

S04 *Bulkanologia*
Volcanología
Vulcanologia
Volcanology

Chairpersons:

Gabriela Queiroz

Joan Martí Molist

Joao Luis Gaspar

José López Ruiz

Aurkibidea/Índice/Índice/Index

Avances y mejoras en el monitoreo sísmico de Isla Decepción (Antártida)	
<i>Advances and improvement in seismic monitoring at Deception Island volcano (Antarctica)</i>	267
E. Carmona, J. Almendros, R. Martín, G. Cortés, G. Alguacil, J. Moreno, B. Martín, A. Martos, I. Serrano, D. Stich, J. M. Ibáñez	

Avances y mejoras en el monitoreo sísmico de Isla Decepción (Antártida) *Advances and improvement in seismic monitoring at Deception Island volcano (Antarctica)*

E. Carmona^(1,2), J. Almendros^(1,3), R. Martín⁽¹⁾, G. Cortés,⁽¹⁾ G. Alguacil^(1,3), J. Moreno⁽¹⁾, B. Martín⁽¹⁾, A. Martos⁽¹⁾, I. Serrano^(1,3), D. Stich^(1,3), J. M. Ibáñez^(1,3)

(1) Instituto Andaluz de Geofísica, Universidad de Granada, España. ecarmona@iag.ugr.es

(2) Departamento de Física Aplicada, Universidad de Almería, España.

(3) Departamento de Física Teórica y del Cosmos, Universidad de Granada, España.

SUMMARY

Deception Island (South Shetland Island, Antarctica) is an active volcano. It is also among the Antarctic sites most visited by tourists. Besides, there are currently two scientific bases operating during the austral summers, usually from late November to early March. For these reasons it is necessary a complete monitoring system. The IAG-UGR (Instituto Andaluz de Geofísica-Universidad de Granada) has been undertaking seismic monitoring since 1994 during austral summer surveys. The recorded data include volcano-tectonic earthquakes, long-period events and volcanic tremor, among others. In all these years there have been two seismovolcanic crises (1991-92 and 1999). The extreme conditions of Antarctic climate and the volcanic environment make it necessary introduced advances for optimize the seismic monitoring. We have introduced advances along four lines: (a) the seismic network has been improved by using three-component broadband stations, 24-bit data acquisition systems, and real-time data telemetry to a recording center “via wifi”; (b) seismic arrays have been improved making data readily available at the base computer in real time “via wifi” and reducing power consumption of the system; (c) development of specific software to simplify and automate event recognition tools, including the identification and classification of seismo-volcanic events and the apparent slowness estimates using seismic array data; and (d) deployment of a permanent seismic station near to the Spanish Base at Deception Island. These advances allow us to obtain higher quality seismic data and thus make a better interpretation of the seismo-volcanic activity at Deception Island, important to assess volcanic hazard there.

1. INTRODUCCIÓN

La Isla Decepción es un volcán activo localizado en el estrecho de Bransfield entre las Islas Shetland del Sur y la Península Antártica (Figura 1). Se encuentra en una compleja área de interacción tectónica entre las placas de Sud-América y la Antártida y las microplacas de Scotia, Drake e Islas Shetlands del Sur (Robertson-Maurice *et al.*, 2003). Está considerado como uno de los volcanes más activos de la Antártida con erupciones recientes en 1967, 1969 y 1970 (Smellie, 1988). Debido a que se trata de uno de los lugares más visitados de la Antártida por turistas y personal científico, es necesario establecer una monitorización volcánica precisa.

Desde 1986 se realiza monitorización sísmica durante los meses de verano austral. En concreto, el grupo de investigación del Instituto Andaluz de Geofísica, Universidad de Granada (IAG-UGR), junto con otros grupos de investigación, lleva realizando la labor de monitoreo y vigilancia sísmica desde 1994. La actividad sísmica que se registra es principalmente eventos de largo periodo (LP) y tremor volcánico, así como terremotos volcano-tectónicos (VT) (Ibáñez *et al.* 2003a). El nivel de actividad varía de una campaña a otra (Carmona *et al.* 2012), con dos periodos de máxima actividad sísmica durante las crisis volcano-tectónicas de 1992 y 1999 (Ibáñez *et al.* 2003b). Durante estos años y basados en la experiencia adquirida, se han introducido avances en el monitoreo sísmico con la instalación de una red sísmica de estaciones de tres componentes con adquisición en tiempo real de los datos por telemetría vía wifi; mejoras en las antenas sísmicas para el registro y análisis de las señales de largo periodo; el desarrollo de software para el reconocimiento automático de señales sísmicas; y el desarrollo e instalación de una estación permanente en la Isla Decepción para registrar de forma continua todo el año. Estos avances nos proporcionarán datos de mejor calidad y de esta forma interpretar y conocer mucho mejor la actividad sismo-volcánica de la Isla, fundamental para el estudio de la peligrosidad volcánica.

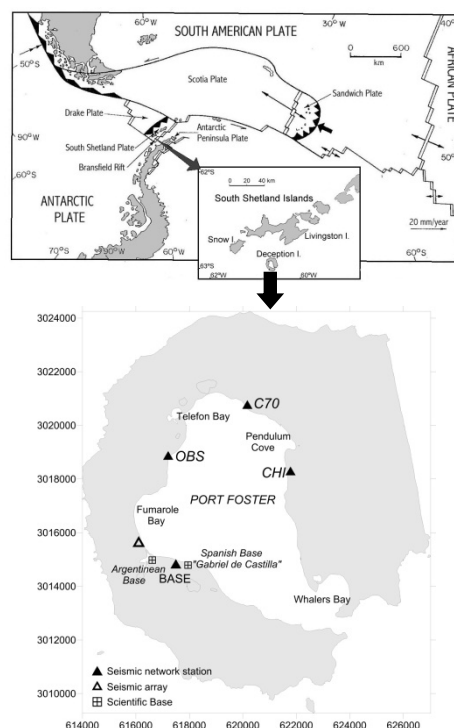


Figura 1 –Mapa tectónico que muestra la localización de la Isla Decepción en la región de las Shetland del Sur y mapa de la Isla Decepción donde se muestran las estaciones de la red sísmica y la antena sísmica. (Tectonic map showing the location of Deception Island in the South Shetland Islands region and map of Deception Island with the seismic network stations and seismic array position)

2. INSTRUMENTACIÓN Y DATOS

El monitoreo sísmico comenzó en Isla Decepción en los años 50 con la instalación de sismómetros en la base Argentina, pero fue interrumpido por las erupciones de finales de los años 60. Y fue a partir de 1986 cuando de nuevo, con la colaboración científica hispano-argentina, se vuelve a monitorear la Isla con estaciones de corto periodo (Vila *et al.* 1992; 1995; Ortiz *et al.* 1997).

Es a partir de 1994 cuando nuestro grupo de investigación (IAG-UGR) participa con la instalación de antenas sísmicas para estudiar y monitorear el volcán. Desde entonces y de manera continua estamos involucrados en la vigilancia sísmica del volcán (Almendros *et al.*, 1997, 1999; Alguacil *et al.*, 1999; Ibáñez *et al.*, 1997, 2000, 2003b; Carmona *et al.*, 2010, 2012). Las campañas sísmicas suelen durar de 3 a 4 meses en el verano antártico, cuando la Base Española Gabriel de Castilla está abierta.

Hasta 1999, básicamente el trabajo de monitorización de la Isla consistía en la instalación de antenas sísmicas de corta apertura y alguna estación autónoma. Las antenas sísmicas proporcionaban información de la lentitud aparente y el azimut de propagación del campo de ondas, especialmente para el estudio de los eventos LP y terremotos VT de baja energía. Estaban compuestas por un sistema de adquisición de 16-bits, 8 canales y muestreo de 200 muestras por segundo (Havskov and Alguacil, 2004). El registro sísmico se realizaba por medio de un algoritmo de detección STA/LTA. Los sismómetros eran Mark L15 o L28 de 4.5 Hz con respuesta extendida electrónicamente a 1 HZ. Además de las antenas sísmicas se utilizaba una estación de registro continuo con sensores Mark L4C de 1 Hz cerca de la Base Española, registrando en tiempo real y fundamental para la vigilancia sísmica del volcán.

Después de la crisis de 1999, se combinaban las antenas sísmicas con estaciones de corto periodo, donde estas últimas formaban una red sísmica. Ocasionalmente se utilizaban sensores de banda ancha, como los Guralp CM-40T. La red sísmica estaba formada por cuatro estaciones de componente vertical de corto periodo Mark L4C de 1 Hz. Las estaciones transmitían vía radio VHF a la base. En la base se recibía a través de un demodulador y un conversor A/D de 16 bits (Ortiz *et al.*, 1994). La transmisión vía radio estaba condicionada a que las condiciones climatológicas (sobre todo de viento) no fueran muy adversas.

Entre 2003 y 2005 se desarrolló un nuevo sistema de adquisición para las antenas sísmicas, con un conversor A/D de 24 bits, 12 canales y 100 muestras por segundo (Abril, 2007). El avance más importante, aparte del incremento del rango dinámico y el número de canales, fue poder registrar de forma continua, dando la posibilidad de estudiar y registrar señales de baja energía y tremor volcánico.

Los datos hasta el año 2000 se registraban localmente en los PC de campo y se descargaban de forma manual. Se utilizaban programas de software de diseño propio para la visualización de los datos y la adquisición de los mismos como el PICFASE (Guirao *et al.*, 1990) y el TAMBOR (Ortiz *et al.*, 1994). Con la adquisición de datos en continuo se hizo necesaria la utilización de programas más completos. Por este motivo se comenzó a utilizar el paquete de software SEISAN (Havskov and Ottemöller 1999). Este programa contiene rutinas para picar las fases, localizar terremotos, análisis espectral, estimar parámetros de fuente, etc. Además es capaz de leer y convertir distintos formatos de datos sísmicos (SEISAN, GSE, SEED/MINISEED, SAC, ASCII), así como de gestionar una base de datos. SEISAN es de acceso libre disponible en la Universidad de Bergen, Noruega (<http://www.geo.uib.no/Seismologi/SOFTWARE/>).

La labor de los sismólogos que trabajan en las campañas antárticas para el estudio de la actividad sísmica requiere una dedicación diaria con la labor de mantenimiento de las estaciones, la gestión de la base de datos y el posterior análisis de la actividad. La utilización de instrumentación y programas que mejoren y reduzcan el tiempo de análisis de los datos sísmicos es crucial para la vigilancia volcánica.

3. AVANCES Y MEJORAS DEL MONITOREO

Los avances más importantes dados en estos últimos años para la mejora en la vigilancia sísmica volcánica de la Isla Decepción han sido principalmente en cuatro aspectos: (1) la mejora de las estaciones de la red sísmica y la eficacia de la transmisión en tiempo real; (2) la mejora en la adquisición de las antenas sísmicas y su incorporación a la red sísmica para la vigilancia volcánica; (3) el desarrollo de software para la detección y análisis de las señales sísmicas en tiempo casi-real; (4) la instalación de una estación permanente en la Isla Decepción que permite obtener datos durante todo el año.

3.1 Red sísmica.

Uno de los pasos más importantes para el monitoreo de la Isla Decepción ha sido la modernización de la red sísmica. Hasta el año 2007, la red estaba compuesta por estaciones de corto periodo y transmisión vía radio. A partir del año siguiente se comenzó a instalar una nueva red sísmica con nuevas estaciones y transmisión wifi. Las estaciones se testearon durante la campaña 2008-2009 y se terminaron de instalar en la campaña 2009-2010.

Las nuevas estaciones están basadas en sistemas de adquisición de 24-bits SL04 SARA (Figura 2) muestreando a 100 muestras por segundo. El sistema utiliza un PC con Linux y un software de adquisición SEISLOG (Utheim and Havskov, 1999). Se utilizan dos tipos de sismómetros de tres componentes: sensores de corto periodo Mark L4C de 1 Hz de frecuencia natural y sensores medio-periodo Lennartz3D/5s con frecuencia natural de 0.2 Hz.

La designación de los lugares se ha realizado en base a la experiencia adquirida durante todos estos años y combinando interés científico y facilidad en la accesibilidad. Después de estudiar la actividad reciente, la mayor parte de ella ocurre en el NE de Port Foster (Ibáñez *et al.* 2000, 2003b), donde se ha propuesto la existencia de una cámara magmática (Zandomenighi *et al.* 2009). Las estaciones de la red están situadas cerca de la base española (BASE), en la playa de Obsidianas (OBS), en la zona cerca de los cráteres de las erupciones de 1970 (C70) y en el refugio de la base chilena, cerca de la bahía de Pendulo (CHI) (Figura 1).

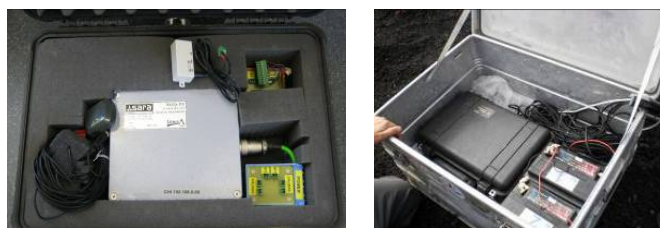


Figura 2 - (Izquierda) Sistema de adquisición en una maleta PELI. (Derecha) Instalación en el campo del sistema de adquisición SARA con dos baterías dentro de una caja de aluminio para su protección. (left) SARA data acquisition system embedded in a waterproof PELI case, showing the different connections and GPS antenna. (right) Field installation of the SARA acquisition system with two batteries within an aluminium box, for further protection.

Las estaciones están conectadas a una antena Wifi para la transmisión de datos en tiempo real a la Base Española. Se utilizan las antenas Ubiquiti Networks Nanostation2, con 2.4 GHz, polaridad dual y 10 dBi de ganancia (Figura 3). En la Base, la recepción se utiliza la misma antena. Se ha diseñado un circuito de corte con un umbral de voltaje para mantener independiente la alimentación de la estación sísmica y la transmisión de los datos por Wifi. De esta manera garantizamos que la estación siga operativa grabando datos independientemente de si los transmite o no a la Base.

La adquisición de los datos que llegan via Wifi a la Base se realiza a través de un programa SEISCOMP 2.6 (Seismological

Communication Processor by GFZ Postdam). Este software soporta la transmisión de las cuatro estaciones de la red, almacenando en formato miniseed los datos. Los sismogramas además se visualizan en tiempo real en un monitor que permite una rápida evaluación de la actividad sísmica para una eficiente vigilancia sismo-volcánica.

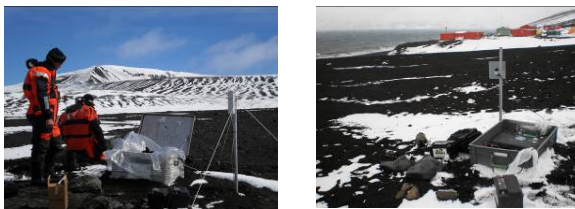


Figura 3. Estaciones de la red sísmica localizadas en la playa de Obsidianas (izquierda) y en la base española “Gabriel de Castilla” (derecha) durante la campaña 2010-2011. Views of the seismic network stations located at Obsidianas Beach (left) and the Gabriel de Castilla base (right) during the 2010-2011 survey.

3.2 Antenas sísmicas.

La instalación de las antenas sísmicas en volcanes activos es una de las herramientas más utilizadas para la monitorización y vigilancia volcánica. Nos proporcionan la estimación del vector lentitud aparente del campo de ondas. Las utilizamos desde 1994 para investigar las características de propagación y la estimación de la fuente de los eventos LP, del tremor volcánico y de los terremotos VT de baja magnitud. Desde 1994 hasta 2004, el sistema de adquisición era de 16-bits y ocho canales por antena. Desde 2004 hasta la actualidad, se ha mejorado el sistema de adquisición con 24-bits de resolución y aumentando a doce el número de canales por antena (Figura 4).

Entre las mejoras de las antenas sísmicas se encuentra la optimización en el consumo del sistema de adquisición reduciéndolo considerablemente. De esta forma se mejora el mantenimiento de las antenas, aumentando el tiempo de autonomía de las mismas. Además se está trabajando en un prototipo de antena sísmica que transmita los datos via Wifi a la Base y que se ha testado en la campaña 2011-2012. Este hecho permitirá utilizar los datos de las antenas sísmicas dentro de la red sísmica de la Isla Decepción.



Figura 4. Instalación de una antena sísmica en el área de Bahía Fumarolas (izquierda). La estaca indica la posición de uno de los sismómetros de 12 canales de la antena sísmica (derecha). (Installation of the seismic array data acquisition system in the Fumarole Bay area (Left). Reference stake indicating the position of one of the seismometers of the 12-channel seismic array deployed in the Fumarole Bay area (right))

3.3 Análisis de datos

Con la reciente red sísmica, con estaciones de tres componentes y grabaciones en continuo, el volumen de datos es elevado y se hace necesaria una buena organización de los mismos. Esta gestión de los datos se realiza con el programa SEISAN. Además de la organización de los datos, la labor principal de los sismólogos desplazados a la Isla es el análisis de la actividad. Este análisis debe

ser lo más exhaustivo y rápido posible para establecer parámetros de control para que la vigilancia volcánica sea lo más eficaz. Las tareas principales por parte de los sismólogos entre otras son: contar el número de eventos y realizar una distribución temporal; estudiar las características de las formas de onda y sus contenidos espectrales; distinguir el tipo de evento volcánico (VT, LP, Tremor) y encontrar su origen; estudiar el tremor volcánico, su contenido en frecuencia, su intensidad y duración; las características de la fuente, tamaño, localización, profundidad, etc.

Para mejorar las tareas de análisis se ha desarrollado un paquete de programas (llamado geoStudio) que es una interfaz gráfica de usuario para el análisis de datos sísmicos. Está escrito en Python/C por G. Cortés, J. Almendros, J. Ibáñez and J. Orozco-Rojas del IAG-UGR y es una multiplataforma de programas que se ejecutan en cualquier sistema operativo, incluso en un dispositivo móvil. Es capaz de leer distintos formatos de datos sísmicos (SEISAN, SAC, miniSEED, GSE2, RAW, etc.) y realizar operaciones básicas de procesamiento de datos (filtrado en frecuencia, corrección del offset, etc.). La interfaz gráfica permite diferentes tipos de

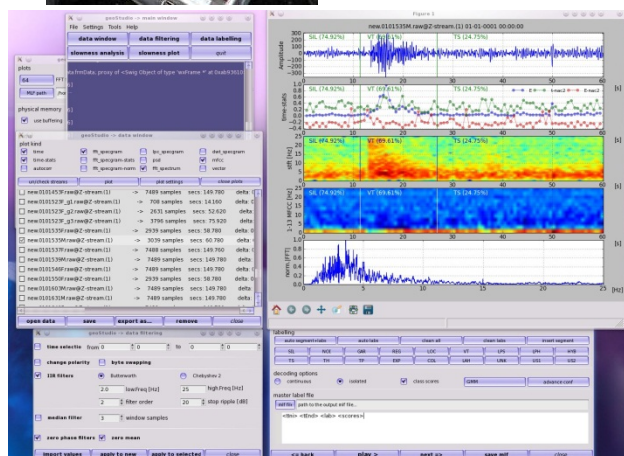


Figura 5. Pantalla del software para el reconocimiento automático de señales ejecutándose en el paquete geoStudio. (Screenshot of the software for the automatic signal recognition running under the GeoStudio package)

En nuestro caso, para la vigilancia volcánica las funciones más interesante que se han implantado recientemente en el programa geoStudio son (1) el reconocimiento automático de eventos sísmicos donde detecta, identifica y clasifica las señales sismo-volcánicas; y (2) una rutina para estimar en tiempo casi-real los vectores lentitud aparente de los registros de las antenas sísmicas.

El reconocimiento de señales sismo-volcánicas se utiliza para establecer alertas tempranas que permitan advertir del peligro de los volcanes activos. Es sabido que la evolución de los precusores de la actividad sísmica (Chouet 1996) junto con otras disciplinas geofísicas como el estudio de la deformación superficial, pueden predecir erupciones volcánicas. Desde hace unos años se lleva colaborando con el grupo de investigación de Geodesia y Geofísica de la Universidad de Cádiz que se encargan del estudio de la deformación en la Isla Decepción. Para el estudio de la actividad sísmica, desde 2002 el IAG-UGR junto con el Dept. de Teoría de la Señal, Telemática y Comunicaciones de la Universidad de Granada (TSTC-UGR) llevan trabajando en el reconocimiento de señales sismo-volcánicas para el monitoreo de volcanes (Figura 5). Se ha establecido una colección de datos de la Isla Decepción (Benítez *et al.* 2007), para testear y probar el programa, así como una colección de datos de otros volcanes del mundo (Benítez *et al.* 2009, Cortés *et al.* 2009 a,b). La herramienta de detección y clasificación

de los eventos sismo-volcánicos está basado en el “Hidden Markov Models” (HMM) y en el “Gaussian Mixture Models” (GMM).

El segundo bloque importante del programa está en la estimación automática del vector lentitud aparente de los datos que proporcionan las antenas sísmicas. Las rutinas de análisis están basadas en el método “zero-lag cross-correlation” (ZLCC) (Del Pezzo *et al.* 1997, Almendros *et al.* 1999). Gracias a las modificaciones de las antenas que permiten transmitir vía Wifi los datos en tiempo real, esta herramienta del geoStudio es de gran utilidad para ir calculando en tiempo casi-real (dependiendo de los parámetros de análisis) el vector lentitud aparente que nos proporcionará el azimut de propagación y la lentitud aparente, importante en el análisis de eventos LP, tremor y terremotos VT de baja energía.

El paquete de programas geoStudio está en un proceso continuo de mejoras donde se le van añadiendo nuevas herramientas y algoritmos para que el análisis de la actividad sismo-volcánica sea lo más efectiva y rápida posible.

3.3 Estación permanente.

El periodo de monitoreo sísmico de Isla Decepción siempre ha estado condicionado por la apertura de la base y la presencia física de personal de la misma. Este hecho limitaba de manera considerable el seguimiento de forma continua del volcán porque la adquisición se realizaba solo 3-4 meses, la duración de la campaña de verano austral. Este hecho cambió a raíz del Año Polar Internacional que a través de un proyecto se instaló en el año 2008 una pequeña red de estaciones de banda ancha en las Islas Shetlands del Sur y la Península Antártica. Estos tres emplazamientos fueron en las Bases Antárticas Españolas “Juan Carlos I” y “Gabriel de Castilla”, localizadas en la Isla de Livingston e Isla Decepción, y en la Base Argentina “Primavera” en Caleta Cierva en la Península antártica.

Las estaciones fueron instaladas en Febrero de 2008. Están compuestas por un sensor electrolítico de 16-s Eentec SP400 y un sistema de adquisición de 24-bit Eentec DR4000 y muestreo a 100 muestras por segundo.



Figura 6. Imágenes de la estación y los paneles solares y generadores eólicos de la estación permanente de Isla Decepción (*View of the solar panel and wind generators installed at the permanent seismic stations at Deception Island in February 2008*)

En el caso particular de la estación en Isla Decepción la estación se instaló cerca de la Base Española (Figura 1). La alimentación está ayudada por un sistema de paneles solares de alta eficiencia y generadores eólicos aunque estos últimos sufren mucho por el piroclasto y las elevadas ráfagas de viento que se producen en la Isla (Figura 6). Sin embargo, gracias al elevado número de baterías (10 baterías de 70 Ah) y los paneles solares, son suficientes para alimentar la estación durante el invierno austral y obtener datos durante los meses de invierno austral.

El hecho de tener datos durante todo el año de forma continua ha sido uno de los grandes avances en el monitoreo sismo-volcánico de la Isla Decepción. Este hecho nos ha permitido conocer nuevos

eventos y obtener interesante resultados sobre los procesos de los sistemas hidrotermales, donde la presencia de una gran número de eventos de largo periodo no solo se produce por la estacionalidad temporal del verano antártico o por el deshielo en días donde la temperatura es más alta de lo normal, sino que este aumento también se produce durante el invierno antártico. También se han obtenido resultados interesantes como la ocurrencia de largos episodios de tremor volcánico y la interacción entre los micro-movimientos oceánicos y los terremotos volcánicos (Stich *et al.*, 2011; Jiménez *et al.*, en preparación).

4. CONCLUSIONES

La Isla Decepción es uno de los volcanes más activos de la Antártida y uno de los más visitados por turistas. Además durante las campañas antárticas hay presencia de personal científico y militar durante 3-4 meses del verano austral. Por estas razones es necesario un eficiente sistema de monitoreo y la sismicidad volcánica es una de las disciplinas más utilizadas para la vigilancia volcánica. Nuestro grupo del IAG-UGR lleva trabajando desde 1994 con diferentes tipos de instrumentación con un continuo esfuerzo para mejorar la adquisición de la actividad sismo-volcánica.

Los avances más importantes han sido: (1) mejoras en la red sísmica con la implantación de la transmisión en tiempo real vía Wifi; (2) la incorporación de las antenas sísmicas a la red sísmica; (3) la automatización y simplificación en los procesos de clasificación de los eventos sismo-volcánicos y la estimación del vector lentitud aparente; (4) la instalación de una estación permanente.

Estas mejoras han permitido avanzar en el conocimiento de la actividad sismo-volcánica y sus procesos de generación. De todas formas se sigue avanzando sobre todo en dos direcciones: (1) en la reducción del consumo de las estaciones, para hacerlas lo más autónomas posibles; (2) la transmisión de los datos de las estaciones permanentes al IAG-UGR durante los meses de invierno. En este último punto, se ha comenzado a probar este sistema aprovechando la instalación y puesta en funcionamiento de la antena para la comunicación del satélite militar SpainSat. De esta forma, y utilizando el software SeisComp, es posible generar una imagen de 24 horas de la actividad de una estación sísmica y mandarla al IAG-UGR. Ya se ha testado durante la campaña 2011-2012 con resultados excelentes. De esta forma, se podría tener una ligera idea del nivel de actividad sísmica. Este hecho proporcionaría información previa de la actividad antes del comienzo de la campaña, conociendo de antemano si se está produciendo una reactivación del volcán o por el contrario los niveles de actividad son los adecuados para la apertura de la base Gabriel de Castilla.

AGRADECIMIENTOS

Queremos agradecer a todos los participantes de las campañas para el monitoreo sísmico del volcán de Isla Decepción y especialmente por su implicación a M. Abril, D. Zandomenghi, y R. Abella. Agradecer al apoyo logístico de la Armada y el Ejército de Tierra Español, a la Unidad de Tecnología Marina y al resto de instituciones involucradas en los proyectos del Programa Español de Investigación Antártica. Este trabajo ha sido posible gracias a las aportaciones de los proyectos POL2006-08663, CGL2007-28855, CTM2008-03062, CTM2009-07705, CTM2009-08085 y CTM2010-11740 del Ministerio de Ciencias e Innovación del Gobierno de España.

5. REFERENCIAS

- Abril, M., (2007): “Evolución, diseño y desarrollo de antenas sísmicas. Las antenas del Gran Sasso, del Vesubio y las nuevas antenas sísmicas portátiles del Instituto Andaluz de Geofísica. Aplicación a zonas tectónicas y volcánicas”, Tesis Doctoral, Universidad de Granada, España.
- Alguacil, G., Almendros, J., Del Pezzo, E., García, A., Ibáñez, J. M., La Rocca, M., Morales, J., and R. Ortiz (1999): “Observations of volcanic earthquakes and tremor at Deception Island, Antarctica”. *Annali di Geofisica* 3, 417-436.

- Almendros, J., Ibáñez, J. M., Alguacil, G., Del Pezzo, E., and R. Ortiz (1997): "Array tracking of the volcanic tremor source at Deception Island, Antarctica", *Geophys. Res. Lett.* **24**, 3069-3072.
- Almendros, J., Ibáñez, J. M., Alguacil, G., and E. Del Pezzo (1999): "Array analysis using circular wavefront geometry: An application to locate the nearby seismo-volcanic source", *Geophys. J. Int.* **136**, 159-170.
- Benítez, M. C., Ramírez, J., Segura, J. C., Ibáñez, J. M., Almendros, J., García-Yeguas, A., and G. Cortés (2007): "Continuous HMM-based seismic event classification at Deception Island, Antarctica", *IEEE Trans. Geosci. Rem. Sens.* **45**, 138-147.
- Benítez, M. C., Ibáñez, J. M., García, L., Cortés, G., and I. Álvarez (2009): "Analysis of volcanic seismicity at Deception Island, Stromboli volcano and Mt. Etna using an automatic CHMM-based recognition method", in *The VOLUME project - Volcanoes: Understanding subsurface mass Movement*, C. J. Bean, A. K. Braiden, I. Lokmer, F. Martini, G. S. O'Brien (eds.), ISBN 978-1-905254-39-2, pp. 140-149.
- Carmona, E., Almendros, J., Peña, J. A., and J.M. Ibáñez (2010): "Characterization of fracture systems using precise array locations of earthquake multiplets: An example at Deception Island volcano, Antarctica", *J. Geophys. Res.* **115**, B06309, doi: 10.1029/2009JB006865.
- Carmona, E., Almendros, J., Serrano, I., Stich, D., and J.M. Ibáñez (2012): "Results of seismic monitoring surveys at Deception Island Volcano (Antarctica), from 1999-2011", *Antarctic Science* **24**, doi: 10.1017/S0954102012000314.
- Chouet, B., (1996): "Long-period volcano seismicity: its source and use in eruption forecasting", *Nature* **380**, 309-316.
- Cortés, G., Arámbula, R., Gutiérrez, L. A., Benítez, C., Ibáñez, J. M., and P. Lesage, (2009a): "Evaluating robustness of an HMM-based classification system of volcano-seismic events at Colima and Popocatepetl volcanoes", *IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium*.
- Cortés, G., Arámbula, R., Álvarez, I., Benítez, M. C., Ibáñez, J. M., Lesage, P., González Amezcua, M., and G. Reyes Dávila (2009b): "Analysis of Colima, Popocatepetl and Arenal volcanic seismicity using an automatic CHMM-based recognition", in *The VOLUME project - Volcanoes: Understanding subsurface mass Movement*, C. J. Bean, A. K. Braiden, I. Lokmer, F. Martini, G. S. O'Brien (eds.), ISBN 978-1-905254-39-2, pp. 150-160.
- Del Pezzo, E., La Rocca, M., and J.M. Ibáñez (1997): "Observations of high-frequency scattered waves using dense arrays at Teide volcano", *Bull. Seism. Soc. Am.* **87**, 1637-1647.
- Guirao, J. M., Alguacil, G., Gómez, F., Vidal, F., and F. De Miguel (1990): "An automatic process for phase picking, location and magnitude estimation of local events", *Cahiers du Centre Européen de Géodynamique et de Séismologie* **1**, 55-64.
- Havskov, J., and L. Ottemöller (1999): "SEISAN, Earthquake Analysis Software for Windows, Sun and Linux: Manual and software", *Institute of Solid Earth Physics*, University of Bergen.
- Havskov J., and G. Alguacil (2004): "Instrumentation in Earthquake Seismology", *Modern approaches in Geophysics*, vol. **22**, Springer.
- Ibáñez, J. M., Morales, J., Alguacil, G., Almendros, J., Ortiz, R., and E. Del Pezzo (1997): "Intermediate focus earthquakes under South Shetland Islands, Antarctica", *Geophys. Res. Lett.* **24**, 531-534.
- Ibáñez, J. M., Del Pezzo, E., Almendros, J., La Rocca, M., Alguacil, G., Ortiz, R., and A. García (2000): "Seismo-volcanic signals at Deception Island volcano, Antarctica: wavefield analysis and source modelling", *J. Geophys. Res.* **105**, 13905-13931.
- Ibáñez, J. M., Almendros, J., Carmona, E., Martínez-Arévalo, C., and M. Abril (2003a): "The recent seismo-volcanic activity at Deception Island volcano", *Deep-Sea Res.* **II 50**, 1611-1629.
- Ibáñez, J. M., Carmona, E., Almendros, J., Saccorotti, G., Del Pezzo, E., Abril, M., and R. Ortiz (2003b): "The 1998-1999 seismic series at Deception Island volcano", *Antarctica, J. Volcan. Geotherm. Res.* **128**, 65-88.
- Jiménez, V., Almendros, J., and E. Carmona (2012): "Seismic monitoring at Deception Island volcano, Antarctica: Results from a permanent broadband seismometer", en preparación.
- Ortiz, R., Alguacil, G., Del Pezzo, E., and J.C. Olmedillas (1994): "Array modular de ocho canales", *Instrumentación en Volcanología II*, Ortiz, R. (editor), pp. 63-84, Servicio de Publicaciones del Cabildo de Lanzarote.
- Ortiz, R., García, A., Aparicio, A., Blanco, I., Felpeto, A., Del Rey, R., Villegas, M.T., Ibáñez, J.M., Morales, J., Del Pezzo, E., Olmedillas, J.C., Atiz, M., Vila, J., ramos, M., Viramonte, J.G., Risso, C., Caselli, A., (1997). Monitoring of the volcanic activity of Deception Island, South Shetland Islands, Antarctica (1986-1995), in *The Antarctic Region: Geological Evolution and Processes*, pp. 1071-1076.
- Robertson-Maurice, S. D., Wiens D. A., Shore P. J., Vera E., and L.M. Dorman (2003): "Seismicity and tectonics of the South Shetland Islands and Bransfield Strait from a regional broadband seismograph deployment", *J. Geophys. Res.* **108**, doi:10.1029/2003JB 002416.
- Smellie, J. L., (1988): "Recent observations on the volcanic history of Deception Island, South Shetland Islands", *British Antarctic Survey Bull.* **81**, 83-85.
- Stich, D., Almendros, J., Jiménez, V., Mancilla, F., and E. Carmona (2011): "Ocean noise triggering of rhythmic long-period events at Deception Island volcano", *Geophys. Res. Lett.* **38**, L22307, doi:10.1029/2011GL049671.
- Uthheim, T., and J. Havskov (1999): "The SeisLog Data Acquisition System, Version 8.1, manual", *Institute of Solid Earth Physics*, University of Bergen, Norway, 105 pp.
- Vila, J., Martí, J., Ortiz, R., García, A., and A.M. Correig (1992): "Volcanic tremors at Deception Island (South Shetland Islands, Antarctica)", *J. Volcan. Geotherm. Res.* **53**, 89-102.
- Zandomeneghi, D., Barclay, A., Almendros, J., Ibáñez, J. M., Wilcock, W. S. D., and T. Ben-Zvi (2009): "The crustal structure of Deception Island Volcano from P-wave seismic tomography: tectonic and volcanic implications", *J. Geophys. Res.* **114**, B06310, doi:10.1029/2008JB006119.

Egileen Aurkibidea/Índice de Autores/Índice de Autores/Autor Index

A		M	
Alguacil, G.....	267	Martín, B.	267
Almendros, J.	267	Martín, R.	267
C		Martos, A.....	267
Carmona, E.	267	Moreno, J.....	267
Cortés, G.	267	S	
I		Serrano, I.	267
Ibáñez, J. M.....	267	Stich, D.....	267

