

AMBIENTICO



ENERGÍAS ALTERNATIVAS
aprovechamiento en Costa Rica

SUMARIO

3 Rodolfo van der Laat
[GEOTERMIA PARA PRODUCCIÓN ELÉCTRICA EN COSTA RICA](#)

5 Jorge Cabrera
[IMPLICACIONES LEGALES Y CONSTITUCIONALES DE LA EXPLOTACIÓN GEOTÉRMICA EN PARQUES NACIONALES](#)

7 Shyam S. Nandwani
[ELECTRICIDAD PRODUCIDA CON ENERGÍA SOLAR](#)

9 Eliécer Duarte y Erick Fernández
[CALLEJONES DE ACIDIFICACIÓN EN TRES VOLCANES ACTIVOS DE COSTA RICA](#)

Foto de portada: Alfredo Huerta Reyes.

AMBIENTICO

Revista mensual sobre la actualidad ambiental

Director y editor Eduardo Mora

Consejo editor Manuel Argüello, Gustavo Induni, Wilberth Jiménez, Luis Poveda

Fotografía www.galeriaambientalista.una.ac.cr

Asistencia, administración y diagramación

Rebeca Bolaños

Teléfono: 2277-3688. Fax: 2277-3289

Apartado postal: 86-3000, Costa Rica.

ambientico@una.ac.cr www.ambientico.una.ac.cr

Energías alternativas y su aprovechamiento en Costa Rica

Desde hace unas cuatro décadas nos empezó a preocupar grandemente el uso excesivo de derivados del petróleo para el transporte automotor y para producir electricidad y otros bienes, tanto por los desarreglos que en la salud pública acarrea la consecuente contaminación atmosférica, como también por el creciente precio del crudo. Se pensó, entonces, con seriedad, en el aprovechamiento de fuentes de energía alternativas: renovables -como no lo es el petróleo- y amigables con el ambiente -como no lo es mucho la hidroelectricidad debido a los enormes territorios que obliga a anegar desquiciando ecosistemas y desplazando poblaciones humanas-. Tales energías alternativas posibles en Costa Rica fueron identificadas, principalmente, como la eólica, la geotérmica, la biomásica y la solar. La explotación de esta última es en Costa Rica casi nula. La de biomasa, que se basa en residuos de procesos agrícolas y agroindustriales, es hasta hoy insignificante, y en ella es la empresa privada la gestora. Y la explotación de las otras dos fuentes -eólica y geotérmica-, si bien ha crecido, lo ha hecho muy lentamente, manteniéndose muy abajo del potencial que tenemos, siendo el escollo principal las altas inversiones que requiere su aprovechamiento y ciertas trabas jurídico-políticas. El Instituto Costarricense de Electricidad (Ice) es el único protagonista en la explotación de la geotermia; y en la explotación eólica es, por mucho, el actor principal, pero la empresa privada juega ahí un papel que, aunque mucho menor que el del Ice, es apreciable en relación con lo que es la participación de esa misma iniciativa privada en la producción total de electricidad.

Desde hace unas dos décadas, cuando se supo con certeza que la quema de derivados del petróleo (aparte del carbón) para la locomoción y la producción de electricidad y otros bienes era la principal causante del calentamiento global, el interés por las fuentes alternativas de energía (y también por la hidroelectricidad) se multiplicó mucho. Y, si bien en este tiempo se ha avanzado bastante mundialmente en su investigación y aprovechamiento, el problema del cambio climático es tan grave que se requiere aumentar más los esfuerzos en esas líneas de acción, en lo cual los ticos, conscientes de nuestra falta de dinero pero también de nuestra gran riqueza en fuentes alternativas de energía, debiéramos convertirnos en unos adelantados, como lo hemos sido en producción hidroeléctrica, para así revertir la tendencia, observada desde el año 2000, a depender crecientemente de plantas térmicas.

www.galeriaambientalista.una.ac.cr

MILES DE FOTOS DEL AMBIENTE TICO Y MESOAMERICANO

Geotermia para producción eléctrica en Costa Rica

RODOLFO VAN DER LAAT

El abastecimiento nacional de electricidad constituye un reto a garantizar para el mediano y largo plazos. Si continuamos el crecimiento del consumo de energía al mismo ritmo que hoy en día, en 2015 su consumo se duplicaría y el consumo de electricidad se triplicaría (Chin-Wo 2009). Se debe considerar, además, que la producción e importación de energía son unas de las actividades que consumen mayor cantidad de recursos financieros. Por otra parte, la producción de energía es la actividad humana que más impacto produce sobre el ambiente. Por eso es necesario e impostergable definir una estrategia que nos permita garantizar que se produzca la energía necesaria.

Las principales fuentes de energía son el Sol, el viento, los ríos y mares, el calor interno de la Tierra, los átomos y la materia orgánica. Cada uno de ellos puede ser aprovechado para producir respectivamente energía: solar, eólica, hidráulica, mareomotriz, geotérmica, nuclear y biomásica. A estos tipos de energía se les conoce como energías limpias, a diferencia de la producción contaminante con hidrocarburos.

Costa Rica durante la segunda mitad del siglo XX inició la explotación de energía hidráulica a través de proyectos estatales (Instituto Costarricense de Electricidad -Ice-) como Cachí, Río Macho, Arenal, Toro I y II, Angostura y otros. Al final del siglo XX se empezó la generación hidroeléctrica en manos privadas, a través de medianos o pequeños proyectos. Adicionalmente, el Ice ha investigado desde los años setenta las fuente eólicas y actualmente el 3% de la energía es de este tipo. Esto convierte a Costa Rica en el país con mayor capacidad instalada en energía eólica en América Latina. Actualmente, hay un esfuerzo importante por desarrollar otras alternativas como la energía solar y biomásica (López 2002). Para compensar el déficit de energía se recurre a quemar petróleo importado a precios variables de mercado hasta saciar la demanda. Este último tema es de preocupación generalizada, por lo costoso y contaminante. La combustión del petróleo es considerada una de las principales causas del calentamiento global debido a sus altísimas emisiones de dióxido de carbono (CO₂) hacia la atmósfera y su severo impacto. Pero también se cierne la amenaza del agotamiento de las fuentes

mundiales de petróleo.

Para compensar esta falta de energía, desde 1994, con base en estudios desde 1963, el Ice ha producido energía geotérmica y actualmente este tipo constituye un aporte del 15% del total nacional. La electricidad en este caso es generada por turbinas movidas por vapor volcánico a alta presión que se obtiene de zonas volcánicas. El calor interno de origen volcánico recalienta agua del sistema hidrotermal subterráneo y el vapor resultante es extraído mediante un sistema de tuberías. Una buena parte del vapor condensado es reinyectado para sostener el sistema trabajando en forma indefinida y con carga suficiente.

Las plantas geotérmicas actualmente en producción se ubican alrededor del volcán Miravalles. Buscando más áreas de potencial geotérmico, una de las de mayor factibilidad se ubica en las cercanías del volcán Rincón de la Vieja. Ahí se desarrolla actualmente la fase de exploración. Pero Costa Rica también tiene potencial geotérmico en varias áreas volcánicas como Tenorio, Barva, Poás, Irazú y Turrialba. Y aquí es donde aparece el conflicto entre la explotación y la protección ambiental, porque es bien conocido que desde 1955, y en forma gradual, esos volcanes han sido declarados áreas de protección. Es claro que hay grandes áreas de protección con potencial geotérmico, pero hay otras que no lo son. Con el inicio del siglo XXI toma importancia entonces el tema de la explotación de recursos energéticos en áreas de protección. Ya se ha discutido el tema en diversos contextos. Sin embargo, no hay una definición clara o estrategia para enfrentar el tema de la necesidad de producir más energía y en especial si se trata de hacerlo en áreas protegidas. El Ice presentó en el año 2000 su Plan de Contingencia (Ice 2000), donde establece que “por su importancia ecológica y social, el Ice no desarrollará proyectos de generación en estas áreas”.

En febrero de 2006, la entonces diputada Emilia Rodríguez presentó un proyecto de ley que plantea la compensación económica para las áreas protegidas en las cuales el Ice realice explotaciones geotérmicas. La iniciativa también propone un pago de un 0,1% de la producción eléctrica de las plantas a favor del sistema de conservación. Según la diputada Rodríguez se trata de unos US\$100.000 anuales.

Esta situación ha creado opiniones diversas y ha generado polémica. Por ejemplo, el ambientalista

El autor, vulcanólogo, es investigador en el Observatorio Vulcanológico y Sismológico de la Universidad Nacional (rvanderl@una.ac.cr).



Proyecto Geotérmico Miravalles I

Alfredo Huerta

Alexander Bonilla opina que “es tiempo de replantear la inviolabilidad de los parques nacionales, y abrir la posibilidad de explotar esa energía para beneficio del país” (Ramírez julio-2009). Y continúa: “Como ambientalista, no estoy cerrado a estas opciones nuevas que necesita el país, siempre y cuando se ejecuten con equidad y justicia ambiental, y se invierta en la consolidación de los parques nacionales y la educación ambiental in situ. Los parques nacionales deben contribuir al desarrollo de los pueblos”. En contraposición encontramos la opinión de Portilla (2003), que dice: “En el tema energético no ha sido posible hasta ahora, a pesar de que así lo indica la ley, que el Minae y el Ice establezcan como política no desarrollar proyectos de infraestructura energética (hidroeléctricos, geotérmicos, petroleros...) en parques nacionales y reservas biológicas”.

Todos los costarricenses hacemos uso cotidiano y permanente de la energía eléctrica, por lo que a todos nos compete el buen uso de las alternativas energéticas, igualmente como vemos con precaución

el tema ambiental. Es una realidad que las fuentes hídricas de Costa Rica se van agotando y se ven amenazadas por el cambio climático. La energía eólica es una fuente limitada. La energía solar es, por el momento, de producción onerosa. La lista se nos va bando diciendo que el inventario nos da positivo en potencial geotérmico. Sin embargo, la discusión nas se inicia y es urgente que el país entero adopte una estrategia consensuada que le permita desafiar este futuro energético incierto.

Referencias bibliográficas

- Chin-Wo Cruz, Allan. 2009. *Oportunidades y barreras para el desarrollo de las energías renovables en Costa Rica*. En www.cientec.or.cr/ciencias/energia/articulo2.html
- López, S. “El Ice no se circunscribe a la hidroelectricidad”, en *Ambientico* 111, 2002. En <http://www.una.ac.cr/ambi/Ambien-Tico/111>
- Portilla, R. “Áreas silvestres protegidas amenazadas por intereses productivistas”, en *Ambientico* 120, 2003. En <http://www.una.ac.cr/ambi/Ambien-Tico/120>
- Ice. 2000. *Plan de contingencia. Informe final*. Comisión Coordinadora del Área Eléctrica - Ice. San José.
- Ramírez, S. “Potencial geotérmico desaprovechado”, en *Campus*, julio-2009. En: <http://www.una.ac.cr/campus>.

Implicaciones legales y constitucionales de la explotación geotérmica en parques nacionales

JORGE CABRERA

Los parques nacionales constituyen una categoría de manejo de protección absoluta. De esta manera, según la *Ley de creación del Servicio de Parques Nacionales* (No. 6.084, del 25 de agosto de 1977) y alguna normativa conexas, las actividades comerciales, industriales y agrícolas, en general, se encuentran prohibidas dentro de ellos. De conformidad con el artículo 8 de la ley citada, dentro de los parques nacionales, queda prohibido a los visitantes emprender cualquier tipo de actividad comercial, industrial o de otro tipo. El artículo 11 de la ley dispone que “podrán constituirse servidumbres a favor de fundos particulares en parques nacionales”. El numeral 12 prohíbe “otorgar concesiones de tipo alguno para la explotación de productos de parques nacionales, ni permiso para establecer otras instalaciones que las del servicio”. El artículo 10 permitía, previo dictamen afirmativo del Consejo Asesor del Servicio, autorizar la pesca deportiva y artesanal en determinadas áreas de los parques nacionales, cuando se compruebe que no producirán alteraciones ecológicas. No obstante, como se indicara, la *Ley de pesca y acuicultura* ha venido a prohibir (artículo 9) la pesca con fines comerciales y la pesca deportiva en parques nacionales y reservas biológicas.

Adicionalmente, la actual *Ley forestal* (No. 7.575, del 5 de febrero de 1996), en su artículo 1, ha venido a prohibir “la corta o el aprovechamiento de los bosques en parques nacionales, reservas biológicas, manglares, zonas protectoras, refugios de vida silvestre y reservas forestales propiedad del Estado”, permitiendo solo las “labores de investigación, capacitación y ecoturismo, una vez aprobadas por el ministro de Ambiente y Energía” (artículo 18 de la *Ley forestal*)¹.

De estas disposiciones se deduce que las actividades de carácter comercial e industrial se encuentran absolutamente vedadas, con las excepciones que se han permitido para concesionar algunos servicios. Incluso, debido a la incompatibilidad de la propiedad privada y del ejercicio de actividades comerciales,

debe procederse a la compra o expropiación de los inmuebles, siendo imposible la titularidad privada. Estas restricciones se encuentran sustentadas en otros instrumentos jurídicos, tales como el *Convenio para la protección de la flora, de la fauna y de las bellezas escénicas de los países de América* (ley No. 3.763, del 19 de octubre de 1976) -conocido como el Convenio de Washington-, que en su artículo 3 establece que “las riquezas existentes en los parques nacionales no se explotarán con fines comerciales”.

En virtud de lo anterior, cualquier iniciativa que conllevara la “explotación comercial de las riquezas naturales” sería contraria al *Convenio* y a la *Constitución* misma (artículos 7 y 50).

Aunque en el pasado ha existido alguna zona gris respecto de estas prohibiciones, como por ejemplo el otorgamiento de permisos de uso para la instalación de antenas y equipos similares en los volcanes (considerados constitucionales por la Sala y reglamentados por decreto No. 26.187-Minae), la imposibilidad de utilizar comercialmente los recursos contenidos en los parques ha sido respetada.

Recientemente, se ha vuelto a plantear -en sede legislativa- la posibilidad de autorizar la exploración y explotación de energía geotérmica en algunos parques nacionales, en los cuales se ha prohibido el desarrollo de actividades comerciales debido a que constituyen áreas de protección absoluta. De manera limitada, se puede realizar acciones dirigidas a la capacitación, la investigación y el turismo de bajo impacto.

Por esto, la conveniencia y constitucionalidad de permitir este tipo de acciones requiere atender a lo dispuesto por el ordenamiento jurídico ambiental y la jurisprudencia constitucional.

En apego al marco legal vigente y la jurisprudencia constitucional que se ha generado alrededor del derecho a un ambiente sano, al menos los siguientes aspectos deberían ser considerados si se buscara autorizar ciertas actividades en parques nacionales:

1. *Interés público ambiental claramente establecido:* Cualquier modificación legal que haga viable este tipo de proyectos debe demostrar de manera fehaciente la existencia de un interés público ambiental (por ejemplo, el combate al cambio climático). No sería acep-

El autor, especialista en derecho ambiental, es profesor en la Universidad de Costa Rica y abogado del Inbio.

¹ El decreto No. 31.750-Minae-Tur, publicado en *La Gaceta* del 14 de mayo de 2004, reglamenta la aplicación del término ecoturismo prevista en el artículo 18, tratándose de áreas de bosque en zona marítimo-terrestre. Dicho decreto fue declarado posteriormente inconstitucional.

table una “apertura” para satisfacer intereses meramente privados ni son de recibo argumentos relacionados con la generación de empleo o divisas.

2. *Salvaguardas ambientales:* Cualquier actividad en un parque, considerando la fragilidad del área y su riqueza natural, debe cumplir estrictamente con todos los trámites ambientales -exigidos de por sí por la legislación nacional-, tomando en cuenta especialmente el tipo de lugar donde las actividades se ejecutarían (artículo 54 de la *Ley de biodiversidad*). Sin embargo, no resultaría suficiente con la aplicación y observancia de las disposiciones legales en materia de evaluación de impacto ambiental, sino que sería imprescindible poner en marcha una estrategia comprensiva de disseminación de información y para permitir la adecuada participación ciudadana.

3. *Justificación técnica:* Debería contarse con un respaldo técnico a las acciones a ser emprendidas. La Sala Constitucional ha sido particularmente celosa de

actividades que puedan poner en peligro la integridad de las áreas protegidas (por ejemplo, el voto 18.529-08), incluyendo la disminución de sus límites (por ejemplo, el voto 1.056-09 tratándose de un refugio de vida silvestre). Además, ha sido contundente en que con respecto a la materia ambiental se debe de “acreditar con estudios técnicos la toma de decisiones en esta materia, tanto en relación con actos como de las disposiciones de carácter general, de donde se deriva la exigencia de la ‘vinculación a la ciencia y a la técnica’, con lo cual se condiciona la discrecionalidad de la Administración” (entre otros, resoluciones No. 17.126-2006 y 11.562-2006).

4. *Beneficio para las áreas:* Por último, si las áreas silvestres y los parques en particular han prestado importantes beneficios económicos (y de otra naturaleza), se requiere que se contribuya y compense adecuadamente al Sistema Nacional de Áreas de Conservación.



Proyecto Geotérmico Miravalles I

Alfredo Huerta

Electricidad producida con energía solar

SHYAM NANDWANI

En Costa Rica, dependiendo del periodo, entre el 86 % (en periodo seco) y el 94 % (en periodo lluvioso) de la electricidad proviene de fuentes renovables de energía: hidro (80 %), geotermia (6 %) y eólica (4 %), y el restante (cerca del 10%) de fuentes fósiles. Si examinamos el potencial aprovechable e instalado de estas fuentes (tabla 1), nos damos cuenta de que la hidro todavía se puede explotar más, sin embargo las respectivas plantas necesitan mucha inversión y largo tiempo para la instalación. Por otro lado, el consumo de electricidad va a seguir aumentando con nuevos artefactos eléctricos, por consumismo y por crecimiento de la población. Por lo tanto, es muy importante buscar fuentes de energía renovables, abundantes, limpias y gratuitas como la energía solar, para generar más electricidad para consumo normal y para el posible transporte eléctrico, sustituyendo parte de la energía calórica (de baja calidad) producida por la electricidad (energía de alta calidad) y otras fuentes biomásicas o fósiles.

Tabla 1. Potencial aprovechable e instalado por diferentes fuentes de energía.

Fuente	Aprovechable MW	Capacidad instalada MW	Aprovechamiento %
Geotermia	235	154	70
Viento	150	100	65
Hidro	5.802	1.939	33
Petróleo y derivados	Importados	240	
Sol (*)	25.000 X 10 ⁶	0,5-1,0	casi nulo

(*) Asumiendo una intensidad solar promedio de 0,5 kW/m².

El Sol es una enorme masa gaseosa formada por helio, hidrógeno y carbono y actúa como una especie de reactor de gigantescas dimensiones. En el interior del Sol se produce continuamente reacciones nucleares de fusión, en las cuales dos átomos de hidrógeno se fusionan para formar uno de helio. Por este cambio de la masa (Δm) y liberar en el proceso gran cantidad de energía, según la ecuación $E = \Delta m c^2$.

Costa Rica, dependiendo del lugar, recibe la energía solar equivalente de 1.300-1.700 kWh/m² por año. Tomando 1.500 kWh como un promedio, la energía

total recibida en el territorio de Costa Rica (50.000 km²) en un año será = 75.000 TWh, mientras que la energía total consumida es cerca de 103.350 TJ, o 29 TWh. Esto significa que el potencial solar en Costa Rica es de cerca de 2.600 veces la energía consumida en un año.

En esta pequeña presentación informamos de algunos aspectos generales para generar electricidad por medio de energía solar y algunas instalaciones a nivel mundial y posibles aplicaciones/ usos en Costa Rica.

La energía del Sol se puede convertir en electricidad en forma directa usando celdas solares fabricadas con materiales semiconductores como el silicio (efecto fotovoltaico), o en forma indirecta convirtiéndola primero en energía calórica y posteriormente en electricidad (fototermoelectrónico). Cada estrategia ofrece ventajas particulares. En este momento, los paneles resultan muy costosos y su eficiencia es de solo 10 a 20 % contra 22-24 % de los sistemas térmicos.

Las células fotovoltaicas cuando son golpeadas por la radiación solar transforman la energía luminosa en energía eléctrica. Una planta de este tipo se encuentra en la ciudad de Espenhain, cerca de Leipzig, en Alemania. Con 33.500 paneles solares y una capacidad de producción de cinco megavatios, la central es suficiente para abastecer a 1.800 hogares. La inversión ascendió a 20 millones de euros, según Shell Solar y Geosol, las firmas constructoras. Actualmente, esta planta fue ampliada y cuenta en su totalidad con una capacidad de producción de 12 megavatios.

Dado el alto costo de la tierra en algunos países, y también para aprovechar el espacio, las compañías eléctricas estimulan económicamente a dueños de casas a instalar paneles solares en sus techos para generar electricidad para uso personal y vender a la compañía a través de la red local (sin usar baterías). Por ejemplo, la compañía eléctrica de la municipalidad de Sacramento (California) ofrecía cerca de \$1,9 por watio. Los paneles fotovoltaicos no están restringidos al uso en viviendas o bodegas. Al noreste de Las Vegas, a orillas de la ciudad, la Base Nellis de la Fuerza Aérea produce con tecnología fotovoltaica aproximadamente el 25 % de la electricidad que consume. El sistema construido en 2007 genera 14,2 me-

gavativos y es la mayor instalación fotovoltaica de Estados Unidos.

Las plantas termoeléctricas concentran los rayos solares sobre un fluido que alcanza el grado de ebullición y hasta $1.000\text{ }^{\circ}\text{C}$; el vapor es usado para aplicaciones industriales y/o para mover una turbina que genera electricidad. Los dos conceptos de concentración solar más utilizados son: (1) Concentradores cilindro-parabólicos, que son concentradores de foco lineal con seguimiento en un solo eje, concentraciones de la radiación de 30 a 80 veces y potencias por campo unitario de 30 a 80 MW (ver ilustración).

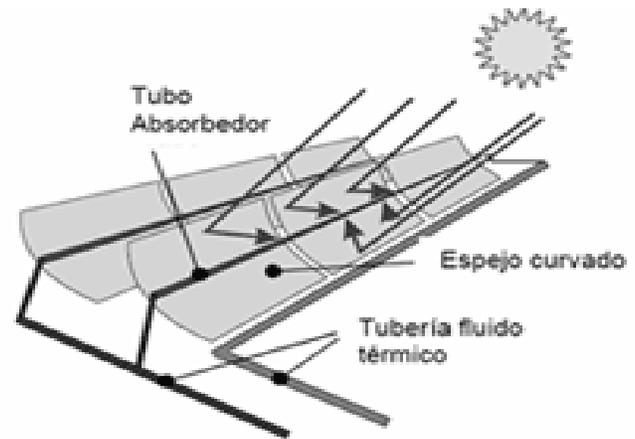
(2) Sistemas de torre o de receptor central, que consisten en un campo de helióstatos que siguen la posición del Sol en todo momento (elevación y acimut) y orientan el rayo reflejado hacia el foco colocado en la parte superior de una torre. Los órdenes de concentración son de 200 a 1.000 y las potencias unitarias de 10 a 200MW.

Como ejemplo, las centrales termosolares Andasol I, II y III son de colectores cilíndricos parabólicos y se encuentran en Guadix, Granada, España. Estos colectores son los encargados de concentrar el calor para transferirlo a un líquido portador que puede llegar a temperaturas de $400\text{ }^{\circ}\text{C}$, y que circula por tuberías especialmente aisladas hasta unos depósitos donde su fin será evaporar el agua que hay en su interior, para transformar ese vapor de agua en electricidad, mediante un proceso de movimiento de turbinas.

Las centrales desarrolladas por la empresa Solar Millennium AG se mueven en el rango de 50MW y 250MW. La superficie que ocupa cada una de estas centrales gemelas es de 510.000 m^2 . Andalucía ya se encuentra a la cabeza en Europa con 61 MW termosolares y es pionera en este aprovechamiento; está previsto que en 2010 llegue a 361 MW de energía termosolar.

Los acumuladores de la central termosolar Andasol le permiten generar electricidad cuando el cielo está nublado o es de noche. Este calor se almacena en una combinación de sales líquidas. Aprovechan el calor de la sal fundida para generar electricidad durante 7,5 horas adicionales. Según cálculos de Plataforma de Almería, una planta de este tipo evita 2.000 tm. anuales de emisiones de CO_2 por cada MW instalado.

Existen planes en serio para convertir el calor y la luz solar del desierto del Sahara en la mayor fuente energética de Europa, suministrando energía a 500 millones de personas. Según ciertos cálculos, empezar a enviar electricidad del Sahara a Europa dentro de un decenio podría costar un máximo de 60.000 millones de dólares. Los costos son enormes pero se justifican tomando en cuenta la cantidad y la calidad de la electricidad para siempre. Los promotores esperan que en 2015 el 33 % de la energía eléctrica de Europa provenga de África.



Colector cilíndrico parabólico



Planta solar para generar electricidad

Los subsidios gubernamentales al aprovechamiento de esta costosa pero prometedora fuente de energía han convertido a Europa en la capital solar del mundo. Afortunadamente, en Costa Rica existen varios sistemas aislados de paneles fotovoltaicos para suministrar energía eléctrica a las comunidades no conectadas a la red eléctrica (cerca de 400-450 kW). El Laboratorio de Energía Solar de la Universidad Nacional tiene experiencia en aplicaciones térmicas de energía solar, como para calentamiento de agua, cocción de alimentos, secado de productos agrícolas, destilación de agua y aplicaciones eléctricas en los últimos 30 años. También cuenta con una casita solar con todos los artefactos eléctricos, como TV, horno de microondas, alumbrado, bicicleta eléctrica, abanico, refrigeradoras y bombeo de agua, todo funcionando con electricidad proveniente directamente del células y energía solar. La casita se usa para investigación y difusión.

Callejones de acidificación en tres volcanes activos de Costa Rica

ELIÉCER DUARTE y ERICK FERNÁNDEZ

La acidificación producida por los volcanes, en su entorno, deja marcas indelebles temporales y permanentes. Tales huellas a veces se pueden mantener por décadas, dejando callejones de acidificación caracterizados por suelos desnudos y vegetación marchita o totalmente quemada. En este ensayo se revisará las generalidades del proceso de acidificación en los volcanes Rincón de la Vieja, Poás y Turrialba.

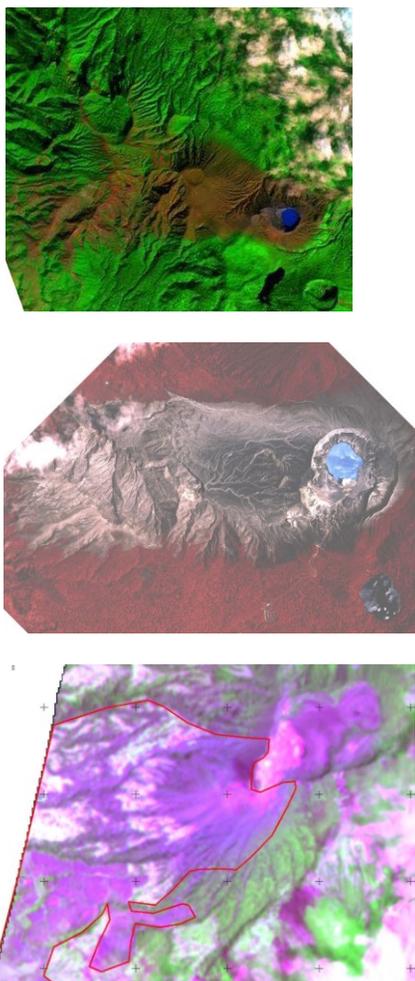


Figura 1. Vista en planta de callejones de acidificación en volcanes Rincón de la Vieja, Poás y Turrialba.

Créditos: Prias-Cenat, Misión Carta y Catie –respectivamente–.

En Costa Rica la acidificación (en forma de lluvia ácida) es común a algunos de los volcanes activos como el Rincón de la Vieja, el Poás y, más recientemente, el Turrialba. En el pasado cercano, el volcán Arenal mantuvo una avenida de acidificación la cual se ha venido regenerando en años recientes. Algunas de las características comunes de estos callejones son: denudación del terreno, dimensiones variables, sustrato físico estéril, presencia de gases y condiciones climáticas específicas:

Denudación del terreno: La ausencia total o casi completa de vegetación es el indicador fehaciente de las condiciones rigurosas que promueve la degasificación volcánica en sus alrededores. Algunas especies altamente resistentes logran sobrevivir a veces en modo temporal. Por su ubicación en la cúspide del macizo volcánico estos callejones están sometidos a fuertes vientos. Durante periodos en que la actividad gaseosa cede, el avance de especies como musgos y líquenes gana terreno produciendo así condiciones para que otras especies pioneras se sostengan.

Dimensiones del área: A menudo, por la dimensión y falta de perspectiva, el visitante no se percata de que está ante un callejón que puede oscilar entre uno y dos km de ancho por varios de largo. Se requiere un sobrevuelo o imágenes a gran altura para visualizar el área afectada. Estos callejones tienen un eje mayor que varía en afectación dependiendo del nivel de actividad gaseosa, velocidad y constancia de los vientos. La sección distal tiende a reverdecer (o regenerar) cuando el alcance de las plumas volcánicas se contrae.

Sustrato físico: El terreno afectado se muestra rocoso, duro y con incapacidad de desarrollar suelos orgánicos por la ausencia de vegetación. En coincidencia, a menudo estos mismos terrenos son los más afectados por material de caída (piroclastos, cenizas) que esterilizan rápidamente por sepultamiento, quemaduras o acidificación. Este sustrato inhibe el progreso rápido de especies que pueden desarrollarse saludablemente en otras condiciones a escasas decenas de metros, donde las condiciones son menos drásticas. Suelos incipientes o materiales capaces de sostener la vida vegetal fallan debido al proceso de esterilización ocurrido en ellos. La lixiviación de minerales y nutrientes es común en este ambiente.

Los autores, sismólogos, son investigadores en el Observatorio Volcanológico y Sismológico de la Universidad Nacional.

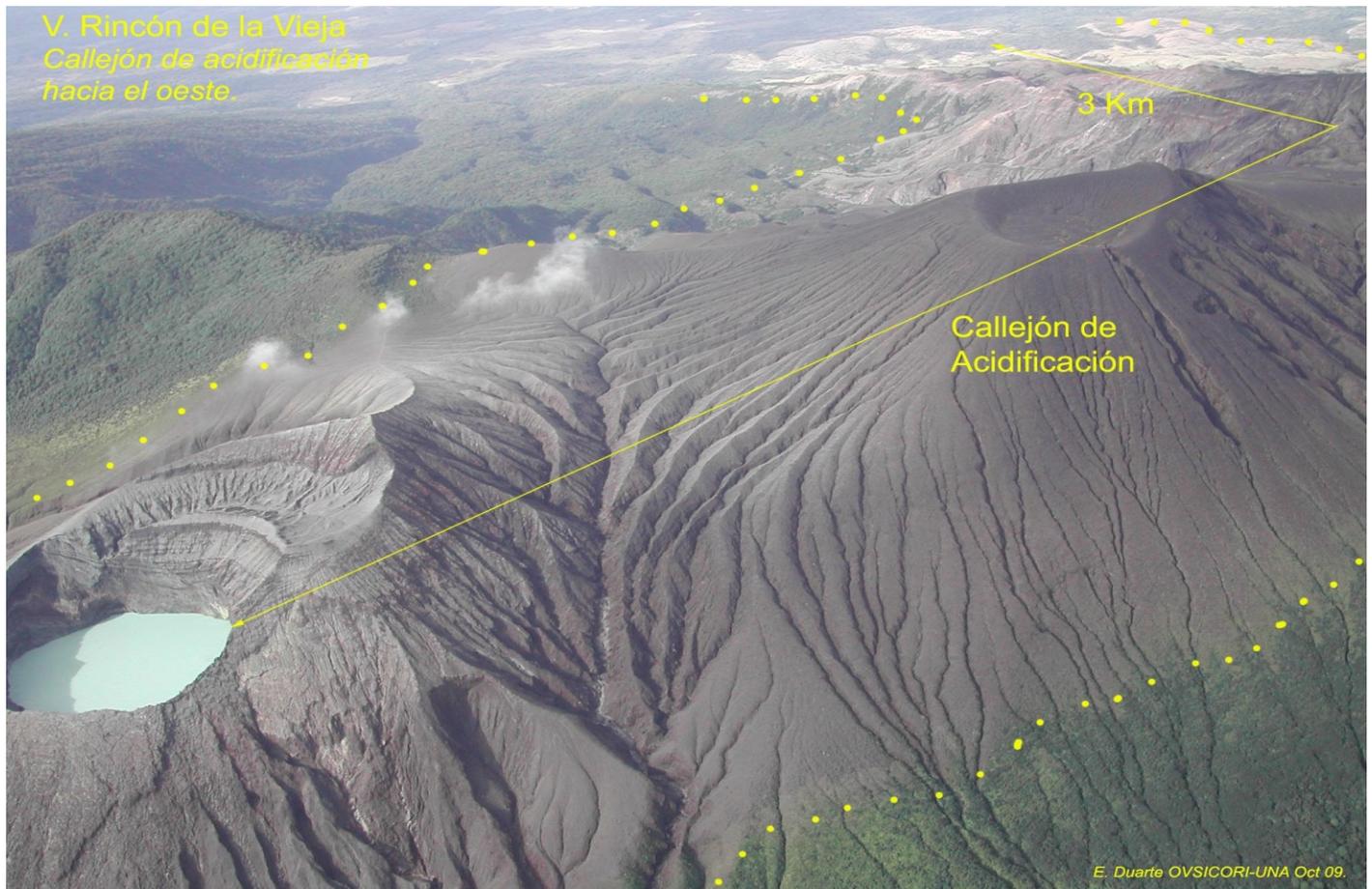


Figura 2. Callejón de acidificación en el volcán Rincón de la Vieja. Cráter Von Seebach a la derecha.

Presencia de gases: El flujo y características de los gases es primordial para comprender la razón de estas avenidas de acidificación. El comportamiento de la actividad, a menudo intermitente, produce periodos de afectación extraordinarios que se traducen en impacto en superficie. El contacto seco o húmedo por se es razón de quemaduras diferenciales en el tejido vegetal. Sin embargo, factores como la presencia de aerosoles (sólidos envueltos en gas) y partículas (sólidos suspendidos en el aire) aumentan las lesiones en la vegetación y la infraestructura metálica. Entre los gases volcánicos más comunes tenemos: el dióxido de carbono (CO_2) y el dióxido de azufre (SO_2). En menores cantidades pero corrosivos y ácidos se pueden citar: sulfuro de hidrógeno (H_2S), hidrógeno (H_2), monóxido de carbono (CO), cloruro de hidrógeno (HCL), fluoruro de hidrógeno (HF) y helio (He).

Aspectos climáticos: Otro de los elementos explicatorios de los callejones de acidificación lo es el clima. La presencia continua de humedad (lluvia, llovizna, neblina) en las cimas volcánicas promueve la aceleración del impacto por lluvia ácida. Aunado a esto, la dirección predominante de los vientos es crucial. Para el caso de Costa Rica, estas áreas de afectación muestran su eje mayor bien marcado hacia el oeste. Temporalmente hay desviaciones hacia el SW y NW au-

mentando el abanico de impacto. Estacionalmente los gases, movidos siempre por los vientos, pueden virar en sentido sur o este. La producción de gases (en ocasiones combinados con aerosoles y partículas) mantiene presencia constante de lluvia ácida con valores en la escala de acidez entre pH 3 y pH 5. (Los valores de pH de las deposiciones sean secas o húmedas por debajo de 5,6 se consideran ácidas).

La zona de mayor impacto del volcán Rincón de la Vieja comprende unos dos km de ancho por unos cuatro de largo, hacia el oeste del cráter principal. Musgos y líquenes, que conforman un sustento nutritivo para otras especies, son visibles en ese callejón aunque sin llegar a progresar. En la época seca, y debido a la intensa desecación de los pastos, en el sur y oeste de este macizo es fácil confundir hasta dónde alcanzan los efectos de los gases. El área de afectación es fácilmente reconocible en los alrededores del cráter activo, el cono Von Seebach, y las laderas empinadas al oeste. La zona verde colindante en ambos márgenes varía desde arbustos leñosos y enanos hasta plantas rastreras densamente distribuidas a lo largo del callejón desnudo.

Para el caso del volcán Poás, este callejón es el más fácilmente identificable por el visitante. Desde el mirador a la izquierda (hacia el oeste), hasta alcanzar el cerro Pelón y en dirección hacia los Bajos del Toro, se aprecia este singular sector. El registro fotográfico y, más atrás en el pasado, las descripciones de los primeros investigadores y curiosos, coinciden en que esa zona devastada ha permanecido ahí por siglos. El hecho más reciente, y dramático, de tipo freatomagmático tuvo lugar a inicio de los años 50 afectando con bombas, piroclastos y ceniza esa avenida. Muchos de los bloques métricos que se observan hasta a 1,5 km de distancia del cráter principal se encuentran intactos y por ellos no ha posado raíces planta alguna. La distribución de estos materiales enormes se encuentra en forma de circunferencia alrededor del cráter pero con predominancia (y mayor alcance) hacia el oeste. Para periodos extraordinarios de degasificación (89-90, 94 y 99) este callejón sostuvo el efecto de grandes cantidades de gas que se extendía con olores hasta unos 12 km (en las cercanías de Grecia y Sarchí).

Finalmente, el volcán Turrialba inició a partir de 2005 una fase de degasificación en aumento que promueve un patrón de callejón de acidificación similar a los otros dos volcanes citados. Desde los tímidos penachos de gas que se asomaron por el borde del cráter activo hasta las enormes columnas recientes la dirección predominante es oeste. Los gases que constantemente visitan las paredes vegetadas han produ-

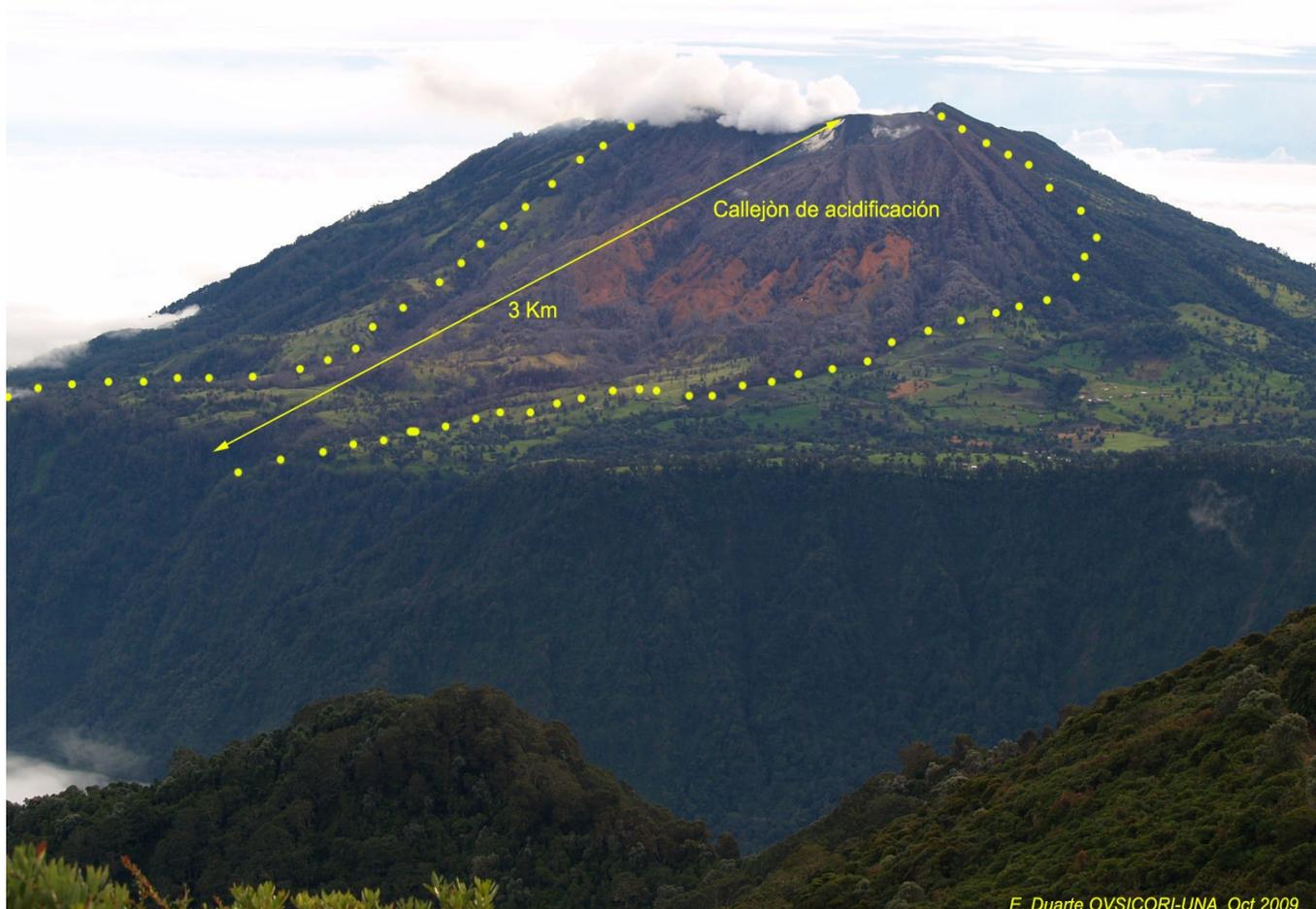
cido el éxodo de muchas familias que dependían de ese sector para su sustento diario. A la devastación del bosque en los flancos superiores le sucedió la intensificación de quemaduras en el pasto comercial. Paralelo a efectos agudos en la vegetación natural y exótica se da un proceso intenso de corrosión sobre todo elemento metálico en el radio de acción de los gases. Después de casi dos años de quemaduras totales, bosque y potreros comienzan a mostrar importantes manchas de sustrato oscuro. A pesar de unos 145 años de ocupación orgánica de los flancos de este volcán el desarrollo de suelo ha sido muy pobre, por lo que ahora aparece la ceniza negra del último periodo freatomagmático de él. De mantenerse el flujo de gases observado en los últimos cuatro años, y las características químicas de ellos, es posible prever que un callejón de acidificación se podría instaurar en ese sector. Los deslizamientos en la cúspide (otrora cubierta parcialmente por arbustos resistentes), la caída con efecto de dominó de grandes árboles en las laderas empinadas y la aparición de áreas desnudas de vegetación pueden conformar las primeras etapas de una región incapaz de reverdecer. El área de impacto total mide unos 2,5 km de ancho (desde el flanco sur del cerro San Juan hasta La Picada) y unos 3,5 km de largo (hasta el cauce del río Toro Amarillo). Sería dable pensar que si el viento se fortalece (como lo hace durante la época de alisios) ese efecto puede extender la afectación mayor hacia los caseríos ubicados en el flanco norte del volcán Irazú (San Gerardo, La Peñas, San Cayetano). Si el volcán Turrialba da



Figura 3. Callejón de acidificación en el volcán Poás. En primer plano, lago Botos.

V. Turrialba

Callejón de acidificación
se afirma; hacia el oeste.



E. Duarte OVSICORI-UNA Oct 2009.

Figura 4. Callejón de acidificación en el volcán Turrialba. En primer plano, cauce de río Toro Amarillo.

muestras claras de la ocupación de un territorio por acidificación intensa podría permanecer así por años o incluso décadas, por tanto las medidas a largo plazo deberían ser tomadas desde ahora. Hasta el momento, la fase de degasificación y el proceso de degradación al oeste es el único escenario en el que se encuentra el volcán Turrialba.

Si bien el proceso de acidificación natural producido por un volcán no se puede aminorar, sí hay medidas generales que se puede tomar para reducir el impacto económico que podría producirse. Si existen vías estatales para que se adquieran algunas de estas tierras con fines de conservación, los afectados podrían tener una salida que les permita rehacer sus actividades en una región menos drástica. Si la opción de los finqueros y vecinos de la zona es quedarse, pues se debe también reducir el impacto inmediato del efecto de los gases –por ejemplo, usar accesorios e implementos resistentes a la corrosión; un tratamiento balanceado de basificación de suelos (previa consulta con el profesional del ramo) podría aumentar positivamente la respuesta de pastos y cultivos en las zonas

menos afectadas; y sobra mencionar las medidas pertinentes que se deben tomar para asegurar el menor impacto de los gases sobre la salud humana-.

En otros volcanes con similares callejones de acidificación al que ahora inicia el Turrialba, la sabia naturaleza ha podido mantener despejado un espacio ocupado por la actividad pasiva del volcán. En el caso de un espacio ocupado por el ser humano se requiere la decisión sabia de los que allí conviven para evitar males mayores. De mantenerse la tendencia que ha presentado el volcán Turrialba en los últimos cuatro años, las condiciones para la vida y el aprovechamiento económico serían precarias. De hecho, el impacto actual en flora y fauna redujo severamente la biodiversidad de esa región contigua al volcán. La degradación vegetal solo cubre un suelo acidificado que nada más la naturaleza podrá restablecer en un plazo desconocido, una vez que el efecto de acidificación cese.