

AMBIENTICO

Revista mensual sobre la actualidad ambiental

REACTIVACIÓN DEL VOLCÁN TURRIALBA



Editorial
Estremecimientos del volcán
Turrialba y cambios en *Ambientico*

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

Javier Pacheco y María Martínez
Historia eruptiva del volcán
Turrialba y sus impactos

Floribeth Vega
El volcán Turrialba y
Ovsicori en redes sociales

Juan Ignacio Del Valle
Los estudios de Ad Astra
Rocket Company Costa Rica en
tecnologías de hidrógeno
para el transporte

AMBIENTICO

Revista mensual sobre la actualidad ambiental

REACTIVACIÓN DEL VOLCÁN TURRIALBA



Director y editor: Eduardo Mora
Consejo editor: Manuel Argüello, Wilberth Jiménez, Sergio Molina, Luis Poveda
Asistencia y administración: Rebeca Bolaños
Diseño, diagramación e impresión: Programa de Publicaciones, UNA
Fotografía de portada: Eliécer Duarte. Volcán Turrialba.
Teléfono: 2277-3688. **Fax:** 2277-3289
Apartado postal: 86-3000, Costa Rica
Correo electrónico: ambientico@una.cr
Sitio web: www.ambientico.una.ac.cr

Ambientico, revista mensual sobre la actualidad ambiental costarricense, nació en 1992 como revista impresa, pero desde hace varios años también es accesible en internet. Si bien cada volumen tiene un tema central, sobre el que escriben especialistas invitados, en todos ellos se trata también otros temas. *Ambientico* se especializa en la publicación de análisis de la problemática ambiental costarricense -y de propuestas sobre cómo enfrentarla- sustentados en información primaria y secundaria, aunque asimismo se le da cabida a ejercicios meramente especulativos. Algunos abordajes de temas que trascienden la realidad costarricense también tienen lugar.



Sumario

Editorial
Estremecimientos del
volcán Turrialba y
cambios en *Ambientico* 2

Eliécer Duarte
Impacto ambiental y
socioeconómico del volcán
Turrialba según monitoreo
realizado entre 1980 y 2015 4

Javier Pacheco y María Martínez
Historia eruptiva del volcán
Turrialba y sus impactos 17

Floribeth Vega
El volcán Turrialba y
Ovsicori en redes sociales 24

Juan Ignacio Del Valle
Los estudios de Ad Astra
Rocket Company Costa Rica
en tecnologías de hidrógeno
para el transporte 28

Normas mínimas para la presentación
de artículos a *Ambientico* 39

Estremecimientos del volcán Turrialba y cambios en *Ambientico*

Esta edición dedicada al volcán Turrialba es la última edición mensual de *Ambientico*. En adelante, esta revista será trimestral. La reciente reactivación del volcán, minuciosamente estudiada por el Observatorio Vulcanológico y Sismológico de Costa Rica, ha trastornado la vida de las comunidades vecinas y, algunos días, de la Gran Área Metropolitana, pero no ha sido tan grande ni tan sutil como para modificar la periodicidad de nuestra revista... Esto obedece a otras razones que a continuación se exponen.

Cuando apareció *Ambientico*, en 1992, si bien en Costa Rica existía un saludable movimiento ambientalista, la prensa escrita, y los medios de comunicación en general, dedicaban poco espacio al examen de la problemática ambiental nacional. A los estudiosos e interesados en esta no se les invitaba a expresarse; antes bien, con suma frecuencia se les desdeñaba y rechazaba. En tales circunstancias, *Ambientico* irrumpió dando a conocer denuncias de problemas ambientales nacionales, diagnósticos de ellos, propuestas de enfrentamiento y, en general, avivó la discusión sobre la cuestión ambiental. Parecía que un *Ambientico* mensual era necesario.

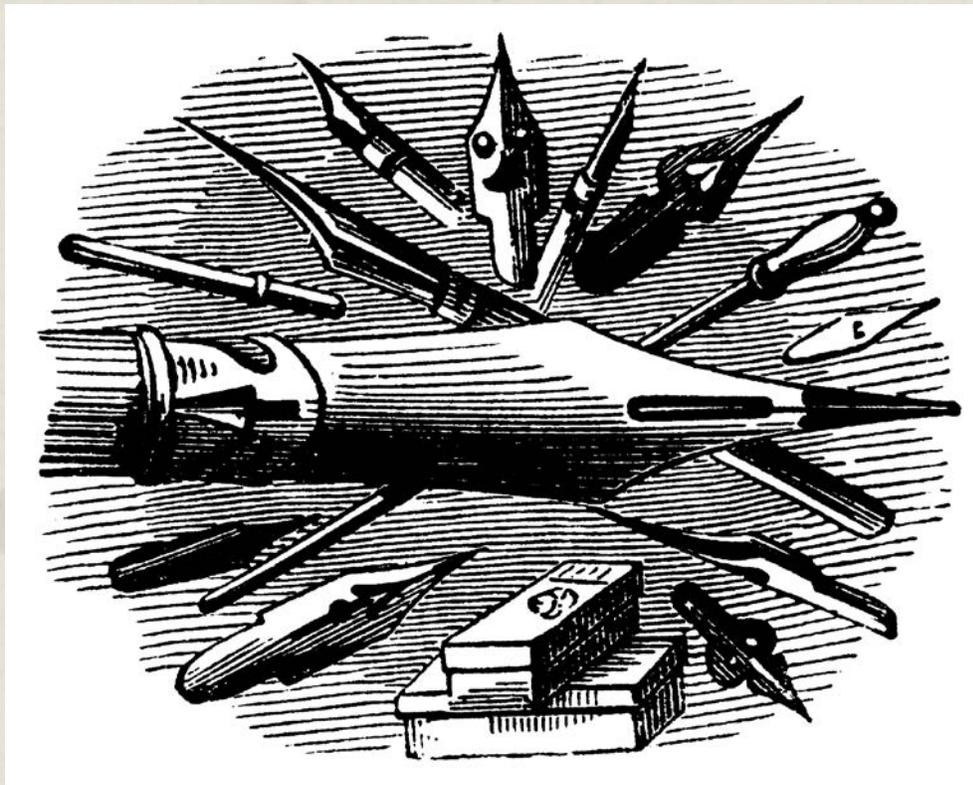
Pero actualmente, en la prensa escrita seria lo ambiental tiene un respetable lugar. Hay comunicadores especializados en ambiente, hay receptividad a los artículos de estudiosos que quieren ser escuchados y hay discusión. Dado que *Ambientico* no es una revista científica, sino *para-científica*, que publica textos de alrededor de 2.000 palabras, varios órganos de prensa nacionales que acogen textos de tamaños poco menores dichosamente “compiten” con

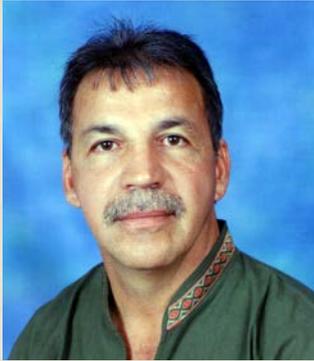
ella. No recae ya en *Ambientico*, pues, la responsabilidad de la publicación de artículos cortos en torno a la problemática ambiental nacional.

Por otra parte, a diferencia de antes de 1992, ahora todas las revistas académicas correspondientes a diferentes disciplinas científicas dan cabida a textos sobre unos u otros aspectos de la realidad ambiental. Esto obedece a que prácticamente todas las disciplinas científicas han incorporado lo ambiental a su objeto de estudio. No solo las disciplinas, viejas y nuevas, pertenecientes a las ciencias naturales, sino todas. Ya no hay saber humano sistemático en el que lo ambiental no tenga lugar: derecho, teología,

filosofía, psicología, administración, etc. En consecuencia, las revistas universitarias y otras autónomas llamadas “de pensamiento”, e incluso literarias, acogen textos sobre aspectos ambientales e invitan a especialistas a escribir. Así, la función que *Ambientico* cumplió por bastantes años en solitario ahora es ejercida por muchos.

Ha de quedar claro que el paso a la trimestralidad de parte de nuestra revista no expresa pérdida de interés en lo que hemos venido haciendo. Tal paso es simplemente la respuesta a los cambios –atrás esbozados– del contexto en que *Ambientico* existe.





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).



Desde 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

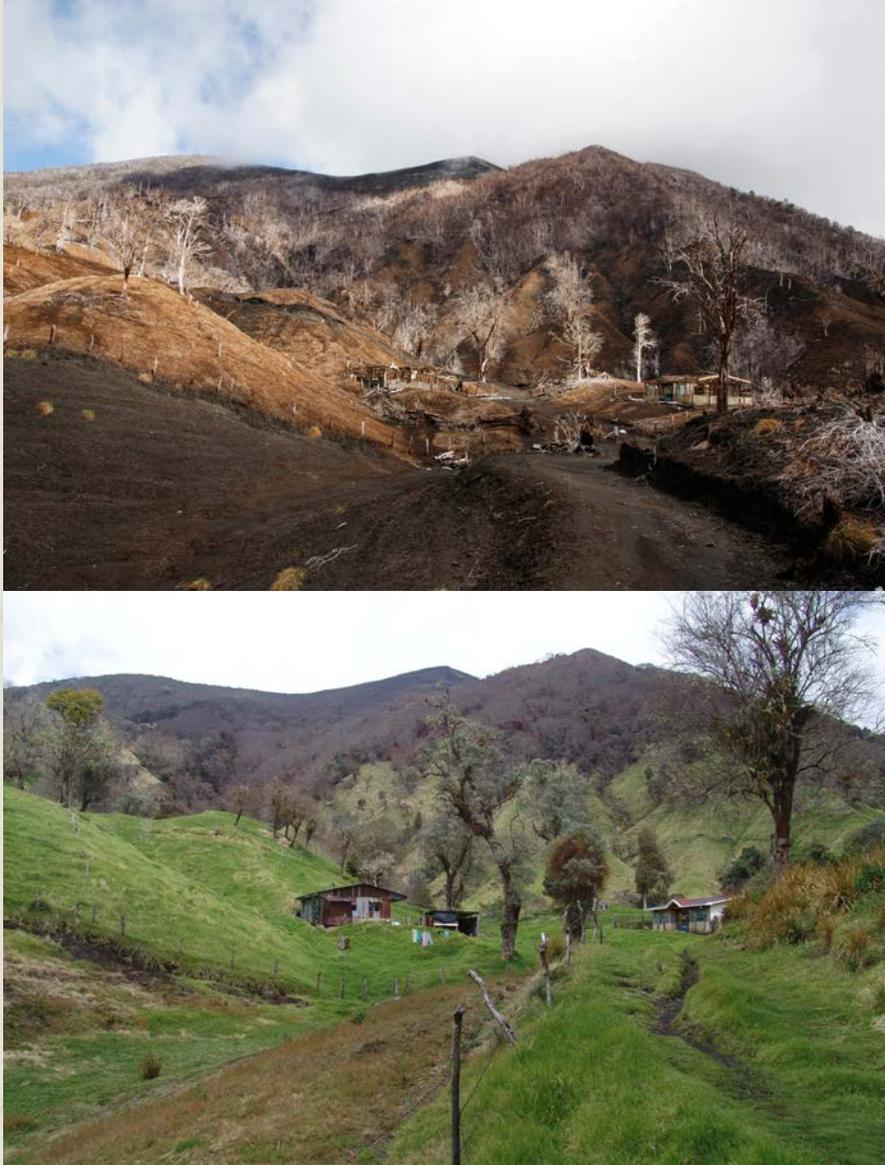


Figura 1. Un mismo lugar dentro de una finca al noroeste del volcán en dos momentos distintos.

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.

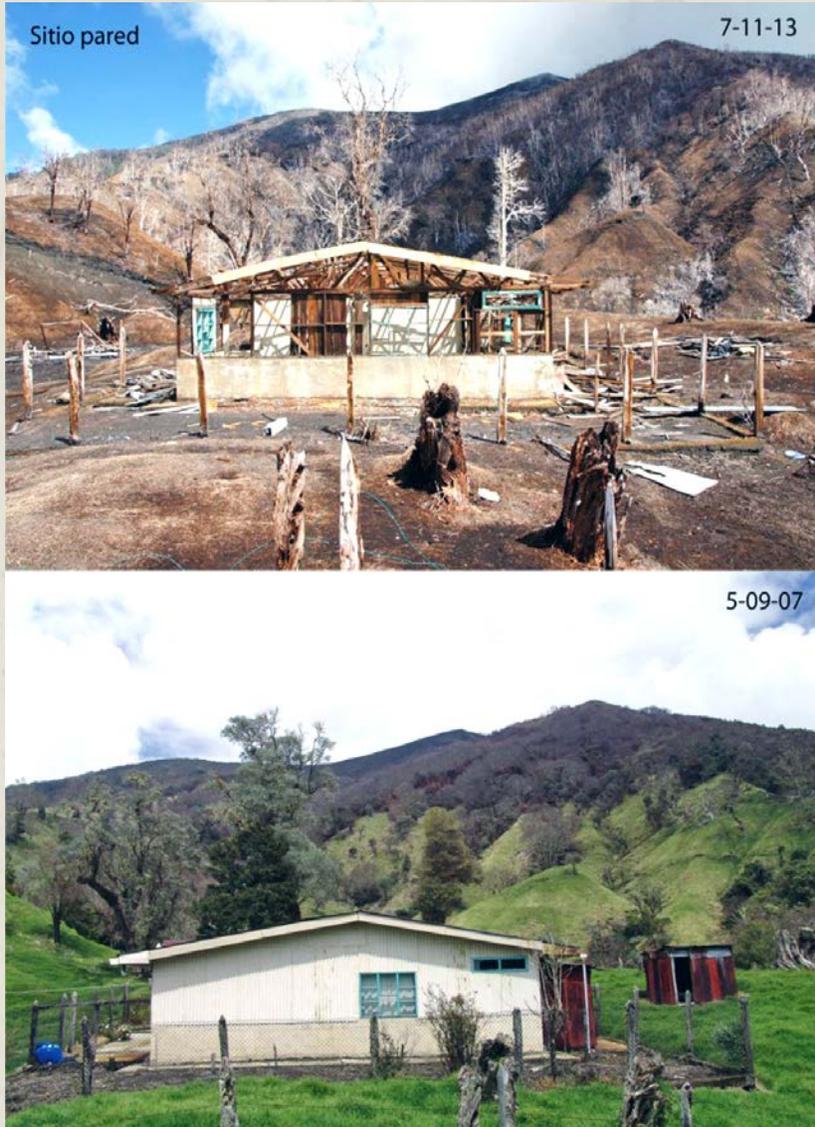


Figura 6. Misma infraestructura modificada por los gases.

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).

La 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.

Conociendo 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.



Sismólogo.
Investigador en
el Observatorio
Vulcanológico
(Ovsicori) de la
Universidad Nacional
(javier.pacheco.
alvarado@una.cr).

Historia eruptiva del volcán Turrialba y sus impactos

..... | **Javier Pacheco y María Martínez** |



Geoquímica.
Investigadora en
el Observatorio
Vulcanológico
(Ovsicori) de la
Universidad Nacional
(maria.martinez.cruz@
una.cr).

El volcán Turrialba es un estratovolcán, es decir, se ha construido por superposición de capas compuestas por flujos de rocas, lapilli y cenizas y lavas extruidas por un sinnúmero de erupciones acaecidas durante su corta historia geológica (Soto, 2012). Al igual que otros volcanes de la cordillera Volcánica Central, el Turrialba se yergue sobre los depósitos de antiguos y extintos volcanes, cuya base está constituida por los sedimentos de la cuenca de Limón. Este volcán se ubica en el extremo sureste de la cordillera Volcánica Central; sin embargo, está desplazado 10 km hacia el noreste con respecto al eje de ella. El Turrialba comparte la misma base del volcán Irazú, formando un complejo similar al que conforman el volcán Platanar con el Porvenir, el volcán Poás con el Congo y el volcán Barva con el Cacho Negro (Soto, 2012).

En la cima del Turrialba se distinguen tres cráteres bien preservados, y orientados a lo largo de un eje oeste-este, denominados cráter Oeste, cráter Central y cráter Este (Alvarado, 2010). La composición de las lavas más comunes del volcán corresponde a basaltos andesíticos; sin



Volver al índice

embargo, se encuentran también lavas y flujos con composición desde basaltos hasta dacitas (Reagan et al., 2006). Esto significa que el magma ha tenido diferentes tiempos de residencia dentro de una cámara magmática antes de las erupciones, con lavas más diferenciadas y viscosas (dacitas) para mayores tiempos de residencia, y lavas menos diferenciadas y menos viscosas por menor tiempo de residencia (basaltos).

Soto (1988) y Reagan et al. (2006) estudiaron la geología de la cúspide del volcán encontrando evidencia de por lo menos 20 erupciones; de ellas, las seis más recientes ocurrieron en los últimos 3.400 años. La mayoría de estas erupciones explosivas son pequeñas y de origen freático o freatomagmático con volúmenes de productos eruptados de alrededor de 0,03 km³; sin embargo, se encontró evidencia de una erupción pliniana ocurrida hace aproximadamente 1.980 años, a la que se le calcula un volumen eyectado cercano a 0,2 km³.

El periodo activo del volcán, ocurrido entre 1864 y 1866, se caracterizó por erupciones freáticas y freatomagmáticas basalto/basalto-andesíticas, flujos piroclásticos y lahares. Las cenizas llegaron hasta Puntarenas y Nicaragua (Reagan et al., 2006). Debido a la poca densidad de población en la región del Turrialba, a la guerra contra los filibusteros en aquella época y a sus consecuencias, existe muy poca información sobre la actividad del volcán. El científico Karl von Seebach (1865) realizó una recopilación de

información al respecto y, también, elaboró un informe luego de un ascenso al volcán en 1865. Tanto antes como después de la actividad de 1864-66, se reporta esporádicamente la actividad fumarólica en los cráteres oeste y central. Incluso se logra rescatar, en un informe del gobernador Diego de la Haya, el avistamiento de actividad fumarólica en 1723.

Hasta la década de 1990, las fumarolas mostraban temperaturas alrededor de 90 °C, lo que indica actividad netamente hidrotermal, donde el agua del acuífero superficial es calentada por un reservorio de calor residual del último periodo eruptivo. Entre finales de dicha década y la del 2000, se empezó a registrar cambios importantes en el comportamiento del volcán; las fumarolas aumentaron en número y se volvieron más vigorosas y, además, se registraron importantes enjambres sísmicos cada vez más frecuentes y prolongados (Vaselli et al., 2010; Martini et al., 2010).

A partir de la década del 2000, se evidencian cambios crecientemente dramáticos hasta que, en 2007, se registran numerosos sismos, que podrían estar relacionados con el rompimiento del sello de cuarzo que aísla los gases que se acumulan en una cámara magmática superficial. Este rompimiento permite el ascenso de volátiles magmáticos hacia la superficie, cambiando radicalmente la composición de los gases que escapan por las fumarolas, evolucionando desde una fase dominada por fluidos hidrotermales hacia una fase con componentes magmáticos.



J. Pacheco. Volcán Turrialba visto desde Coliblanco, Capellades, Cartago.

Vaselli et al. (2010) y Hilton et al. (2009) determinan cambios importantes en la composición de los gases en las fumarolas en el período 2001-2009, que reflejan un mayor aporte de gases magmáticos y calor hacia el sistema hidrotermal. Es a partir de este momento que se empieza a divisar desde lejos –desde el valle Central y Turrialba– altas columnas de gas y vapor ascendiendo sobre la cima del volcán. La emisión de gases magmáticos muestra un marcado incremento: El flujo de SO_2 estimado con DOAS móvil fue de apenas 1 tonelada por día en marzo de 2002, y entre 700-1.000 toneladas por día en abril de 2008 (Martini et al., 2010),

En 2009 se acelera el proceso; a mediados de ese año se incrementa la sismicidad (principalmente temblores) y se observa

un aumento paulatino en la cantidad de SO_2 emanado por el volcán (Conde et al., 2013), hasta alcanzar unas 4.000 toneladas diarias. Luego de un corto periodo de relativa calma sísmica observada en diciembre de 2009, el 5 de enero de 2010 se produce la primera erupción freática, arrojando fragmentos de roca, gases y ceniza. La mayoría de las cenizas se precipitaron en las cercanías del volcán, aunque la fracción más fina de la ceniza fue transportada por los vientos hacia el valle Central, afectando el área metropolitana por primera vez (Ovsicori, 2010). El 6 de enero de 2010 el flujo de SO_2 alcanzó el monto de 5.000 toneladas por día (Campion et al., 2012). Otras erupciones freáticas discretas sucedieron en 2011, 2012 y 2013, años en que la actividad sísmica

mostró una disminución general y la emisión de SO_2 se redujo paulatinamente hasta valores alrededor de 300 toneladas por día (Conde et al., 2013).

La persistente emisión de gases magmáticos (principalmente SO_2 , HCl, HF, HBr) ha generado una problemática de acidificación severa del ambiente desde el año 2007. La depositación ácida (seca y húmeda) constante ha generado un proceso rápido de acidificación y alteración de la calidad del aire y los suelos, produciendo muerte de la vegetación (De Bock, 2013), deterioro de infraestructura y afectación de las tierras usadas para las actividades agrícolas y de pastoreo, principalmente en las inmediaciones del Parque Nacional Volcán Turrialba y en el sector oeste del volcán, donde se encuentran las fincas La Central, La Silvia y La Picada. Muchas de estas tierras de pastoreo tuvieron que ser abandonadas por la disminución de la calidad de los pastos y la rápida corrosión de las viviendas, lecherías, cercas y utensilios metálicos. Entre los años 1984 y 1986, la lluvia en La Central y La Silvia registraba un nivel de acidez normal con pH entre 5,3 y 6,4 y razones $\text{SO}_4^{2-}/\text{Cl}^-$ entre 2,3 y 49,0. Actualmente, entre 2014 y 2015, el pH ha fluctuado entre 2,8 y 3,1 y las razones $\text{SO}_4^{2-}/\text{Cl}^-$ se mantienen debajo de $\leq 0,5$.

El 29 de octubre de 2014 se inició un cambio radical del comportamiento del volcán Turrialba, marcado por una erupción freática que produjo una columna de cenizas, gas y rocas calientes de aproximadamente 2 km de altura, precedida por

13 horas de tremor continuo de gran amplitud. A partir de este evento, las erupciones freáticas han sido más frecuentes, algunas de ellas han alcanzado aproximadamente 6.000 metros de altura sobre el nivel del mar, lanzando cantidades moderadas de ceniza que se han depositado principalmente al oeste del volcán y el valle Central. Esta actividad ha afectado la salud humana y animal, la ganadería, la agricultura, la industria alimentaria y de bebidas y la producción de otros bienes de valor agregado, e incluso ha obligado al cierre temporal del Aeropuerto Internacional Juan Santamaría.

Las cenizas eruptadas el 29 y el 30 de octubre de 2014 resultaron ser sumamente ácidas (pH entre 3,2 y 4,4) y con un alto contenido de volátiles magmáticos adsorbidos en su superficie (mg del anión/kg de ceniza): fluoruro entre ≈ 400 y 800, cloruro entre ≈ 1.400 y 3.100, bromuro entre ≈ 60 y 120 y sulfato entre ≈ 26.600 y 35.000. En forma grosera, estimamos que el Turrialba erupió en esos dos días 2×10^9 kg de cenizas, lo que equivale a aproximadamente $1,5 \times 10^6$ kg de fluoruro emitido al ambiente (Martínez et al., 2015).

En vista de que los halogenuros presentes en las cenizas son extraídos fácilmente por el agua y son potencialmente tóxicos, es de suma importancia evaluar el grado de exposición y de ingestión de cenizas -o sus componentes- por parte de personas y animales. Igualmente, es imprescindible determinar y vigilar la calidad del agua y los alimentos de consumo humano y animal, principalmente en la



J. Pacheco. Erupción sostenida del volcán Turrialba vista desde la carretera al Irazú.

región comprendida entre los volcanes Turrialba e Irazú, que es donde ha caído la mayoría de la ceniza. La ceniza erupcionada contiene una cantidad significativa de aluminio (entre 1.400 y 5.000 mg Al/kg ceniza), que tiene potencial toxicológico para organismos vivientes. En contraste, contiene también elementos químicos que son beneficiosos para la fertilidad de los suelos y el buen desarrollo de la vegetación, tales como (mg del catión/kg

de ceniza): Na (600-1.300), K (0,5-7,0), Ca (19.000-30.000), Mg (250-900), Fe (20-90), Mn (30-35) y elementos traza como Cu, Cr, Zr, Pd, Zn, Ni.

El comportamiento mostrado por el volcán Turrialba desde 1996 se asemeja a la fase inicial del periodo eruptivo de hace 150 años, de acuerdo a las secuencias estratigráficas de las cenizas y tefras de ese tiempo (Reagan et al., 2006) y a lo descrito por el naturalista von Seebach (1865). Además, sabiendo que en los últimos casi 7.000 años la mayoría de las erupciones de tal volcán han sido freáticas-freatomagmáticas, en la actualidad podría esperarse la ocurrencia de erupción freatomagmática, si el magma logra entrar en contacto con el acuífero su-

perficial del volcán, y repetidas erupciones estrombolianas o vulcanianas por un período de al menos un año.

Tales erupciones afectarían los sectores oeste-noroeste próximos al volcán y gran parte del valle Central por caída de cenizas constantes, perjudicando la vida diaria, la operación del aeropuerto, la producción industrial, la infraestructura y el turismo. Además, afectarían a personas con deficiencias respiratorias o

sensibilidad a contaminantes presentes en el ambiente, principalmente niños y adultos mayores, así como animales. La mayor afectación se produciría en los alrededores del volcán, principalmente hacia el oeste (Soto, 2012). Caída de cenizas y flujos piroclásticos podrían impactar áreas hasta a 2 km del cráter activo. Los flujos piroclásticos, producto del colapso de colum-



E. Duarte. Volcán Turrialba

nas eruptivas, se componen de gases, cenizas y fragmentos de roca (con temperaturas arriba de los 400 °C) que bajan por las laderas de los volcanes a velocidades mayores a 100 km/hora, arrasando y destruyendo todo a su paso.

Los 2 km alrededor del cráter activo del volcán Turrialba fueron declarados parque nacional en 1955, con la misma ley que creó el Instituto Costarricense de Turismo. Hoy el parque cuenta con 1.256,56 ha, terrenos que por ley deberían estar dedicados a la conservación de la naturaleza y, al mismo tiempo, a evitar la construcción de infraestructura en una zona de alto peligro volcánico. Sin embargo, un 78 % de los terrenos están todavía en manos privadas y son utilizados para pastizales y siembra de hortalizas (ACCVC

y Onca, 2008). La mayoría de quienes se dedican a la ganadería y la agricultura no son dueños de esas tierras sino subarrendantes.

Entre 2010 y 2014, durante las crisis volcánicas del Turrialba, el Estado dio ayuda material a varias personas a cambio de movilizarse a lugares más seguros donde pudieran desarrollar su actividad productiva. Sin embargo, esas tierras siguen siendo subarrendadas. El Estado no ha hecho lo que debiera: adquirir los terrenos ubicados en el sector con más alto riesgo y más impactado por la actividad volcánica. Los territorios más afectados, incluyendo sectores fuera de los 2 km alrededor del cráter activo, estarán sometidos a los efectos negativos del vulcanismo por varios años más hasta que cese la actividad del Turrialba. Luego de esto, le tomará a la naturaleza décadas regenerar

un ecosistema diverso y saludable. Aun en estas circunstancias, la expansión del área de conservación representaría una gran oportunidad para unir, a través de corredores biológicos, los parques y reservas aledaños al Parque Nacional Volcán Turrialba y cubrir las zonas de más alto riesgo volcánico.

Referencias

- ACCVC y Onca Natural. (2008). *Ministerio del Ambiente y Energía, Sistema Nacional de Áreas de Conservación, Área de Conservación Cordillera Volcánica Central: Plan de Manejo del Volcán Turrialba*. pp. 96.
- Alvarado-Induni, G. E. (2011). *Los volcanes de Costa Rica: geología, historia, riqueza natural y su gente*. Primera reimp. de la 3ª ed. San José: Euned. p. 267-277.
- De Bock, B. (2013). *Acidification des sols volcaniques en région tropicale: étude de cas au volcan Turrialba, Costa Rica*. Diplome dissertation Université Catholique de Louvain. Belgium.
- Campion, R., Martínez, M., Lecocq, T., Caudron, C., Pacheco, J., Pinardi, G., Hermans, C., Carn, S. & Bernard, A. (2012). Space and ground based measurements of sulphur dioxide emissions from Turrialba volcano (Costa Rica). *Bull. Volcanol* 74, 1757-1770.
- Conde, V., Bredemeyer, S., Duarte, E., Pacheco, J. F., Miranda, S., Galle, B & Hansen, T. H. (2013). SO₂ degassing from Turrialba Volcano link to seismic signatures during the period 2008-2012. *International Journal of Earth Sciences* 1-16, doi: 10.1007/s00531-013-0958-5
- Hilton, D. R., Ramírez, C., Mora, R. A., Fischer, T. P., Furi, E., Barry, P. H. & Shaw, A. M. (2010). Monitoring of temporal and spatial variations in fumaroles helium and carbon dioxide characteristics at Poás and Turrialba volcanoes, Costa Rica (2001-2009). *Geochemical Journal* 44: 431-440.
- Martínez, M., de Moor, J. M., Avard, G., Keizer, M., Berrocal, M., Osorno, D. & Herrera, J. (2015). Magmatic volatiles in ash leachates and environmental impact assessment of the 29-30 October 2014 eruption of Turrialba volcano. *Abstract of Symposium Environmental and Health Effects of Natural Mineral Dusts of the 26th IUGG General Assembly 2015 Prague Czech Republic*.
- Martini, F., Tassi, F., Vaselli, O., Del Potro, R., Martínez, M., van der Laat, R. & Fernández, E. (2010). Geophysical, geochemical, and geodetical signals of reawakening at Turrialba volcano (Costa Rica) after almost 150 years of quiescence. *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, vol 198, 416-432.
- Ovsicori (2010). *Estado de los volcanes enero 2010*. http://www.ovsicori.una.ac.cr/index.php?option=com_phocadownload&view=category&id=18:2010&Itemid=73 Última consulta: 22 mayo 2015.
- Reagan, M., Duarte, E., Soto, G. & Fernández, E. (2006). The eruptive history of Turrialba volcano, Costa Rica, and potential hazards from future eruptions. *Geological Society of America, Special Paper* 412, 235-253.
- Soto, G. (1988). Estructuras volcano-tectónicas del volcán Turrialba, Costa Rica, América Central. *Actas Quinto Congreso Geológico Chileno, Santiago*. p. 163-175.
- Soto, G. (2012). *Preparación de mapas de peligros volcánicos y restricción de uso de la tierra en el volcán Turrialba. Mapa de peligros volcánicos del volcán Turrialba, informe final*. San José: Fundevi. pp. 183.
- Vaselli, O., Tassi, F., Duarte, E., Fernández, E., Poredda, R. J. & Delgado, A. (2010). Evolution of fluid geochemistry at the Turrialba volcano (Costa Rica), from 1998 to 2008. *Bulletin of Volcanology*, vol 72, 397-410.
- Von Seebach, K. (1865). Volcanes situados al norte de las tierras altas de Costa Rica: Turrialba, Irazú y Tenorio. En: *Karl von Seebach y sus estudios sobre Costa Rica*. San José: Publicaciones del Liceo de Costa Rica n° 9, 1922: 9-28.



Especialista en tecnología educativa. Investigadora en el Observatorio Vulcanológico y Sismológico de Costa Rica (Ovsicori).

El volcán Turrialba y Ovsicori en redes sociales

..... || **Floribeth Vega**

 La importancia y la repercusión de las redes sociales en los últimos años son indiscutibles, especialmente las de carácter generalista que tienen millones de usuarios en todo el mundo. Facebook lidera el ranking mundial, de forma que tres de cada diez usuarios que acceden a Internet en algún lugar del planeta visitan ese sitio (Túñez & Sixto, 2012).

Como instituto dedicado a la investigación sísmica y volcánica, la misión de Ovsicori (Observatorio Vulcanológico y Sismológico de Costa Rica) es documentar, analizar e interpretar los procesos sísmicos y volcánicos y divulgar el conocimiento resultante para contribuir con la prevención de riesgos y mitigación de los desastres que generan. En función de comunicar tal conocimiento a la población, y de aumentar el alcance de los contenidos informativos y educativos generados, en 2009 iniciamos nuestra aventura en las redes sociales, fundando, en setiembre de ese año, un perfil en la red social Twitter y, unos meses después, en abril de 2010, creamos un perfil en Facebook. Nuestro perfil en Twitter cuenta con más de 120.000 seguidores y



Volver al índice

en Facebook nos aproximamos a 300.000 “me gusta”. A través de esas dos redes, evacuamos dudas y proveemos documentos educativos, sencillos y atractivos, que facilitan al usuario entender nuestro trabajo y aprender sobre la actividad sísmica y volcánica en nuestro país y en el mundo.

Mientras en 2012 cuatro de cada 10 usuarios utilizaba Internet móvil para acceder a la web, hoy lo hacen 7 de cada 10 de los habitantes de la Gran Área Metropolitana; es decir, unas 920.000 personas se conectan a Internet por medio del dispositivo móvil (datos del estudio RED 506, realizado por Unimer para *El Financiero* [Salas, 2013]).

Ante todo, los usuarios buscan información veraz, de primera mano e inmediata. La información acerca de un sismo sentido tradicionalmente ha sido el detonante de las visitas recibidas y de la

mayor cantidad de “me gusta”, por lo que trabajamos en automatizar y presentar de la mejor manera posible esta información a la prensa y al público en general. El desarrollo en el envío de información generada por Ovsicori ha variado considerablemente en el transcurso de los años, pero siempre manteniéndonos en la delantera.

En los años ochenta, se debía hacer el análisis de los sismos manualmente, identificando individualmente cada señal sísmica en sismogramas de papel, apuntando con lápiz en hojas especiales el tiempo de entrada de las ondas sísmicas, para luego ingresar estos valores en una computadora para que un software hiciera la localización del sismo. Esto podía tomar una hora, o más en caso de que hubiera que hacer correcciones, para por fin enviar la localización del sismo por fax

a los medios de prensa. Luego, en los años noventa, se pasó a un sistema digital, donde la localización y el posterior envío de la información de sismo sentido disminuyó a menos de 15 minutos en horas laborales; en horas no laborales podía extenderse a una o dos horas debido al tiempo de traslado de los funcionarios de Ovsicori desde sus hogares hasta la institución



E. Duarte. Volcán Turrialba

para hacer la localización del evento. Posteriormente, llegó la automatización en la localización y en el envío de sismos localizados. Antes del 13 de mayo de 2015, la publicación automática de sismos en nuestro sitio web, así como en redes sociales, podía tomar de 10 a 15 minutos. Actualmente, en un lapso de tiempo de entre 2 y 5 minutos, luego de ocurrido un sismo, este aparece publicado de manera automática en nuestros perfiles. Además, con el desarrollo de internet y los protocolos de comunicación, como VPN (*virtual private network*), es posible comunicarnos con nuestros sistemas de forma segura desde nuestros hogares, para así facilitar la revisión de los sismos de una manera más expedita.

El 31 de octubre de 2014, se inició una nueva etapa eruptiva del volcán Turrialba, con fuertes erupciones de ceniza que afectaron directamente el valle Central de nuestro país, que desde los primeros años sesenta del siglo pasado, cuando el Irazú estuvo en fuerte actividad, no sufría la afectación directa de un volcán. Al ser esta la zona más poblada del país, es normal que la mayoría de la gente se sienta más preocupada y afectada por lo que sucede, en contraste con la actitud que se ha tenido ante los más de 40 años de actividad continua del volcán Arenal, ubicado en la Fortuna de San Carlos, que ha sido observado más como una atracción turística que como un peligro.

El 13 de marzo de 2015, ocurrió una fuerte erupción del Turrialba que disparó las visitas a nuestro perfil en Facebook. El video de esta erupción fue reproducido 271.824 veces, recibió 8.754 “me gusta” y fue compartido 12.306 veces, obteniendo un alcance de 1.212.508 personas. Estas cifras evidencian la proyección que como institución tenemos y la credibilidad de nuestro trabajo. Y esa fue la primer erupción de un volcán costarricense que pudo observarse en tiempo real, no solo mediante la cámara web instalada en la cima sino, también, por medio del registro sísmico que esta trazó en la red de estaciones ubicadas en las cercanías.

Las continuas erupciones del Turrialba motivaron la realización de dos encuestas denominadas “¿Ha percibido caída de cenizas?” y “¿Ha percibido olor a azufre?”, las cuales, además de solicitar la colaboración de los usuarios, les hace a ellos partícipes de la creación de mapas que indiquen hasta dónde ha llegado la ceniza y en qué puntos se percibe el olor azufroso de los gases volcánicos. Antes, estos mapas se hacían manualmente, basados en llamadas telefónicas y en los comentarios de los usuarios en redes sociales; actualmente, se hacen a partir de tales encuestas, lográndose bastante precisión.

Para de Haro (2008), las redes sociales completas, a diferencia de las de *microblogging*, favorecen el aprendizaje informal, ya que se establecen relaciones a través de los perfiles, chats, foros y todo tipo de comentarios a través de fotos,



E. Duarte. Volcán Turrialba

videos, etc. Cuanto más populosa sea una red social, más fácilmente se establecerán estas relaciones. En general, las redes de pocos miembros permanecen casi siempre inactivas, puesto que no hay una masa crítica suficiente de usuarios para generar actividad.

Cuando se genera un sismo sentido y/o una erupción en alguno de los volcanes activos de nuestro país, la actividad y las opiniones se multiplican, pero en momentos de calma sísmica y volcánica las visitas y comentarios en nuestras redes sociales disminuyen considerablemente, por lo que, como administradores de esta comunidad, debemos realizar esfuerzos por mantenerla activa haciendo publicaciones diarias generadoras de opinión.

Los productos asimilables por los usuarios de redes sociales son videos,

notas y fotografías con explicaciones básicas que pretenden dar respuesta a muchas de las dudas que se nos plantean. La información gráfica -fotos, videos, imágenes con textos explicativos cortos- es la que llama más la atención y que ha tenido más aceptación por parte de los usuarios. Por ello, de cara a la reciente actividad eruptiva del volcán Turrialba, se ha tenido la idea de producir constantemente ese tipo de información, consistente además en imágenes de las

funciones que realizan los funcionarios de Ovsicori y del trabajo de campo de rutina: construcción de estaciones, mantenimiento de los equipos e información afín.

Referencias

- Haro, de, J. J. (2008). Las redes sociales en educación. Educativa. Blog sobre calidad e innovación en educación secundaria. Disponible en <http://jjdeharo.blogspot.com/2008/11/la-redes-sociales-en-educacin.html>
- Salas, D. (2013). Celular lidera conexión a Internet en Costa Rica. *El Financiero* 10. Disponible en: http://www.elfinancierocr.com/tecnologia/Red_506-Diana_Salas-celular-Internet-acceso_0_376762375.html
- Túñez, M. & Sixto, J. (2012). Las redes sociales como entorno docente: Análisis del uso del Facebook en la docencia universitaria. Pixel-Bit. *Revista de Medios y Educación* 41. pp. 77-92. Disponible en: <http://acde.sav.us.es/pixelbit/images/stories/p41/06.pdf>



Los estudios de Ad Astra Rocket Company Costa Rica en tecnologías de hidrógeno para el transporte

..... || **Juan Ignacio Del Valle**

Ingeniero mecánico.
Director de
Operaciones de Ad
Astra Rocket Company
Costa Rica (juan@
adastrarocket.com).



Durante la segunda mitad del siglo XX, Costa Rica ejecutó importantes proyectos en materia energética que impulsaron el desarrollo del país durante ese periodo. La mayor parte de esas acciones se centraron en la habilitación de una capacidad autónoma de generación de energía eléctrica basada en los recursos renovables disponibles en territorio nacional. El éxito de tales iniciativas aún resuena; durante los primeros meses de 2015, el Instituto Costarricense de Electricidad (Ice) reportó 75 días continuos de generación eléctrica únicamente a partir de fuentes renovables. Si bien continuamente se debate sobre las consecuencias sociales, económicas y ambientales de seguir ampliando este modelo en la misma senda, es claro que la matriz de generación eléctrica costarricense posee importantes elementos de sostenibilidad que no están presentes en la mayoría de naciones del mundo.

Sin embargo, la electricidad solamente representa alrededor de la quinta parte del consumo energético del país (Molina, 2012). La energía extraída del petróleo y sus derivados comprende el 58,2 % de la energía total demandada



[Volver al índice](#)

en el país, con el sector transporte absorbiendo el 47,2 % del consumo total. Estos datos corresponden al año 2011, y posiblemente la proporción real del consumo de hidrocarburos en el país haya crecido más. Los insumos fuente para estos tipos de energía (los subproductos de la refinación del petróleo) son importados en su totalidad, puesto que Costa Rica no cuenta con fuentes de extracción de hidrocarburos (y, si las tuviera, su explotación comercial posiblemente entraría en conflicto con los esfuerzos de conservación ambiental que caracterizan a nuestra nación).

Esta fuerte dependencia en la importación de derivados de petróleo es el punto débil de la política energética del país. La gran dependencia de un insumo externo tiene un impacto voluminoso en la economía del país, pues las variaciones en los precios internacionales repercuten no solo en los costos del transporte sino también sobre toda la cadena de producción local. Además, la utilización de este tipo de combustibles produce en Costa Rica la mayor emisión de gases de efecto invernadero entre todos los tipos de fuentes categorizados de acuerdo con la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre Cambio Climático (Ramírez, 2014). A estos problemas deben sumarse las consecuencias sociales y económicas de las afecciones a la salud causadas por la contaminación del aire, sobre todo en la Gran Área Metropolitana debido a la densidad de población (Tapia, 1998).

Claramente, Costa Rica podría beneficiarse muchísimo del desarrollo de una capacidad autóctona para proveer la energía requerida por el sector transporte, en paralelo con el desarrollo de estrategias de diseño urbano que logren optimizar la movilización de personas en los cascos urbanos altamente poblados, de políticas de uso eficiente de la energía y de la optimización del aprovechamiento de las fuentes de energía renovable disponibles. Considerando la capacidad demostrada en el país para implementar una infraestructura de producción de energía eléctrica autónoma e independiente, Costa Rica tiene una oportunidad estratégica para hacer evolucionar su matriz de transporte hacia una preponderancia de los sistemas basados en vehículos eléctricos. Este concepto se denomina *electrificación del transporte*. En este caso, el insumo sería la energía eléctrica producida, de forma centralizada o distribuida, por el sistema eléctrico nacional y con una producción nula de emisiones nocivas al ambiente por parte de los motores de los vehículos.

Existen dos tipos principales de vehículos eléctricos en la actualidad. El primero es el de los *vehículos eléctricos de batería* que obtienen su energía motriz a partir de un banco de baterías, el cual debe ser cargado periódicamente para mantener un rango práctico de movilidad en el automotor. Su principal ventaja es la relativa disponibilidad comercial en la actualidad,

y sus desventajas son la poca densidad energética de las baterías -que genera rangos de autonomía menores a los vehículos actuales-, los tiempos necesarios para la carga de las baterías y los problemas asociados con la vida útil de estas y su correcta disposición. Los fabricantes trabajan continuamente por mejorar las tecnologías y reducir los tiempos de carga de las baterías.

El segundo tipo de vehículos eléctricos es el de los *de celda de combustible*, que generan su energía eléctrica a partir de una celda de combustible. Las celdas son elementos electroquímicos que combinan gas hidrógeno -almacenado en un tanque dentro del vehículo- con el oxígeno presente en el aire, y producen electricidad y agua pura. La electricidad es utilizada para mover el motor eléctrico del vehículo y el agua es liberada al ambiente en forma de vapor. Sus principales ventajas son su rango de autonomía -comparable con la de los vehículos actuales- y la posibilidad de una muy rápida recarga del tanque en una estación dispensadora de hidrógeno. Estas características permiten a los vehículos de hidrógeno proveer a los usuarios de vehículos particulares una experiencia básicamente idéntica a la que brindan los vehículos actuales basados en hidrocarburos. Las desventajas principales de este tipo de vehículos son que, primero, hacen necesaria una infraestructura de producción y distribución de hidrógeno usualmente no disponible y, segundo, que la disponibilidad comercial de este tipo de carros es aún incipiente.

La mayor parte del hidrógeno industrial producido en el planeta proviene del proceso de reformado de vapor del gas natural, lo cual requiere como insumo otro hidrocarburo no disponible en el país -el gas metano-, y, además, produce considerables emisiones de gases de efecto invernadero. Es por esto que la estrategia adecuada en el país para generar este elemento es el proceso de *electrólisis del agua*, que combina agua y energía eléctrica en una celda electrolítica y la separa en sus componentes químicos: hidrógeno y oxígeno. Este proceso es esencialmente el opuesto al que ocurre dentro de los vehículos, por lo que globalmente la combinación de ambos produce un ciclo cerrado de aprovechamiento de la energía y del agua. Si bien este proceso agrega presión sobre la sostenibilidad del recurso hídrico, es perfectamente posible utilizar agua no potable para la generación de hidrógeno si se dispone de energía suficiente para los procesos de purificación. Además, estudios comparativos han determinado que los vehículos eléctricos de celda de combustible que operan con hidrógeno generado por electrólisis se encuentran entre los que menos agua consumen del medio ambiente (King y Webber, 2008).

Con base en los anteriores argumentos, la empresa Ad Astra Rocket Company Costa Rica inició, alrededor del año 2010, una serie de proyectos de investigación tendientes a demostrar la viabilidad tecnológica de los sistemas de transporte

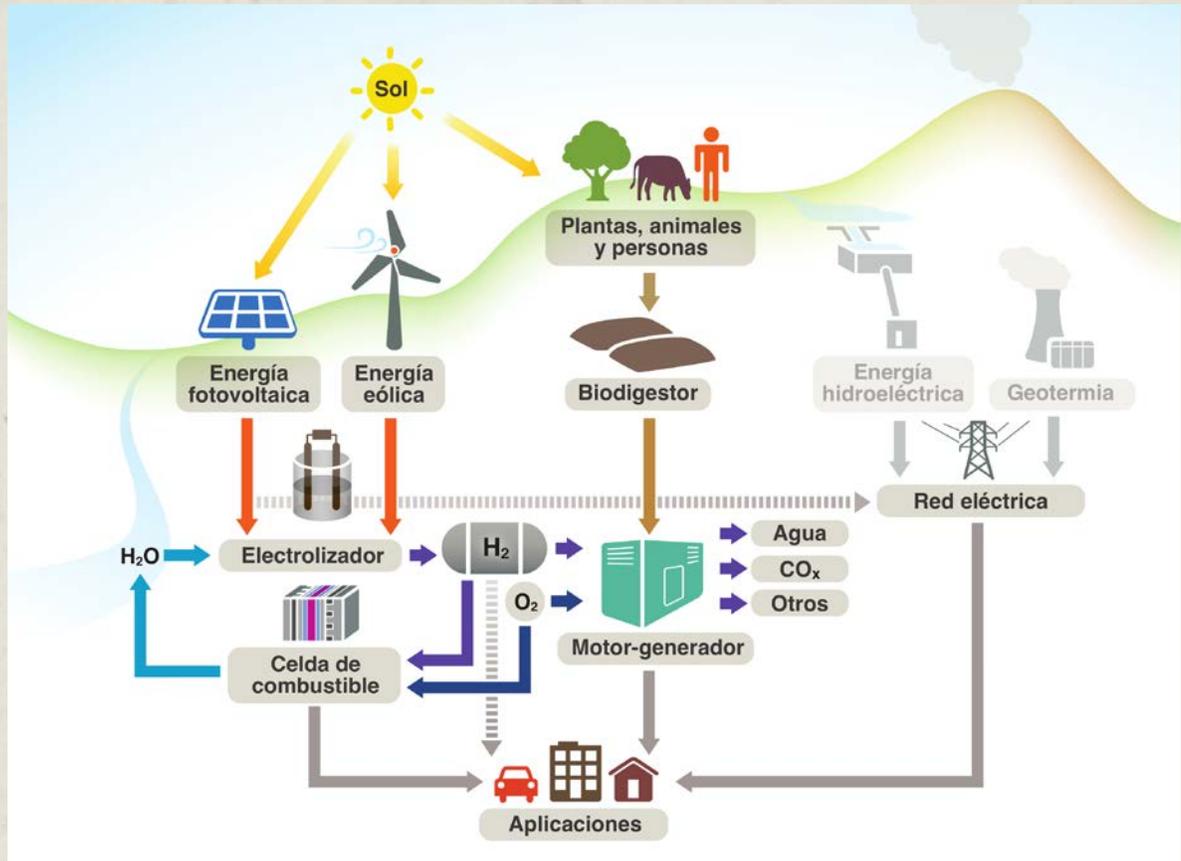


Figura 1. Visión sobre el aprovechamiento y utilización de la energía del programa de investigación de Ad Astra Rocket Company Costa Rica.

Fuente: Ad Astra Rocket Company Costa Rica

basados en hidrógeno en Costa Rica y otros países con características similares. La estrategia consiste en demostrar la capacidad técnica de desarrollar una infraestructura distribuida de generación de hidrógeno basada en fuentes de energía eléctrica renovables, utilizando el mismo gas hidrógeno como vector energético para mitigar la variabilidad natural de los recursos solar y eólico, e implementar demostraciones operativas de vehículos de hidrógeno para aplicaciones de transporte público y privado. La visión

global que se planteó el programa de investigación está plasmada en el diagrama de aprovechamiento y utilización de la energía mostrado en la figura 1.

La investigación inició con tres proyectos simultáneos. El primero fue el desarrollo de la capacidad local de diseñar, manufacturar e integrar aerogeneradores de medianas potencias (1 kW – 10 kW) y bajo costo, como un complemento necesario de la tecnología fotovoltaica en el proceso de optimización de la generación distribuida de energía eléctrica en un

punto dado. El segundo paso en el proceso fue el desarrollo de una infraestructura demostrativa de producción, almacenamiento y dispensado de hidrógeno para aplicaciones vehiculares. Este paso, al ser el de mayor complejidad y costo, se materializó mediante una alianza público-privada con la Refinadora Costarricense de Petróleo (Recope). El tercer elemento, sería la puesta en marcha de un grupo piloto de vehículos eléctricos de hidrógeno, en aplicaciones comerciales reales alrededor de la estación desarrollada conjuntamente con Recope.

La alianza entre Ad Astra Rocket Company Costa Rica y Recope para la ejecución del proyecto se materializó mediante convenios de cooperación que normaron todos los aspectos de la relación. Se conformó un equipo de trabajo, integrado por cinco investigadores colocados por Ad Astra Rocket Company Costa Rica y tres por parte de Recope, dentro del que cada empresa nombró un coordinador. La propiedad intelectual generada la comparten ambas empresas equitativamente. Aparte del personal asignado, Recope aportó los recursos financieros necesarios para ejecutar el proyecto y su conocimiento del mercado energético del país y sus necesidades. Ad Astra lideró la administración técnica del proyecto, se encargó de la ejecución de los procesos de compra y nacionalización de equipos y de la construcción e integración de todos los elementos físicos que no requirieron ser importados. Al aportar Recope la totalidad de recursos financieros de la investigación, los equipos

adquiridos durante esta le pertenecen y son parte de sus activos.

El primero de estos convenios se suscribió el 12 de octubre de 2011 y tuvo una duración de seis meses. El resultado de esta fase, denominada internamente Fase A, fue un estudio de factibilidad del estado del arte de las tecnologías de almacenamiento y una propuesta conceptual de un sistema experimental de producción y almacenamiento de hidrógeno. El convenio se dio por concluido el 12 de abril de 2012.

La Fase B de la investigación inició el 24 de julio de 2012. Esta fue precedida por la firma de un decreto ejecutivo (37222-Minaet), un Convenio Marco de Cooperación entre Minae, Recope, Ad Astra Rocket y Universidad Earth y, finalmente, por la firma del Convenio Específico de Cooperación que rigió la segunda etapa del proyecto. Esta consistió en el diseño detallado, compra de equipos, integración y puesta en marcha de una planta experimental de producción y almacenamiento de hidrógeno, cuyo diseño conceptual había sido determinado en la fase anterior. Esta planta se ubica en las instalaciones de Ad Astra Rocket Company, en Liberia, y su propósito es la demostración de las tecnologías del hidrógeno, la generación de experiencia en el manejo de este combustible y de todas las normas de seguridad y operación relacionadas con él. La planta fue puesta en operación en diciembre de 2013 y el proyecto fue cerrado el 20 de diciembre de ese año (ver figura 2).



Figura 2. Planta experimental de producción y almacenamiento de hidrógeno, propiedad de Recope y desarrollada en conjunto con Ad Astra Rocket Company Costa Rica.

Fuente: Ad Astra Rocket Company Costa Rica.

Los logros alcanzados durante estas primeras dos etapas del proyecto de investigación pusieron a Costa Rica dentro del selecto grupo de naciones pioneras en la implementación de tecnologías de hidrógeno para el transporte. La figura 3 muestra cómo el esfuerzo realizado por Ad Astra y Recope constituye apenas la tercera estación de dispensado de hidrógeno vehicular en América Latina, y uno de los pocos proyectos de este tipo ubicados fuera de las naciones industrializadas de Norteamérica, Europa y Asia.

La tercera etapa, denominada C1, inició el 20 de febrero de 2014 y tuvo una

duración de seis meses. Sus objetivos principales fueron dos: la operación y caracterización de la planta experimental implementada durante la Fase B, y el diseño detallado de los módulos adicionales necesarios para transformar la planta experimental en una estación dispensadora de hidrógeno vehicular basada en energías renovables. Este diseño detallado incluye un cronograma de trabajo, un presupuesto y la distribución del recurso humano, los cuales forman la base de la propuesta para la Fase C2, que será descrita más adelante. La Fase C1 concluyó el 14 de agosto de 2014.



Figura 3. Mapa de las estaciones de hidrógeno vehicular, activas o en planificación, en marzo del 2015.

Fuente: Ludwig Bölkow Systemtechnik, www.h2stations.org.

La inversión total de Recope en estas tres primeras fases del proyecto fue de US\$ 2,1 millones, de los que alrededor de US\$ 428.000 corresponden a la inversión hecha en la compra y nacionalización de los equipos de la planta. El resto corresponde a los costos operativos del proyecto y al aporte en recurso humano de parte de Ad Astra Rocket Company Costa Rica.

Durante las tres etapas del proyecto ejecutadas hasta el momento, el equipo conjunto de investigación, formado por Ad Astra Rocket y Recope, demostró la capacidad de diseñar y construir los elementos de infraestructura necesarios para producir y suministrar hidrógeno a vehículos eléctricos de celda de combustible, aplicando las correspondientes normas de diseño y seguridad vigentes

internacionalmente en la actualidad. Se desarrolló una red de contactos y alianzas con los principales proveedores de equipos de hidrógeno para vehículos alrededor del mundo. En varias ocasiones a lo largo de las fases B y C1 del proyecto, se demostró la capacidad de generación, presurización y almacenamiento de hidrógeno de alta pureza a presiones de 70 MPa, el valor estándar para los vehículos de celda de combustible de última generación.

En paralelo a las demostraciones prácticas ejecutadas durante la investigación, se desarrollaron algunos estudios iniciales para analizar el potencial impacto económico y ambiental de introducir gradualmente estas tecnologías en la flota vehicular costarricense. La actual planta de producción y almacenamiento

de hidrógeno es capaz de producir y presurizar 1 kg de hidrógeno a la presión de operación (70 MPa) con un consumo energético de aproximadamente 72 kWh de electricidad. Utilizando los costos energéticos vigentes hacia mediados del año 2014, esta energía equivale a un valor de aproximadamente ¢9.900 [colones].

Para poder analizar los anteriores valores en perspectiva, debe considerarse que los vehículos eléctricos de celda de combustible son capaces, en promedio, de recorrer 100 km por cada kilogramo de hidrógeno almacenado en sus tanques. La capacidad de almacenamiento usual en los vehículos de última generación es de alrededor de 5 kg, por lo que esto implicaría un costo aproximado de ¢49.500 para llenar completamente los tanques de un vehículo. Este valor es bastante superior al costo actual promedio en Costa Rica de llenar el tanque de un automóvil convencional de gasolina que posee un rango de autonomía similar. Esto se explica por el carácter experimental de la actual planta, que no posee un escalamiento en el diseño que optimice los consumos energéticos y sí posee muchos elementos innecesarios en un sistema comercial convencional -sensores, equipos de control y monitoreo, equipos de registro de información y otros-.

Con base en la información recopilada y la experiencia adquirida con la implementación de la actual planta, el equipo de investigación desarrolló también

herramientas básicas de software que permiten indagar el rendimiento económico de futuras estaciones dispensadoras y los costos correspondientes del hidrógeno en Costa Rica. Las estimaciones dependen fuertemente de la capacidad de producción diaria del gas, la generación de energía eléctrica renovable en el sitio de la estación, la demanda que vaya a tener la estación y la velocidad deseada de llenado de los vehículos.

Si bien los costos iniciales de capital de estas estaciones son altos, debido a la novedad de la tecnología y la falta de maduración de estos mercados, una estación capaz de generar 30 kilogramos de hidrógeno al día, generando por lo menos un 50 % de su demanda eléctrica mediante fuentes renovables en sitio, podría tener costos de operación en la producción del hidrógeno de aproximadamente ¢5.264,40 por kilogramo. Esto correspondería a un costo de aproximadamente ¢26.322 para un tanque vehicular de 5 kilogramos, lo cual ya es comparable con los costos actuales en Costa Rica de llenado del tanque de gasolina de un automóvil de pasajeros. Las anteriores aproximaciones no contemplan el costo de inversión requerido para implementar una estación de este tipo, que fácilmente podría aproximarse a los \$2,5 millones según el diseño técnico escogido.

La clave para catalizar la transición hacia este nuevo modelo de transporte es encontrar los mecanismos adecuados para financiar las inversiones iniciales de capital, los cuales deberían combinar

esfuerzos del sector gubernamental, alianzas con el sector privado y apoyo de los organismos financieros internacionales, así como aprovecharse de otras fuentes de amortización del proyecto como las retribuciones mediante bonos de carbono.

La fase C1 de la investigación contempló también la elaboración de un estudio preliminar sobre los impactos económicos y ambientales de la introducción gradual de vehículos de hidrógeno en el parque vehicular costarricense, concebido como un complemento a un estudio previo similar elaborado por el Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo en Costa Rica, el Ministerio del Ambiente y Energía y el Centro de Investigaciones en Política Económica de la Universidad Nacional de Costa Rica (PNUD, 2013). Las conclusiones principales de este análisis determinan que, al igual que otras tecnologías de vehículos eléctricos y alternativos, el impacto económico del cambio tecnológico se logra observar en un periodo que ronda los 25-30 años, por lo que es importante contar con una estrategia de país que promueva la transición. Además, la reducción de emisiones contaminantes en el sector de transporte público es sustancialmente importante, en particular para los autobuses que operan rutas urbanas dentro de la Gran Área Metropolitana en el centro del país.

La cuarta y última fase de esta etapa inicial de la investigación se denominó Fase C2, y consiste en la agregación a la planta experimental actual de una serie de módulos adicionales que la

convertirían en la primera estación demostrativa de producción y dispensado de hidrógeno para vehículos de celda de combustible en Costa Rica. Estos módulos adicionales comprenden fuentes de energía eléctrica renovable para demostrar la capacidad de generación parcial de energía en sitio, un dispensador de hidrógeno para vehículos de celda de combustible y los subsistemas relacionados, un vehículo de celda de combustible para realizar demostraciones prácticas y medir su rendimiento en las condiciones del país y una celda de combustible estacionaria para demostrar la capacidad de la estación de almacenar energía para operar sus sistemas básicos en forma autónoma por breves periodos de tiempo (véase figura 4).

El diseño detallado de ingeniería de estos nuevos módulos, el cronograma de ejecución y el presupuesto correspondiente fueron parte de los entregables producidos por el equipo de investigación al cierre de la Fase C1 en agosto de 2014. Esta última etapa del proyecto tendría una duración de dos años y una inversión correspondiente de aproximadamente \$2,24 millones, de los que \$1,25 corresponden a los costos de compra y nacionalización de los equipos del proyecto, que pasarían nuevamente a ser propiedad de Recope. En este momento (junio 2015), la ejecución de esta fase está paralizada pues, a raíz de varios análisis de la Dirección Jurídica de Recope, la Junta Directiva de esta entidad pospuso, en diciembre de 2014, tomar una decisión al respecto. Esto luego de que informes jurídicos de



Figura 4. Diagrama de la arquitectura propuesta para la ampliación de la planta experimental durante la Fase C2 de la investigación conjunta entre Recope y Ad Astra Rocket.

Fuente: Ad Astra Rocket Company Costa Rica.

la Contraloría General de la República y de la Procuraduría General de la República pusieron en duda la capacidad legal de la institución para involucrarse en investigación y producción de biocombustibles. Estos criterios fueron aplicados, por analogía, al proyecto de investigación en tecnologías de hidrógeno, y esto provocó la suspensión de la investigación. Por su parte, Ad Astra Rocket Company expresó su interés en continuar con el proyecto de investigación cuanto antes, pero a la vez manifestó su imposibilidad de mantener

viabile el proyecto por tiempo indefinido a la espera de una decisión. Los equipos de la planta, propiedad de Recope, permanecen en las instalaciones del laboratorio de Ad Astra Rocket esperando la reactivación de la investigación para recibir el mantenimiento necesario. En este ínterin, Ad Astra ha enfocado su equipo humano en otras actividades dentro de su portafolio de proyectos de investigación.

La experiencia acumulada por parte del equipo conjunto de investigación de Ad Astra y Recope durante los tres

años que permaneció activo el proyecto demuestran la capacidad existente en el país para desarrollar, con celeridad, soluciones tecnológicas a los problemas más apremiantes de nuestra sociedad. La formación de una alianza público-privada de investigación creada para este proyecto es única en la historia reciente del país. Estos logros se unen a otros esfuerzos pioneros, realizados en los sectores público, académico y privado, tendientes a mostrar la viabilidad de los vehículos eléctricos en Costa Rica. El país tiene la oportunidad, en los años venideros, de independizar su sistema de transporte de la importación de combustibles derivados del petróleo y de definir una estrategia soberana basada en el aprovechamiento sostenible de recursos nacionales, como ya lo hizo en el siglo XX con la generación de energía eléctrica. Será responsabilidad de los distintos actores involucrados en este proceso el mostrar la suficiente visión y ambición para lograr este objetivo.

Referencias

- King, C. W. & Webber, M. E. (2008). Water intensity of transportation. *Environmental Science & Technology*, 42 (21), 7866-7872.
- Molina, A. (2012) *Balance Energético Nacional de Costa Rica 2011*. Costa Rica: Ministerio de Ambiente y Energía.
- Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo en Costa Rica. (2013). *Rumbo a la carbono neutralidad en el transporte público de Costa Rica*. Costa Rica: PNUD.
- Ramírez, F. (2014) *Tercera comunicación nacional Convención Marco de las Naciones Unidas sobre cambio climático*. Costa Rica: Ministerio de Ambiente y Energía.
- Tapia, J. (1998) La reducción del tráfico de automóviles: una política urgente de promoción de la salud. *Revista Panamericana de Salud Pública* 3(3), 137-151. Disponible en http://www.scielosp.org/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1020-49891998000300001&lng=en&tlng=es.10.1590/S1020-49891998000300001.

Normas mínimas para la presentación de artículos a *Ambientico*

1. Modo de entrega

El artículo ha de ser presentado en Word y entregado vía internet.

2. Tamaño, elementos gráficos y separaciones internas

El artículo no debiera exceder las 2.000 palabras (se considera excepciones).

Cada figura e ilustración que contenga debe ser entregada en alta resolución. Es importante que en el texto se señale, entre corchetes, los lugares en que deben aparecer.

Asimismo, se requiere una fotografía del rostro del autor.

Los cuadros sí pueden ser incluidos en el mismo archivo del texto en Word.

Ambientico no usa subtítulos para destacar apartados, sino que, donde claramente se cierra o suspende un tema para pasar a otro, se deja un doble espacio antes del párrafo siguiente.

3. Citas textuales

Las citas textuales, que se ruega no excedan las 60 palabras, no han de ponerse en cursivas, ni usando sangría ni en párrafo aparte, sino entrecomilladas, y entreveradas en el texto.

4. Referencias bibliográficas

A partir del *Manual de la American Psychological Association (APA)* (2010), seguimos los siguientes lineamientos respecto a citación de fuentes bibliográficas. Hay dos modalidades de presentación de las referencias bibliográficas intercaladas en el texto. En una, el autor/a citado es el sujeto de la oración; en la otra, el autor citado, en tanto tal, no es parte de la oración, sino que lo que es parte de la oración es solo lo dicho o aportado por él. Ejemplo del primer caso: "... Acuña (2008) asegura que el sistema de áreas protegidas...". Ejemplo del segundo: "... Los problemas ambientales han resultado el principal foco de conflicto (Morales, 2009)...".

Obra con un autor

Entre paréntesis, se coloca el apellido del autor al que se hace referencia, separado por una coma del año de publicación de la obra. Ejemplo: "... (Pacheco, 1989) ...".

Obra con más de un autor

Cuando la obra tiene dos autores, se cita a ambos, separados por la conjunción "y". Ejemplo: "... (Núñez y Calvo, 2004) ...". Cuando la obra es de más de dos autores, se cita a todos en la primera referencia pero, posteriormente, solo se coloca el apellido del primer autor seguido de "et al.", sin cursiva y con punto después de la contracción "al.". Ejemplo: "... (Pérez, Chacón, López y Jiménez, 2009) ..." y, luego: "... (Pérez et al., 2009) ...".

Obra con autor desconocido o anónimo

Si la obra carece de autor explícito, hay que consignar en vez de él, y entre comillas, las primeras palabras del título (entre paréntesis). Ejemplo: "... ("Onu inquieta", 2011)

..."; o, alternativamente, el nombre de la obra y, después de una coma, la fecha de publicación. Ejemplo: "... *La Nación* (2011) ...".

Solo cuando se incluye una cita textual debe indicarse la(s) página(s). Ejemplo: "... (Pérez, 1999, p. 83) ...".

5. Presentación de las obras referenciadas

Al final del artículo, debajo del subtítulo **Referencias**, habrá de consignarse todas las obras referenciadas, en letra de tamaño menor a la del texto.

Libro

Primero se anotará el apellido del autor, luego, precedido de una coma, la inicial de su nombre; después, e inmediatamente luego de un punto, el año de publicación de la obra entre paréntesis; seguidamente, y en cursivas, el título de la obra; posteriormente, y después de un punto, el lugar de publicación de la obra (si la ciudad es internacionalmente conocida no hace falta señalar el país, pero, si no, solo se consigna el país), y, finalmente, antecedido por dos puntos, el nombre de la editorial. Ejemplo: Pérez, J. (1999) *La ficción de las áreas silvestres*. Barcelona: Anagrama.

Artículo contenido en un libro

En este caso, se enuncia el apellido del autor seguido de una coma, luego se pone la inicial del nombre de pila seguida de un punto; inmediatamente, entre paréntesis, la fecha. Enseguida ha de ponerse la preposición "En", y, luego, el apellido seguido de una coma y la inicial del nombre de pila del editor o compilador de la obra; indicando a continuación entre paréntesis "Ed." o "Comp.", como sea el caso; inmediatamente se señala el nombre del libro en cursivas y, entre paréntesis, las páginas del artículo precedidas por la abreviatura "p." o "pp." seguido de un punto; posteriormente, el lugar de publicación de la obra, y, antecedido por dos puntos, la editorial. Ejemplo: Mora, F. (1987). Las almitas. En Ugalde, M. (Ed.) *Cuentos fantásticos* (pp. 12-18). Barcelona: Planeta.

Artículo contenido en una revista

En este caso, se indica el apellido del autor y, luego precedido por una coma, se coloca la letra inicial de su nombre de pila; luego de un punto, y entre paréntesis, la fecha; después el título del artículo y un punto. Enseguida, va el nombre de la revista, en cursivas; inmediatamente, se indica el número de la edición o del volumen separado por una coma de las páginas que constituyen el artículo, luego se coloca el punto final. Ejemplo: Fernández, P. (2008, enero) Las huellas de los dinosaurios en áreas silvestres protegidas. *Fauna prehistórica* 39, 26-29.

Artículo contenido en un periódico

Si la referencia fuera a un diario o semanario, habría de procederse igual que si se tratara de una revista, con la



diferencia de que la fecha de publicación se consignará completa iniciando con el año, separado por una coma del nombre del mes y el día, todo entre paréntesis. Antes de indicar el número de página, se coloca la abreviatura “p.” o “pp.”. Ejemplo: Núñez, A. (2017, marzo 16). Descubren vida inteligente en Marte. *La Nación*, p. 3A.

Material en línea

En caso de que el artículo provenga de un periódico o una revista en línea, se conserva el formato correspondiente y, al final, se coloca la frase “Disponible en” seguido de la dirección electrónica, sin punto al final. Ejemplo: Brenes, A. y Ugalde, S. (2009, noviembre 16). La mayor amenaza ambiental: dragado del río San Juan afecta el río Colorado y los humedales de la zona. *La Nación*. Disponible en: http://www.nacion.com/ln_ee/2009/noviembre/16/opinion2160684.html

Autores múltiples

Cuando el texto referenciado tenga dos autores, el apellido de cada uno se separa con una coma de la inicial de su nombre de pila; además, entre un autor y otro se pondrá la conjunción “y”. Ejemplo: Otárola, A. y Sáenz, M. (1985). *La enfermedad principal de las vacas*. San José: Euned. Tratándose de tres o más autores, se coloca el apellido de cada autor separado por una coma de la inicial de su nombre de pila, luego de la que va un punto; y, entre uno y otro autor media una coma. Antes del último autor se coloca la conjunción “y”. Ejemplo: Rojas, A., Carvajal, E., Lobo, M. y Fernández, J. (1993). *Las migraciones internacionales*. Madrid: Síntesis.

Sin autor ni editor ni fecha

Si el documento carece de autor y editor, se colocará el título del documento al inicio de la cita. Al no existir una fecha, se especificará entre paréntesis “s.f.” (sin fecha). La fuente se indica anteponiendo “en”.

En caso de que la obra en línea haga referencia a una edición impresa, hay que incluir el número de la edición entre paréntesis después del título. Ejemplo: Heurístico. (s.f.). En diccionario en línea Merriam-Webster’s (ed. 11). Disponible en <http://www.m-w.com/dictionary/heuristic>. Otro ejemplo: Titulares Revista Voces Nuestras. (2011, febrero 18). *Radio Dignidad, 185*. Disponible en http://www.radiodignidad.org/index.php?option=com_content&task=view&id=355&Itemid=44 Puede utilizarse corchetes para aclarar cuestiones de forma, colocándolos justo después del título, y poniendo en mayúscula la primera letra: [Brochure], [Podcast de audio], [Blog], [Abstract], etcétera. Ejemplo: Cambroner, C. (2011, marzo 22). La publicidad y los cantos de sirena. *Fusil de chispa* [Blog]. Disponible en <http://www.fusildechispas.com>

6. Comunicaciones personales o entrevistas

La mención en el texto de comunicaciones personales o entrevistas se hará así: luego de una apertura de paréntesis se consigna la inicial del nombre de pila del entrevistado, después se coloca un punto y, enseguida, el apellido del entrevistado. A continuación, se pone una coma y, posteriormente, la frase “comunicación personal”; luego se coloca el nombre del mes y el día, que se separa con una coma del año

en que se efectuó la comunicación; finalmente, se pone el paréntesis de cierre. Ejemplo: “... (L. Jiménez, comunicación personal, septiembre 28, 1998) ...”.

Las comunicaciones personales no se consignan en la sección de Referencias.

7. Notas a pie de página

Podrá usarse notas a pie de página para aclarar o ampliar información o conceptos, pero solo en los casos en que, por su longitud, esos contenidos no puedan insertarse entre paréntesis en el texto.

8. Uso de cursivas y de comillas

Se usará cursivas –nunca negritas ni subrayado– para enfatizar conceptos. Vocablos en otras lenguas no aceptados por la Real Academia Española de la Lengua, y neologismos, han de escribirse también en cursivas. Asimismo, irán en cursivas nombres de obras de teatro y cinematográficas, de libros, de folletos, de periódicos, de revistas y de documentos publicados por separado. Capítulos de libros y artículos de publicaciones periódicas se pondrán entrecomillados.

9. Uso de números y unidades de medida

Cuando las cantidades sean escritas numéricamente ha de usarse un punto para separar los grupos de tres dígitos en la parte entera del número. Antes de los decimales ha de usarse coma (¡atención en los cuadros!).

Las unidades de medida, en caso de consignarse abreviadamente, habrán de escribirse en singular y en minúsculas.

10. Uso de acrónimos

Los acrónimos lexicalizados (convertidos en palabra) y devenidos nombres propios (como Unesco y Minae, por ejemplo) se escriben con solo la letra inicial en mayúscula. Los acrónimos lexicalizados que son nombres comunes (como ovni, oenegé y mipyme, por ejemplo) se escriben con todas las letras minúsculas. Los acrónimos no lexicalizados y que, por tanto, se leen destacando cada letra por separado (como UCR y EU, por ejemplo), se escriben con todas las letras mayúsculas.

11. Información del autor

En la página de apertura de cada artículo hay una muy breve presentación del autor con la siguiente información: campo de formación académica, especialidad dentro de ella, institución o entidad donde se labora o con la que se colabora y cargo que se ejerce. Además, el articulista debe adjuntar una fotografía de su rostro (o de cara y hombros) en soporte digital y en buena resolución, y su correo electrónico. En caso de varios autores, la anterior información debe ser provista para cada uno de ellos. Cuando el autor es institucional, en vez de fotografía se envía el logotipo.

12. Palabras clave

Si bien *Ambientico* no publica las palabras clave de cada artículo, se le solicitan al autor no más de cinco para usarlas en el buscador del sitio web.