

Pérez N. M. & Hernández P. A. (2008). La vigilancia volcánica en España: una apuesta crucial para la reducción del riesgo volcánico. En: Galindo Jiménez I., Lain Huerta L., y Llorente Isidro M. (Eds.) El estudio y la gestión de los riesgos geológicos. Publicaciones del Instituto Geológico y Minero de España. Serie. Medio Ambiente. Riesgos Geológicos Nº12. 159-174. Madrid

La vigilancia volcánica en España: una apuesta crucial para la reducción del riesgo volcánico

Nemesio M. Pérez & Pedro A. Hernández
División de Medio Ambiente
INSTITUTO TECNOLÓGICO Y DE ENERGÍAS RENOVABLES (ITER)
38611 Granadilla de Abona, Tenerife, Islas Canarias
nperez@iter.es

1. Introducción

La Directriz Básica de Planificación de Protección Civil ante el Riesgo Volcánico en España, aprobada por el Consejo de Ministros el 19 enero de 1996 (BOE, 1996), describe y delimita que la única zona del territorio nacional expuesta a la amenaza o el peligro volcánico es la Comunidad Autónoma de Canarias. Evidencias claras de esta realidad es que Canarias es la única parte del territorio nacional que ha experimentado erupciones volcánicas durante los últimos 500 años (Fig. 1) (Romero, 1990, 1991a, 1991b, 1992, 1997, 2000 ; Araña, 1992, 2000; Romero y Beltrán, 2007), siendo la más reciente la ocurrida en La Palma en 1971. Por lo tanto y a pesar de que Canarias se encuentra expuesta a diversos riesgos naturales, el riesgo volcánico es el riesgo natural bandera de esta Comunidad; es el que nos diferencia del resto del territorio nacional (Sansón Cerrato, 1995).

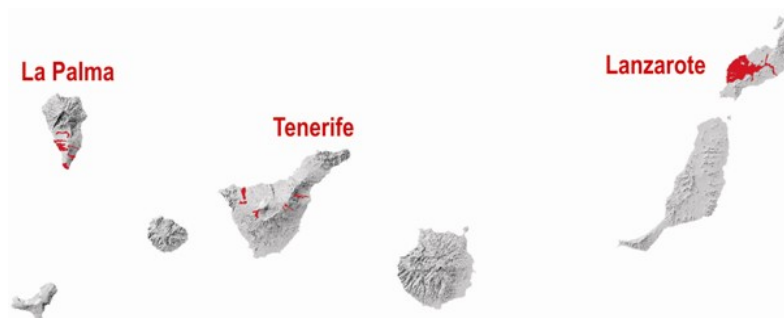


Fig. 1. Erupciones volcánicas ocurridas en Canarias durante los últimos 500 años.

A pesar de la existencia de esta Directriz Básica desde 1996, la ciudadanía española posee una muy baja percepción del riesgo volcánico en España. Son muchas y diversas las pruebas que evidencian esta realidad, pero entre ellas fundamentalmente se podrían

enumerar dos: (1) aún no se han elaborado ni el Plan Estatal y ni el Plan Especial de la Comunidad Autónoma Canaria de Emergencias sobre el Riesgo Volcánico requerido desde 1996 por la mencionada Directriz Básica, y (2) aún no se ha puesto en marcha el Instituto Volcanológico de Canarias solicitado por numerosos miembros de la comunidad científica Española desde hace muchísimos años (Fernández Navarro, 1911; Fuster et al., 1985; Allard et al., 2005; Pérez, 2006; Pérez et al., 2007a), y requerido por unanimidad de todos los grupos políticos representados en el Senado y el Parlamento de Canarias a finales de 2005 instando al Estado y al Gobierno Autónomo de Canarias, respectivamente, a su creación y puesta en marcha cuanto antes (BOCG, 2005; BOPC, 2005).

La razón de esta baja percepción sobre el riesgo volcánico en España puede deberse a diversas razones, entre las que se podrían resaltar (a) la frágil memoria de la sociedad española sobre este tipo de fenómenos naturales, dada la relativa baja frecuencia de erupciones volcánicas ocurridas en las islas durante los últimos 500 años, (b) el error de creer y transmitir a la sociedad por parte de algunos científicos y organismos que las erupciones históricas en Canarias no han ocasionado la pérdida de vidas humanas, cuando estas han causado el fallecimiento de al menos unas 22 personas (Romero Ruiz, comunicación personal), (c) el pensar que el escenario volcánico más probable en Canarias (erupciones basálticas fisurales) no representa un importante riesgo para la población dado que en el pasado (últimos 500 años) este tipo de fenómeno natural no causó un importante número de pérdidas humanas, olvidándose que en la actualidad la densidad de población y el uso del territorio es mucho mayor que en el pasado, (d) el creer y transmitir a la sociedad por parte de algunos científicos que las erupciones volcánicas en Canarias son y serán tranquilas, olvidándose que este término no puede ni debe aplicarse a ningún fenómeno natural adverso por muy pequeña que sea su magnitud y los efectos que pudiera llegar a generar, (e) el creer que las futuras erupciones volcánicas en Canarias sólo serán como las ocurridas durante los últimos 500 años, olvidándose que durante el pasado reciente geológico (últimos 10.000 años) se han registrado en las islas erupciones con un mayor índice de peligrosidad, (f) el confundir conceptualmente los términos de peligrosidad y riesgo volcánico así como la probabilidad de ocurrir un evento eruptivo.

La realidad actual es que el riesgo volcánico en Canarias es ahora mayor que hace 35 años como consecuencia de la existencia en las islas de mayores niveles de población e índices de desarrollo socio-económico expuestos ante el mismo peligro o amenaza

natural; el fenómeno volcánico. Esta realidad debe impulsar la apuesta conjunta de todas las administraciones para materializar las acciones pertinentes que conlleven a contribuir a la reducción del riesgo volcánico en Canarias, y de esta forma contribuir al desarrollo sostenible de esta región en todas sus facetas (Pérez, 2001).

La vigilancia volcánica es una de las tres acciones básicas que recomienda la comunidad científica y política internacional para reducir el riesgo volcánico en cualquier área volcánicamente activa. Esta recomendación se hace a través de la Asociación Internacional de Volcanología y Química del Interior de la Tierra (IAVCEI) y la Organización de las Naciones Unidas para el desarrollo de la Educación, la Ciencia y la Cultura (UNESCO) a raíz del Decenio para la Reducción de Desastres Naturales (1990-99) declarado por la Asamblea General de las Naciones Unidas en 1989 (Pérez, 1998). La finalidad de la vigilancia volcánica es mejorar y optimizar la sistemática para la detección de señales de alerta temprana sobre un proceso de reactivación del sistema volcánico. Esta detección temprana resulta ser de una gran importancia para los sistemas de Protección Civil, que son los usuarios finales de los resultados que derivan de la vigilancia y los únicos responsables de declarar el nivel de alerta volcánica ante la ciudadanía y ejecutar el plan de emergencia sobre el fenómeno volcánico.

Dada la naturaleza del fenómeno volcánico, la vigilancia volcánica debe contar con partidas presupuestarias regulares por parte de las administraciones públicas que tienen la obligación y/o el deseo de contribuir a la reducción del riesgo volcánico, independientemente de la fase o periodo en que se encuentre el sistema volcánico (inter-eruptiva, pre-eruptiva, eruptiva, y post-eruptiva). Por lo tanto, existe una clara diferencia conceptual entre la vigilancia volcánica y la investigación en el campo de la vigilancia volcánica. Esta última, a diferencia de la primera, no depende de partidas presupuestarias regulares sino de recursos financieros ligados a convocatorias de proyectos de investigación y desarrollo que tienen una fecha de caducidad y políticas de prioridad que pueden variar con el tiempo.

Otra de las realidades que se debe conocer es que la vigilancia volcánica comprende no sólo la operación y mantenimiento de redes instrumentales permanentes que nos permitan el registro en modo continuo de parámetros potencialmente precursores de la actividad volcánica, sino que además comprende la realización de un amplio seguimiento y medida en modo discreto (no continuo) de otras variables adicionales que también son potenciales señales premonitorias del fenómeno volcánico y que no pueden

registrarse en modo continuo por razones técnicas diversas. Estas dos formas de monitorización no sólo son necesarias sino que además son complementarias.

2. Vigilancia volcánica- registro sísmico

Hasta 1997 Canarias carecía de un enfoque multidisciplinar para su vigilancia volcánica, dado que sólo disponía del uso de técnicas geofísicas convencionales de seguimiento (sismógrafos). Esta debilidad del sistema de vigilancia volcánica en Canarias se acentuaba más aún como consecuencia de la existencia de dos redes sísmicas instrumentales permanentes de diferente titularidad no coordinadas entre sí. Indudablemente, la disposición de una sola red sísmica con un mayor número de sensores, como consecuencia de la suma de los sismógrafos de las dos redes sin perder la titularidad de las mismas, y una gestión uniforme y única sobre la actividad sísmica del archipiélago hubiera sido y será siempre la mejor apuesta para fortalecer la vigilancia volcánica en Canarias, así como una demanda con una gran carga de sentido común por parte de los contribuyentes con la finalidad de exigir un uso responsable de los recursos públicos.

Una de estas redes sísmicas es parte de la Red Sísmica Nacional del Instituto Geográfico Nacional (IGN) constituida en Canarias con un primer sismógrafo en 1952 (Blanco Sánchez, 1992) y financiada por la Administración Estatal. La Red Sísmica Nacional tenía por finalidad la vigilancia sísmica y no volcánica de esta parte del territorio nacional, pero en la actualidad también se destina a la vigilancia volcánica. A fecha de hoy, esta red cuenta con catorce estaciones sísmicas operativas y cuatro pendientes de instalar (Fig. 2).

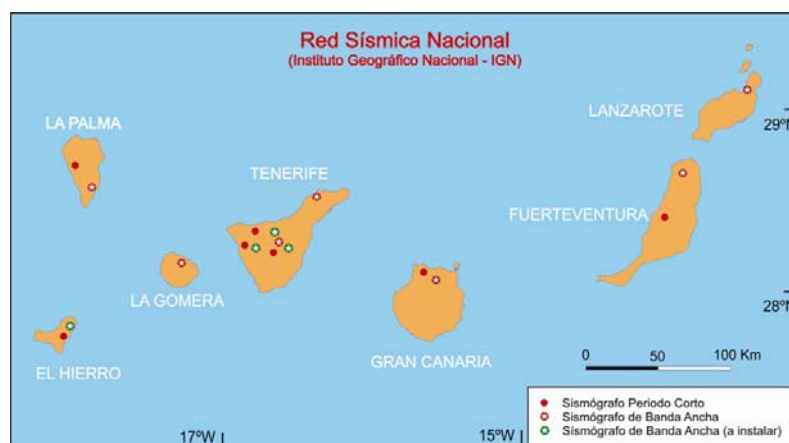


Fig. 2. Red Sísmica Nacional del Instituto Geográfico Nacional (IGN) para la vigilancia sísmica y volcánica en Canarias.

Por otro lado, se encuentra la red sísmica de la Estación Volcanológica de Canarias, CSIC, compuesta por 9 estaciones sísmicas (Fig. 3), financiada por el Gobierno de Canarias, desde finales de la década de los 80, y destinada a la vigilancia volcánica (Carracedo et al., 1992; Araña et al., 2001; Carracedo, 2005). La gran diferencia existente desde la puesta en marcha de estas dos redes sísmicas, es que la del IGN ha proporcionado datos fiables sobre la actividad sísmica registrada en Canarias (IGN, 1999; López et al., 2006), mientras que la red sísmica del CSIC, no (Diario de Avisos, 1998; Carracedo, 1999; Villalba, 2000; Millet, 2005).

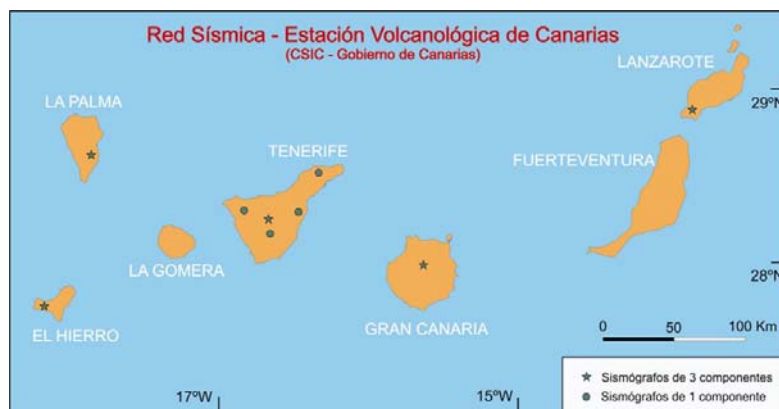


Fig. 3. Red Sísmica CSIC para la vigilancia volcánica en Canarias.

Una de las peores amenazas ocasionada por esta descoordinación entre las redes sísmicas destinadas a la vigilancia volcánica en Canarias, se puso de manifiesto durante la reciente crisis sismovolcánica de Tenerife. Mientras los responsables de la red sísmica nacional del IGN y otros especialistas manifestábamos claramente que la actividad sísmica del 2004 se consideraba anómala y objeto de preocupación, el responsable de la red sísmica de la Estación Volcanológica de Canarias (CSIC) transmitía continuamente a la ciudadanía a través de los medios de comunicación (prensa, radio y televisión) una opinión contraria, dado que con sólo una semana de información sobre la actividad sísmica anómala registrada por la red sísmica del IGN (primera semana de la crisis; 22-29 de abril de 2004) fue el primer científico en difundir, a través de los medios de comunicación, la posibilidad de una erupción en la isla de Tenerife (Llamazares, 2004; Logan y Mark, 2004; Smithsonian and USGS Weekly Volcanic Activity Report, 2004). Por el contrario, durante el resto de los meses del 2004, cuando la actividad sísmica continuaba siendo anómala, el responsable de la red sísmica del CSIC ya citado, manifestaba públicamente que la actividad sísmica

registrada en el 2004 era absolutamente normal (Carracedo, 2004; Chaves, 2004; Izquierdo, 2004; Villalba, 2004). Estas manifestaciones continuaron y se proyectaron tanto en medios de comunicación populares como científicos (Carracedo, 2005; Villalba, 2005; Carracedo et al., 2006-2007; Carracedo y Troll, 2006; Pérez y Hernández, 2007b).

3. Vigilancia volcánica – registro geoquímico

Desde 1997 el ITER está apostando por la materialización de un enfoque multidisciplinar para la vigilancia volcánica de Canarias, que debe implicar el uso conjunto de técnicas geofísicas, geoquímicas y geodésicas. Esta apuesta es una de las acciones que recomienda la comunidad científica y política internacional a través de la IAVCEI y la UNESCO. Desde entonces, los Cabildos Insulares de Tenerife, La Palma y El Hierro apoyan esta iniciativa del ITER, conscientes de la carencia de un enfoque multidisciplinar en la vigilancia volcánica en Canarias y de la necesidad de mejorar y optimizar el sistema de alerta temprana ante el fenómeno volcánico. El ITER ha invitado también a participar en esta apuesta al Cabildo Insular de Lanzarote y al Gobierno de Canarias.

Este programa del ITER no sólo complementaba y no duplicaba los trabajos ya existentes sino que además contemplaba el seguimiento y medida de parámetros de interés para la vigilancia volcánica tanto en modo continuo como en modo discreto. Esta apuesta de los Cabildos Insulares a través del ITER, a la que posteriormente se ha sumado tímidamente pero no continuamente el Gobierno de Canarias, proporciona en la actualidad un enfoque multidisciplinar para la vigilancia volcánica en Canarias hasta entonces inexistente. Por lo tanto, se puede afirmar que desde 1997 se ha avanzado en la mejora de la vigilancia volcánica en Canarias, pero todavía existe un camino muy largo por recorrer para disponer de un sistema de vigilancia acorde al riesgo volcánico de este archipiélago.

El programa geoquímico del ITER para la vigilancia volcánica en Canarias cuenta con un seguimiento y medida en modo continuo de parámetros de interés para la vigilancia a través de una red geoquímica instrumental permanente compuesta por dieciséis estaciones, catorce operativas y dos pendientes de instalar: siete en Tenerife; cuatro en La Palma; tres en El Hierro; una en Gran Canaria y una en Lanzarote (Fig. 4).

No todas las estaciones realizan el mismo tipo de registro. Un tipo de estaciones realizan el registro del flujo difuso de dióxido de carbono (CO₂) y sulfuro de hidrógeno

(H₂S) que tiene lugar a través de la superficie del terreno mediante el uso de sensores de infrarrojo y electroquímico (Fig. 5).

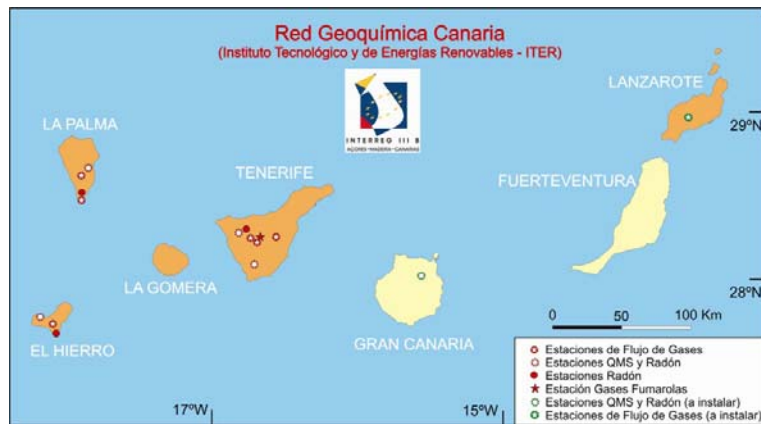


Fig. 4. Red geoquímica instrumental permanente del ITER para la vigilancia volcánica en Canarias. El programa geoquímico en modo discreto sólo se ejecuta en las islas coloreadas en naranja: Tenerife, La Palma, El Hierro y Lanzarote.



Fig. 5. Estación geoquímica TFE01 para medida de flujo de gases localizada en el Pico del Teide y operativa desde abril de 1999.

Un segundo tipo de estaciones registran la composición química e isotópica de los gases disueltos en las aguas subterráneas mediante el uso de espectrómetros de masas tipo cuadrupolar (QMS) y espectrómetros alfa tipo electrostático que nos permiten realizar un seguimiento de parámetros geoquímicos de interés (He/CO₂, CO₂/O₂, N₂/³⁶Ar, ⁴⁰Ar/³⁶Ar, N₂/O₂, He/²²²Rn, etc.) para la vigilancia volcánica (Fig. 6).

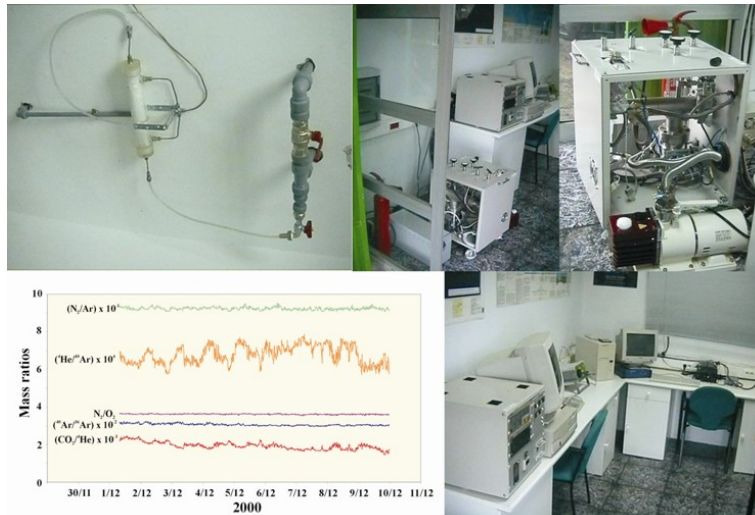


Fig. 6. Estación geoquímica para el seguimiento y medida de gases disueltos en aguas subterráneas mediante QMS y espectrómetro alfa.

Un tercer tipo de estaciones geoquímicas sólo dispone de espectrómetros alfa tipo electrostático, y realizan un registro de la actividad del gas radón (^{222}Rn) y torón (^{220}Rn) en la atmósfera del suelo. Un cuarto tipo de estaciones es como la que se ubica en el cráter del Teide y que nos permite realizar un seguimiento y medida de las relaciones existentes entre los principales componentes de los gases volcánicos ($\text{H}_2\text{O}/\text{CO}_2$, $\text{CO}_2/\text{H}_2\text{S}$, $\text{H}_2\text{S}/\text{SO}_2$, CO_2/SO_2 , etc.) emitidos por las fumarolas existentes en el interior del cráter (Fig. 7).



Fig. 7. Estación geoquímica para el seguimiento y medida de ratios de los principales componentes de los gases volcánicos emitidos por la actividad fumarolita del Pico del Teide

El resto de las estaciones geoquímicas, no representadas en la figura 2, lo conforman diez sondas multiparamétricas que realizan un registro del pH y conductividad de las aguas subterráneas. Esta red geoquímica instrumental permanente ha sido de utilidad para detectar señales precursoras de la crisis sismovolcánica del 2004 en Tenerife (Pérez et al., 2004, 2005, 2007b; Salazar et al., 2004, 2005; Padrón et al., 2006; Pérez y Hernández, 1997a), (Fig. 8) y de la actividad sísmica anómala registrada en El Hierro y sus alrededores en el 2004 (Pérez y Hernández, 1997a; Padrón et al., 2008).

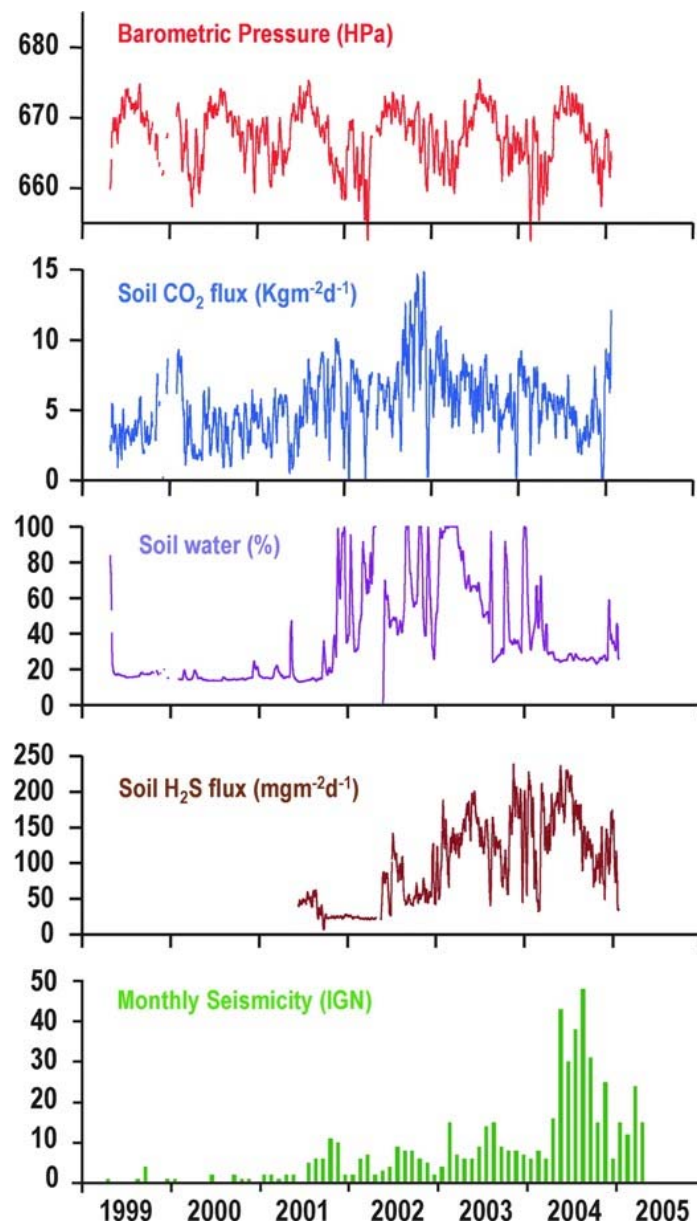


Fig. 8. Evolución temporal de parámetros geoquímicos (media móvil de 168 observaciones) registrada por la estación geoquímica TFE01 en el Pico del Teide, y el número de sismos mensuales registrados en Tenerife y sus alrededores por la red sísmica del IGN, durante el periodo 1999-2005.

El programa geoquímico del ITER para la vigilancia volcánica en Canarias cuenta también con un apartado sobre el seguimiento y medida en modo discreto de parámetros geoquímicos de interés para la vigilancia volcánica. Esta parte del programa sólo se ejecuta en las islas que han experimentado erupciones históricas en Canarias y/o que presentan indicadores de una actividad volcánica muy reciente: La Palma, El Hierro, Lanzarote y Tenerife (Figs. 4 y 9).

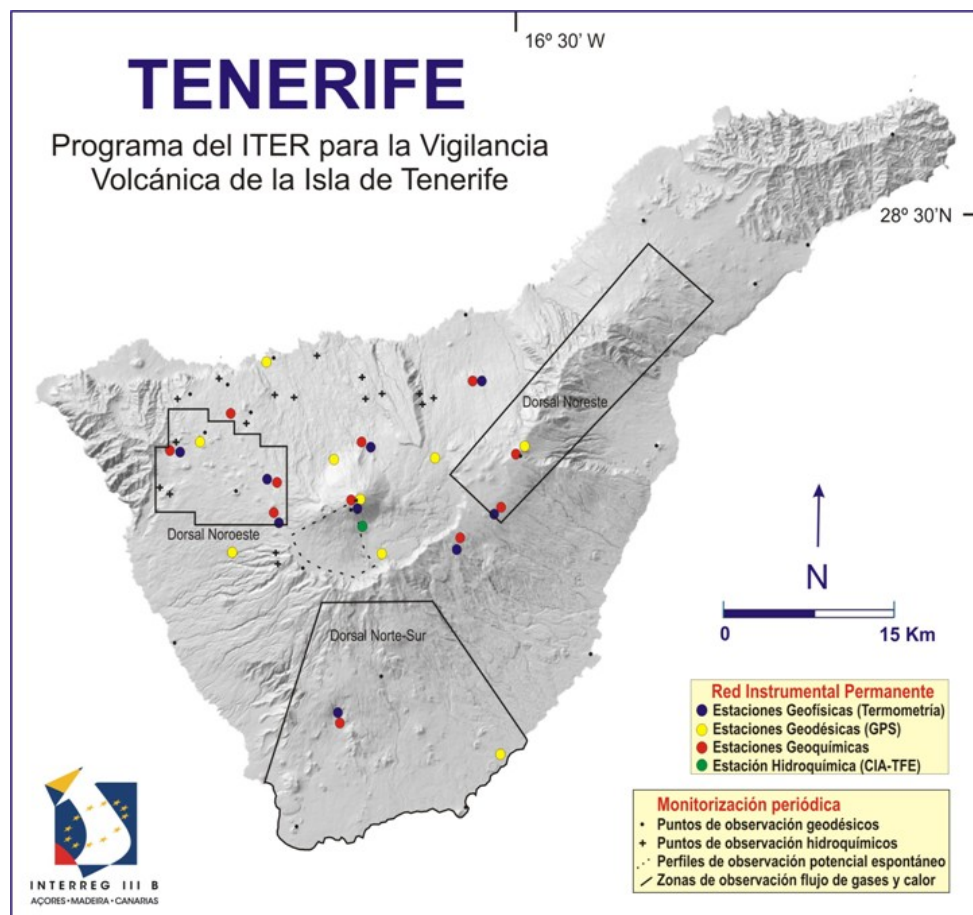


Fig. 9. Zonas y puntos de observación en la Isla de Tenerife dónde se materializa el programa geoquímico, geodésico y geofísico en modo discreto.

Dada la carencia de manifestaciones visibles de emanaciones de gases volcánicos, el mayor esfuerzo de este programa en modo discreto se centra en la monitorización de las emanaciones difusas o no visibles que tienen lugar en los sistemas volcánicos y que son principalmente de dióxido de carbono (CO_2); el segundo componente mayoritario de los gases volcánicos y muy poco soluble en fundidos silicatados (Gerlach y Graeber, 1985; Stolper y Holloway, 1988).

Entre las actividades que se enmarcan dentro de este capítulo se encuentran fundamentalmente: (1) el seguimiento de la emisión difusa de dióxido de carbono (CO_2)

mediante la realización de campañas periódicas en los sistemas volcánicos de Cumbre Vieja (La Palma), El Hierro, Timanfaya (Lanzarote), Pico del Teide (Fig. 10), Cráter del Teide, Dorsal NO y Dorsal NE de Tenerife, (2) el seguimiento de la composición química e isotópica de emanaciones visibles de gases volcánicos en Canarias mediante la toma periódica de muestras de gases y condensados volcánicos procedentes de las fumarolas del Teide, (3) el seguimiento de parámetros hidroquímicos en las aguas subterráneas de La Palma, El Hierro y Tenerife con una periodicidad variable (anual, mensual y semanal), y (4) el seguimiento de la composición química e isotópica de gases disueltos en las aguas subterráneas de La Palma, El Hierro y Tenerife con una periodicidad anual. Los resultados que se han obtenido de este programa geoquímico en modo discreto han sido igualmente de interés para la detección y observación de señales precursoras relacionadas con cambios en la actividad sismovolcánica registrada en Canarias y evaluar los valores normales o de fondo de algunos parámetros geoquímicos de interés para la vigilancia volcánica (Pérez et al., 2004; Galindo, 2005; Marrero et al., 2005; Calvo et al. 2005; Pérez et al., 2005; Hernández et al. submitted to JVGR; Marrero et al. submitted to JVGR; Padrón et al. submitted to JVGR).

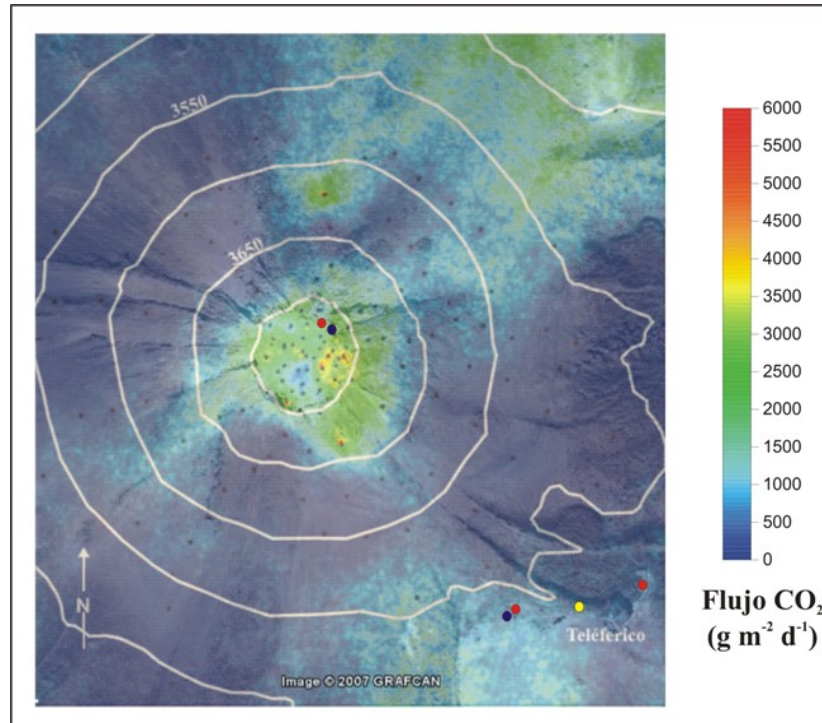


Fig. 10. Distribución de la emisión difusa de dióxido de carbono en el Pico del Teide correspondiente a la campaña de 2007 (de 262 ± 55 toneladas diarias). La red instrumental permanente ubicada en el Pico del Teide para la vigilancia volcánica es para el seguimiento y medida de parámetros geoquímicos (puntos rojos), geodésicos (punto amarillo) y geofísicos-termometría (puntos azules).

En el caso hipotético de que una reactivación volcánica en Canarias generara un penacho volcánico, el programa geoquímico del ITER en modo discreto dispone de recursos humanos y técnicos (sensores ópticos remotos tipo COSPEC y miniDOAS), con una amplia experiencia en diversos volcanes activos (Olmos et al., 2007; Barrancos et al., 2008), que permitirían evaluar la emisión de dióxido de azufre (SO₂). De igual modo se podría evaluar la tasa de emisión de otros volátiles (H₂O, CO₂, HCl, etc.) mediante el uso combinado del COSPEC y miniDOAS con otros sensores ópticos remotos o con un multisensor (Pérez et al., 2006; Weber et al., 2006; Barrancos et al., 2007; Carapeza et al., 2007).

4. Vigilancia volcánica – registro geodésico

Una vez establecido un programa geoquímico aceptable, pero no suficiente para la vigilancia volcánica en Canarias, y dada la inexistencia de un programa geodésico destinado a este fin que permita evaluar la deformación del terreno como consecuencia del fenómeno volcánico, el ITER impulsó en el año 2002 un programa geodésico para la vigilancia volcánica en Canarias. Este programa se fundamenta en el seguimiento y medida de la deformación del terreno tanto en modo continuo como en modo discreto. Por una parte, se dispone de una red instrumental permanente de 17 antenas GPS (Fig. 11), tres de ellas pertenecientes a la Universidad de Nagoya (Japón), localizadas en El Hierro (3), La Palma (4) y Tenerife (10).

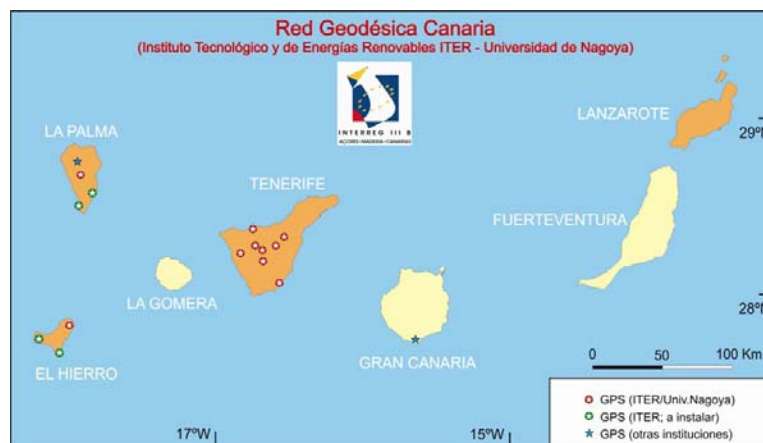


Fig. 11. Red geodésica instrumental permanente del ITER para la vigilancia volcánica en Canarias. El programa geodésico en modo discreto sólo se tiene previsto ejecutar en las islas coloreadas en naranja: Tenerife, La Palma, El Hierro y Lanzarote.

Esta red GPS permanente, operativa desde el 2004, permite detectar deformaciones del terreno con precisiones de pocos milímetros en la horizontal e inferior a un centímetro

en la vertical que pudieran estar asociadas con el fenómeno volcánico. Las estaciones constan de una antena geodésica de alta precisión, un receptor GPS de doble frecuencia de última generación, y un sistema de alimentación y transmisión de datos (Fig. 12).



Fig. 12. Antena GPS en la cara norte del Pico Viejo que conforma la red geodésica instrumental permanente del ITER para la vigilancia volcánica en Canarias.

El procesamiento de los datos se realiza en el ITER y en la Universidad de Nagoya. Los resultados de esta red han sido de utilidad para materializar estudios de microgravimetría en la isla de Tenerife relacionados con la reciente crisis sismovolcánica (Gottsmann et al., 2006) así como para confirmar que no se han producido deformaciones significativas en la isla (Sagiya et al., submitted to JVGR).

Estas estaciones GPS permanentes servirán también como referencia para las campañas de observación GPS que se realizarán de forma periódica y con una mayor densidad de puntos de observación GPS en áreas seleccionadas de las islas de Tenerife (Fig. 9), La Palma, El Hierro y Lanzarote, para evaluar procesos de deformación del terreno con un mayor detalle.

A raíz de la reciente crisis sismovolcánica de Tenerife se publicó el Real Decreto 1476/2004 de 18 de junio (BOE 19 de junio de 2004), y como consecuencia del mismo el Instituto Geográfico Nacional (IGN) decidió mejorar la vigilancia volcánica en Canarias. Su plan de mejora para la vigilancia volcánica se centra por ahora sólo en la Isla de Tenerife, y fue presentado en Madrid el 1 de marzo de 2005 a toda la comunidad científica Española (Boletín Informativo del IGN, 2005a), a excepción de los miembros del Instituto Tecnológico y de Energías Renovables (ITER), que llevan trabajando en vigilancia volcánica en Canarias, y más concretamente en Tenerife, desde 1997. Meses

más tarde, y más concretamente el 3 de noviembre de 2005, el IGN decide presentar en Tenerife su programa para la mejora de la vigilancia volcánica de Tenerife (Boletín Informativo del IGN, 2005b). Entre las mejoras que tienen previsto realizar para la vigilancia volcánica de Tenerife se encuentra la puesta en marcha de una red GPS instrumental permanente (Fig. 13) no coordinada con la ya existente en Tenerife desde principios del 2004 (Figs. 9 y 11).



Fig. 13. Red geodésica y geofísica del Instituto Geográfico Nacional (IGN) para la vigilancia sísmica y volcánica en Canarias.

El IGN tiene previsto instalar una antena GPS en el Pico del Teide a menos de 400 metros de distancia de una antena GPS del ITER operativa desde principios de 2004. Por lo tanto, una mejor estrategia para maximizar los recursos técnicos destinados a la vigilancia volcánica sería promover una mayor coordinación para que existiera una sola red GPS instrumental permanente, compuesta por antenas GPS del IGN, del ITER y de la Universidad de Nagoya bajo una gestión uniforme y única para maximizar el uso de los recursos públicos.

A pesar que el Laboratorio de Geodinámica de Lanzarote (LGL), dependiente del Instituto de Astronomía y Geodesia (CSIC-UCM), no realiza funciones de vigilancia volcánica cuenta con una importante infraestructura que está dedicada a la aplicación de técnicas geodésicas y geofísicas en el estudio de una zona activa, o potencialmente activa, de la Tierra, como es la isla de Lanzarote. Los resultados que se generan a través del LGL pueden ser de una gran utilidad para la vigilancia volcánica dado su registro y mantenimiento permanente como consecuencia de la colaboración establecida entre el Cabildo de Lanzarote y el IAG (<http://www.iag.csic.es/LGL/Principal.htm>)

5. Vigilancia volcánica – otros registros geofísicos

Existen otros programas de vigilancia además del sísmico, geoquímico y geodésico que se ejecutan y que tienen previsto materializar tanto el IGN como el ITER. En el marco de estas actividades, el IGN dispone de una red de mareógrafos para el seguimiento y medida de las mareas terrestres, una estación para el seguimiento y medida del campo magnético terrestre, y una estación gravimétrica para el seguimiento y medida de la microgravedad en la isla de Tenerife (Fig. 13). Por otro lado el ITER dispone de un programa geofísico para la vigilancia volcánica en Canarias que en la actualidad se fundamenta en el seguimiento y medida de la temperatura (flujo de calor) tanto en modo continuo como en modo discreto. La red geofísica (termométrica) instrumental permanente del ITER cuenta con un total de 18 estaciones que nos permiten realizar un registro en modo continuo de la temperatura en Lanzarote (1), El Hierro (3), Cumbre Vieja (4) y Tenerife (10). (Fig. 14).

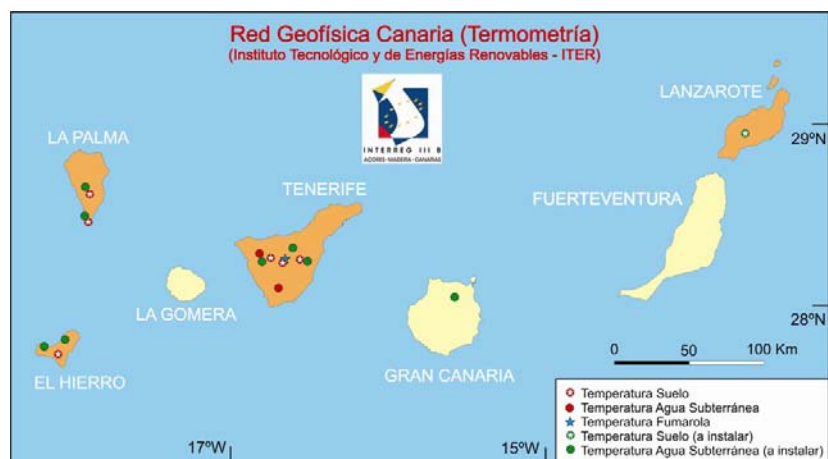


Fig. 14. Red geofísica (termometría) instrumental permanente del ITER para la vigilancia sísmica y volcánica en Canarias.

Siete de estas estaciones realizan un registro de la temperatura del suelo a unos 40 cm de profundidad (tres en Tenerife, dos en La Palma, una en El Hierro y una en Lanzarote). Otro tipo de estas estaciones termométricas realiza un seguimiento y medida de la temperatura de las fumarolas del Teide. El resto de las estaciones realizan un seguimiento de la temperatura del agua subterránea (tres en La Palma, dos en El Hierro y cinco en Tenerife).

El seguimiento y medida en modo discreto del programa geofísico del ITER para la vigilancia volcánica en Canarias también se fundamenta no sólo en la termometría (Fig.

15) sino también en el registro del gradiente de presión en el ambiente superficial y el potencial espontáneo (Fig. 9).

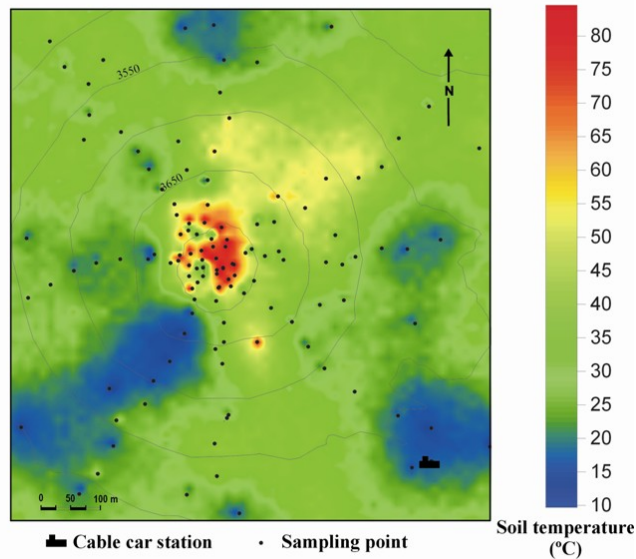


Fig. 15. Distribución de la temperatura en el ambiente superficial del Pico del Teide durante la campaña correspondiente al año 2007.

Entre las actividades que se enmarcan dentro de este capítulo se encuentran fundamentalmente: (1) el seguimiento de la temperatura (Padrón et al., 2006b), gradiente de presión, y potencial espontáneo (Ohno et al., 2004) mediante la realización de campañas periódicas (anuales, cuatrimestrales y mensuales), en el ambiente superficial de los sistemas volcánicos de Cumbre Vieja (La Palma), El Hierro, Timanfaya (Lanzarote), Pico del Teide, Cráter del Teide, Dorsal NO y Dorsal NE de Tenerife, (2) el seguimiento de la temperatura en las emanaciones visibles de gases volcánicos en el volcán Teide (Tenerife) con una periodicidad mensual, (3) el seguimiento de la temperatura a través de diversos puntos de observación en los acuíferos de La Palma, El Hierro y Tenerife con una periodicidad variable, y (4) la toma y el análisis de imágenes térmicas mediante el uso de una cámara de infrarrojo en los sistemas volcánicos del Teide (Tenerife), Cumbre Vieja (La Palma) y Timanfaya (Lanzarote) con una periodicidad variable (Fig. 16)

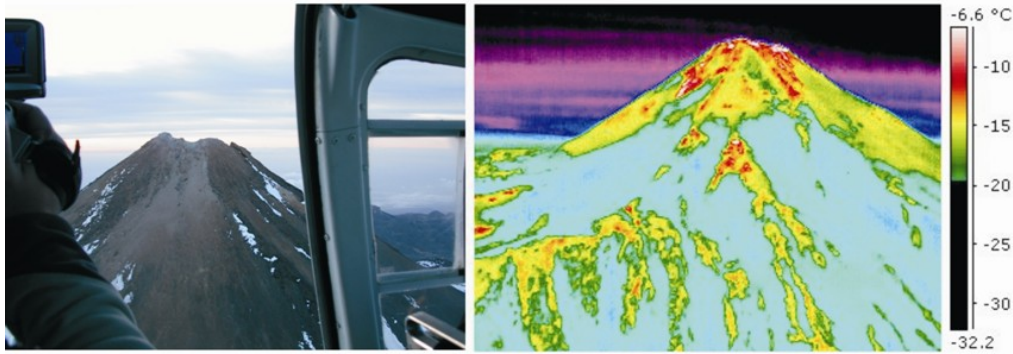


Fig. 16. Toma de imágenes térmicas del Pico del Teide desde un helicóptero de la Policía Nacional.

6. Conclusiones

Durante los últimos años se ha contribuido significativamente a mejorar y optimizar la vigilancia volcánica en Canarias; una de las apuestas más importantes para la reducción del riesgo volcánico en España. Por el contrario todavía queda mucho por hacer y mejorar dado que aún no se han materializado todas las tareas necesarias y suficientes para que la sociedad española disponga de un sistema de alerta temprana sobre el fenómeno volcánico acorde a nuestra realidad volcanológica, social y económica. La puesta en marcha cuanto antes del Instituto Volcanológico de Canarias, como un ente autónomo, y en el cual converjan todos los recursos humanos y técnicos que las administraciones destinan para la reducción del riesgo volcánico en España es y será el mejor de los pasos para maximizar los recursos públicos y garantizar una buena gestión pública sobre el riesgo volcánico.

7. Agradecimientos

Los autores de este artículo expresan su agradecimiento a los Cabildos Insulares de Tenerife, La Palma, y El Hierro por su sensibilidad y contribución a la reducción del riesgo volcánico en Canarias. Igualmente expresan su agradecimiento al Gobierno de Canarias. Un especial agradecimiento a la iniciativa comunitaria INTERREG III B Azores-Maderira-Canarias que ha contribuido enormemente a mejorar y optimizar los recursos técnicos para la vigilancia volcánica en Canarias. Por último, agradecer los esfuerzos que desde la Administración General del Estado se realiza, para contribuir a la reducción del riesgo volcánico en España, recordando que la suma de esfuerzos es la mejor apuesta para cumplimentar el objetivo: la reducción del riesgo volcánico en España.

8. Bibliografía

- Allard P. y 115 firmas adicionales de la comunidad científica nacional e internacional (2005). El Instituto Volcanológico de Canarias (IVC): una tarea inaplazable. EL DIA, 1 de diciembre, p. 34, <http://www.eldia.es/2005-12-01/vivir/vivir4.htm>
- Araña V. (1992). El archipiélago Canario. En: Elementos de Volcanología (Ed. José Luis Diez Gil), Serie de la Casa de los Volcanes, Cabildo Insular de Lanzarote, 2, 223-234.
- Araña V. (2000). El volcanismo de las Islas Canarias. CIVGV, Serie Casa de los Volcanes, Cabildo Insular de Lanzarote, 7, 105-114.
- Araña V., Carracedo J.C., Ortiz R., Viera R. (2001). Canary Islands: volcanic surveillance network. I Asamblea Hispano Lusa de Geodesia y Geofísica, 1-6.
- Barrancos J., Roselló J. I., Calvo D., Padrón E., Melián G., Hernández P. A., Pérez N. M., Millán M. M., and Galle B. (2008). SO₂ emission from seven active volcanoes measured simultaneously by COSPEC and mini-DOAS. Pure and Applied Geophysics, DOI 10.1007/s00024-007-0290-8.
- Barrancos, J., Briz, S., Padilla, G., Fernández, I., Santana, G., Dionis, S., Pérez, N., Hernández P., Bo Galle., Strauch, W. (2007). H₂O, CO₂, SO₂ and H₂S Emission from Masaya Volcano, Nicaragua. Cities on Volcanoes 5, Shimabara, Japan, p. 82.
- Blanco Sánchez M. J. (1992). Red de Vigilancia Geofísica del IGN en Canarias. En: Elementos de Volcanología (Ed. José Luis Diez Gil), Serie de la Casa de los Volcanes, Cabildo Insular de Lanzarote, 2, 235-239.
- BOCG (2005). Enmienda transaccional de los grupos parlamentarios en el Senado, por la que se insta al Gobierno a la creación del Instituto Volcanológico de Canarias (IVC). Boletín Oficial de Las Cortes Generales, Senado, Serie I, No. 345, pp. 5-6. <http://www.senado.es/legis8/publicaciones/pdf/senado/bocg/I0345.PDF>
- BOE (1996). Directiva Básica de Planificación de Protección Civil ante el Riesgo Volcánico. Boletín Oficial del Estado, nº 55, 4 de marzo de 1996.
- Boletín Informativo del IGN (2005a). El sistema de vigilancia volcánica del IGN. Boletín Informativo del Instituto Geográfico Nacional, Año VI, Enero-Marzo 2005, nº 21, 1-2, http://www.fomento.es/NR/ronlyres/5C9F8EC4-CC93-4621-9D60-0E1160C9FDE5/12079/bol21_p1.pdf
- Boletín Informativo del IGN (2005b). El sistema de vigilancia volcánica del IGN. Boletín Informativo del Instituto Geográfico Nacional, Año VI, Octubre-Diciembre 2005, nº 24, 6, http://www.fomento.es/NR/ronlyres/8F65EC9C-41C6-4C8E-AC3F-EDB1893BEEB1/17329/bol24_p6.pdf.
- BOPC (2005). Proposición No de Ley 6L/PNL-0179 sobre la creación del Instituto Volcanológico de Canarias (IVC). Boletín Oficial del Parlamento de Canarias, VI Legislatura, nº 268, 3. <http://www.parcn.es/iniciativa.py?numero=6L/PNL-0189>
- Calvo D. et al. (2005). Surface detection of subsurface magma movement by diffuse CO₂ degassing studies in an around the NW volcanic rift-zone at Tenerife, Canary Islands. Geophysical Research Abstracts, Vol. 7, 05483, 2005.
- Carapezza., M., Barberi, F., Barrancos, J., Fisher, C., Pérez, N., Ranaldi, M., Ricci, T., Tarchini, L. and Weber., K. (2007). Gas Hazard Assessment in the Roman Province by TDL and Accumulation Chamber. Cities on Volcanoes 5, Shimabara, Japan. 144.
- Carracedo, J. C., García M., Jiménez M. J., Pérez N.M. (1992). El riesgo volcánico en España. 1º Congreso Iberoamericano sobre Técnicas Aplicadas a la Gestión de Emergencias sobre Riesgos Naturales. Valencia, pp. 4 <http://www.crid.or.cr/digitalizacion/pdf/spa/doc5007/doc5007-contenido.pdf>

- Carracedo J. C. (1999). Red Sísmica Telemétrica CSIC-Gobierno de Canarias. Informe sobre las actividades de la Red de Investigación Volcanológica del CSIC: periodo 1998, 18-28.
- Carracedo J. C. (2004). Supuestas crisis volcánicas versus método científico y sentido común. EL DIA, 6 de octubre, p. 32, <http://www.eldia.es/2004-10-06/vivir/vivir12.htm>
- Carracedo J. C. (2005). La red sísmica del Gobierno de Canarias-CSIC. La Opinión de Tenerife, 3 de febrero, p. 24. http://www.iter.es/pdf/pdf/medioambiente/2005_opinion_carracedo.pdf
- Carracedo J.C. and Troll V. R. (2006). Seismicity and gas emissions on Tenerife: a real cause for alarm? *Geology Today*, 22, 138-141.
- Carracedo J.C. et al. (2006). Recent unrest at Canary Islands' Teide volcano? *EOS American Geophysical Union Transactions*, vol. 87, n. 43.
- Carracedo et al. (2007). Reply to Comments "Recent Unrest at Canary Islands' Teide Volcano?" by Pérez and Hernández. *EOS American Geophysical Union Transactions*, 88, p. 46.
- Chaves A. (2004). Primicia volcánica. EL DIA, 27 de septiembre, p.5, <http://www.eldia.es/2004-09-27/criterios/criterios6.htm>
- Diario de Avisos (1998). Leve seísmo en La Palma y La Gomera. *Diario de Avisos*, 28 de octubre, p. 1. http://www.iter.es/pdf/medioambiente/1998_diarioda.pdf
- Fernández Navarro L. (1911). Erupción volcánica del Chinyero, en noviembre de 1909. *Anales de la Junta para la ampliación de estudios e investigaciones*. Tomo V. Memoria 1ª. Madrid.
- Fuster J. M., Cendrero A., Cariacedo J. C., Herraiz M., García O., Sanchez M., Benito F., y Serrano T. (1985). La catástrofe de Colombia. *Cuadernos de Protección Civil*, Noviembre-Diciembre, 9-12.
- Galindo I. (2005). Estructura volcanotectónica y emisión difusa de gases de Tenerife, Tesis Doctoral, Universidad de Barcelona, 350 pp.
- Gerlach, T.M.J. and Graeber, E.J. (1985), Volatile budget of Kilauea volcano, *Nature*. 313, 273-277.
- Gottsmann, J., et al. (2006), New evidence for the reawakening of Teide volcano, *Geophys. Res. Lett.*, 33, L20311, doi:10.1029/2006GL027523.
- Hernández et al. Spatial and temporal variations of diffuse CO₂ emission in and around Tenerife's NW rift-zone: a geochemical signature of a recent volcanic unrest? Submitted to *JVGR*.
- Izquierdo T. (2004). Hay un interés por magnificar una crisis volcánica que no tiene razón. EL DIA, 20 de junio, p.42, <http://www.eldia.es/2004-06-20/vivir/vivir3.htm>
- Llamazares E. (2004). Carracedo predice una erupción volcánica tranquila en Tenerife. *Diario de Avisos*, 10 de mayo, p. <http://www.diariodeavisos.com/epoca1/2004/05/10/hoy/noticias/islas/archipiélago/P42574A.html>.
- Logan K. and Mark D. (2004). Volcano island fears dismissed. *Yorkshire Post Today News*, May 18, <http://www.yorkshiretoday.co.uk/viewarticle2.aspx?sectionid=55&articleid=792451>
- López, C., et al. (2006), Analysis of IGN seismic series in Tenerife that triggered the 2004 seismovolcanic alert, *Abstracts Garavolcan 2006*, Garachico, Tenerife, Spain.
- Marrero, R., et al. (2005), Hydrogeochemical monitoring for volcanic surveillance at Tenerife, Canary Islands, *Geophys. Res. Abstr.*, 7, 09928.
- Marrero R. et al. Physical-chemical hydrological changes related to the recent volcanic unrest at Tenerife, Canary Islands. Submitted to *JVGR*.

- Millet D. (2005). La red sísmica de Carracedo. La Opinión de Tenerife, 21 de enero, p. 27. http://www.iter.es/pdf/pdf/medioambiente/2005_opinion_millet.pdf
- Olmos R., Barrancos J., Rivera C., Barahona F., López D. L., Henriquez B., Hernández A., Benitez E., Hernández P. A., Pérez N. M. and Galle B. (2007). Anomalous emissions of SO₂ during the recent eruption of Santa Ana Volcano, El Salvador, Central America. *Pure and Applied Geophysics*, DOI 10.1007/s00024-007-0276-6.
- Ohno M., Hashimoto T., González P., Padrón E., Hernández P. A., and Pérez N. M. (2004). Electric self potencial around Teide Volcano, Canary Islands, *Internacional Symposium "Reducing Volcanic Risk in Islands"*, Granadilla, Tenerife, June 2-6
- Padrón et al. (2006a). Pulsos de emisión de radón y dióxido de carbono en superficie y actividad sísmica reciente en Tenerife, Islas Canarias. 5ª Asamblea Hispano-Lusa de Geodesia y Geofísica, Sevilla, España.
- Padrón et al. (2006b). Thermal monitoring program for the volcanic surveillance in the Canary Islands. GARAVOLCAN 2006, Garachico, Tenerife, May 22-26.
- Padrón et al. Dynamics of diffuse CO₂ emission at Cumbre Vieja volcano, La Palma, Canary Islands. Submitted to JVGR.
- Pérez N. M. (1998). Claves para reducir el riesgo volcánico: Recomendaciones de la UNESCO y la IAVCEI. La Gaceta de Canarias, 12 de abril, p. 24. http://www.iter.es/pdf/medioambiente/1998_gaceta_perez.pdf
- Pérez N. M. (2001). Desarrollo sostenible en Canarias: ¿olvidamos algo? EL DIA, 2 de septiembre, p.7, <http://www.eldia.es/2001-09-02/criterios/criterios10.htm>
- Pérez N. M. et al (2004). Reducing volcanic risk in the Canary Islands: are we doing the homework? *International Symposium "Reducing Volcanic Risk in Islands"*, Grandilla, Tenerife, June 2-6.
- Pérez, N. M., et al. (2005), Premonitory geochemical and geophysical signatures of volcanic unrest at Tenerife, Canary Islands. *Geophys. Res. Abstr.*, 7, 09993.
- Pérez N. M. et al. (2006). H₂O, CO₂, SO₂ and H₂S emission from Santa Ana (El Salvador) and Masaya (Nicaragua) volcanoes, Central America. GARAVOLCAN 2006, Garachico, Tenerife, May 22-26.
- Pérez N. M. (2006). Instituto Volcanológico de Canarias: ¿quién lo esta frenando? EL DIA, 3 de noviembre, p. 34, <http://www.eldia.es/2006-11-03/vivir/vivir8.htm>.
- Pérez N. M. y 32 firmantes más (2007a). Instituto Volcanológico de Canarias: 100 años de I + D (Ignorancia + Desidia). *Diario de Avisos*, 1 de noviembre, <http://www.diariodeavisos.com/diariodeavisos/content/237687/>.
- Pérez N. M. and Hernández P. A. (2007a). Earthquake forecasting research in active volcanic areas by means of diffuse CO₂ emission studies. In *Geochemical Precursors for Earthquakes*, Eds. Prasanta Sen and Nisith K. Das. Macmillan Advanced Research Series, 94-103.
- Pérez N. M. and Hernández P. A. (2007b). Comment on the Recent Unrest at Canary Islands' Teide Volcano?. *EOS American Geophysical Union Transactions*, 88, p. 46.
- Pérez, N. M. et al. (2007b). Precursory subsurface ²²²Rn and ²²⁰Rn degassing signatures of the 2004 seismic crisis at Tenerife, Canary Islands. *Pure and Applied Geophysics*, 164, DOI 10.1007/s00024-007-0280.
- Romero, C. (1990). Rasgos volcanomorfológicos de las erupciones históricas de Tenerife. *Jornadas de campo sobre Geomorfología volcánica*, Monografía nº 5, SEG: 173-196.
- Romero, C. (1991a). Las manifestaciones volcánicas históricas del Archipiélago Canario. S/C Tenerife, Consejería de Política Territorial. Gobierno de Canarias. Sta. Cruz de Tenerife. Dos volúmenes, 1407 pp.

- Romero, C. (1991b). La erupción de Timanfaya (1730-1736). Análisis documental y estudio geomorfológico. Secretariado de Publicaciones. Universidad de La Laguna. Sta. Cruz de Tenerife, 136 pp.
- Romero, C. (1992). Estudio geomorfológico de los volcanes históricos de Tenerife. Aula de Cultura de Tenerife. Excmo. Cabildo Insular de Tenerife. Sta. Cruz de Tenerife. 265 pp.
- Romero, C. (1997). Crónicas documentales sobre las erupciones de Lanzarote. Fundación Cesar Manrique. Lanzarote. Colección Torcusa, Madrid, 167 pp.
- Romero, C. (2000) Actividad volcánica histórica en las islas Canarias. En Curso Internacional de Volcanología y Geofísica Volcánica. Pág 115-128. Edits. Cientfs.: Mar Astiz y Alicia García. Serie Casa de Los Volcanes. Servicio publicaciones del Cabildo Insular de Lanzarote. Madrid.
- Romero, C. y Blertán, E. (2007): La erupción de Arenas Negras. Garachico, 1706, Evolución de un paisaje volcánico. Viceconsejería de Mediambiente. Gobierno de Canarias. Tenerife. 257 pág.
- Sagiya T. et al. Establishment of the Canary GPS Network and its initial results. Submitted to JVGR.
- Salazar P. et al. (2004). Continuous monitoring of CO₂ and H₂S emission in fumarola from Teide Volcano, Tenerife, Canary Island. IAVCEI General Assembly 2004.
- Salazar P. et al. (2005). Secular variations of soil H₂S efflux at Teide volcano, Tenerife, Canary Islands. Geophysical Research Abstracts, Vol. 7, 10096.
- Sansón Cerrato J. (1995). La protección civil ante el riesgo de erupciones volcánicas. En: Riesgo Volcánico (Ed. Ramón Ortiz), Serie Casa de los Volcanes, Cabildo Insular de Lanzarote, 5, 197-216.
- Smithsonian/USGS Weekly Volcanic Activity Report (2004). Report on Tenerife, May 12-18, 2004. Smithsonian's Global Volcanism Program and US Geological Survey, <http://www.volcano.si.edu/gvp/world/volcano.cfm?vnum=1803-03&VErupt=Y&VS>
- Stolper E. and Holloway J.R. (1988). Experimental determination of the solubility of carbon dioxide in molten basalt at low pressure, Earth. Plan. Science Lett. 87, 397-408.
- Villalba Moreno E. (2000). Catástrofes naturales en Canarias, riesgo y prevención. Diario de Avisos, 25 de noviembre, p.4. http://www.iter.es/pdf/medioambiente/2000_diarioda_villalba.pdf
- Villalba Moreno E. (2004). De augures de catástrofes a científicos salvadores. EL DIA, 22 de junio, <http://www.eldia.es/2004-06-22/criterios/criterios19.htm>
- Villalba Moreno E. (2005). Del tsunami de La Palma a la erupción de Tenerife., La Opinión de Tenerife, 21 de enero, p. 14. http://www.iter.es/pdf/pdf/medioambiente/2005_opinion_villalba.pdf
- Weber, K., et al. (2006), Ground-based remote sensing of gas emissions from Teide volcano (Tenerife, Canary Islands, Spain): First results, Proc. SPIE, 6362.

