

## Impacto ambiental y socioeconómico del volcán Turrialba según monitoreo realizado entre 1980 y 2015

..... || **Eliécer Duarte** .....

Vulcanólogo.  
Investigador en  
el Observatorio  
Vulcanológico y  
Sismológico de Costa  
Rica de la Universidad  
nacional (eduarte@  
una.cr).

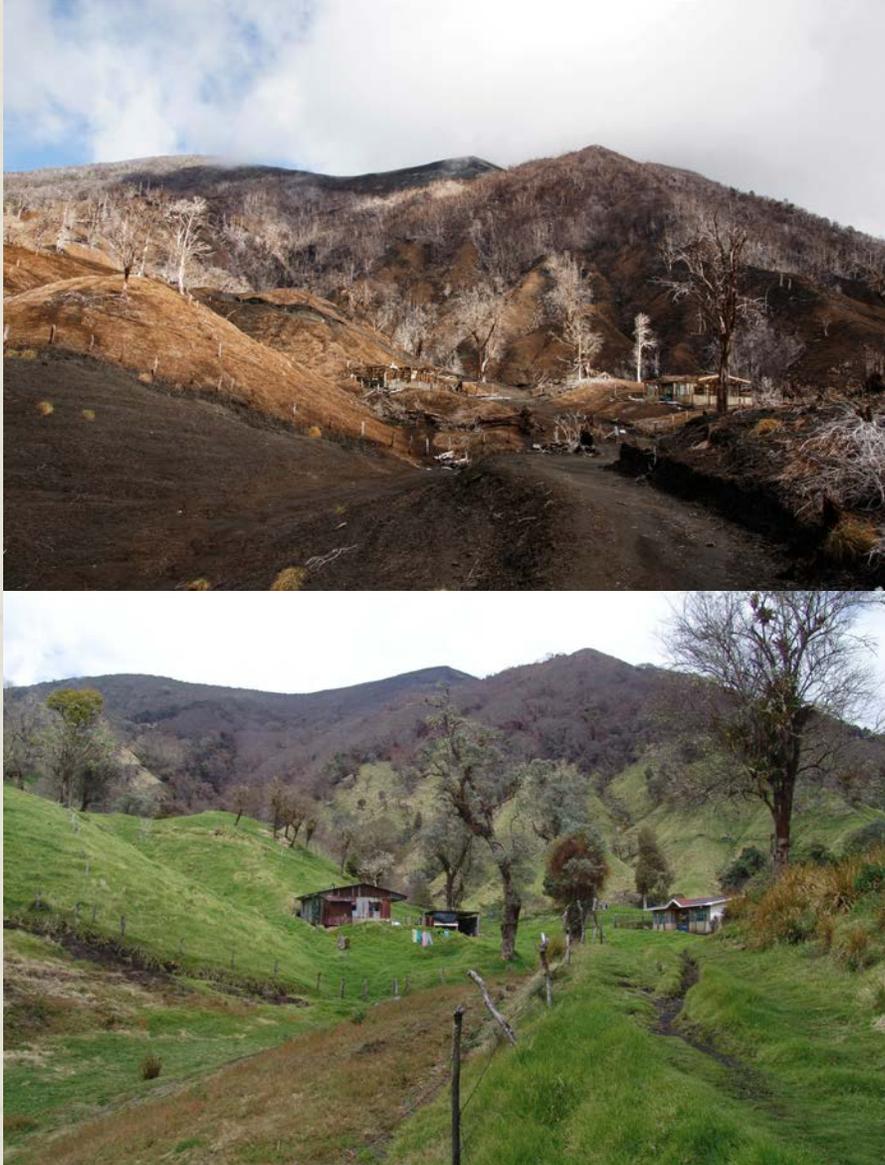


**D**esde principios de los años ochenta, el Observatorio Vulcanológico y Sismológico de Costa Rica (Ovsicori), que nació con otro nombre, se dedica al monitoreo de los volcanes activos del país. El presente artículo resume unos 35 años de estudios y observaciones en el volcán Turrialba. Para fines de exposición, ese tiempo se ha dividido en cuatro períodos: (1) 1980-1995: cono verde, baja actividad y primeros estudios; (2) 1996-2005: enjambres sísmicos y cambios en la caldera; (3) 2005-2010: expansión del campo fumarólico y éxodo de la población, y (4) 2010-2015: erupciones freáticas y freatomagmáticas. Durante los últimos 10 años es cuando se han producido los eventos más salientes con los efectos más severos en los ecosistemas y calidad del aire, produciendo impacto directo en el entorno y en la economía regional (figura 1). Debido a la obligada cortedad de este documento, se omite detalles, pero existe prueba documental de los profundos cambios producidos en estas tres décadas (las imágenes comparativas lo ilustran).

*Periodo 1980-1996: cono verde, baja actividad y primeros estudios:* En los primeros años, nuestras visitas al



Volver al índice



**Figura 1.** Un mismo lugar dentro de una finca al noroeste del volcán en dos momentos distintos.

volcán generaban curiosidad entre los pobladores que no comprendían su razón, pues consideraban al volcán *muerto* o *dormido*. Y no era para menos: la zona se mostraba rozagante de vida.

nula. Algunos vecinos dijeron que la presencia de investigadores podía despertar al coloso, evidenciándose la falta de educación y sensibilidad en las poblaciones menos aventajadas.

Como una forma de intensificar el conocimiento del volcán y en preparación de cambios que podían ocurrir, en esos primeros años se realizaron dos tesis de licenciatura (Fernández, 1987; Duarte, 1989) en paralelo a las labores básicas de monitoreo volcánico. Especial énfasis se otorgó a la caracterización de la calidad del aire por medio del despliegue de colectores de lluvia para dar seguimiento a la lluvia ácida. De igual modo, se realizaron estudios de los materiales eruptados en el pasado, de estratigrafía y de algunos aspectos del riesgo volcánico. También se produjo una tesis doctoral (Reagan, 1987) y otra sobre estratigrafía y geología (Soto, 1988). A pesar del interés de vulcanólogos, en este periodo la reacción de las instituciones de primera respuesta y de los organismos encargados de la sensibilización para la reducción del riesgo fue mínima o

Estos fueron los años en que se podía ver al macizo completamente verde -con parches de pastos ganaderos-, incluyendo partes internas de la caldera. Solo se conocían dos tímidas fumarolas: una al SW (FWCC) del cráter central y otra al N del cráter oeste (FNCA). La temperatura de ambas oscilaba entre 88 y 91 °C. Aun así, se tomó muchas muestras de condensados para su análisis respectivo. Por reforzamiento de la red sísmológica de Ovsicori se incluyó, con fondos extranjeros, al menos una estación sísmica permanente en este volcán y algunas otras de modo intermitente por cortos periodos de tiempo.

*Periodo 1996-2005: enjambres sísmicos y cambios en la caldera:* Desde 1996 se comenzó a registrar -y reportar- enjambres sísmicos esporádicos relacionados directamente con el macizo volcánico. Es en este periodo cuando se escala en interés por recoger la información sísmica disponible y asociarla a leves cambios en la desgasificación que presentaba la cima. La mayoría de enjambres se asocian a actividad superficial alineada a lo largo de las grandes estructuras tectónicas que caracterizan a este macizo (fallas alineadas, posición de las fumarolas y de los volcanes secundarios). El rol de las estaciones



**Figura 2.** Quemaduras en vegetación al SE del cráter activo, en junio de 2006.

sísmicas cobró gran valor, pues se comenzaban a dar los primeros signos premonitores de una actividad magmática que apenas se sacudía en las capas más profundas del macizo (Barboza et al., 2000).

En 2005, se registró un aumento importante en la temperatura del piso, al SE del cráter activo, generando quemaduras en las plantas menores y arbustos de ese sector. De hecho, al caminar por el sector se podía sentir en las suelas de las botas un calor inexistente en años precedentes (figura 2). De igual modo se manifestaron cárcavas calientes en la zona entre el cráter activo y el central. La desgasificación y el rápido ensanchamiento de esas grietas se daban por el efecto mecánico, químico

y físico que producían los gases en los materiales que sostenían la pared. Tales cárcavas anunciaban lo que posteriormente habría de ser una zona de máximo calentamiento, cambios físicos rápidos y destrucción durante la actividad de octubre 2014 (figura 3).

*Periodo 2005-2010: expansión del campo fumarólico y éxodo de la población:* A partir de mediados de 2005, la expansión del campo fumarólico, alrededor del cráter activo, se hizo notorio. Las quemaduras del verdor que caracterizaba la pared interna sur del cráter oeste solo eran comparables con las quemaduras de las copas en los grandes árboles que alcanzaban las paredes externas, más empinadas, al norte y noroeste del cráter activo. El marchitamiento rápido de las plantas cargadas de flores y frutos trajo consigo la desaparición de insectos y aves. En los bosques, al N y NW del cráter activo, se podía observar los coyotes deambular a cualquier hora del día, atormentados por los gases que los sacaban de sus madrigueras. No en pocas ocasiones se encontró aves muertas en la zona de influencia de la pluma de gases. Importantes parches de bosque, ricos en especies vegetales y animales, mostraban diversos grados de marchitamiento y decoloración (figura 4).



Figura 3. Formación de cárcavas al este del cráter activo.



Figura 4. El mismo lugar -en la parte baja, hacia el NW- cambiado por efectos acumulados durante ocho años.

En junio y julio de 2005, se registraron puntos calientes en el borde oeste del cráter activo, a más de 200 m de la fumarola FNCA, ya mencionada. Alineamientos de puntos calientes se notaban en el sector sur del cráter activo. En paralelo, se producían penachos de gas y vapor que sobresalían del borde del cráter oeste, para sorpresa de vecinos y visitantes (figura 5).

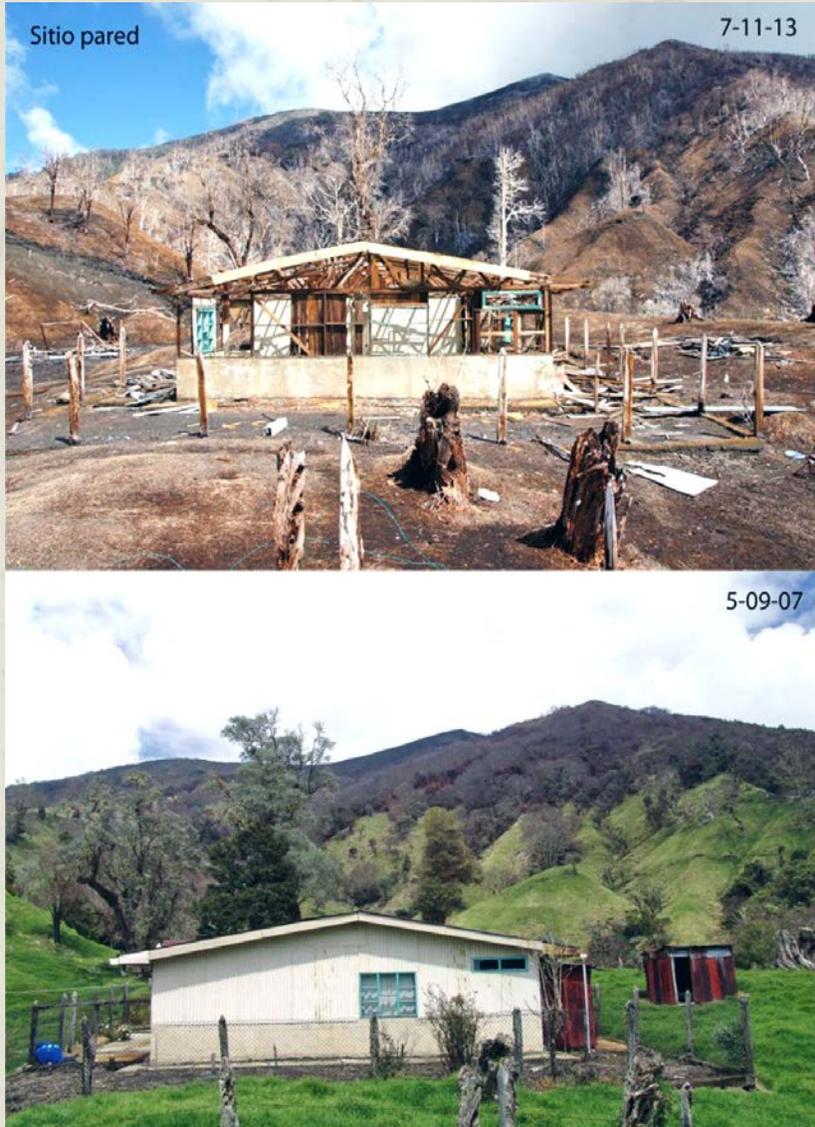
En el verano de 2007, los efectos de la acidificación se aceleraron, aunados a enjambres sísmicos que producían miles de sismos al día. Entre abril y mayo, los vecinos de La Central y La Fuente reportaron con preocupación la salida de fumarolas en el fondo del valle de la quebrada Ariete, que alcanzaron hasta 90 °C. De nuevo, en julio de 2007, un enjambre sísmico estremeció la cima y alrededores provocando agrietamientos (decenas de centímetros de ancho y decenas de metros de largo) en la sección oeste del cráter activo. Algunas fumarolas registraron temperaturas arriba de los 200 °C. Las emanaciones sostenidas de gases enriquecidos en especies magmáticas aceleraron las quemaduras en los

flancos SW, W y NW hasta unos 4 km del punto de emisión. En resguardo de su salud, por temor a los enjambres sísmicos y para evitar la pesada atmósfera cargada de gases fétidos y tóxicos, los pobladores ubicados entre La Central y La Picada comenzaron a dejar sus casas, y con ellos se fue la mayoría de animales domésticos.

Los efectos ambientales fueron mayúsculos desde el segundo semestre de 2007 hasta finales de 2009. Enormes parches de bosque primario y secundario cayeron ante el embate de los gases que visitaban constantemente la zona, y con ellos sucumbieron orquídeas, musgos, helechos, pastos, reptiles, anfibios, etc. Efectos severos visibles sobre vegetación y componentes metálicos se documentaron más allá de la cima del vecino volcán



**Figura 5.** Agrietamiento al oeste del cráter activo, ocurrido en mayo y julio de 2007.



**Figura 6.** Misma infraestructura modificada por los gases.

Irazú. Los pastos lecheros cambiaron de color, una y otra vez, dependiendo del aporte de los gases y la dirección de los vientos (figura 6). La corrosión aguda de los componentes metálicos causó pérdidas en las casas de habitación, bodegas y edificios de interés público. En la agricultura, las consecuencias se registraban en

cientos de hectáreas de papa, zanahoria y demás legumbres y vegetales.

*Periodo 2010-2015: erupciones freáticas y freatomagmáticas:* En enero de 2010 empezó un periodo de erupciones que se extendería por años... Durante los últimos cuatro, ocurrieron cinco eventos freáticos emitidos desde tres bocas que se habían formado en enero de 2010, a mitad de 2011, en enero de 2012 y en mayo de 2013. En octubre de 2014 se produjo la primera erupción freatomagmática que culminó con la voladura de los materiales que se encontraban bloqueando el conducto principal del cráter activo, y es entonces que arranca un periodo de erupciones esporádicas e importantes que se prolongan en el tiempo hasta la actualidad (mayo de 2015).

Las erupciones de 2010 abrieron una cavidad en la pared interna del cráter oeste por donde se emitió material que se proyectó hasta unos 40 km

hacia el suroeste, alcanzando un sector periférico del Gran Área Metropolitana, muy cerca de la capital. Durante este evento, la fase gaseosa se presentó acompañada de material fino preexistente. Varias explosiones freáticas ocurrieron y el impulso extraordinario de gas y vapor encontró una salida frágil perforando las

capas superiores de la cima. El volcán emitió una cantidad importante de sedimentos, lapilli y piroclastos antiguos que fueron desperdigados a distancias acordes con sus tamaños. Los bloques enormes (muchos sub-métricos) quedaron en las cercanías de los boquetes iniciales y el chorro de material más fino alcanzó una altura suficiente como para que el viento lo arrastrara a decenas de kilómetros. Las temperaturas en la nueva boca superaron los 500 °C (figura 7).

Las pequeñas erupciones a mitad de 2011 fueron invisibilizadas por las condiciones adversas del clima que reinan a mitad de la época lluviosa; sin embargo, se reportó la apertura de una pequeña cavidad en la pared rocosa, al fondo del cráter oeste. La caída de material en esta ocasión se limitó al edificio volcánico (figura 8).

Entre el 12 y el 18 de enero de 2012, ocurrieron otras erupciones freáticas producidas desde una boca formada al sureste del cráter oeste: en la pared baja y externa del cráter principal. Aunque no hubo afectación directa de infraestructura ni de personas, los materiales finos se distribuyeron



**Figura 7.** Parte de la boca abierta en enero de 2010.



**Figura 8.** Abertura en la base de la pared oeste del cráter activo, abierta a mediados de 2011.



Figura 9. Boca 2012 abierta a unas decenas de metros del cráter activo.



Figura 10. Erupción del 21 de mayo de 2013.

por muchos kilómetros a partir de ese punto de emisión (figura 9).

El 21 de mayo de 2013, de nuevo ocurrieron emisiones de piroclastos, lapilli y material fino, simultáneamente, desde los mencionados boquetes de 2010 y 2012. Aunque el evento solo se sostuvo por unas horas, la trayectoria de los materiales finos se documentó a lo largo de muchos kilómetros, alcanzando el sector noroeste del valle Central hasta unos 25 km del punto de emisión (figura 10).

El evento freato-magmático que desaloja el “tapón” del cráter activo produce materiales de todo tamaño (incluidos métricos) y ocurre entre el 30 y 31 de octubre de 2014. Hasta ese momento, esta ha sido la actividad reciente más dramática que ha presentado el volcán. Los efectos por caída de grandes bloques en la caldera y alrededores, lo amplio de la afectación por ceniza en las zonas rurales y urbanas y los

profundos cambios en la morfología del cráter activo tendrán gran trascendencia en los meses ulteriores (figura 11).

El cráter ensanchado ahora es capaz de trasegar importantes volúmenes de ceniza y piroclastos, una vez reducida la sobrepresión en esa “válvula” de escape. Tal cráter ampliado contrasta con el que se pudo conocer por más de 30 años. En general, toda la caldera volcánica muestra ahora cambios drásticos relacionados



**Figura 11.** Fondo del cráter ensanchado, el 2 de noviembre de 2014.



**Figura 12.** Caldera volcánica cambiada en 10 años.

con los eventos explosivos recientes (figura 12).

Entre marzo y abril se repiten las emanaciones de ceniza afectando la rutina en el campo y la ciudad. Las pérdidas económicas por el cierre del aeropuerto en varias ocasiones son inestimables. Entre octubre de 2014 y mayo de 2015, ha ocurrido un importante número de enjambres sísmicos, algunos acompañados con cambios en la cima y alrededores, incluyendo docenas de erupciones conteniendo ceniza y piroclastos incandescentes. De hecho, a finales

de mayo de 2015 se encontró, entre muchos cambios, un lago formado en el fondo del cráter activo (figura 13).

**L**a actividad freática -e incipiente actividad freatomagmática- reciente es un claro ejemplo de la energía acumulada en el subsuelo del macizo del volcán Turrialba. La actividad volcánica, si bien no es predecible, sí muestra signos premonitores que se deben conocer por anticipado, y esto solo se logra con investigación extendida en el tiempo. Los enjambres percibidos unos 10 años antes de la etapa gaseosa del volcán fueron signos de cambios que se acercaban en la dinámica interna del Turrialba. Singularmente, muchas de las manifestaciones observadas se habían dado previamente en el periodo eruptivo entre 1864 y 1866.



**Figura 13.** Formación de lago somero en el fondo del cráter activo.

Apenas se aceleró la actividad gaseosa del volcán -entre 2007 y 2009-, se giró invitación a investigadores para adelantarse a los hechos y recoger la información pertinente en su área de estudio. Algunos de los temas de interés eran salud humana y animal, flora, fauna, calidad del aire, aspectos socioeconómicos, etc. Una veta valiosa de información se perdió por falta de estudios básicos que permitieran conocer el “estado de la cuestión” en ese momento a efectos de hacer comparaciones con los profundos cambios observados en años recientes.

Cuatro eventos freáticos en los últimos cuatro años es un número discreto, pero bien aprovechados podrían hacer la diferencia para fines de educación y preparación de la población. La incipiente actividad freatomagmática de los meses recientes todavía puede impulsar medidas de reducción del impacto por una

actividad volcánica aumentada. En tantos otros casos, los volcanes no dan signos premonitores y el proceso de sensibilización de la población se hace más lento y tortuoso. En este caso, los simulacros aportados naturalmente por el Turrialba deben servir de aporte para aquellas organizaciones encargadas del manejo de la emergencia y para las de primera respuesta. Como ya se han producido cambios morfológicos en la cima del Turrialba, con estas

erupciones hay elementos para prever actividad magmática a un plazo desconocido, en cuyo caso se requiere toda la atención de autoridades, investigadores y manejadores de emergencias.

La localización de las aberturas alrededor del cráter oeste ya indicaba el potencial energético de este volcán, culminando con el desbloqueo de la obstrucción que se había consolidado en la parte superior del conducto del cráter activo. Las erupciones explosivas con enriquecimiento de la firma magmática del volcán indican que la evolución puede escalar a otras etapas más severas. Por el momento, cabe trabajar en la dirección de paliar los efectos graves que ya la actividad acaecida ha producido en ecosistemas, economía local y, en general, en la percepción global de la sociedad costarricense. Los estragos esporádicos de algunos eventos eruptivos en la economía nacional, por el cierre de aeropuertos, ya se habían anunciado años atrás. Ahora conviene prepararse para un escenario de acumulación de materiales de distinto tamaño, en la cima y alrededores, que podrían ser rápidamente arrastrados a las partes bajas del macizo, afectando comunidades puntuales a grandes distancias. Para muestra, se debe recordar el periodo de lahares (avalanchas de escombros) ocurridos en Taras de Cartago durante la actividad del volcán Irazú en los años sesenta.

En principio, el calentamiento superficial, producto del movimiento de fluidos y la brusca descompresión del sistema interno recalentado, había venido

en aumento en los últimos años. El ascenso cualitativo de los parámetros (generados por un monitoreo sostenido por décadas) indicaba una intrusión magmática en lento movimiento hacia la superficie. La evidencia de productos con magma juvenil en erupciones subsecuentes y el enriquecimiento de los gases magmáticos pueden estar avisando la cercanía de la masa magmática tan anunciada, por lo que los preparativos y la apropiada gestión del riesgo son imperativos.

Como ya hay fracciones de magma fresco en las erupciones documentadas, estos eventos sí conforman un simulacro real y natural, por parte del mismo volcán, para las poblaciones cercanas, para los investigadores y para las instituciones de primera respuesta encargadas del manejo de emergencias y reducción de riesgos.

**C**onociendo los antecedentes del Turrialba y separando los escenarios, se puede decir que el efecto de marchitamiento y quemaduras en la vegetación circundante ya fue descrito por observadores de la actividad hace más de 150 años. Si bien no se puede derivar de esta coincidencia que el volcán pasará a una etapa magmática, como sucedió en aquel entonces, si es claro que aún posee el potencial y la capacidad de repetir tal calamidad.

Es necesario ahondar en más y mejores estudios geofísicos que puedan ayudar a entender con claridad la dinámica interna de este volcán. La tecnología actual permite recabar información valiosa

y compartirla en tiempo real con la población, con la idea de compararla y reducir el riesgo inherente. Es imperativo que los estudios en salud humana, animal y vegetal se realicen con la firme intención de recomendar para reducir los efectos hasta ahora observados.

En cuanto a futuros escenarios posibles, el escenario de gases y cenizas intermitentes es tal vez el más inocuo de los que se puedan citar para el historial que posee el volcán Turrialba. Si ascendemos en severidad y pensamos en las erupciones vulcanianas y/o estromboleanas, el escenario se torna muy pesimista. La calidad del aire, y por ende la calidad ambiental, se puede ver drásticamente reducida (a mayores distancias que las observadas) por esas erupciones que afectarían las nuevas tecnologías en el valle Central y poblaciones intermedias. El efecto del cierre de aeropuertos por actividad volcánica asesta un duro golpe a la economía nacional tan anclada en las divisas del sector turismo.

Con un conducto abierto y un cráter ensanchado está por verse si queda una masa magmática que alcance la superficie, en forma de domo, de coladas pastosas o de erupciones con lava pulverizada en forma de altas columnas de ceniza. Más importante aun es pensar si la dinámica interna observada se altera negativamente. En caso de sellamiento del fondo del cráter, un aumento brusco de temperatura y presión puede mantener erupciones esporádicas. En cualquiera de los casos, la voladura de nuevos materiales

conllevaría baño de material fino a largas distancias en la dirección que el viento lo lleve. En el caso de sellamiento por material fino y formación de lago en el fondo del cráter -como se observó a finales de mayo de 2015- las erupciones freáticas podrían producir lahares (avalanchas de escombros) en direcciones no determinadas. Con un edificio meteorizado, la sobrepresión en alguna de sus paredes es un escenario poco alentador. Ya se ha observado la multiplicación de fumarolas en las paredes externas, al sur y al noroeste como indicadores de debilitamiento físico de las capas del volcán.

Ante estos escenarios, los efectos directos e indirectos escalarían rápidamente. Las amenazas secundarias como deslizamientos, lahares y gases pueden alcanzar territorios todavía no incluidos en un mapa de riesgo volcánico, que no existe. La caída de tefras puede sepultar parcialmente amplias zonas alrededor del volcán. Peor aun, se pueden producir avalanchas incandescentes que bajen rápidamente por las laderas provocando destrucción total e inmediata. Este sería el peor escenario para fines de preparación y prevención; igual de grave es el hecho de que la producción de altas columnas de ceniza seguiría bloqueando el tráfico aéreo del país. Si bien la emisión de coladas de lava ha sido parte del crecimiento de ese edificio volcánico, el peligro que eso representaría sería menor comparado con otras amenazas.

El proceso agudo de acidificación se mantendría en tanto se sigan emitiendo gases y vapor ácido. El área hasta ahora

afectada se podría extender de modo horizontal ampliando la zona alcanzada hasta ahora. De igual modo, por el carácter acumulativo de sus efectos, las zonas más severamente impactadas se profundizarían hasta mantener suelos estériles de muy lenta recuperación.

Si bien por años se recomendó el mejoramiento de vías para potenciar la economía regional y para evacuaciones rápidas, finalmente esto se hizo. La reducción del impacto económico y humano comienza por ahí y se puede mejorar mucho más. El reforzamiento de la infraestructura hospitalaria y la vigilancia de la salud pública es una forma de prepararse para lo peor. En términos ambientales mucho se puede hacer para proteger las laderas del fuego y la deforestación. La localización y manejo adecuado de las fuentes de agua, cercanas al volcán, es otro modo de ver el futuro en forma preventiva. Más aun y a mayor plazo, se debe reforzar la estrategia de educación en niños, de modo que su sensibilidad sea trasladada por ellos mismos a futuras generaciones. Finalmente, la planificación del territorio debe ser una tarea que arranca desde la misma municipalidad e instituciones estatales pasando por el concurso de los vecinos e interesados.

La reducción del riesgo en los alrededores del volcán incluye la sensata planificación del territorio y las medidas correctivas en la infraestructura. En caso de acumulación de capas gruesas de materiales en las partes altas, las avalanchas podrían arrastrar volúmenes importantes hacia las

comunidades. En tal caso, y de modo preventivo, se debería combinar las medidas de uso del suelo con obras de ingeniería. De igual importancia es el reforzamiento del monitoreo de ríos que colindan con el volcán. El inventario de puentes y vados es un deber de alta prioridad. Igualmente, la construcción de gaviones combinados con el dragado podrá hacer que los materiales que pudieran bajar lo hicieran de modo fluido y seguro. Dos prácticas ambientales con múltiples beneficios inmediatos y futuros se pueden reforzar: la protección de cuencas y la salvaguarda de las fuentes que proveen de agua a la ciudad (incluyendo las plantas de tratamiento).

#### Referencias

- Barboza, V., Fernández, E., Martínez, M., Duarte, E., Van der Laat, R., E., Marino, T., Hernández, E., Valdés, J., Sáenz, R. & Malavassi, E. (2000). Volcán Turrialba: Sismicidad, Geoquímica, Deformación y nuevas fumarolas indican incrementos en la actividad (resumen). En *Los retos y propuestas de la investigación en el III milenio (Coninves). Memoria*. San José: Euned. pp. 78.
- Fernández, E. (1987). *Caracterización química de la precipitación en el área adyacente al volcán Turrialba*. Tesis de licenciatura. Costa Rica: Universidad Nacional.
- Duarte, E. (1990). *Algunos aspectos del riesgo volcánico en el Volcán Turrialba*. Tesis de licenciatura. Costa Rica: Universidad Nacional.
- Reagan, M. K. (1987). *Turrialba volcano. Costa Rica. Magmatism at the southeast terminus of the Central American arc*. Ph. D. dissertation. EU: Santa Cruz University of California. 216p.
- Soto, G. (1988). *Geología y Volcanología del Volcán Turrialba, Costa Rica*. Tesis de licenciatura. Costa Rica: UCR.