

Avances en el Monitoreo Volcánico Instrumental en la República Argentina

Sebastian Garcia¹, Gabriela Badi^{1,2}, Victor Preatoni¹, Victoria Hipatia Olivera Craig¹, Fabricio Carbajal¹, Gemma Acosta¹, Augusto Casas³, Nicolas Vigide³, Pablo Forte³

¹ Observatorio Argentino de Vigilancia Volcánica (OAVV), SEGEMAR, Argentina – sebastian.garcia@segemar.gov.ar

² Departamento de Sismología, Facultad de Cs. Astronómicas y Geofísicas, Universidad Nacional de La Plata, Argentina

³ Observatorio Argentino de Vigilancia Volcánica (OAVV), SEGEMAR, CONICET, Argentina

Palabras clave: observatorio volcanológico, gestión del riesgo, alerta temprana.

Las erupciones volcánicas generalmente suelen estar precedidas por señales de “intranquilidad” (unrest) que pueden ser detectadas por redes de monitoreo instrumental. Algunas de esas señales, tales como sismos, aumento de la desgasificación o cambios en los sistemas hidrotermales, pueden ser detectadas por las comunidades locales u observadores casuales. Sin embargo, no todos los episodios de intranquilidad conducen a una erupción, razón por la cual las instituciones científico-técnicas calificadas deben analizar esta incertidumbre y asesorar a las autoridades civiles. Esto puede resultar particularmente desafiante si la instrumentación es limitada, así como quedó demostrado durante la erupción del volcán Copahue del año 2012 (Caselli et al., 2016).



► Fig. 1 - Erupción del volcán Copahue, provincia de Neuquén, Argentina, ocurrida el 22 de diciembre de 2012. A los pies del volcán, a aproximadamente 8 km, se encuentra ubicada la localidad turística de Caviahue (Fotografía de Nicolás Elguero).

Argentina presenta una situación particular con respecto al riesgo volcánico. Si bien la densidad poblacional e infraestructura en general es baja en

torno a los volcanes activos, existe distinto grado de exposición a los peligros volcánicos. En ciertas áreas, como el sur de la provincia de Mendoza o la Patagonia norte, se encuentran expuestas numerosas personas, áreas protegidas y actividades económicas, incluyendo el turismo. Probablemente, el desarrollo de estas actividades, así como el tamaño de las poblaciones, se incrementen en el futuro, aumentando de este modo la exposición a las amenazas de origen volcánico. Además, la situación particular del territorio argentino en relación con los patrones de circulación de los vientos genera que el país esté expuesto no sólo a la actividad de volcanes argentinos sino también a la dispersión y caída de cenizas de volcanes ubicados en Chile (Elissondo et al., 2016).

Los observatorios volcanológicos son instituciones o áreas específicas dentro de organismos (Servicios Geológicos, Universidades, Institutos de Investigación, Oficinas meteorológicas) cuya función es el monitoreo de los volcanes considerados activos y la generación de alertas técnicas tempranas. El fin de esto es lograr dar aviso anticipado a las autoridades y a la población, posibilitando salvaguardar la vida de las personas, y mitigar los impactos sobre las infraestructuras y economías regionales (Pallister et al., 2019).

Existen más de 100 observatorios volcanológicos en todo el mundo, muchos de ellos con responsabilidades sobre múltiples volcanes. Para cada país, la constitución exacta y las responsabilidades de un observatorio volcanológico pueden diferir, pero por lo general es la fuente de pronósticos autorizados sobre la actividad volcánica a corto plazo, así como del asesoramiento

científico sobre peligros volcánicos a autoridades y tomadores de decisiones. Por lo tanto, tienen un papel clave en el desarrollo de la resiliencia y, por ende, en la reducción del riesgo.

Los observatorios volcanológicos previenen sobre el nivel de actividad de un volcán a través de los sistemas de alerta temprana. Estos abarcan una serie de técnicas de comunicación desarrolladas por volcanólogos y responsables políticos para proporcionar información de los peligros volcánicos a las poblaciones en riesgo. La información sobre cuándo y dónde el volcán puede entrar en erupción; la magnitud, estilo y duración de la erupción; peligros probables e impactos esperables a escala local, regional y global, es crucial para los tomadores de decisiones. Uno de los elementos clave de un sistema de alerta temprana, y el más ampliamente difundido a través de los medios de comunicación, es el semáforo de niveles de alerta técnica volcánica.

En América Latina, durante la última década, Argentina junto con Bolivia, eran los únicos dos países con volcanes activos en su territorio que no contaban con observatorios volcanológicos permanentes (Forte et al., 2021). Esto adquiere particular relevancia si se considera que Argentina se encuentra entre los 10 primeros países con más volcanes activos en el mundo (Global Volcanism Program, 2013), así como las reiteradas erupciones que han afectado su territorio (Quizapu 1932; Isla Decepción 1967, 1969, 1970; Láscar 1986-1993; Hudson 1991; Chaitén 2008; Planchón-Peteroa 1991, 2011, 2018; Cordón Caulle 2011, Copahue 2012; Calbuco 2015), generando serios impactos sobre miles de personas y produciendo pérdidas económicas y materiales por millones de dólares (Elissondo et al., 2016; Caselli et al., 2016). A su vez, los registros estratigráficos evidencian la ocurrencia en el pasado de erupciones mayores, con capacidad de afectar a escala local, regional y hemisférica, como es el caso de la erupción riolítica de ~4410 BP del Complejo Volcánico Cerro Blanco (Báez et al., 2020).

No fue hasta el año 2017 que iniciaron oficialmente las actividades del Observatorio Argentino de Vigilancia Volcánica (OAVV). El observatorio se constituye como un área especializada del Servicio Geológico Minero Argentino (SEGEMAR) dedicada al estudio y monitoreo

de los volcanes cuya actividad pueda afectar al territorio argentino, y encargada de la generación y emisión de alertas técnicas sobre actividad volcánica de forma oficial dentro de la República Argentina. El OAVV es, al momento, el observatorio volcanológico más joven de América Latina (Forte et al. 2021, Garcia y Badi, 2021).

Desde su puesta en funcionamiento hasta la actualidad, el OAVV del SEGEMAR ha logrado instalar redes de monitoreo instrumental permanentes sobre 4 de los 38 volcanes considerados activos para la República Argentina: volcán Copahue y Lanín en la provincia de Neuquén, el Complejo Volcánico Laguna del Maule en el límite entre las provincias de Neuquén y Mendoza, y el Complejo Volcánico Planchón Peteroa en la provincia de Mendoza.

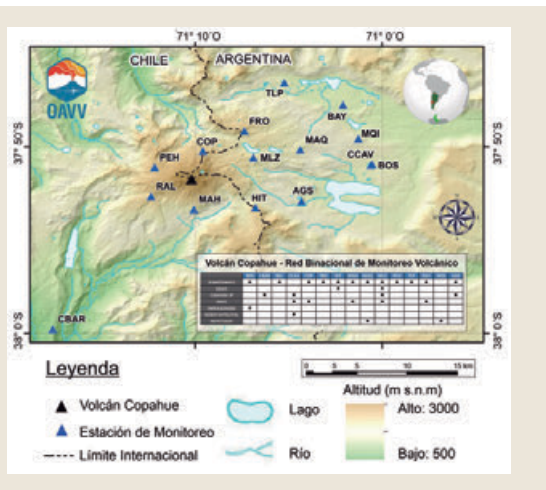
Volcán Copahue

El volcán Copahue es monitoreado desde el año 2012 por el Observatorio Volcanológico de los Andes del Sur (OVDAS) del Servicio Nacional de Geología y Minería de Chile (SERNAGEOMIN). Posterior a la erupción del año 2012 (Caselli et al., 2016), que derivó en la firma de un convenio binacional para el control, monitoreo y gestión de las erupciones volcánicas en la región fronteriza entre Chile y Argentina, la red de monitoreo se amplió al territorio argentino, añadiéndose seis nuevas estaciones multiparamétricas. Esto mejoró notablemente la cantidad y distribución de estaciones de monitoreo y permitió realizar un seguimiento mucho más detallado de la actividad de este volcán.

El acuerdo firmado representó un hito en materia de monitoreo y gestión del riesgo volcánico entre ambos países, y ha sentado bases sólidas para la cooperación entre SEGEMAR y SERNAGEOMIN (García y Badi, 2021). A su vez, este acuerdo posibilitó el intercambio en tiempo real de la información proveniente de las estaciones de monitoreo a ambos lados de la frontera.

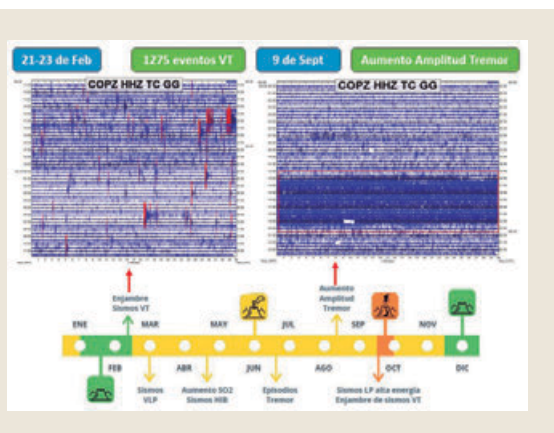
Durante el año 2020, en plena pandemia mundial de COVID-19, y ya con el OAVV consolidado en su funcionamiento, se amplió la red a partir de la firma de un convenio entre el SEGEMAR y la Provincia de Neuquén. Se incorporaron tres nuevas estaciones, conformando la configuración actual de la red de

monitoreo, con un total de 14 estaciones. Esto convirtió a Copahue en uno de los volcanes mejores monitoreados en el segmento de los Andes compartido entre Argentina y Chile (Fig.2).



► Fig. 2 – Mapa de la red binacional de monitoreo volcánico del volcán Copahue perteneciente al OAVV del SEGEMAR de Argentina y al OVDAS del SERNAGEOMIN de Chile.

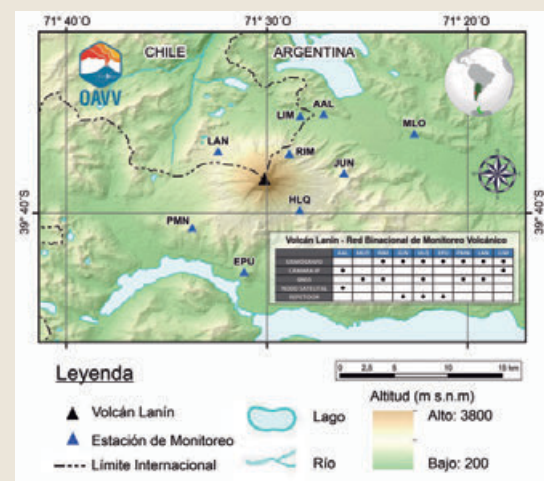
A la actualidad la red de monitoreo del volcán Copahue se encuentra conformada por doce estaciones sismológicas de banda ancha, cinco estaciones GNSS, cuatro cámaras IP, una cámara térmica, dos estaciones DOAS de medición de gases y una estación de infrasonido. Esta red permite la realización de un monitoreo de muy alto nivel, posibilitando la detección de patrones precursoros de actividad eruptiva y la consecuente generación de alertas técnicas volcánicas asociadas (Fig. 3).



► Fig. 3 – Variación de los niveles de alerta técnica para el volcán Copahue durante el año 2019, en base a la detección de parámetros precursoros a través del monitoreo volcánico instrumental.

Volcán Lanín

El volcán Lanín se encuentra monitoreado desde el año 2013 por el OVDAS. No obstante, debido a que el edificio volcánico se emplaza mayormente sobre territorio argentino, la red de monitoreo solamente contaba con dos estaciones, reduciendo la cobertura azimutal de la misma y por lo tanto la eficiencia del monitoreo. Esto quedó evidenciado durante el cambio en el nivel de alerta técnica ocurrido en febrero de 2017. Por primera vez en la historia desde que el volcán se encuentra monitoreado, la alerta técnica se elevó de verde a amarilla, producto de la ocurrencia de un enjambre sísmico. Debido al tamaño y configuración de la red, no fue posible realizar un análisis preciso de lo ocurrido.



► Fig. 4 – Mapa de la red binacional de monitoreo volcánico del volcán Lanín perteneciente al OAVV del SEGEMAR de Argentina y al OVDAS del SERNAGEOMIN de Chile.

Es por ello que desde el año 2021, y en continuidad de los trabajos realizados por el OAVV en conjunto con la Provincia de Neuquén y la Administración de Parques Nacionales (APN), se instaló por primera vez una red de monitoreo instrumental multiparamétrica sobre el sector argentino del volcán Lanín, conformando una nueva red binacional de monitoreo volcánico (Fig. 4).

Al día de la fecha, la red de monitoreo del volcán Lanín se encuentra conformada por siete estaciones sismológicas de banda ancha, cinco estaciones GNSS y tres cámaras IP (Fig. 5).



► Fig. 5 - Estación Epulafquen (EPU) perteneciente a la red binacional de monitoreo volcánico del volcán Lanín.

La ampliación de esta red ha permitido una mejor identificación y localización de las fuentes sísmogénicas asociadas a este volcán y por consecuencia una mejora significativa en el monitoreo volcánico llevado adelante.

Complejo Volcánico Laguna Del Maule

El Complejo Volcánico Laguna del Maule (CVLdM) se encuentra monitoreado desde el año 2011 por el OVDAS. Este complejo presenta un proceso de deformación sostenida desde el año 2007 mayor a 20 cm/año (Le Mével et al., 2021).

Complementariamente, se ha reconocido actividad sísmica principalmente relacionada a enjambres sísmicos tipo VT (volcano-tectónicos) de corta duración (0,5 a 3 h) y baja magnitud (< 3 ML), producto del fracturamiento de material rígido, con profundidades menores a 10 km (Cardona et al., 2018). Estos eventos se presentan agrupados en dos áreas principales. Una al suroeste de la laguna del Maule, en coincidencia con la zona de alzamiento y vinculada directamente a la intersección de la Falla Troncoso, de orientación NE-SO con el lineamiento laguna Fea, de orientación ONO-ESE y otra al sureste de la laguna del Maule, bajo el Subcomplejo Volcánico Cerro Barrancas (Cardona et al., 2018).

La existencia de una extensa red de monitoreo sobre territorio chileno desde el año 2011 posibilitó realizar un seguimiento pormenorizado de la evolución de la actividad interna de este volcán y la consecuente generación de alertas técnicas. Sin embargo, debido a la extensión del Complejo Volcánico y la cantidad y distribución de centros eruptivos asociados (Gho et al.,

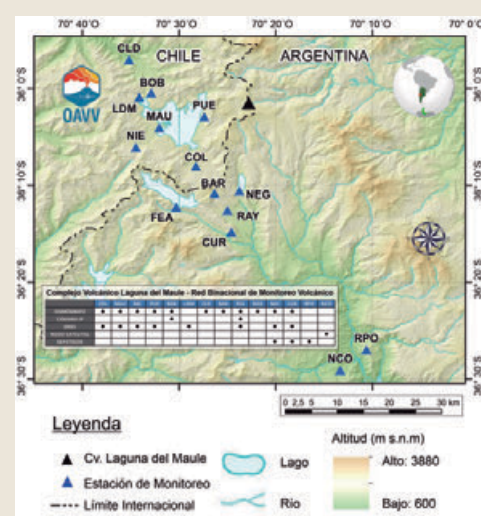
2019), la red de monitoreo no permitía la cobertura de la totalidad de los centros, excluyendo, por ejemplo, el Subcomplejo Volcánico Cerro Barrancas.

Es por ese motivo que durante el año 2021 el OAVV del SEGEMAR, en conjunto con la Provincia de Neuquén, instaló por primera vez una red de monitoreo instrumental multiparamétrica sobre el sector argentino del Complejo Volcánico Laguna del Maule, conformando una nueva red binacional de monitoreo volcánico (Fig. 6).



► Fig. 6 - Estación Epulafquen (EPU) perteneciente a la red binacional de monitoreo volcánico del volcán Lanín.

A la actualidad la red de monitoreo del CVLdM se encuentra conformada por doce estaciones sísmológicas de banda ancha, nueve estaciones GNSS, cuatro inclinómetros electrónicos y dos cámaras IP (Fig. 7).



► Fig. 7 - Estación Laguna Fea (FEA) perteneciente a la red binacional de monitoreo volcánico del CVLdM.

Con la ampliación de la red a territorio argentino, el Complejo Volcánico Laguna del Maule se ha convertido en otro de los volcanes mejores monitoreados en la cordillera de los Andes, en el límite internacional entre Argentina y Chile.

Complejo Volcánico Planchón Peteroa

El Complejo Volcánico Planchón Peteroa se encuentra monitoreado desde el año 2010 por el OVDAS y desde el año 2016 por el OAVV. Esta red ha permitido realizar el seguimiento de los últimos periodos eruptivos de 2010-2011 (Haller y Risso 2011) y de 2018-2019 (Forte et al., 2022) de dicho complejo volcánico.

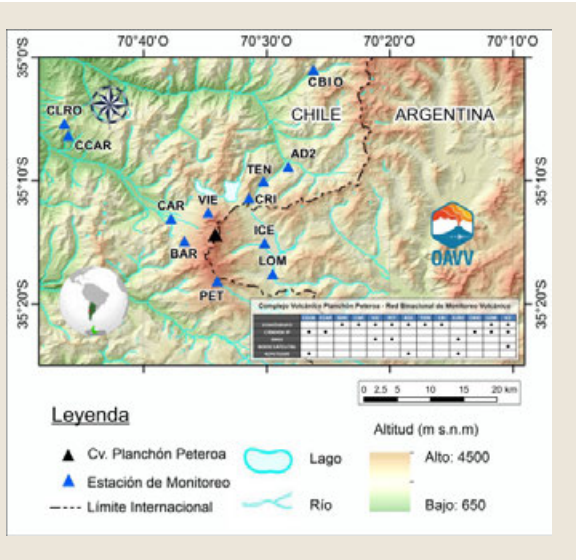
A la actualidad, la red de monitoreo del Complejo Volcánico Planchón Peteroa presenta un amplio desarrollo sobre el territorio chileno y unas pocas estaciones sobre territorio argentino. La red se encuentra conformada por nueve estaciones sismológicas de banda ancha (solamente dos de OAVV), tres estaciones GNSS, un inclinómetro electrónico y cuatro cámaras IP (Fig. 8).

Para el año 2023, se encuentra planificada la ampliación de la red de monitoreo sobre el territorio argentino. La misma contempla la instalación de un total de cinco nuevas estaciones multiparamétricas, incluyendo: cinco sismógrafos de banda ancha, tres estaciones GNSS, una cámara IP y dos estaciones DOAS de medición de gases.

Generación De Alertas Técnicas

A partir de la información recibida de las distintas redes instrumentales instaladas, los profesionales del OAVV realizan el monitoreo 24/7, utilizando las principales metodologías aplicadas al monitoreo volcánico a nivel mundial, incluyendo: Sismología, Geodesia y Geoquímica.

A partir de la información procesada se emiten las alertas técnicas a través del Sistema Nacional de Alerta y Monitoreo de Emergencias (SINAME) del Sistema Nacional para la Gestión Integral del Riesgo (SINAGIR) (Fig. 9) y se generan los Reportes de Actividad Volcánica (RAV) y Reportes Especiales de Actividad Volcánica (REAV), que son publicados en el sitio web del OAVV (<https://oavv.segemar.gov.ar/>).



► Fig. 8 - Mapa de la red binacional de monitoreo volcánico del Cv. Planchón Peteroa, perteneciente al OAVV del SEGEMAR de Argentina y al OVDAS del SERNAGEOMIN de Chile.

COLOR DE ALERTA	ESTADO DE ACTIVIDAD	SITUACIÓN DEL VOLCÁN	ESCENARIO POSIBLE	RECOMENDACIONES A LA POBLACIÓN
ALERTA ROJA	Explosión mayor o refugio en el cono. Reporte de Actividad Volcánica alta o por fase.	• Actividad volcánica crítica con presencia de flujos o lavas y cenizas. • Programación de evacuación y evacuación. • Aumento de frecuencia y volumen de flujos de lava. • Presencia de bombas de cenizas y proyección lateral. • Presencia de explosiones de flujos de lava (fumaroles) y explosiones de flujos de lava (fumaroles).	Problemas asociados al desarrollo o sostenimiento de lavas muy calientes de gran volumen. La lava podría ser explosiva o volátil cuando se encuentre en un cono o ventanillo. Posible explosión lateral o explosión de flujos de lava. Posible generación de bombas de cenizas y proyección lateral. Posible explosión de flujos de lava (fumaroles) y explosión de flujos de lava (fumaroles). El tiempo de respuesta y evacuación es muy corto.	• Mantenerse continuamente informado sobre la actividad del volcán. • Evacuarse inmediatamente si se ordena por las autoridades de Protección Civil. • Evacuarse por las rutas de evacuación. • Dirigirse a los puntos seguros de acuerdo a los planes de emergencia.
ALERTA NARANJA	Problemas asociados al desarrollo o sostenimiento de lavas muy calientes de gran volumen. Posible explosión lateral o explosión de flujos de lava (fumaroles) y explosión de flujos de lava (fumaroles). Reporte de Actividad Volcánica alta.	• Actividad volcánica crítica con presencia de flujos o lavas y cenizas. • Aumento de frecuencia y volumen de flujos de lava. • Presencia de bombas de cenizas y proyección lateral. • Presencia de explosiones de flujos de lava (fumaroles) y explosiones de flujos de lava (fumaroles). • Posibilidad de generación de flujos de lava (fumaroles) y explosiones de flujos de lava (fumaroles). • Riesgo de explosión lateral.	Variaciones significativas en el desarrollo del proceso volcánico durante el avance de los lavas o en los cambios de régimen. No se pueden descartar explosiones laterales o explosiones de flujos de lava. Posible generación de bombas de cenizas y proyección lateral. Posible explosión de flujos de lava (fumaroles) y explosión de flujos de lava (fumaroles). El tiempo de respuesta y evacuación es muy corto.	• Mantenerse alerta y seguir las indicaciones que emitan las autoridades de Protección Civil. • Evacuarse por las rutas de evacuación y dirigirse a los puntos seguros de acuerdo a los planes de emergencia. • Evacuarse por las rutas de evacuación. • Dirigirse a los puntos seguros de acuerdo a los planes de emergencia.
ALERTA AMARILLA	Continúa en el desarrollo de la actividad volcánica. Reporte de Actividad Volcánica normal.	• Actividad volcánica crítica con presencia de flujos o lavas y cenizas. • Aumento de frecuencia y volumen de flujos de lava. • Presencia de bombas de cenizas y proyección lateral. • Presencia de explosiones de flujos de lava (fumaroles) y explosiones de flujos de lava (fumaroles). • Posibilidad de generación de flujos de lava (fumaroles) y explosiones de flujos de lava (fumaroles). • Riesgo de explosión lateral.	Variaciones en los niveles de los parámetros monitoreados de los registros indican que el sistema está por encima de su nivel de base y que el sistema de monitoreo podría estar experimentando un desarrollo de actividad. Posible generación de bombas de cenizas y proyección lateral. Posible explosión de flujos de lava (fumaroles) y explosión de flujos de lava (fumaroles). El tiempo de respuesta y evacuación es muy corto.	• Mantenerse alerta y seguir las indicaciones que emitan las autoridades de Protección Civil. • Evacuarse por las rutas de evacuación y dirigirse a los puntos seguros de acuerdo a los planes de emergencia. • Evacuarse por las rutas de evacuación. • Dirigirse a los puntos seguros de acuerdo a los planes de emergencia.
ALERTA VERDE	Trabaja Activo, con un comportamiento normal. Reporte de Actividad Volcánica normal.	• Actividad volcánica crítica con presencia de flujos o lavas y cenizas. • Aumento de frecuencia y volumen de flujos de lava. • Presencia de bombas de cenizas y proyección lateral. • Presencia de explosiones de flujos de lava (fumaroles) y explosiones de flujos de lava (fumaroles). • Posibilidad de generación de flujos de lava (fumaroles) y explosiones de flujos de lava (fumaroles). • Riesgo de explosión lateral.	El volcán puede presentar un estado base que caracterice el período de reposo o actividad. Posible explosión lateral o explosión de flujos de lava. Posible generación de bombas de cenizas y proyección lateral. Posible explosión de flujos de lava (fumaroles) y explosión de flujos de lava (fumaroles). El tiempo de respuesta y evacuación es muy corto.	• Mantenerse alerta y seguir las indicaciones que emitan las autoridades de Protección Civil. • Evacuarse por las rutas de evacuación y dirigirse a los puntos seguros de acuerdo a los planes de emergencia. • Evacuarse por las rutas de evacuación. • Dirigirse a los puntos seguros de acuerdo a los planes de emergencia.

► Fig. 9 - Niveles de alerta técnica volcánica para la República Argentina emitidos por el OAVV

Futuros Trabajos

Para los próximos tres años, se pretende avanzar con el proyecto de implementación del OAVV (ver García y Badi, 2021). Para fines de 2022, se planea la instalación de las primeras redes existentes en los volcanes Tromen y Domuyo, en la provincia de Neuquén. Posteriormente, durante 2023, se planea avanzar con la ampliación de la red del Complejo Volcánico Planchón-Peteroa y la instalación de una red permanente en la Isla Decepción en Antártida. Por último, para los años 2024/2025 se llevará adelante la

instalación de redes instrumentales en los volcanes Maipo, San José y Tupungatito en la Provincia de Mendoza.

Lo expuesto en este trabajo evidencia el avance realizado en materia de monitoreo volcánico y gestión de los riesgos volcánicos en la República Argentina. Desde la puesta en funcionamiento del OAVV hasta la actualidad se ha trabajado de manera sostenida y progresiva, sentando bases sólidas sobre las cuales construir a futuro y avanzar en el establecimiento de un sistema de alerta temprana volcánica moderna para el país.

AGRADECIMIENTOS

Se agradece a las autoridades del SEGEMAR por el apoyo constante y a todos los organismos, instituciones y grupos científicos a nivel nacional e internacional que apoyan el desarrollo de esta importante tarea.

REFERENCIAS

- ▶ Báez, W., Bustos, E., Chiodi, A., Reckziegel, F., Arnosio, M., De Silva, S., Giordano, G., Viramonte, J., Sampietro-Vattuone, M., Peña-Monné, J., 2020. "Eruptive style and flow dynamics of the pyroclastic density currents related to the Holocene Cerro Blanco eruption (Southern Puna plateau, Argentina)". *Journal of South American Earth Sciences* 98, pág. 102482. issn: 0895-9811. doi: 10.1016/j.jsames.2019.102482.
- ▶ Caselli, A.T., Agosto, M., Velez, M.L., Forte, P., Bengoa, C., Daga, R., Albite, J.M., Capaccioni, B., 2016. The 2012 eruption. In: Tassi, F., Vaselli, O., Caselli, A.T. (Eds.), *Copahue Volcano, Active Volcanoes of the World*. Springer, Berlin, Heidelberg, pp. 61-77. https://doi.org/10.1007/978-3-662-48005-2_3.
- ▶ Cardona, C., Tassara, A., Gil-Cruz, F., Lara, L., Morales, S., Kohler, P., Franco, L., 2018. Crustal seismicity associated to rapid surface uplift at Laguna del Maule Volcanic Complex, Southern Volcanic Zone of the Andes. *J Volcanol Geotherm Res* 353:83-94
- ▶ Elissondo, M., Baumann, V., Bonadonna, C., Pistolesi, M., Cioni, R., Bertagnini, A., Biass, S., Herrero, J. C., Gonzalez, R., 2016. "Chronology and impact of the 2011 Cordón Caulle eruption, Chile". *Natural Hazards and Earth System Sciences* 16(3), págs. 675-704. doi: 10.5194/nhess-16-675-2016.
- ▶ Elissondo, M., Farías C., 2016. "Volcanic risk assessment in Argentina". *Cities on Volcanoes 9: Understanding Volcanoes and Society - The Key for Risk Mitigation*. Puerto Varas.
- ▶ Haller, M., Risso, C., 2011. La erupción del volcán Peteroa (35°15'S, 70°18'O) del 4 de septiembre de 2010. *Revista de la Asociación Geológica Argentina* 68: 295-305.

- ▶ Forte, P., Rodríguez, L., Paz, M. P. J., García, L. C., Segura, Y. A., Bustos, E., Moya, C. P., Espinoza, E., Vallejo, S., Agosto, M., 2021. Volcano monitoring in Latin America: taking a step forward. *Volcanica* (S1), págs. vii-xxxiii. doi: 10.30909/vol.04.S1.viixxxiii.
 - ▶ Forte, P., Ramires, A., De Abrantes, L., Llano, J., Dominguez, L., Carbajal, F., García, S., Sruoga, P., Bonadonna, C., 2022. La erupción no será transmitida: características, impactos y asistencia durante el ciclo eruptivo 2018-2019 del volcán Peteroa, Argentina. *Revista De La Asociación Geológica Argentina*, 79(1), 47-71.
 - ▶ García, S., Badi, G., 2021. "Towards the development of the first permanent volcano observatory in Argentina". *Volcanica* 4(S1), págs. 21-48. doi: 10.30909/vol.04.S1.2148.
- Global Volcanism Program, 2013. *Volcanoes of the World*, v. 4.11.0 (08 Jun 2022). Venzke, E (ed.). Smithsonian Institution. Downloaded 22 Jul 2022. <https://doi.org/10.5479/si.GVP.VOTW4-2013>.
- ▶ Gho, R., Sruoga, P., Amigo, A., Fierstein, J., Elissondo, M., Kaufman, J., Toloza, V., Calderón, R., 2019. Peligros del Complejo Volcánico Laguna del Maule, Argentina y Chile. Servicio Nacional de Geología y Minería – Servicio Geológico Minero Argentino. *Publicación Geológica Multinacional*, 8. En prensa.
 - ▶ Le Mével, H., Córdova, L., Cardona, C., 2021. Unrest at the Laguna del Maule volcanic field 2005–2020: renewed acceleration of deformation. *Bull Volcanol* 83, 39. <https://doi.org/10.1007/s00445-021-01457-0>
 - ▶ Pallister, J., Papale, P., Eichelberger, J., Newhall, C., Mandeville, C., Nakada, S., Marzocchi, W., Loughlin, S., Jolly, G., Ewert, J., Selva, J., 2019. "Volcano observatory best practices (VOBP) workshops - a summary of findings and best-practice recommendations". *Journal of Applied Volcanology* 8(1). doi: 10.1186/s13617-019-0082-8.