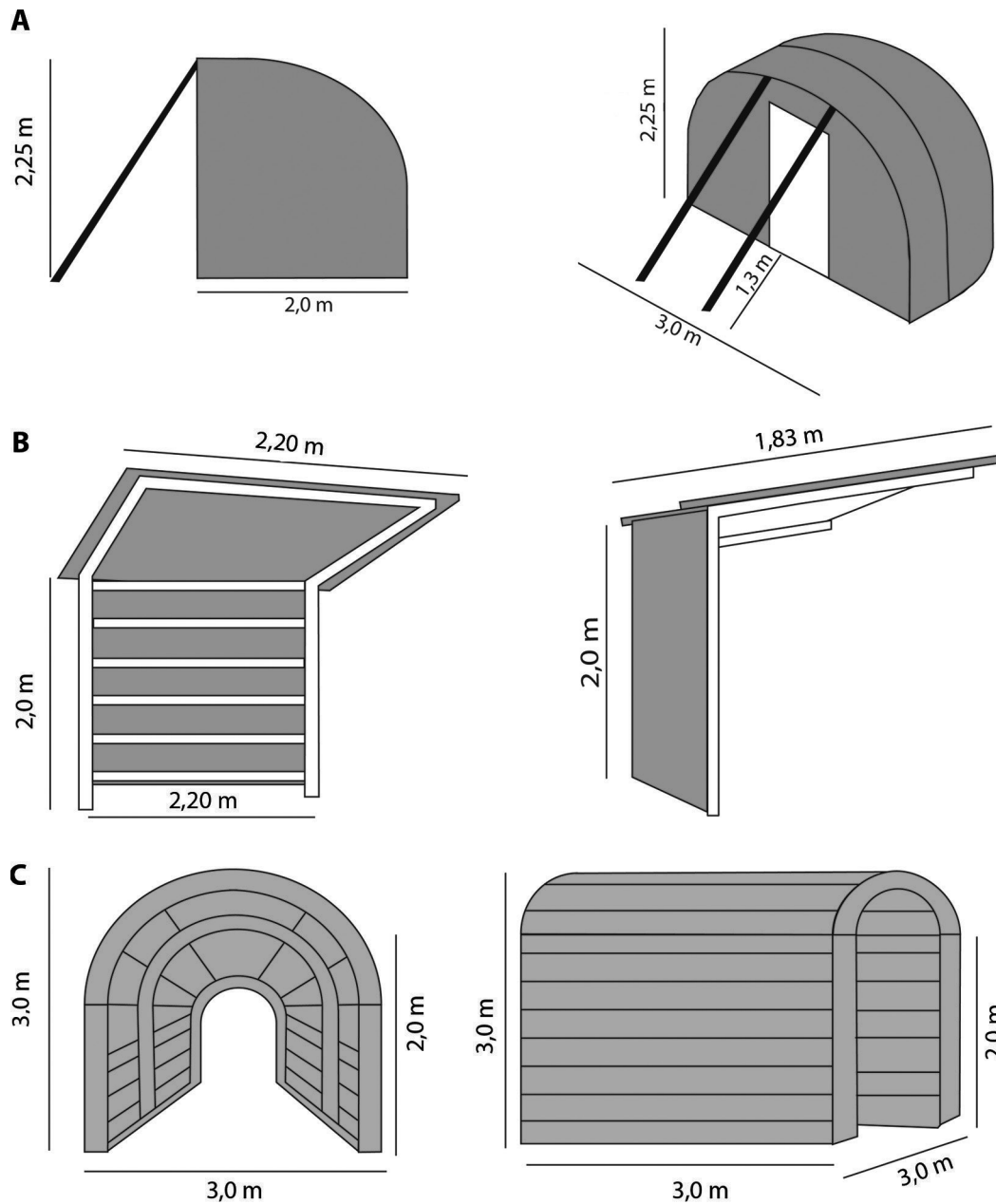


Fig. 2: Diferentes propuestas (esquemas simplificados) de pantallas de protección antibalísticos volcánicos realizados por el ICE. Los planos detallados no se incluyeron acá por estar cargados de detalles. A) Tipo iglú (junio 2015), B) tipo "parada de buses" (diciembre 2017) y C) tipo arco-túnel (abril 2018).

tuvo lugar una actividad importante, cuando al menos 27 flujos piroclásticos sucesivos descendieron por el flanco NNE del volcán, hacia el lago Cedeño, lo que ocasionó la muerte de dos personas, que fueron alcanzadas por las oleadas piroclásticas acompañantes de los flujos (Alvarado y Soto, 2002). Una de las víctimas fue el guía turístico Ignacio Protti, quien falleció el 24 de ese mes con 28 años de edad y la niña Raleigh Goldberg, de 8 años, quien falleció el 6 de setiembre del 2000. La causa de la muerte fue con seguridad por el efecto de gases y cenizas a elevada temperatura (unos 400 °C) de las nubes de oleadas piroclásticas acompañantes al primer flujo piroclástico.

Luego de los hechos acontecidos, el CAT de Vulcanología de ese entonces, conformado por los vulcanólogos Eduardo Malavassi (Ovsicori-UNA), Sergio Paniagua (RSN-UCR), Guillermo Alvarado (RSN-ICE), bajo la coordinación del geólogo Lidier Esquivel (CNE), recibió la solicitud de tomar medidas por parte la Junta Directiva de la CNE, directriz que venía directamente del ministro de la Presidencia de ese entonces. La línea establecida fue desarrollar, a la brevedad, una regulación basada en un criterio técnico de alto nivel para normar la utilización de las áreas de mayor amenaza en el entorno al volcán Arenal. Se tomó en cuenta no solo las condiciones de riesgo, sino también los usos históricos de la tierra, que se daban en la región antes que se iniciara el período eruptivo. Para ello, se utilizó el marco legal de la CNE de ese entonces (Ley de Emergencias, 7914) que, entre otros aspectos relacionados con la prevención y mitigación, otorga la potestad para que bajo condiciones de “riesgo inminente de emergencia” se puedan establecer restricciones en zonas que, por su condición de amenaza, así lo requieran (Esquivel, 2004). La zonificación se esbozó a partir de estudios de peligro volcánico (Alvarado, Matumoto, Borgia y Barquero, 1988; Alvarado, Soto, Ghigliotti y Frullani, 1997; Malavassi, 1979) y fue publicada en La Gaceta N.º 8 del 11 de enero del 2001.

Aunque la zonificación implementada estaba muy distante de ser un plan de ordenamiento territorial fue, sin embargo, un primer paso en la propuesta de un plan de desarrollo para una mejor gestión del riesgo de la región. Este plan piloto contuvo y dirigió, en cierta medida, el acelerado desarrollo turístico que había en el contorno y hacia sus faldas, además de generar conciencia sobre el peligro volcánico, de uno de los volcanes más peligrosos de América Central que, aunque entró en un período de calma partir del 2010, en el futuro, volverá a representar una seria amenaza para las personas en su vecindad inmediata, particularmente hacia el occidente.

En un principio, las dudas que tenían ciertos desarrolladores privados en relación a la conveniencia de la regulación, generaron que el mismo gobierno de la República solicitara un arbitraje o validación de un experto internacional, lo cual se logró por medio de la colaboración del Dr. Robert Tilling, del Servicio Geológico de los Estados Unidos, experto vulcanólogo y reconocida autoridad en estudios de peligro volcánico. Tilling visitó el Arenal en noviembre del 2003, quien no solo respaldó la iniciativa, sino que la propuso como un ejemplo inédito a la fecha en otros lugares del planeta; además, aportó una serie de recomendaciones en su informe de diciembre del 2003. Todo ello terminó de darle el impulso necesario para su implementación (Soto, 2004). Una modificación de la resolución vinculante, de restricción por el uso del suelo del volcán Arenal, se dio el 02 de marzo del 2016 por parte de la CNE y fue publicado en La Gaceta N.º 89 del 10 de mayo del 2016.

MEJORAS SUBSTANCIALES EN EL SISTEMA DE VIGILANCIA VOLCÁNICA EN TIEMPO REAL

Una serie de mejoras substanciales se han venido se dieron en los últimos años en los observatorios a cargo de la vigilancia volcánica, ya sea en la Red Sismológica Nacional (RSN: UCR-ICE) y particularmente en el Observatorio Sismológico y Vulcanológico de Costa Rica (Ovsicori-UNA) en lo que corresponde a las diferentes técnicas de vigilancia volcánica de gases, sismos, temperatura, deformación y observación visual (visitas al campo y cámaras WEB), entre otros, la mayoría en tiempo real o casi real. A ello se le debe agregar una red de personas en todo el territorio que informan, mediante redes sociales, si observaron algo anómalo en los volcanes o una erupción. Lo anterior ha permitido dar alertas sobre posibles erupciones y tener a la población debidamente informada. Todo ello ha sido en buena parte apoyado por la ley Nacional de Emergencias y Prevención del Riesgo N.º 8488 (11 de enero del 2006), Transitorio I, que ha apoyado económicamente a los observatorios para la compra de equipos de última tecnología y vanguardia (Alvarado, 2021; Avard et al., en prensa).

LA ACTIVIDAD ERUPTIVA DEL POÁS EN 2017 Y LAS MEDIDAS PARA EL MANEJO DEL PARQUE NACIONAL

Después de varios meses de tranquilidad relativa, el volcán Poás comenzó a manifestar cambios menores y variables en la actividad desde enero del 2017, sin salirse del patrón normal dentro de la actividad del volcán. Esta actividad se mantuvo hasta el 28 de marzo cuando se registró la primera explosión interna a las 5 p. m., actividad que se mantuvo hasta el fin de mes. El 1.º de abril se formó una hornilla-fumarola con agua hirviendo al W del domo activo y, para ese entonces, ya había cambiado el color del lago de verde lechoso a gris lechoso. Este borbollón se presentaba muy activo con lances de barro por

lo general de tan solo 5 m de altura, así como la emisión casual de cenizas y, particularmente, gases irritantes y vapor de agua, que afectaron el mirador, además del cierre temporal del parque nacional el 9 de abril en la tarde. El 12 de abril a las 6:49 p. m., se registra una erupción freatomagmática que duró unos 40 minutos, constituida por agua, sedimentos, rocas hasta de medio metro cúbico, vapor y gases dirigida hacia el WSW del cráter. Este día, el Poás daría inicio a su cuarto período eruptivo más importante en su corta historia escrita, donde los períodos eruptivos anteriores relevantes ocurrieron en 1834, 1910, 1953-1955 (Mora-Amador, Rouwet, González, Vargas y Ramírez, 2019; Salvage et al., 2018).

Todo ello motivó al cierre del parque nacional volcán Poás a partir del 13 de abril. Explosiones fuertes de más de 500 m de altura, se dieron ese día 13, lo mismo que el 14 de abril. Los fragmentos de roca hasta de 30 cm de diámetro, así como sedimentos lodosos y agua del lago alcanzaron el área del Mirador de Visitantes y sobre la carretera de acceso, mientras que sedimentos y partículas de rocas más pequeñas llegaron hasta el parqueo de ese parque nacional. Muchas erupciones pequeñas y de corta duración fueron registradas por los sismógrafos. En promedio, se contabilizaron entre 2 y 3 erupciones por hora. Las mayores erupciones se presentaron el 15 de abril, actividad que continuó con erupciones pequeñas y moderadas el día 16. Esa misma noche inició la actividad estromboliana, que comenzó a construir un cono el 21 de abril, aunque el 22 de ese mismo mes, varias explosiones se registraron por la tarde y la noche que destruyeron el cono recién construido y lanzó fragmentos balísticos hasta el mirador del parque, con la destrucción de algunas barandas y postes de concreto, así como varios equipos científicos de vigilancia volcánica localizados en el borde del cráter. Alrededor del foco eruptivo se depositaron bombas volcánicas aplastadas de unos 20 m de diámetro, pero todas quedaron en el piso cratérico. Los fragmentos balísticos que llegaron al Mirador por lo general fueron de unos 10-20 cm de diámetro. El bosque fue destruido en un 80 % hacia el SE del cráter (Brenes-André et al., 2020).

El cierre del parque nacional se mantuvo por un lapso de 1 año y 4 meses, aproximadamente (hasta el 31 de agosto del 2018). Se debe recordar que previo al 2017, se tenían hasta 500 personas o más en el mismo momento en el mirador del cráter Activo (C. Quesada, com. escrita, 2018). En ese periodo, se dieron cursos de capacitación a unos 450 guías turísticos por parte de los vulcanólogos del Observatorio Vulcanológico y Sismológico de Costa Rica (Ovsicori) y la Red Sismológica Nacional (RSN). Mora (2010) y Mora-Amador et al. (2019) comentan que el riesgo por el impacto de bombas es pequeño, si se le compara con otros peligros volcánicos, aunque no aportan recomendaciones sobre la visitación.

En paralelo a las actividades citadas, gracias a la articulación del Sistema Nacional de Áreas de Conservación y del Ministerio de Ambiente y Energía (Sinac-Minae), el Instituto Costarricense de Turismo (ICT), la CNE, el Ovsicori, la RSN (UCR-ICE) y organizaciones no gubernamentales como Costa Rica por Siempre y la Fundación para el Desarrollo de la Cordillera Volcánica Central (Fundecor), se logró cumplir con los requisitos mínimos de seguridad planteados por el grupo de expertos en vulcanología. Las disposiciones incluían un plan de manejo del parque nacional volcán Poás, la construcción de cinco refugios, la compra de sensores de gases en tiempo real, cascos (útiles tan solo frente a la caída de lapilli) y mascarillas, rotulación de seguridad y capacitaciones a guardaparques, guías turísticos (supra citada) y vecinos de las comunidades aledañas. Hasta el momento, en varias ocasiones se ha cerrado el acceso al parque como una medida preventiva por el aumento en la concentración temporal de gases, por alguna alerta volcánica o por algunas erupciones menores.

La construcción de 5 casetas de protección o refugios antibalísticos volcánicos se realizó entre el 2 de julio al 24 de agosto del 2018 (Fig. 3). Tras el trabajo de diversas instituciones en coordinación con las comunidades aledañas y organizaciones no gubernamentales, el CAT de Vulcanología y Sismología de la CNE dio el visto bueno para la reapertura del parque nacional volcán Poás, luego de más de 16 meses de estar clausurado. El parque fue reabierto mediante inauguración oficial por parte del presidente de la República, Carlos Alvarado Quesada, el 28 de agosto del 2018, junto con otras autoridades políticas, como el Minae, la ministra del ITC, el presidente de la CNE y otros. La reapertura a la visitación se dio a partir del 31 de agosto bajo un nuevo modelo de gestión de riesgo que contempla la compra de entradas de modo electrónico y con un máximo de estadía en el mirador de 20 minutos con grupos de 50 personas como máximo.

La nueva propuesta de visitación está bajo observación, por lo que se espera incluir a futuro nuevos aspectos de mejora. Adicionalmente, se señalizaron con pintura algunos de los impactos balísticos en el mirador del cráter con rótulos explicativos, con el fin de preservar la memoria histórica del evento y que los turistas comprendan el porqué de los refugios; además de crear conciencia y comprendan el porqué de las medidas preventivas.

La visitación al lago cratérico Votos (Botos) permanece cerrada al momento, dado que su sendero de acceso fue afectado por la balística, y existe un deslizamiento en el mirador del lago cratérico, que merece ser estabilizado y readecuado. Además, se solicitó que se cumpla con la ley N.º 7600 para personas con discapacidad. Adicionalmente, se recomendó la construcción



Fig. 3: Refugios de protección parcial y temporal antibalísticos volcánicos en el mirador del Poás.

de algunas pantallas de protección por el camino de acceso y en el propio mirador. Del mismo modo, sería ideal tener pantallas de protección entre las casetas de cobro antiguas y el mirador del cráter Activo del Poás (Alvarado, Esquivel, Sánchez y Alfaro, 2020a).

LAS PANTALLAS DE PROTECCIÓN EN EL VOLCÁN TURRIALBA

El volcán Turrialba inició su presente período eruptivo el 5 de enero del 2010 pero se recrudeció a partir del 29 de octubre del 2014 hasta la fecha (el último lance de cenizas fue el 5 de agosto del 2020). En su cima, el cerro Porfía, se ubican un grupo de torres de comunicación de diferentes entidades, las cuales le dan servicio a más de medio millón de personas, además de que existen diversos equipos de vigilancia volcánica para llevar un control de la actividad del Turrialba. Por lo anterior, personal del ICE, de la RSN, el Ovsicori, Instituto Meteorológico Nacional (IMN) y la CNE, entre otras instituciones, tienen que subir con frecuencia a darle mantenimiento a dichos equipos, que están dentro del alcance ante balística volcánica. Dado lo anterior, el ICE tiene particular preocupación por la seguridad de su personal, quienes con cierta frecuencia suben a la cima para realizar el mantenimiento y reparación de los equipos y torres. Por ejemplo, del Negocio de Distribución y Comercialización del ICE suben 2 personas al mes y permanecen una hora aproximadamente; además, dos veces al año ingresan 6 personas con una duración de unas 3 horas. Por su parte, del Centro Nacional de Control de Energía (Cence) del ICE se sube entre una vez

Cuadro 1

Visitación estimada por motivos de trabajo y justificación para el establecimiento de las pantallas de protección antibalísticos volcánicos durante el año 2017.

Institución	Visitas cada mes por institución	Número de horas en la cima y alrededores por visita	Número de personas por visita
Ovsicori	4-8	3-4	2-4
RSN	1-2	3	2
ICE	1-2	3	2-6
Sinac	10-15	1	1
CNE	1-2	2-4	2-4
Otros	1-2	2-4	2-3
TOTAL	18-31	14-19 (mes: 32-75)	11-20



Fig. 4: Ejemplo de algunos de los refugios antibombas, contruidos en las instalaciones del ICE de la Garita (A), durante su proceso constructivo, e instalación y finalización en el volcán Turrialba (B, C y D).

cada mes a cada dos meses (Cuadro 1). Con la apertura del parque nacional volcán Turrialba el 4 de diciembre del 2020, un total de entre 40 y 102 turistas visitan diariamente la cima del volcán.

Por todo lo anterior, se procedió con la construcción de 7 refugios como una medida de minimizar el peligro volcánico ante los impactos por fragmentos balísticos. Su construcción dio inicio por parte del ICE en las instalaciones de La Garita, donde se construyeron y ensamblaron a modo de prueba en mayo del 2018. Después de obtenerse los permisos respectivos y trámites administrativos por parte de Secretaría Técnica Nacional (Setena) y Sinac, su construcción en el volcán Turrialba dio inicio el 13 de noviembre del 2018 y culminó el 14 de diciembre de ese año. Los refugios fueron realizados siguiendo el modelo del “bunker” que se construyó hace más de 57 años en el Irazú, es decir con vigas en arco de acero tipo H (3 m de alto por 3 m de ancho y 2,9 m de fondo), similares a las que utilizó por años el ICE en las galerías exploratorias de proyectos hidroeléctricos, con largueros de metal con tornillos para sujetar entre arco y arco, pines de varilla N.º 11 de 1,5 m para el anclaje, barrenado para

Cuadro 2

Localización de los refugios en el volcán Turrialba.

Refugio	Coordenadas		
	Lambert Norte (m)	CRTM 05 (m)	Geográficas (GMS)
1. Mirador	562605 / 222434	526 272 / 1 107 766	10° 1' 5.96" W / 83° 45' 34.29" N
2. Inicio de Senderos	562693 / 222447	526 360 / 1 107 779	10° 1' 5.51" W / 83° 45' 37.11" N
3. Camino a las Torres	562473 / 222485	526 473 / 1 107 817	10° 1' 7.11" W / 83° 45' 30.52" N
4. Torres	563026 / 222564	526 693 / 1 107 878	10° 1' 9.18" W / 83° 45' 23.18" N
5. Camino a la Cima	562637 / 222225	526 304 / 1 107 557	10° 0' 58.67" W / 83° 45' 36.40" N
6. Área de Píenic	562766 / 222031	526 432 / 1 107 363	10° 0' 52.29" W / 83° 45' 36.06" N
7. Casa de Guardaparques	562734 / 222036	526 400 / 1 107 368	10° 0' 52.57" W / 83° 45' 33.07" N

su instalación, cobertores de láminas gruesas corrugadas de acero, todo soldado y protegido con pintura anticorrosiva (Fig. 4). Estos refugios están distribuidos desde el puesto de guardaparques, a unos 700 m aproximadamente del cráter activo, como por el camino hacia la cima, los miradores de los cráteres y por el camino hacia las torres y en el sitio donde están ubicadas las torres de telecomunicaciones (Fig. 5, Cuadro 2).

PLAN DE CAPACITACIÓN Y ROTULACIÓN PREVENTIVA E INFORMATIVA EN LOS PARQUES VOLCÁNICOS

Puesto que al menos tres volcanes han estado activos en la última década, se han realizado un programa intensivo de capacitación al público en general, guardaparques y guías turísticos, Asadas, escuelas y liceos de enseñanza primaria y secundaria, respectivamente, con el fin de que el mayor número de personas estén informadas sobre el estado de actividad de los volcanes, evacuar sus dudas y entregarles información (panfletos, pósteres, documentos). Todo ha estado a cargo de la Universidad de Costa Rica, la Universidad Nacional y la Comisión Nacional de Prevención y Atención de Emergencias (Alvarado, 2021; Avard et al., en prensa). Se estima que más de 5000 personas pudieron haber recibido estas capacitación, con el compromiso que sean células multiplicadoras.

A raíz de la construcción de las pantallas de protección en los volcanes Poás y Turrialba, aunado al masivo ingreso de ilegales en los parques volcánicos (Rincón de la Vieja, Arenal, Poás, Irazú y Turrialba), en zonas de elevada peligrosidad (filos o aristas montañosas limitadas por precipicios, acceso al borde de los cráteres activos, visitación a cauces peligrosos, entre otros), es que la CNE decidió en el 2019 iniciar un proyecto de elaboración de rótulos preventivos, donde se advierte a los turistas de los peligros y restricciones. Parte de estos rótulos ya se instalaron en el volcán Poás (incluyendo Bajos del Toro) y piedemonte del flanco norte del Rincón de la Vieja, en el volcán Irazú (zona de cráteres y sector de Prusia) así como en el volcán Turrialba. Se espera continuar con otros volcanes (Fig. 6). Previamente, Alpízar (2018) había propuesto un proyecto similar para el Rincón de la Vieja, de donde se tomaron algunas ideas.

Otro proyecto en curso corresponde a elaborar rótulos con información geoturística con datos geográficos, vulcanológicos, históricos de los volcanes, incluyendo sitios y miradores particulares. Dicho proyecto se espera que inicie en enero del 2021 por parte del Sinac, ICE, CNE y otras entidades. Todo esto se enmarca en el eje “Educación, Gestión del Conocimiento e Innovación” mediante los lineamientos de “Rol de la Educación” y “Acceso a la Información” (CNE, 2015, 2016).

DISCUSIÓN

Las erupciones volcánicas no se pueden evitar, pero sí el minimizar el riesgo, es decir, tratar de reducir la exposición de las personas y los bienes (bajar la vulnerabilidad). Una medida drástica podría ser la de cerrar el acceso a todos los turistas a los parques nacionales con volcanes activos y e inactivos, particularmente aquellos que poseen caminos de acceso en vehículo hasta sus cráteres, una particularidad que pocos países a nivel mundial la ponen en práctica. Al respecto, Ortiz (1996) comenta a nivel mundial resulta evidente que un método para reducir el riesgo sería el prohibir el acceso a determinadas zonas, pero agrega que las decisiones administrativas que esto conlleva suelen tener una fuerte incidencia económica en los ámbitos del ordenamiento territorial, turismo, industria, comercio y agricultura, entre otros.

Se debe tomar en cuenta, además, que a diario las personas asumen riesgos en su traslado a diferentes lugares, en sus propios sitios de trabajo, vacaciones y aun en sus propias casas; es el llamado riesgo aceptado, aspecto que muchas veces se olvida por su cotidianeidad (Mora, 2009). Los datos estadísticos nacionales muestran que la mayor causa de muertes y lesiones a nivel nacional diarias son los diferentes tipos de cáncer (unas 12 muertes diarias), el Covid-19 (números similares de muertes que por cáncer), los accidentes de tránsito y otros peligros propios de una sociedad en vía de desarrollo, como lo son los suicidios. En cambio, las muertes por vulcanismo y terremotos, al menos a nivel nacional en los últimos tres siglos, es despreciable con respecto a otros tipos de causas o si se le compara con otros países de Latinoamérica.

Sin embargo, cuando ocurren, alcanzan los titulares de las noticias, que causa un fuerte impacto en el turismo, en particular un país cuya principal fuente de ingreso económico es el turismo. De ahí que, la relación costo-riesgo-beneficio sea un balance muy delicado, difícil de ponderar y de manejar, en un país donde existen muchos entes a nivel nacional que dependen

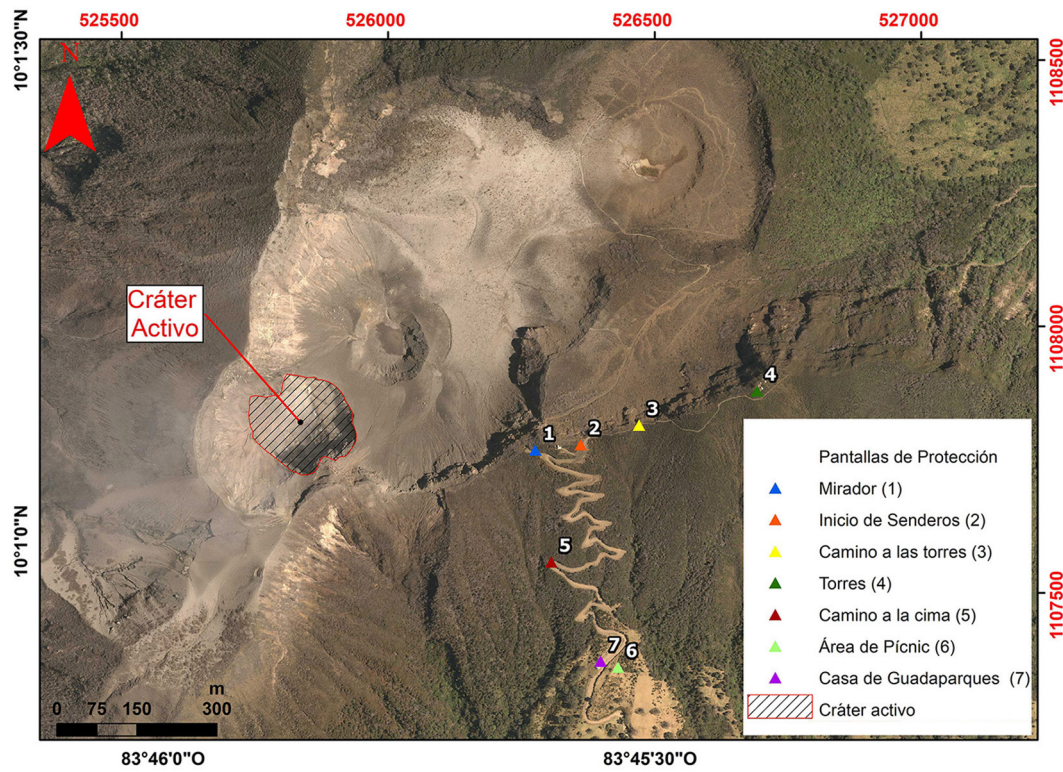


Fig. 5: Distribución de los refugios construidos en el volcán Turrialba.

del turismo de modo directo e indirecto, además de personas que son amantes de la naturaleza, pero también de la adrenalina. No muy lejos de nuestro entorno, la actividad del volcán Fuego en Guatemala, el 3 de junio del 2018, con más de 300 personas muertas y desaparecidas, fue un ejemplo en el cual se suele subestimar el peligro volcánico, en donde en muchos casos, las medidas que se tomen, siempre serán mínimas con respecto a lo que eventualmente pueda pasar en un volcán en un plazo difícil de contemplar. Por lo anterior, se considera que las restricciones en el volcán Arenal deben mantenerse, aunque ya el volcán haya ingresado en un período de calma, dado que sin lugar a dudas es uno de los volcanes más peligrosos de América Central y, en un futuro, volverá a activarse.

Las erupciones históricas con proyectiles balísticos se han dado en el volcán Poás aproximadamente cada 60 años con alcances de un poco más de 2 km (Mora, 2010), en el Irazú de unos pocos cientos de metros, excepcionalmente varios kilómetros, mientras que, en el Arenal, después de 1968, la balística no superó los 1,8 km de distancia desde el cráter. Del mismo modo, la balística en el Turrialba más allá de los 400 m ha sido casual y solo en dos casos debidamente comprobados en los últimos 10 años llegaron a alcanzar 0,7 km de distancia (29 de octubre del 2014 y el 5 de octubre del 2018). Lo anterior no quiere decir que no pueda ocurrir, es decir, la probabilidad nunca es cero. Dentro de este marco, Costa Rica, por intermedio del ICE, tuvo la iniciativa de construir lo que podría ser el primer refugio antibalísticos volcánicos de América continental y, quizás, es uno de los primeros en el mundo, sino el primero, en marzo de 1964, para proteger a los técnicos y científicos que observaban la actividad eruptiva.

Un aspecto importante a considerar es que la densidad de los impactos decrece con la distancia y con respecto a la energía de las erupciones, por lo que la probabilidad de sufrir daños por caída de bombas es una función que disminuye con la distancia y aumenta con la superficie expuesta (Ortiz, 1996). Por ejemplo, en el volcán Turrialba a unos 100 m de distancia del borde del cráter, en erupciones estombolianas la densidad de impactos puede ser cercana al 80 % o más, pero a 200 m disminuye casi a la mitad y a unos 400 m, que son mucho menos frecuentes (quizás ocurrieron uno o dos eventos al año) puede ser de tan solo unos 5 impactos por hectárea. Proyectiles balísticos a más de 500 m, quizás poseen una frecuencia de un evento cada 4 años (Alvarado, Esquivel, Sánchez y Matamoros, 2020b).

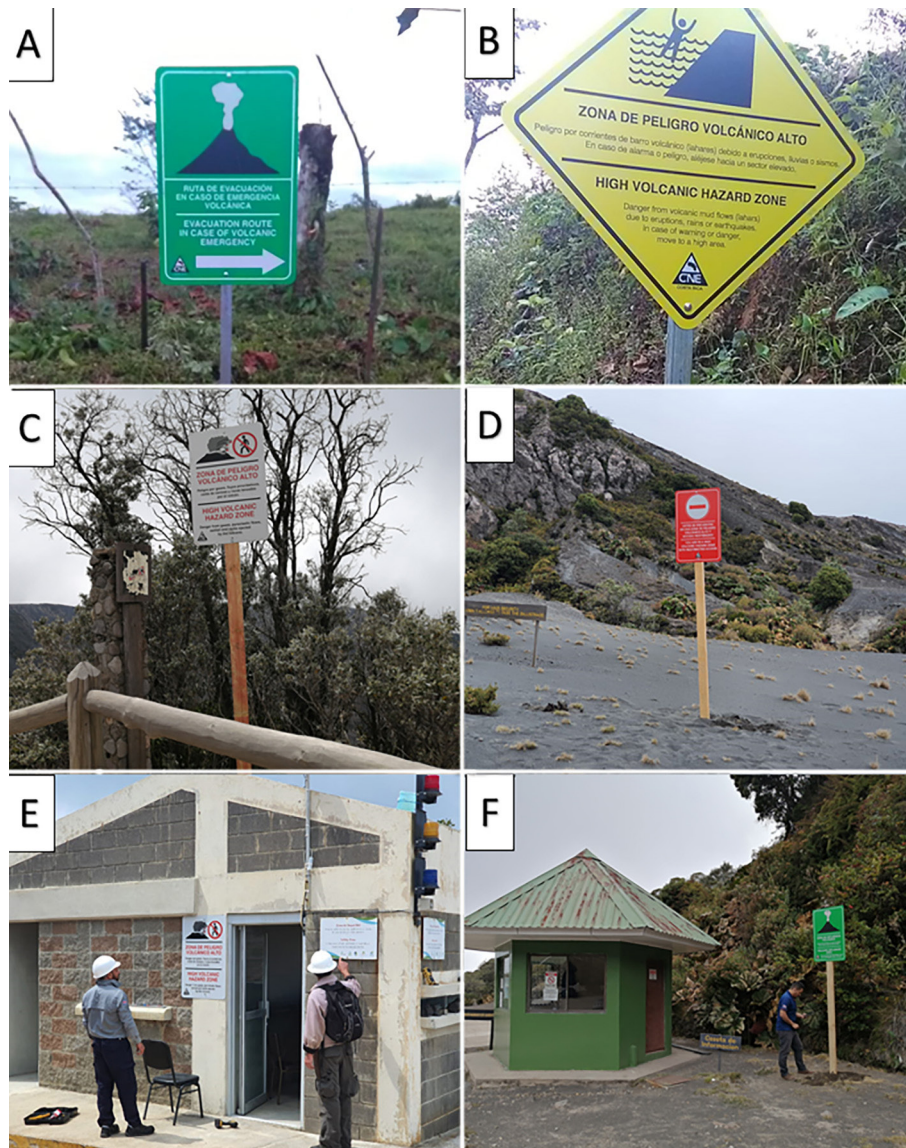


Fig. 6: Ejemplos de varios tipos de los rótulos preventivos que se comenzaron a instalar en los diferentes volcanes a partir del 2020.

De ahí que, en los últimos años, se han tomado varias medidas para minimizar la vulnerabilidad, pero nunca para hacerla cero. Ello va de la mano con el monitoreo de avanzada que se lleva a cabo por los observatorios y el valioso conocimiento de observación que poseen los guardaparques sobre el entorno donde trabajan. Las medidas tomadas entre el 2000 y el 2020 para el manejo de la gestión del riesgo de parques volcánicos son de vanguardia a nivel latinoamericano, pero son en gran parte proyectos pilotos para velar por la seguridad relativa y mínima de los guardaparques, científicos, técnicos y turistas, bajo el entendido de que se esté donde se esté el riesgo nunca es cero y que las personas deben de conocer su entorno.

En efecto, el grado de protección de los refugios antibalísticos volcánicos no se han puesto a prueba en Costa Rica, ni en un caso real ni físicamente se conoce a ciencia cierta cómo se van a comportar. De ahí que su seguridad es relativa, temporal y va a depender del tamaño del balístico, de que las personas lleguen a tiempo a los refugios y que no existan flujos piroclásticos

acompañantes del tipo oleadas piroclásticas de temperatura elevada. Por ejemplo, las casetas que se construyeron en el volcán Telica (Nicaragua) tenían al parecer un techo reforzado (malla de metal y unos 10 cm de espesor), aunque al parecer no fueron construidas con fines de pantallas de protección, de hecho, fueron destruidas por el impacto de balísticos del 22 de noviembre del 2015 a 800 de distancia (G. Avard, com. escrita, 2018). Sin embargo, las plataformas de observación para los turistas en el Poás, así como las gradas de acceso al mirador del cráter Activo, que aunque fueron alcanzadas por bloques volcánicos en el 2017, sí soportaron bien el impacto, al grado que no fueron destruidas, pese a no haber estado diseñadas con ese fin.

El tiempo estimado de la llegada de un proyectil volcánico varía en función de la distancia, pero va a estar entre 7 y 20 segundos con velocidades entre 130 y 360 km/h; su peso puede variar entre uno hasta varios kilogramos (Brenes-André et al., 2020; Alvarado et al., 2020b; y referencias allí incluidas). Por su parte, como se dijo, las probabilidades son muy bajas (pocas veces en decenas de años), pero no nulas. Además, hay que tomar en consideración que no todas las oleadas piroclásticas son de temperatura elevada o poseen velocidad y poder destructivo bajo. Todo lo anterior debe quedar claro a los técnicos y profesionales en geociencias, telecomunicaciones, guardaparques y visitantes (legales e ilegales). En tal caso, como lo indica el vulcanólogo Gerardo Soto en su informe del 2012, la idea es proveer al funcionario (y visitante) una opción de donde resguardarse en caso de una erupción imprevista.

En estos momentos, Costa Rica posiblemente es el primer país de Latinoamérica y el segundo a nivel mundial con este tipo de protecciones presentes en los volcanes Poás y Turrialba, lo que lo posicionaría entre los lugares quinto y sexto en el mundo en contar con dichos refugios. Puesto que ha existido una amplia aceptación de estos refugios antibalísticos volcánicos dentro del medio científico y turístico, la idea es proseguir su construcción en otros parques volcánicos, dándole prioridad a los que faltan en el Poás, pero se está contemplado también en los volcanes Irazú y Arenal, entre otros.

Lo anterior motivó también a que se fomenten los circuitos turísticos, con el fin de distribuir mejor la visitación a los volcanes activos y su tiempo en los cráteres, donde la visita al cráter sea tan solo uno de los varios atractivos. La idea del circuito es involucrar muchos otros lugares tales como paisajes (cascadas, ríos, fuentes termales), sitios de interés geológico, histórico, cultural, gastronómico, así como la visita a ganaderías, beneficios de café, entre otros, quizás todo enmarcado, en el futuro, dentro del concepto de Geoparque. Es por todo esto que se trabaja con los microempresarios, comunidad, guardaparques, entre muchas otras entidades interesadas. Sin embargo, el proceso es lento, dado que suelen requerirse fondos para la construcción de lugares informativos y entrelazar a los diferentes entes, tanto privados como públicos.

Según la Ley N.º 8488, la Gestión del Riesgo se entiende como aquel proceso mediante el cual se revierten positivamente las condiciones de vulnerabilidad de la población, los asentamientos humanos, la infraestructura, así como de las líneas vitales, las actividades productivas de bienes y servicios y el ambiente. Eso sí, todo lo anterior dentro de un modelo sostenible y preventivo, al que se incorporan criterios efectivos de prevención y mitigación dentro de la planificación territorial, sectorial y socioeconómica, así como la preparación, atención y recuperación ante las emergencias. Por ende, consiste en el enfoque sistemático y la práctica de manejar la incertidumbre para minimizar los posibles daños y pérdidas, incluidos la evaluación y el análisis de riesgo, así como la implementación de estrategias y acciones específicas para controlar, reducir y transferir riesgos. Debe ser ampliamente practicada por los entes gubernamentales y privados, así como las organizaciones, para minimizar el riesgo en la toma de decisiones en los proyectos de inversión, bien social y planificación. Dentro de la política nacional de gestión del riesgo, para el 2016-2030, está el contribuir a que el desarrollo y el bienestar de la población costarricense se logre de manera segura y sostenible, haciendo evidente los factores de riesgo inherentes (es decir informar y educar) y realizar una gestión prospectiva, para fortalecer las capacidades de los diversos sectores de la sociedad (capacitaciones, planes de contingencia, planes de emergencia, entre otros), para la construcción de una cultura preventiva que reduzca la vulnerabilidad y favorezca la recuperación efectiva (CNE, 2015, 2016).

Así pues, todos estos procesos de restricción de zonas, construcción de pantallas de protección antibalísticos y rotulación (preventiva e informativa), capacitación intensa y mejoramiento de los sistemas de vigilancia en tiempo real, se enmarcan en el eje “Educación, Gestión del Conocimiento e Innovación”, eje transversal a los ámbitos o pilares de la gestión del riesgo, en particular el ámbito de “Reducción del Riesgo”. Forman parte de los lineamientos de “Inversión Financiera Sostenible, Infraestructura y Servicios”, “Planificación, Mecanismos e Instrumentos Normativos para la Reducción del Riesgo”, “Rol de la Educación”, “Acceso a la Información”, “Rol de la Cooperación” y “Regulación del Uso de la Tierra”. Todo lo anterior forma parte del Plan Nacional de Gestión del Riesgo (2016-2020) y de la Política Nacional de Gestión del Riesgo (2016-2030), de la Comisión Nacional de Prevención de Riesgos y Atención de Emergencias (CNE, 2015, 2016).

AGRADECIMIENTOS

En primer lugar, al personal de parques nacionales (Sinac) del Poás y del Turrialba por toda su disposición, apertura y colaboración, en particular a Catalina Quesada, Rafael Herrera, Miguel Salazar, Reina Sánchez, Rafael Gutiérrez y Redy Conejo. A Luis Estrada y Luis Fernando León de la Municipalidad de Turrialba.

Diversos geólogos, vulcanólogos y sismólogos de la RSN y Ovsicori tuvieron en mayor o menor grado su participación para que se llegara a feliz término la construcción de los refugios, entre ellos, María Martínez, Gerardo Soto, Linda Sjöborn, Mauricio Mora, Pablo Ruiz y Javier Pacheco. Adicionalmente, Ignacio Chaves de la CNE y José Ramón del Setena.

El ICE, por su parte, fue la entidad que inició con los primeros planos de diseño y presupuestos preliminares, tanto para el Poás como para el Turrialba por parte de Félix Jr. Elizondo, Víctor M. Chinchilla, con el empuje y colaboración de Adrián Gutiérrez, Lucy Vindas, Claudio Paniagua y Salvador López, entre muchos otros funcionarios del ICE.

Pablo Ruiz, Roy Barrantes, Ronald Naranjo y Paul Vega del Lanamme y Mara Montag (Technische Univ. Darmstadt) colaboraron con la inspección y definición de los sitios para las pantallas de protección en el Poás. Fundecor aportó los fondos para la construcción de los refugios en el Poás.

Los refugios del Turrialba fueron construidos por el ICE a través de las personas Marvin Anchía, José L. Berrocal, Ricardo A. Guzmán, Daniel A. Porras, Luis A. Portuguese, Marcos Briceño, Orlando A. Agüero, Nelson E. Ugalde, Eiter Murillo y Armando Solando, bajo la dirección y coordinación de los geólogos del ICE, Alexis Cerdas y Marta Chaves.

A Jenny M. Chaves de la RSN, Geoffroy Avard y Javier Pacheco del Ovsicori, Reina Sánchez y Catalina Quesada del Sinac, Claudio Paniagua y Lucy Vindas del ICE, quienes aportaron datos sobre las visitas al volcán Turrialba.

Referente a la consulta en otros lugares del mundo con pantallas de protección, la información fue aportada por Evelyn Espinoza, Geoffroy Avard, Sergio Chiesa, Marco Neri, Hugo Delgado, María Martínez y Servando de la Cruz Reina.

María José Ocón, José Brenes y Giovanni Peraldo revisaron el texto, por lo que aportaron mejoras.

Se agradece el material fotográfico, información y documental antiguo del Irazú que fue aportado por Yehudi Monestel, Gilberth Solano y Federico Gutiérrez.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Alpízar, Y. (2018). *Mapa preliminar de peligros volcánicos para el Rincón de la Vieja (Costa Rica): descripción de un escenario de afectación por lahares* (Tesis inédita de maestría). Universidad de Costa Rica, San José, Costa Rica.
- Alvarado, G. E. (2021). *Costa Rica y sus volcanes*. San José: EUCR, EUNA, ETCR.
- Alvarado, G. E. y Soto, G. J. (2002). Pyroclastic flows generated by crater-wall collapse and outpouring of the lava pool of Arenal volcano, Costa Rica. *Bulletin of Volcanology*, 63, 557-568. doi: 10.1007/s00445-001-0179-9
- Alvarado, G. E., Matumoto, T., Borgia, A. y Barquero, R. (1988). Síntesis geovulcanológica del Arenal (Costa Rica): 20 años de continua actividad eruptiva (1968-1988). *Boletín del Observatorio Vulcanológico del Arenal*, 1(1), 1-55.
- Alvarado, G. E., Soto, G. J., Ghigliotti, M. y Frullani, A. (1997). Peligro volcánico del Arenal. *Boletín del Observatorio Sismológico y Vulcanológico de Arenal y Miravalles*, 8(15-16), 62-82.
- Alvarado, G. E., Esquivel, L., Sánchez, B. E. y Alfaro, J. C. (2020a). *Actualización del peligro volcánico del Poás, Costa Rica*. Informe CNE, San José. Informe interno.
- Alvarado, G. E., Esquivel, L., Sánchez, B. E. y Matamoros, G. (2020b). *Actualización del peligro volcánico del Turrialba, Costa Rica*. San José: CNE. Informe interno.

- Avard, G., Mora, M. M., Bakkar, H., Alvarado, G. E., Angarita, M., Cascante, M., de Moor, J. M., Martínez, M., Müller, C., Pacheco, J., Ruiz, P. y Soto, G. (en revisión). Volcano hazard and surveillance in Costa Rica. *Volcánica*.
- Brenes-André, J., Alvarado, G.E., Chavarría, N., Sánchez, B., Avard, G., Barrantes, M. y Quesada, C. (2020). Análisis de la dinámica y productos balísticos durante la erupción del Poás (Costa Rica) en el 2017. *Revista Geológica de América Central*, 62, 74-101. doi: 10.15517/rgac.v62i0.40640
- Comisión Nacional de Prevención de Riesgos y Atención de Emergencias (CNE) (2015). *Política Nacional de Gestión del Riesgo 2016-2030*. San José: CNE.
- Comisión Nacional de Prevención de Riesgos y Atención de Emergencias (CNE) (2016). *Plan Nacional de Gestión del Riesgo 2016-2020*. San José: CNE.
- Esquivel, L. (2004). Restricción del uso de la tierra en áreas bajo amenaza volcánica: el caso del Arenal. *Revista Geológica de América Central*, 30, 203-211. doi: 10.15517/rgac.v0i30.7289
- Malavassi, E. (1979). *Geology and petrology of Arenal volcano, Costa Rica* (Tesis inédita de maestría). University of Hawaii at Manoa, Hawaii, Estados Unidos.
- Mora, R. (2010). *Peligrosidad volcánica del Poás (Costa Rica), basado en las principales erupciones históricas de 1834, 1910 y 1953-1955* (Tesis inédita de maestría). Universidad de Costa Rica, San José, Costa Rica.
- Mora-Amador, R. A., Rouwet, D., González, G., Vargas, P. y Ramírez, C. (2019). Volcanic Hazard Assesment of Poás (Costa Rica) Based on the 1834, 1910, 1953-1955 and 2017 Historical Eruptions. En F. Tassi, O. Vaselli y R. A. Mora-Amador (eds), *Poás Volcano. The pulsing heart of Central America Volcanic Zone* (pp. 261-299). Mainz: Springer.
- Mora, S. (2009). Disasters are not natural: risk management, a tool for development. En M. G. Culshaw, H. J. Reeves, I. Jefferson y T. W. Spink (eds), *Engineering Geology for Tomorrow's Cities* (Engineering Geology Special Publications 22, pp. 101-112). Londres: Geological Society.
- Ortiz, R. (Ed.). (1996). *Riesgo volcánico* (Serie Casa de los Volcanes 5). Lanzarote: Servicio de Publicaciones Excelentísimo Cabildo de Lanzarote.
- Salvage, R.O., Avard, G., de Moor, J. M., Pacheco, J. F., Brenes, J., Cascante, M., Muller, C. y Martínez, M. (2018). Renewed Explosive Phreatomagmatic Activity at Poás Volcano, Costa Rica in April 2017. *Frontiers in Earth Sciences*, 6, 160. doi:10.3389/fearth.2018.00160
- Soto, G. J. (2004). *Preparación de mapas de peligros volcánicos volcán Arenal y la implementación de las recomendaciones del mapa de restricción de uso del suelo en el volcán Arenal*. San José: CNE. Informe Interno.
- Soto, G. J. (Coord.) (2012). *Preparación de mapas de peligros volcánicos y restricción de uso de la tierra en el volcán Turrialba*. San José: Fundevi, UCR. Inf. Interno.
- Tazieff, H. (1964). *Costa Rica misión volcanologique au volcan Irazu*. París: Unesco, Programme élargi d'assistance technique.
- Tazieff, H. (1965). Les leçons du Volcan Irazu. *Le Courier*, XVIII, 19-23.