

Monitoreo volcánico en América Latina: un paso adelante

Pablo Forte^{*α,β}, Lizzette Rodríguez^γ, Mariana Patricia Jácome Paz^δ, Lizeth Caballero García^ε, Yemerith Alpizar Segura^ζ, Emilce Bustos^η, Constanza Perales Moya^θ, Eveling Espinoza^ι, Silvia Vallejo^κ, Mariano Augusto^{α,β}

^αInstituto de Estudios Andinos (IDEAN) (UBA – CONICET), Buenos Aires, Argentina.

^βGESVA, Dpto. Cs. Geológicas, FCEN, Universidad de Buenos Aires, Buenos Aires, Argentina.

^γDepartamento de Geología, Universidad de Puerto Rico, Mayagüez., Puerto Rico.

^δInstituto de Geofísica. Universidad Nacional Autónoma de México, UNAM. CDMX, México.

^εFacultad de Ciencias. Universidad Nacional Autónoma de México, UNAM. CDMX, México.

^ζUniversidad Técnica Nacional (UTN), Costa Rica.

^ηInstituto de Bio y Geociencias del NOA (IBIGEO, UNSa-CONICET), Av. 9 de Julio 14, A4405BBA Salta, Argentina.

^θServicio Nacional de Geología y Minería, Red Nacional de Vigilancia Volcánica, Teatinos 50, Santiago, Chile.

^ιInstituto Nicaragüense de Estudios Territoriales, INETER. Frente al Hospital Solidaridad, Av. Xolotlán, Managua, Nicaragua.

^κInstituto Geofísico, Escuela Politécnica Nacional del Ecuador, Quito, Ecuador.

RESUMEN

El monitoreo del estado de los volcanes activos es un componente fundamental de las estrategias para la reducción del riesgo volcánico. En gran medida, estas responsabilidades recaen en los observatorios volcánicos. A partir de los 11 *Reportes* que constituyen este Número Especial “Observatorios volcanológicos en América Latina” – brindamos un detallado resumen del trabajo llevado adelante por los observatorios en Latinoamérica, una región con decenas de millones de personas expuestas a la actividad volcánica. Desde sus primeros pasos a principios de 1980, los observatorios volcanológicos de la región han logrado avances significativos en la evaluación y vigilancia de la actividad volcánica. Actualmente, 17 instituciones contribuyen oficialmente al monitoreo de 135 volcanes en 10 países. Junto con las mejoras en sus capacidades instrumentales, técnicas y operativas, se produjeron avances también en la evaluación y comunicación de peligros a largo plazo. A pesar del avance logrado, aún persisten desafíos y factores limitantes, como la falta de recursos económicos y oportunidades de capacitación. Los esfuerzos futuros deben centrarse en aumentar el número y la calidad de las redes de monitoreo.

This article is available in English at: <https://doi.org/10.30909/vol.04.S1.viixxxiii> [PDF EN].

1 INTRODUCCIÓN

América Latina es una región con numerosos volcanes activos junto con grandes poblaciones expuestas a los peligros que estos presentan. Erupciones recientes ocurridas en la región, como las de Chaitén (2008–2010, Chile), Cordón Caulle (2011–2012, Chile), Calbuco (2015, Chile), Fuego (2018, Guatemala) y Ubinas (2019, Perú) han demostrado el impacto de la actividad volcánica en las sociedades modernas [e.g. Craig et al. 2016; Elissondo et al. 2016; Reckziegel et al. 2016; CONRED 2018]. En este complejo escenario, resulta esencial monitorear y comprender el comportamiento de los volcanes para delimitar, así, los peligros volcánicos y evaluar o mitigar el riesgo asociado. Los observatorios volcanológicos son instituciones desarrolladas para identificar, monitorear y quizás pronosticar la ocurrencia de erupciones volcánicas [Pallister et al. 2019; Lowenstern y Ewert 2020]. En muchos casos, estas instituciones también son responsables de evaluar y comunicar los peligros volcánicos, junto con desarrollar programas educativos y de divulgación. En consecuen-

cia, los observatorios volcanológicos son un componente clave en el desarrollo de estrategias para la reducción del riesgo de desastres.

Aunque los primeros observatorios volcanológicos del mundo se fundaron hace más de cien años –e.g. *Osservatorio Vesuviano* (Italia) en 1841, *Hawaiian Volcano Observatory* (EE. UU.) en 1912– en Latinoamérica estas instituciones son relativamente jóvenes y, en muchos casos, sus creaciones ocurrieron como consecuencia de una crisis volcánica o un desastre. Por ejemplo, la creación del primer observatorio volcanológico en Colombia –ahora llamado Observatorio Vulcanológico y Sismológico de Manizales (SGC-OVSM)– tuvo lugar en 1986, luego de la erupción del Nevado del Ruiz de 1985 y el lahar asociado que enterró la ciudad de Armero y mató a más de 20000 personas [ver Gómez Martínez et al. 2021, este número]. A pesar de su relativa juventud, los observatorios volcanológicos en la región han crecido a gran ritmo, mejorando rápidamente sus capacidades técnicas y científicas. Sin embargo, esto no sucedió sin enfrentar numerosas dificultades, algunas de las cuales aún persisten. Esta es la historia que narra este Número Especial: “Observatorios volcanológicos en

*Autor de correspondencia: fortep@gl.fcen.uba.ar

América Latina.”

Este Número Especial representa un esfuerzo de colaboración sin precedentes entre científicos, observatorios volcanológicos, la Asociación Latinoamericana de Volcanología* (ALVO) y la revista científica *Volcanica* [ver [Chevrel et al. 2021](#), Editorial: este número] para resumir y compartir con la comunidad (científica) el trabajo que realizan las instituciones de monitoreo de volcanes en América Latina. Por primera vez, todos los observatorios volcanológicos de la región –desde México hasta el Cono Sur– convergieron en un solo proyecto. Frecuentemente sobrecargados por las responsabilidades diarias de vigilancia, la publicación en revistas científicas no se encuentra, generalmente, en la parte superior de la lista de prioridades de estas instituciones. Esto convierte este Número Especial en una oportunidad única para aprender sobre estas instituciones.

Otro hito importante de este proyecto es el formato bilingüe de las publicaciones, con versiones en inglés y español[†]. Guiados por el compromiso de *Volcanica* de eliminar barreras y hacer la ciencia más accesible [[Farquharson y Wadsworth 2018](#)], y el entusiasmo de ALVO por promover la volcanología latinoamericana, esperamos que este formato innovador contribuya a llegar a una audiencia más amplia. Este prefacio enmarca los 11 *Reportes* que constituyen este Número Especial. Aquí, proporcionamos al lector una descripción general de los temas cubiertos en los diferentes *Reportes*. Resumimos y contextualizamos la información en esos *Reportes*, con el fin de evaluar el estado actual del monitoreo volcanológico en América Latina.

2 VOLCANISMO ACTIVO EN AMÉRICA LATINA

América Latina es una de las regiones volcánicas más activas del mundo. A pesar de que existe más de una definición posible, en este Número Especial se considera Latinoamérica a la región de América compuesta por los 19 países donde el español o el portugués son los idiomas dominantes. Esto excluye, por lo tanto, a los volcanes activos del Caribe emplazados en países de habla inglesa, francesa o neerlandesa. Según [Delgado Granados et al. \[2015b\]](#), al menos 1265 erupciones con un Índice de Explosividad Volcánica (VEI, por sus siglas en inglés) ≥ 2 han ocurrido durante el Holoceno en Latinoamérica. Además, [Delgado Granados et al. \[2015b\]](#) informaron una tasa de 4.5 erupciones por año durante los últimos 150 años. Aunque la mayoría de las erupciones holocenas fueron VEI ≤ 3 (~85%), los registros estratigráficos también muestran eviden-

cia de erupciones mayores, con capacidad de afectar a escala local, regional y hemisférica. Una de las erupciones del Holoceno más grandes del mundo, la erupción riolítica de ~4410 BP de Cerro Blanco en los Andes Centrales (Puna argentina), emitió $> 100 \text{ km}^3$ de tefra, cubriendo una amplia zona de Argentina, Paraguay y Brasil [[Fernandez-Turiel et al. 2019](#); [Báez et al. 2020](#)]. Otro ejemplo es la erupción explosiva del volcán Huaynaputina en 1600 CE, en el sur de Perú. Esta es considerada la erupción histórica más grande de América del Sur, con un total de 13–14 km^3 de tefra tapizando vastas áreas del sur y centro-oeste de Perú, el oeste de Bolivia y el norte de Chile [[Prival et al. 2020](#)].

2.1 ¿Dónde están los volcanes activos?

El volcanismo en Latinoamérica se concentra principalmente a lo largo del margen Pacífico ([Figura 1](#)). De acuerdo a lo reportado por los observatorios volcanológicos en este Número Especial, existen 302 centros volcánicos activos en la región (i.e. que han hecho erupción en los últimos 10000 años). Esto incluye complejos volcánicos, estratovolcanes, calderas y campos monogenéticos. Un resumen de su distribución por país se muestra en la [Figura 2](#).

En Sudamérica, la actividad volcánica tiene lugar principalmente en la Cordillera de los Andes, una cadena montañosa continua de $>7500 \text{ km}$ de longitud, que se extiende desde el extremo sur de Argentina y Chile hasta Venezuela, en el norte. Sin embargo, no toda la cordillera andina es volcanológicamente activa. El volcanismo ocurre en cuatro regiones separadas, conocidas como Zona Volcánica Norte (ZVN; $5^\circ \text{ N} - 2^\circ \text{ S}$), Central (ZVC; $14 - 27^\circ \text{ S}$), Sur (ZVS; $33 - 46^\circ \text{ S}$) y Austral (ZVA; $49 - 55^\circ \text{ S}$) [[Stern, 2004](#)]. Las primeras tres están relacionadas con la subducción de la placa de Nazca bajo la placa Sudamericana, mientras que la ZVA resulta de la subducción de la placa Antártica. La segunda fuente de volcanismo en Sudamérica es el punto caliente de Galápagos, representado por los 22 volcanes que le dan forma al Archipiélago de Galápagos [[Ramón et al. 2021](#), este número].

En Centroamérica, la mayoría de los volcanes activos están localizados al norte de la Cordillera de Talamanca (sur de Costa Rica) y resultan de la subducción de la placa de Cocos bajo la placa del Caribe. El Arco Volcánico Centroamericano (AVC) se extiende por más de 1000 km, desde el centro de Costa Rica hasta la frontera entre Guatemala y México. Los volcanes a lo largo del AVC delimitan una serie de segmentos lineales de 100 a 300 km, con un espaciado promedio de 27 km [[Carr et al. 2003](#)]. Al sur de la dorsal de Cocos, la actividad volcánica es escasa y existe controversia entre los científicos en relación a si la región debería ser considerada parte del AVC [[Carr et al. 2003](#); [Wegner et al. 2011](#)]. La única evidencia confirmada de volcanismo holoceno en esta región está asociada al volcán Barú, en el oeste de Panamá. Su última erupción conocida ocu-

*Una detallada descripción sobre la historia y objetivos principales de ALVO es provista por [Delgado Granados et al. \[2015a,b\]](#). Enlace al video institucional de ALVO: https://youtu.be/bEvwzA_ozDo

[†] En este Número Especial se considera Latinoamérica a la región de América compuesta por los 19 países donde el español o el portugués son los idiomas dominantes. Todos los observatorios volcanológicos de América Latina se encuentran emplazados en países de habla hispana.

rrió hace 400–500 años [Sherrod et al. 2008]. Los únicos países de Centroamérica sin evidencia de volcanismo activo son Honduras y Belice.

En México, la ocurrencia del volcanismo responde a la interacción de varias placas tectónicas [Espinasa-Pereña et al. 2021, este número]. En el sector más austral del país, la subducción de la placa de Cocos por debajo de la placa del Caribe da origen al arco volcánico Chiapaneco. En la región central, la interacción entre la placa Norteamericana y las placas de Cocos y Rivera resulta en la formación del Cinturón Volcánico Trans-Mexicano, que atraviesa el país de oeste a este. El volcanismo también ocurre en la costa noroeste de México, asociado al centro de expansión de la dorsal del Pacífico Oriental. Por último, a lo largo del este del país se desarrolla una provincia volcánica que incluye algunos campos monogenéticos recientes y el volcán San Martín Tuxtla. Para una descripción detallada de la distribución de los volcanes y sus marcos tectónicos asociados en los diferentes países, refiérase a los respectivos trabajos de este Número Especial.

2.2 Interacción volcán-humano

La actividad volcánica en América Latina le ha dado forma no sólo a la morfología del paisaje sino también a la historia y cultura de su gente. Ya es un hecho bien conocido que las erupciones volcánicas pueden generar un amplio rango de impactos negativos en las personas y sus bienes. Por ejemplo, la erupción del 1600 CE del volcán Huaynaputina causó serias pérdidas económicas y humanas, incluyendo el enterramiento y destrucción de todas las comunidades en un radio de 20 km alrededor del volcán [Mariño et al. 2021]. Aunque se estima que la actividad volcánica en la región ha causado casi 50000 fatalidades desde el 1600 CE [Auker et al. 2013], su influencia e impactos pueden ser rastreadas hasta tiempos prehistóricos [Dull et al. 2001; Hall y Mothes 2008]. Además de los impactos negativos, los volcanes han tenido también un rol importante en el desarrollo de identidades culturales. Esto se puede reconocer, por ejemplo, a través de mitos, leyendas y cosmovisiones que han sobrevivido nuestro tiempo y continúan transformándose [Masse y Masse 2007; Marín et al. 2020]. A su vez, los volcanes y sus productos han provisto una fuente de recursos (e.g. cuchillos de obsidiana, flechas, espejos y morteros), que han sido reconocidos en numerosos sitios arqueológicos [Chevrel et al. 2015; Stern 2018].

La interacción entre los volcanes y los humanos ha ido transformándose a la par de la manera en que los humanos habitan el territorio. Desde las primeras comunidades rurales dispersas hasta los asentamientos modernos, la complejidad ha aumentado de múltiples maneras. Como regla general, los asentamientos urbanos se han expandido, aumentando en tamaño, número y densidad de habitantes. Sin embargo, la complejidad alcanzada va mucho más allá de esto. Por ejemplo,

la infraestructura, medios de transporte, telecomunicación y, de manera más amplia, las nuevas tecnologías, han modificado críticamente la dinámica de los asentamientos humanos. En muchos casos, las áreas urbanas se han desarrollado en las inmediaciones de volcanes activos. Existen numerosos ejemplos de esto en Latinoamérica, incluyendo varias ciudades capitales: Ciudad de México, Quito (Ecuador), San José (Costa Rica), Managua (Nicaragua), San Salvador (El Salvador) y Ciudad de Guatemala.

El número de personas viviendo cerca de los volcanes se ha incrementado, resultando en un mayor número de personas expuestas a peligros volcánicos. Según Loughlin et al. [2015], sólo 0.35% de la población de Sudamérica (~1.25 millones de personas) viven en los primeros 10 km alrededor de un volcán activo, mientras que en Centroamérica y México este número aumenta a 3.6% (~5.6 millones). Cuando el radio se extiende a 100 km, la población expuesta aumenta a 9.79% (~35.3 millones) y 23.57% (~36.6 millones), respectivamente. En El Salvador y Nicaragua el porcentaje de la población viviendo cerca de un volcán activo aumenta a 30% [Castro y Gutiérrez 2021, este número] y 70% [Espinoza et al. 2021, este número], respectivamente. Por consiguiente, un creciente número de personas viven en asentamientos cada vez más complejos y dinámicos. Este escenario representa un desafío para la sociedad en su conjunto, pero especialmente para las autoridades gubernamentales, responsables por la seguridad de la población. En este contexto, los observatorios volcanológicos pueden contribuir significativamente en la reducción del riesgo [Auker et al. 2013; Lowenstern y Ewert 2020].

3 VIGILANDO LOS VOLCANES ACTIVOS: ¿QUIÉNES Y CÓMO?

Luego de los esfuerzos pioneros en México durante finales del siglo XIX y la primera mitad del XX [Espinasa-Pereña et al. 2021, este número], y en Costa Rica en 1964 [Avard et al. 2021, este número], el primer observatorio volcanológico permanente en Latinoamérica fue el IG-EPN[‡] (Ecuador), fundado en 1983 [Ramón et al. 2021, este número]. El más joven es el OAVV-SEGEMAR[‡] (Argentina), operativo recién desde 2017 [García y Badi 2021, este número]. Actualmente, 17 observatorios volcanológicos contribuyen oficialmente al monitoreo de la actividad volcánica en 10 países (Tabla 1; Figura 1). Estos representan 25% de los observatorios volcanológicos a nivel mundial (ver el sitio web de *World Organization of Volcano Observatories* (WOVO) para una lista completa de los instituciones de monitoreo[§]). Los únicos países en la región con evidencia de volcanismo activo pero sin observatorios volcanológicos son Bolivia y Panamá.

[‡] Los acrónimos están dados en la Tabla 1.

[§] <https://wovo.iavceivolcano.org/observatories>

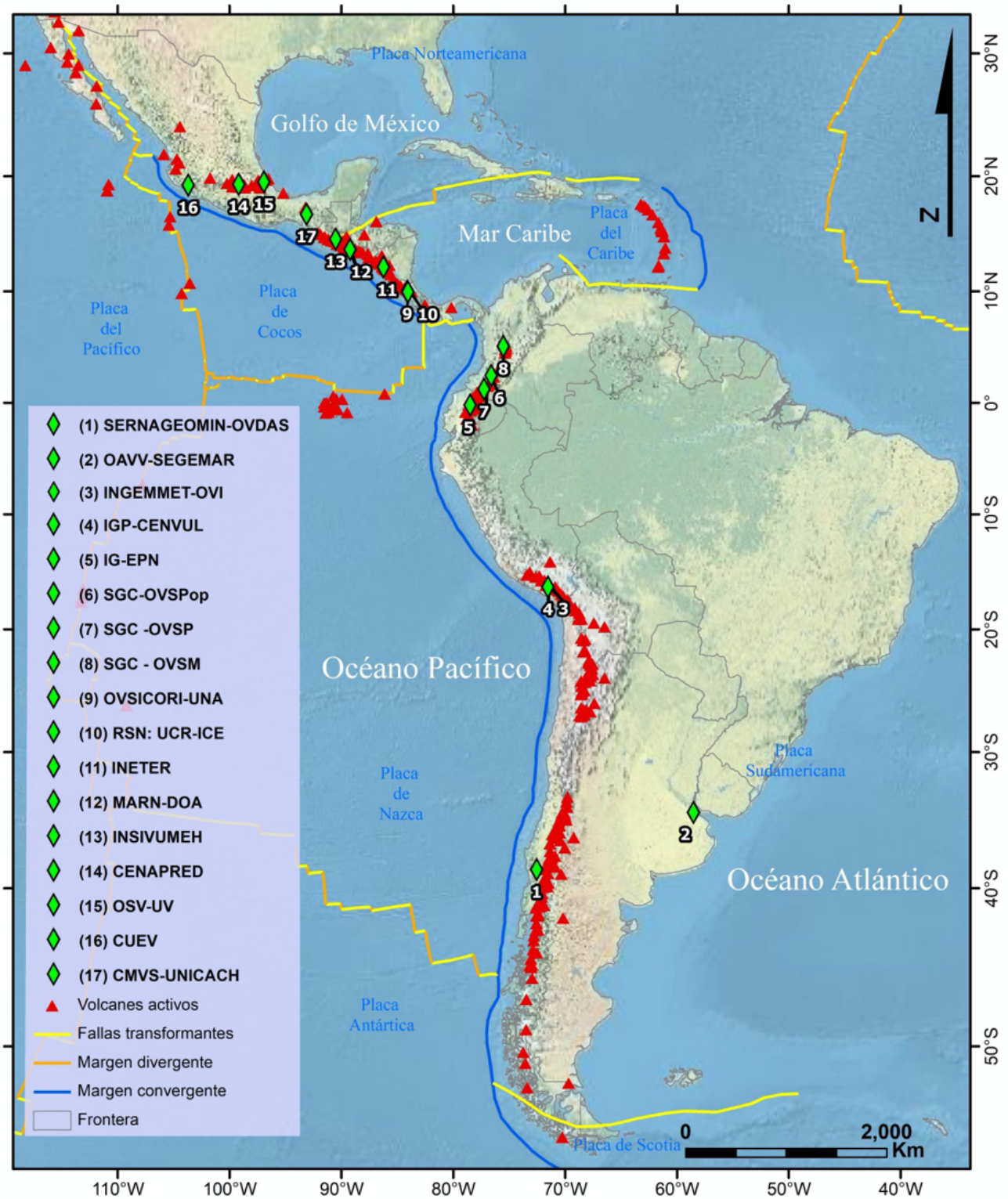


Figura 1: Mapa que muestra los volcanes activos (triángulos rojos) y las instituciones de monitoreo volcánico (diamantes verdes) en Latinoamérica. Una lista detallada de estas instituciones es provista en la [Tabla 1](#). A pesar de estar representados en el mapa, los volcanes activos del arco volcánico del Caribe (grupo de volcanes en la parte superior a la derecha) no son incluidos en la región latinoamericana, según la definición aquí adoptada[†]. El mapa en esta figura fue obtenido de Esri®.

Tabla 1: Observatorios volcanológicos latinoamericanos, ordenados de sur a norte. Cada artículo en inglés contiene un enlace, en la primera página, para acceder a la versión en español del mismo.

Código mapa	Acrónimo	Institución de monitoreo	País	Sitio web	Referencia
1	SERNAGEOMIN-OVDAS	Servicio Nacional de Geología y Minería - Observatorio Volcanológico de los Andes del Sur	Chile	a	Amigo [2021] : “Volcano monitoring and hazard assessments in Chile”
2	OAVV-SEGEMAR	Observatorio Argentino de Vigilancia Volcánica - Servicio Geológico y Minero Argentino	Argentina	b	García y Badi [2021] : “Towards the development of the first permanent volcano observatory in Argentina”
3	IGP - CENVUL	Instituto Geofísico del Perú - Centro Volcanológico Nacional	Perú	c	Machacca et al. [2021] : “Monitoring of active volcanoes in Peru by the <i>Instituto Geofísico del Perú</i> : Early warning systems, communication, and information dissemination”
4	INGEMMET - OVI	Instituto Geológico, Minero y Metalúrgico - Observatorio Volcanológico INGEMMET		d	Aguilar Contreras et al. [2021] : “Hazard assessment studies and multiparametric volcano monitoring developed by the <i>Instituto Geológico, Minero y Metalúrgico</i> in Peru”
5	IG-EPN	Instituto Geofísico Escuela Politécnica Nacional	Ecuador	e	Ramón et al. [2021] : “ <i>Instituto Geofísico – Escuela Politécnica Nacional</i> , the Ecuadorian Seismology and Volcanology Service”
6	SGC- OVSPop	Servicio Geológico Colombiano - Observatorio Volcanológico y Sismológico de Popayán	Colombia	f	Gómez Martínez et al. [2021] : “Active volcanism in Colombia and the role of the <i>Servicio Geológico Colombiano</i> ”
7	SGC - OVSP	Servicio Geológico Colombiano - Observatorio Volcanológico y Sismológico de Pasto		f	
8	SGC - OVSM	Servicio Geológico Colombiano - Observatorio Volcanológico y Sismológico de Manizales		f	

Continúa en la siguiente página.

a <https://www.sernageomin.cl/red-nacional-de-vigilancia-volcanica/>b <https://oavv.segemar.gob.ar/>c <https://www.igp.gob.pe/servicios/centro-vulcanologico-nacional/>d <http://ovi.ingemmet.gob.pe/>e <https://www.igepn.edu.ec/>f <https://www.sgc.gov.co/volcanes/index.html>

Tabla 1: [cont.]: Observatorios volcanológicos latinoamericanos, ordenados de sur a norte.

Código mapa	Acrónimo	Institución de monitoreo	País	Sitio web	Referencia
9	OVSICORI-UNA	Observatorio Vulcanológico y Sismológico de Costa Rica - Universidad Nacional	Costa Rica	g	Avard et al. [2021]: “Volcano hazard and surveillance in Costa Rica”
10	RSN: UCR-ICE	Red Sismológica Nacional: Universidad de Costa Rica – Instituto Costarricense de Electricidad		h	
11	INETER	Instituto Nicaragüense de Estudios Territoriales	Nicaragua	i	Espinoza et al. [2021]: “Nicaraguan volcanic monitoring program of the <i>Instituto Nicaragüense de Estudios Territoriales</i> ”
12	MARN - DOA	Ministerio de Medio Ambiente – Dirección General del Observatorio de Amenazas y Recursos Naturales	El Salvador	j	Castro y Gutiérrez [2021]: “Volcanic monitoring and hazard assessment in El Salvador”
13	INSIVUMEH	Instituto Nacional de Sismología, Vulcanología, Meteorología e Hidrología	Guatemala	k	Roca Palma et al. [2021]: “Volcano observatories and monitoring activities in Guatemala”
14	CENAPRED	Centro Nacional de Prevención de Desastres		l	
15	OSV - UV	Observatorio Sismológico y Vulcanológico de Veracruz - Universidad Veracruzana	México	m	Espinasa-Pereña et al. [2021]: “Monitoring volcanoes in Mexico”
16	CUEV	Centro Universitario de Estudios Vulcanológicos -Universidad de Colima		n	
17	CMVS -UNICACH	Centro de Monitoreo Vulcanológico y Sismológico de Chiapas - Universidad de Ciencias y Artes de Chiapas		o	

g <http://www.ovsicori.una.ac.cr/>

h <https://rsn.ucr.ac.cr/>

i <https://www.ineter.gob.ni/>

j <https://www.marn.gob.sv/monitoreo-volcanico/>

k <http://insivumeh.gob.gt/vulcanologia/>

l <https://www.gob.mx/cenapred>

m <https://www.uv.mx/osv/>

n <https://portal.ucol.mx/cueiv/>

o <https://monitoreo.unicach.mx/>

En 7 de los 10 países, el monitoreo es realizado por un solo observatorio. Sólo en México, Costa Rica y Perú, más de una institución participa en el monitoreo— con diferentes grados de responsabilidad. La mayoría de los observatorios volcanológicos pertenecen a servicios geológicos nacionales (o a otras instituciones nacionales con un rol equivalente). Sin embargo, existen algunas excepciones. En Ecuador (IG-EPN) y Costa Ri-

ca (OVSICORI-UNA y RSN-UCR)[‡] el monitoreo es realizado por universidades. En México, la vigilancia volcánica resulta de un esfuerzo conjunto entre el Centro Nacional de Prevención de Desastres (CENAPRED[‡]) y universidades nacionales (OSV-UV, CUEIV y CMVS - UNICACH)[‡]. En algunas tareas, estas instituciones son apoyadas por la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM).

3.1 Vigilancia volcánica

Al momento de la escritura de este Número Especial, un total de 135 volcanes están siendo monitoreados – con al menos una técnica o instrumento– en América Latina. Esto representa el 45% de los volcanes activos en la región. Como se muestra en la [Figura 2](#), los volcanes activos no están distribuidos de manera equitativa entre los países; tampoco el número y porcentaje de ellos siendo monitoreados. Chile, Ecuador y Colombia, juntos, son responsables del 65% del total de los volcanes monitoreados en la región. Sólo Colombia y Costa Rica monitorean todos los volcanes en sus territorios. Al otro extremo del espectro, Argentina, México y Guatemala monitorean menos del 25% de sus sistemas volcánicos activos mientras que Bolivia y Panamá no monitorean ninguno de sus volcanes activos.

Las razones detrás de la baja proporción de volcanes monitoreados en relación al número total de sistemas activos que se observa en algunos países son múltiples. Sin embargo, en gran medida se encuentran vinculadas a la falta de recursos o el hecho de que algunos de estos volcanes están emplazados en áreas remotas sin poblaciones cerca. Para poder optimizar los recursos, algunos países como Argentina, Chile, Guatemala y México han desarrollado clasificaciones (o *rankings*) de riesgo relativo, en las cuales son considerados no sólo los peligros sino también los parámetros de exposición. De esta manera, los esfuerzos de monitoreo se enfocan en los volcanes que son más propensos a representar un riesgo significativo. Para más detalles, ver los respectivos *Reportes* en este Número Especial.

Los observatorios volcanológicos realizan vigilancia permanente en 128 de los 135 volcanes monitoreados en Latinoamérica. Solo 7 volcanes están sujetos a monitoreo periódico (no permanente): 4 en México, 1 en El Salvador y 2 en Chile. El monitoreo en tiempo real ha implicado el despliegue de más de 1300 sensores alrededor de los volcanes. La técnica más utilizada es sismología, con más de 600 sismómetros instalados en toda la región. En la mayoría de los casos, esto se complementa con estaciones geoquímicas (e.g. Multigas, DOAS), geodésicas (e.g. GPS e inclinómetros) y de infrasonido. Sin embargo, los volcanes con nivel de vigilancia bajo son, en la gran mayoría de los casos, monitoreados únicamente con estaciones sísmicas [e.g. [Amigo 2021](#); [Ramón et al. 2021](#), este número]. Todos los observatorios han adoptado el uso de cámaras fijas como una herramienta complementaria para la vigilancia visual. Una descripción detallada de las herramientas y programas utilizados por los observatorios volcanológicos para adquirir, procesar y analizar los datos de monitoreo podrá ser encontrada en los distintos *Reportes* de este Número Especial, incluyendo aquellas desarrolladas por las propias instituciones [e.g. [Gómez Martínez et al. 2021](#), este número].

Sumado al monitoreo en tiempo real, todos los observatorios llevan adelante campañas de muestreo geoquí-

mico (gas y agua) de manera periódica. Además, cuando ocurren eventos explosivos, la recolección de ceniza es una práctica común. Para este propósito, Ecuador, Perú y Chile han desarrollado redes de recolección de ceniza de bajo costo [e.g. [Figura 2B](#) de [Aguilar Contreras et al. 2021](#), este número]. Por último, las imágenes satelitales son un recurso muy útil para el monitoreo de la dispersión de ceniza, anomalías de temperatura, así como de flujos de lava durante largos periodos de tiempo, especialmente para volcanes remotos.

Para realizar las tareas mencionadas, los observatorios volcanológicos emplean a más de 450 personas en toda Latinoamérica. Esto incluye científicos (e.g. geofísicos, geólogos, químicos) al igual que personal técnico, administrativo y de logística. Un componente clave de los observatorios volcanológicos es la naturaleza interdisciplinaria de sus equipos de trabajo.

3.2 Evaluación de peligros a largo plazo

La evaluación de los peligros a largo plazo es una parte fundamental de la implementación de estrategias para la reducción de riesgo volcánico [[Pallister et al. 2019](#)]. En particular, los mapas de peligro han demostrado ser una herramienta invaluable para comunicar los peligros volcánicos. Estos mapas muestran áreas que pueden ser impactadas por fenómenos volcánicos durante o después de una erupción.

En Latinoamérica, el 30% ($n=90$) de los volcanes activos tienen un mapa de peligro ([Figura 2](#)). Esto es 15% menos que el número de volcanes monitoreados en la región. Similar a lo que sucede con las estadísticas sobre vigilancia, se observa que casi dos tercios de los volcanes con mapas de peligro ($n=53$) están en Chile, Ecuador y Colombia. Existen, también, algunos ejemplos de mapas de peligro binacionales: para el complejo volcánico Chiles-Cerro Negro (frontera Ecuador-Colombia) y los correspondientes a los volcanes Planchón-Peteroa, Laguna del Maule y Lanín (frontera Chile-Argentina).

En la [Figura 3](#) presentamos la evolución de los mapas de peligro publicados a lo largo del tiempo en la región. El primer mapa fue publicado en 1978 para el volcán Cotopaxi, Ecuador. Sin embargo, no fue hasta 1985 que los mapas de peligros volcánicos comenzaron a publicarse de manera sistemática. Desde entonces, se han publicado un promedio de tres mapas por año. Junto con Ecuador, Colombia, Guatemala y Costa Rica fueron los primeros países en producir mapas de peligros. Con pocas excepciones, no fue hasta el cambio de siglo que Chile, Nicaragua, El Salvador, México, y finalmente, Perú y Argentina, comenzaron a desarrollar estos mapas para sus volcanes. Algunas de las primeras versiones de los mapas publicados ya han sido actualizadas (e.g. Nevado del Ruiz, Cotopaxi, Fuego, Popocatepetl). A pesar de que los primeros mapas publicados fueron mayormente determinísticos (es decir, basados en mapeo geológico y en la actividad histórica observada), el desarrollo de mapas basados en modelos [e.g.

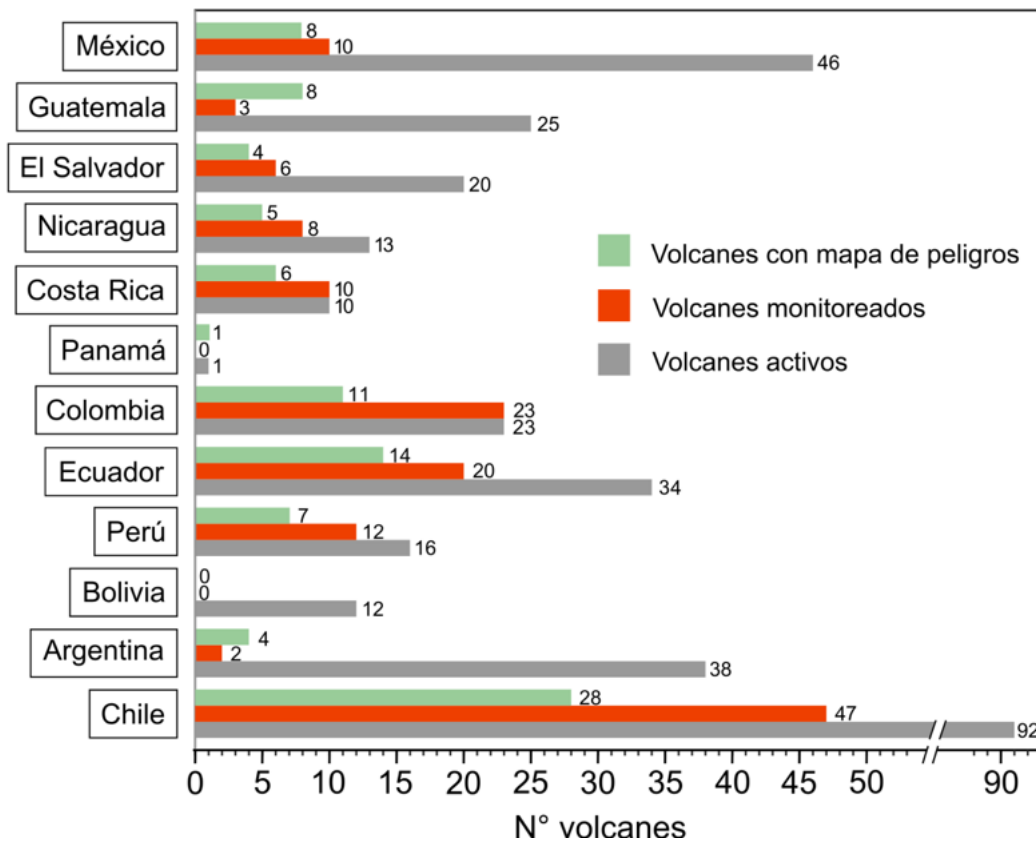


Figura 2: Gráfica que muestra el número de volcanes monitoreados en América Latina, junto con los mapas de peligro disponibles. Para cada país, el número de volcanes activos, monitoreados y “con mapa de peligros” se muestra, de abajo hacia arriba. Los datos de volcanes activos y monitoreados fueron recuperados de los diferentes *Reportes* que conforman este Número Especial. Para detalles sobre los datos de los mapas de peligro incluidos, ver el [Material Suplementario \[ES\]](#).

Gómez Martínez et al. 2021, este número] y mapas probabilísticos [e.g. Castro y Gutiérrez 2021, este número] es cada vez más común.

La responsabilidad de generar y publicar mapas de peligros volcánicos en América Latina recae, comúnmente, en divisiones especializadas de las instituciones que albergan a los observatorios volcanológicos. Sin embargo, en países como México y Costa Rica, estos recursos han sido desarrollados por científicos que no pertenecen a las instituciones de monitoreo. En años recientes, este escenario ha comenzado a cambiar, con las instituciones responsables por ley –CENAPRED y la protección civil de Costa Rica (i.e. Comisión Nacional de Emergencias: CNE)– asumiendo un rol más activo.

3.3 Comunicación sobre peligros volcánicos y divulgación

Los observatorios volcanológicos son responsables de comunicar información sobre peligros volcánicos [Pallister et al. 2019]. La comunicación eficaz es crucial durante las crisis eruptivas, e igualmente importante durante los períodos de tranquilidad. El público objetivo principal son los responsables de la toma de decisiones

y las instituciones de gestión de riesgo, pero en algunos casos también puede incluir a los medios de comunicación y al público en general; todos ellos con diferentes niveles de responsabilidades e intereses. Por esta razón, las instituciones de monitoreo de volcanes necesitan desarrollar estrategias de comunicación integrales, utilizando diversas herramientas y canales de comunicación.

En América Latina, los observatorios volcanológicos informan sobre la actividad de los volcanes bajo su vigilancia a todos los actores previamente mencionados. Para ello, publican reportes de actividad volcánica con periodicidad variable (e.g. diaria, semanal, mensual), dependiendo el país y la actividad volcánica. Los reportes incluyen información sobre los diferentes parámetros monitoreados (e.g. sismicidad, deformación, emisión de gas/cenizas, altura de la columna eruptiva) y el nivel de alerta. Todos los observatorios volcanológicos han adoptado un sistema de niveles de actividad codificado por colores, que proporciona información sobre el estado de intranquilidad (*unrest*). Aunque se pueden encontrar algunas diferencias, la mayoría de los sistemas de alerta van desde verde a amarillo, naranja y rojo. Ninguno de los observatorios de la región asume el rol

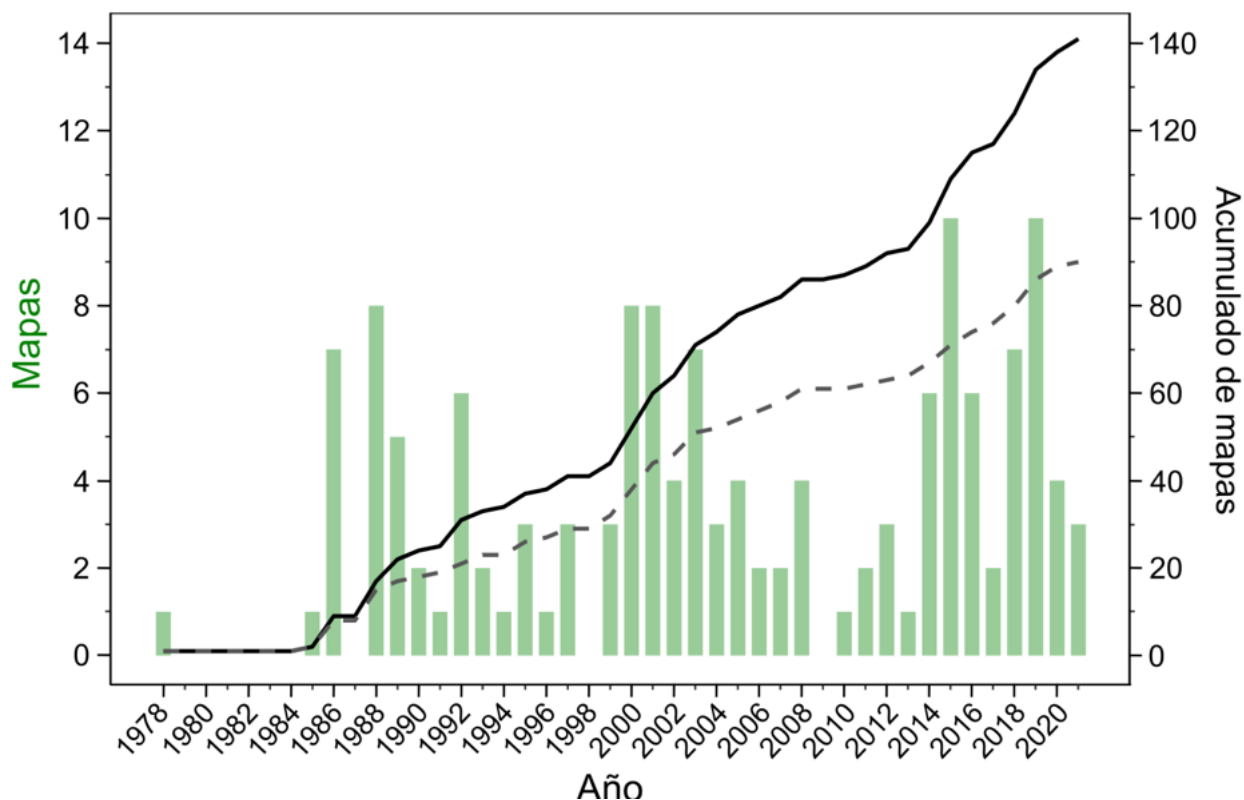


Figura 3: Mapas de peligros volcánicos publicados para los volcanes de Latinoamérica. Las barras verticales muestran el número de mapas de peligros publicados por año. La curva negra sólida representa el número acumulado de mapas de peligro publicados, mientras que la línea entrecortada indica el número de mapas de peligro publicados, pero excluyendo las actualizaciones (i.e. número de volcanes con mapas de peligros). Para detalles sobre las referencias utilizadas para construir esta figura, ver el [Material Suplementario \[ES\]](#).

de ordenar acciones civiles (e.g. evacuaciones), limitándose sus responsabilidades a brindar recomendaciones basadas en evidencia científica.

Los reportes se difunden a través de diversos canales. Todos los observatorios volcanológicos los publican en sus sitios web (ver [Tabla 1](#)), donde pueden ser consultados por todo el público. Además, la mayoría de los observatorios envían sus reportes a listas de distribución de correos electrónicos predefinidas, que incluyen instituciones y partes interesadas clave (e.g. protección civil, colaboradores del monitoreo, autoridades locales y regionales). En los últimos años, las redes sociales – como Twitter, Facebook e Instagram – se han convertido en uno de los principales medios de difusión rápida de esta información. En México y Perú, los observatorios han implementado el uso de aplicaciones móviles [ver [Espinasa-Pereña et al. 2021](#); [Machacca et al. 2021](#), este número].

Los sitios web de los observatorios volcanológicos también son un repositorio de información básica sobre los volcanes y de una diversidad de material educativo, como folletos, libros, mapas e infografías. La mayoría de los observatorios también brindan acceso a la última versión de sus mapas de peligros. Toda esta información es publicada en español, idioma oficial de todos

los países latinoamericanos con instituciones de monitoreo. Sin embargo, en la región se hablan muchas otras lenguas nativas. Esto es un punto que algunos observatorios ya están considerando a la hora de diseñar sus estrategias de comunicación. Ejemplos de ello son los talleres en quechua, ampliamente hablados en los Andes centrales, ofrecidos por OVI

En este Número Especial, los observatorios volcanológicos reportan una amplia gama de estrategias para fortalecer los lazos con las comunidades. Además de la comunicación a través de los canales virtuales antes mencionados, muchas de las instituciones también realizan actividades de divulgación presenciales. Esto es particularmente importante considerando que en la región todavía existen comunidades con acceso limitado a internet. La lista de actividades incluye: socialización de mapas de peligros volcánicos [e.g. [Roca Palma et al. 2021](#), este número], ferias de divulgación [e.g. [Gómez Martínez et al. 2021](#), este número], visitas guiadas por los observatorios [e.g. [Aguilar Contreras et al. 2021](#), este número] y simulacros de reactivación volcánica y evacuación [e.g. [Amigo 2021](#), este número]. En la mayoría de los casos, estas actividades se coordinan con las respectivas agencias de protección civil. Además, las instituciones de monitoreo han fomentado de manera

creciente la participación ciudadana en las funciones de vigilancia. Por ejemplo, Ecuador y El Salvador han brindado capacitación y desarrollado redes de observadores locales como parte de sus estrategias de Sistemas de Alerta Temprana. En Costa Rica, los observatorios volcanológicos utilizan las redes sociales para recopilar información sobre erupciones y áreas afectadas.

3.4 Cooperación con otras instituciones

Luego de una necesaria primera etapa caracterizada por la asistencia externa de grupos de investigación internacionales y agencias de cooperación, como el *U.S. Geological Survey's Volcano Disaster Assistance Program* (USGS-VDAP, EE. UU.), el *Institut de Recherche pour le Développement* (IRD, Francia) y el *Japan International Cooperation Agency* (JICA), la mayoría de los observatorios han comenzado a desarrollar sus propias estrategias de monitoreo. Muchos de estos también han expandido sus redes de cooperación a otras instituciones internacionales y nacionales involucradas en volcanología (e.g. universidades, servicios geológicos). Todos los observatorios volcanológicos de la región trabajan mancomunadamente con las agencias de protección civil de sus respectivos países, clave para el éxito de cualquier estrategia para la reducción del riesgo volcánico. Un ejemplo que cristaliza esta cooperación intra-país es el Centro de Sensibilización para la Gestión de Riesgos creado en 2011, en Arequipa, Perú [ver [Aguilar Contreras et al. 2021](#), este número]. Perú, México y Costa Rica, con más de una institución asumiendo responsabilidades de monitoreo volcánico en el país, afrontan un desafío de coordinación adicional. Este Número Especial refleja los importantes avances logrados en los dos últimos países, con más de una institución convergiendo en un mismo *Reporte*.

La cooperación intrarregional entre las instituciones de monitoreo volcánico también ha mejorado en los últimos años. Un ejemplo de esto es la asistencia del gobierno chileno (a través de SERNAGEOMIN[‡]) al gobierno de Guatemala (a través del INSIVUMEH[‡]) después de la erupción de Fuego del 3 de junio de 2018[¶]. Otro ejemplo es el convenio de cooperación firmado entre Argentina (a través de OAVV) y Chile (a través de SERNAGEOMIN) para monitorear y gestionar la actividad de los volcanes ubicados en la frontera [[García y Badi 2021](#), este número]. Este acuerdo adquiere su real relevancia al considerar que un total de 18 volcanes activos se emplazan en el límite entre estos dos países. Como uno de los primeros pasos en este esfuerzo de cooperación, SERNAGEOMIN y OAVV han desplegado una red instrumental alrededor del volcán Copahue e intercambian información de monitoreo en tiempo real. Por su parte, Colombia (a través de SGC[‡]) y Ecuador (a través de IG-EPN) firmaron, en 2014, un

[‡]<https://www.sernageomin.cl/sernageomin-capacita-a-delegacion-guatemalteca-en-la-elaboracion-de-ranking-de-volcanes/>

acuerdo marco de cooperación de diez años para investigar, monitorear y evaluar los peligros de los volcanes Chiles-Cerro Negro [[Gómez Martínez et al. 2021](#), este número]. Los mapas de peligros volcánicos binacionales mencionados en la [Subsección 3.2](#) son resultado de estos dos acuerdos de cooperación (excluyendo el del volcán Planchón-Peteroa).

La cooperación intrarregional también ha sido estimulada a través de los Encuentros de Observatorios Volcanológicos de Latinoamérica. Estos eventos buscan brindar un espacio de intercambio entre los observatorios volcanológicos y sus socios cooperantes, así como una oportunidad para analizar los avances de las instituciones y las debilidades aún existentes [[Rodríguez et al. 2018](#); [Aguilar Contreras et al. 2021](#), este número]. Organizadas por ALVO, en cooperación con OVI y el USGS-VDAP –y con el apoyo institucional de *International Association of Volcanology and Chemistry of the Earth's Interior* (IAVCEI) y WOVO– las dos primeras reuniones se llevaron a cabo en Arequipa (Perú), en octubre de 2015 y abril de 2018.

4 DESAFÍOS Y PERSPECTIVAS FUTURAS

Sin lugar a dudas, Latinoamérica ha dado un paso adelante en la evaluación y monitoreo de la actividad volcánica. Durante las últimas dos décadas, las capacidades de los observatorios volcanológicos han mejorado, tanto cuantitativa como cualitativamente. Esto es evidente al comparar los datos aquí presentados con los reportados por [Alvarado et al. \[1999\]](#) para finales del siglo pasado. El número de volcanes instrumentados ha aumentado de 57 a 135 y existen, hoy, un mayor número de instituciones dedicadas a la vigilancia de los volcanes. La creación de los observatorios en Chile, Perú y, más recientemente, en Argentina fue de gran importancia para extender las redes de monitoreo al extremo sur del continente. Otro indicador del desarrollo alcanzado es el continuo aumento en la elaboración y publicación de mapas de peligrosidad ([Figura 3](#)). Desde una perspectiva cualitativa, la región ha experimentado avances en lo que refiere a estrategias y tecnologías computacionales, de monitoreo y comunicación. Todo esto le ha permitido a la mayoría de los observatorios volcanológicos manejar crisis eruptivas con poca o ninguna ayuda externa.

A pesar de todos los avances realizados, aún queda un largo camino por recorrer. Más del 50% de los volcanes activos de la región todavía no son monitoreados y un número mayor carece de mapas de peligros. Debería ser una prioridad comenzar a monitorear la actividad volcánica en Bolivia y Panamá. Los países de la región sin volcanes activos, como Honduras, Brasil y Venezuela, no deben ser pasados por alto, ya que también pueden verse afectados por la caída de cenizas. Los volcanes ubicados en las fronteras entre países plantean un desafío adicional [[Donovan y Oppenheimer 2019](#)].

Los auspiciosos primeros esfuerzos conjuntos realizados por Argentina-Chile y Colombia-Ecuador deben intensificarse y reproducirse en otros países con escenarios similares, como México y Guatemala [Espinasa-Pereña et al. 2021, este número].

En términos de comunicación de peligros, la erupción del volcán de Fuego (3 de junio de 2018) y sus dolorosos impactos asociados nos han demostrado que aún tenemos que mejorar. Reconocemos dos factores limitantes principales para el desarrollo de la vigilancia volcánica en América Latina: la falta de recursos financieros disponibles –para mantener las redes de monitoreo existentes, adquirir nuevos instrumentos y contratar personal– y oportunidades de capacitación. La oferta de posgrados en volcanología por parte de universidades latinoamericanas es aún limitada, lo que se traduce en una escasez en la disponibilidad de científicos capacitados para cubrir las necesidades de los observatorios. Posibles soluciones a este problema, a corto plazo, podrían ser encontradas a partir proyectos de cooperación internacional y regional con otros observatorios volcanológicos, como se sugiere en varios de los *Reportes*.

Los esfuerzos de cooperación deben reforzarse continuamente. Debe ser una prioridad para todas las instituciones trabajar en el fortalecimiento de los vínculos con otras instituciones y colegas nacionales e internacionales. En este sentido, iniciativas como ALVO, la red de Jóvenes Volcanólogos Latinoamericanos [JVLA: Forte et al. 2018] y más recientemente, la *International Network for Volcanology Collaboration* (INVOLC) tienen la oportunidad de impulsar nuevas formas de vinculación entre países e instituciones, basados en la igualdad, el respeto y la solidaridad. Finalmente, esperamos que este Número Especial contribuya a acercar a la comunidad volcanológica, así como a inspirar nuevas formas de compartir conocimientos.

AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen a todos los miembros de los observatorios volcanológicos que apoyaron esta iniciativa, contribuyendo con sus trabajos a este Número Especial. Queremos agradecer a la membresía de ALVO por apoyar a la asociación. También estamos agradecidos con Matías Salomón y Mike Cassidy por su cuidadosa edición de la versión en inglés del manuscrito; y con Rosario Vázquez, Daniel Bertín, Jorge Romero, Laura Vélez, Lucía de Abrantes, María Clara Lamberti y Lucía Domínguez por ayudar en la revisión de la versión traducida al español de los manuscritos que componen este Número Especial. Finalmente, estamos profundamente agradecidos con *Volcanica* por el esfuerzo de hacer que la volcanología sea accesible para todos. Un agradecimiento especial a los miembros del comité editorial de *Volcanica* por revisar este Prefacio y contribuir con la concepción y ejecución del Número Especial.

CONTRIBUCIONES DE LOS AUTORES

P. F. edactó el manuscrito y todas las autores y autores aportaron en su contenido, estilo y estructura. Todos los autores y autoras contribuyeron en la materialización de este Número Especial.

DISPONIBILIDAD DE LOS DATOS

Todos los datos están disponibles en el [Material Suplementario \[ES\]](#) que se proporciona junto con la versión en línea de este Prefacio. Para obtener información sobre la disponibilidad de datos específicos relacionados con los países mencionados en este prefacio, el lector debe consultar los respectivos *Reportes* de este Número Especial.

DERECHOS DE AUTOR

© Autor(es) 2021. Este artículo se distribuye bajo los términos de la [Creative Commons Attribution 4.0 Licencia internacional](#), que permite el uso sin restricciones, distribución y reproducción en cualquier medio, siempre y cuando se dé el crédito apropiado al/los autor(es) original(es) y la fuente, proporcionando un enlace a la Creative Commons License, e indicando si se realizaron cambios.

REFERENCIAS

- Aguilar Contreras, R., E. Taipe Maquerhua, Y. Antayhua Vera, M. Ortega Gonzáles, F. Apaza Choquehuayta y L. Cruz Mamani (2021). “[Hazard assessment studies and multiparametric volcano monitoring developed by the Instituto Geológico, Minero y Metalúrgico in Peru](#)”. *Volcanica* 4 (S1), págs. 73-92. DOI: [10.30909/vol.04.S1.7392](#).
- Alvarado, G., A. P. Acevedo, M. L. Monsalve, J. M. Espíndola, D. Gómez, M. Hall y R. Van der Laat (1999). “El Desarrollo de la Vulcanología en Latinoamérica en el Último Cuarto del Siglo XX”. *Revista Geofísica* 51, págs. 185-241.
- Amigo, Á. (2021). “[Volcano monitoring and hazard assessments in Chile](#)”. *Volcanica* 4 (S1), págs. 1-20. DOI: [10.30909/vol.04.S1.0120](#).
- Auker, M. R., R. S. J. Sparks, L. Siebert, H. S. Cresswell y J. Ewert (2013). “[A statistical analysis of the global historical volcanic fatalities record](#)”. *Journal of Applied Volcanology* 2 (1). ISSN: 2191-5040. DOI: [10.1186/2191-5040-2-2](#).
- Avard, G., M. M. Mora, H. Bakkar, G. E. Alvarado, M. Angarita, M. Cascante, J. M. de Moor, M. Martínez, C. Muller, J. Pacheco, P. Ruiz y G. J. Soto (2021). “[Volcano hazard and surveillance in Costa Rica](#)”. *Volcanica* 4 (S1), págs. 141-61. DOI: [10.30909/vol.04.S1.141161](#).

- Báez, W., E. Bustos, A. Chiodi, F. Reckziegel, M. Arnosio, S. de Silva, G. Giordano, J. Viramonte, M. Sampietro-Vattuone y J. Peña-Monné (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](https://doi.org/10.1016/j.jsames.2019.102482).
- Carr, M. J., M. D. Feigenson, L. C. Patino y J. A. Walker (2003). "Volcanism and geochemistry in Central America: Progress and problems". *Geophysical Monograph Series*, págs. 153-174. ISSN: 0065-8448. DOI: [10.1029/138gm09](https://doi.org/10.1029/138gm09).
- Castro, R. y E. Gutiérrez (2021). "Volcanic monitoring and hazard assessment in El Salvador". *Volcanica* 4 (S1), págs. 183-201. DOI: [10.30909/vol.04.S1.183201](https://doi.org/10.30909/vol.04.S1.183201).
- Chevrel, M. O., C. Siebe, M.-N. Guilbaud y S. Salinas (2015). "The AD 1250 El Metate shield volcano (Michoacán): Mexico's most voluminous Holocene eruption and its significance for archaeology and hazards". *The Holocene* 26 (3), págs. 471-488. ISSN: 1477-0911. DOI: [10.1177/0959683615609757](https://doi.org/10.1177/0959683615609757).
- Chevrel, M. O., F. B. Wadsworth, J. I. Farquharson, A. R. L. Kushnir, M. J. Heap, R. Williams, P. Delmelle y B. Kennedy (2021). "Publishing a Special Issue of Reports from the volcano observatories in Latin America". *Volcanica* 4 (S1), págs. i-vi. DOI: [10.30909/vol.04.S1.ivi](https://doi.org/10.30909/vol.04.S1.ivi).
- Coordinadora Nacional para la Reducción de Desastres (2018). *Informe erupción volcán Fuego 03/06/2018*. URL: https://conred.gob.gt/site/informacion_publica/gobierno_abierto20162018/Meta4_Agosto2018.pdf (visitado 05-10-2021).
- Craig, H., T. Wilson, C. Stewart, G. Villarosa, V. Outes, S. Cronin y S. Jenkins (2016). "Agricultural impact assessment and management after three widespread tephra falls in Patagonia, South America". *Natural Hazards* 82 (2), págs. 1167-1229. ISSN: 1573-0840. DOI: [10.1007/s11069-016-2240-1](https://doi.org/10.1007/s11069-016-2240-1).
- Delgado Granados, H., J. G. Viramonte y G. E. Alvarado (2015a). "La volcanología latinoamericana: Estado de la situación regional en el 2008 a partir del análisis de sus debilidades, amenazas, fortalezas y oportunidades". *Revista Geológica de América Central* (52). DOI: [10.15517/rgac.v0i52.18981](https://doi.org/10.15517/rgac.v0i52.18981).
- Delgado Granados, H., J. G. Viramonte y J. L. Palma (2015b). "Integrating Efforts in Latin America". *Volcanic Hazards, Risks and Disasters*, págs. 461-494. DOI: [10.1016/b978-0-12-396453-3.00019-8](https://doi.org/10.1016/b978-0-12-396453-3.00019-8).
- Donovan, A. y C. Oppenheimer (2019). "Volcanoes on borders: a scientific and (geo)political challenge". *Bulletin of Volcanology* 81 (5). ISSN: 1432-0819. DOI: [10.1007/s00445-019-1291-z](https://doi.org/10.1007/s00445-019-1291-z).
- Dull, R. A., J. R. Southon y P. Sheets (2001). "Volcanism, Ecology and Culture: A Reassessment of the Volcán Ilopango TBJ Eruption in the Southern Maya Realm". *Latin American Antiquity* 12 (1), págs. 25-44. ISSN: 2325-5080. DOI: [10.2307/971755](https://doi.org/10.2307/971755).
- Elissondo, M., V. Baumann, C. Bonadonna, M. Pistolesi, R. Cioni, A. Bertagnini, S. Biass, J.-C. Herrero y R. Gonzalez (2016). "Chronology and impact of the 2011 Cordón Caulle eruption, Chile". *Natural Hazards and Earth System Sciences* 16 (3), págs. 675-704. ISSN: 1684-9981. DOI: [10.5194/nhess-16-675-2016](https://doi.org/10.5194/nhess-16-675-2016).
- Espinasa-Pereña, R., R. Arámbula, S. Ramos, K. Sieron, L. Capra, A. Hernández-Oscoy, M. Alatorre y F. Córdoba Montiel (2021). "Monitoring volcanoes in Mexico". *Volcanica* 4 (S1), págs. 223-246. DOI: [10.30909/vol.04.S1.223246](https://doi.org/10.30909/vol.04.S1.223246).
- Espinoza, E., J. A. Saballos, M. Navarro, V. Tenorio, T. Olivares, M. Ibarra, D. Chavarría, D. Matus y E. Mendoza (2021). "Nicaraguan volcanic monitoring program of the Instituto Nicaragüense de Estudios Territoriales". *Volcanica* 4 (S1), págs. 163-181. DOI: [10.30909/vol.04.S1.163181](https://doi.org/10.30909/vol.04.S1.163181).
- Farquharson, J. y F. Wadsworth (2018). "Introducing Volcanica: The first diamond open-access journal for volcanology". *Volcanica* 1 (1), págs. i-ix. DOI: [10.30909/vol.01.01.i-ix](https://doi.org/10.30909/vol.01.01.i-ix).
- Fernandez-Turiel, J. L., F. J. Perez-Torrado, A. Rodriguez-Gonzalez, J. Saavedra, J. C. Carracedo, M. Rejas, A. Lobo, M. Osterrieth, J. I. Carrizo, G. Esteban y et al. (2019). "La gran erupción de hace 4.2 ka cal en Cerro Blanco, Zona Volcánica Central, Andes: nuevos datos sobre los depósitos eruptivos holocenos en la Puna sur y regiones adyacentes". *Estudios Geológicos* 75 (1), pág. 088. ISSN: 0367-0449. DOI: [10.3989/egeol.43438.515](https://doi.org/10.3989/egeol.43438.515).
- Forte, P., R. Gho, M. P. Jácome-Paz, E. Bustos, I. Lazarte Zerpa, G. González Llama y D. Rodríguez Espinosa (2018). "Young Latin American Volcanologist network: achievements and future perspectives two years after its launch". *Millenia of Stratification between Human Life and Volcanoes: strategies for coexistence - Cities on Volcanoes 10* (Napoli, Italy). Ed. por R. A. Corsaro, M. G. Di Giuseppe, R. Isaia, A. Mormone y R. Nave. Vol. Misc, pág. 966.
- García, S. y G. Badi (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](https://doi.org/10.30909/vol.04.S1.2148).
- Gómez Martínez, D. M., C. M. López, M. L. Monsalve, A. Agudelo, G. P. Cortés y M. L. Calvache Velasco (2021). "Active volcanism in Colombia and the role of the Servicio Geológico Colombiano". *Volcanica* 4 (S1), págs. 113-139. DOI: [10.30909/vol.04.S1.113139](https://doi.org/10.30909/vol.04.S1.113139).
- Hall, M. L. y P. A. Mothes (2008). "Volcanic impediments in the progressive development of pre-Columbian civilizations in the Ecuadorian Andes". *Journal of Volcanology and Geothermal Research* 176 (3), págs. 344-355. ISSN: 0377-0273. DOI: [10.1016/j.jvolgeores.2008.01.039](https://doi.org/10.1016/j.jvolgeores.2008.01.039).
- Loughlin, S. C., C. Vye-Brown, R. Sparks, S. K. Brown, J. Barclay, E. Calder, E. Cottrell, G. Jolly, J.-C. Komo-

- rowski, C. Mandeville, C. Newhall, J. Palma, S. Potter y G. Valentine (2015). “An introduction to global volcanic hazard and risk”. *Global Volcanic Hazards and Risk*. Ed. por S. C. Loughlin, S. Sparks, S. K. Brown, S. F. Jenkins y C. Vye-Brown. Cambridge University Press, págs. 1-80. doi: [10.1017/cbo9781316276273.003](https://doi.org/10.1017/cbo9781316276273.003).
- Lowenstern, J. y J. Ewert (2020). “Volcano observatories reduce risk around the globe. Here’s how we can support them”. *Temblores*. ISSN: 2688-6294. DOI: [10.32858/temblor.085](https://doi.org/10.32858/temblor.085).
- Machacca, R., J. Del Carpio, M. Rivera, H. Tavera, L. Macedo, J. Concha, I. Lazarte, R. Centeno, N. Puma, J. Torres, K. Vargas, J. Cruz, L. Velarde, J. Vilca y A. Malpartida (2021). “Monitoring of active volcanoes in Peru by the Instituto Geofísico del Perú: Early warning systems, communication, and information dissemination”. *Volcanica* 4 (S1), págs. 49-71. doi: [10.30909/vol.04.S1.4971](https://doi.org/10.30909/vol.04.S1.4971).
- Marín, A., F. Vergara-Pinto, F. Prado y C. Farías (2020). “Living near volcanoes: Scoping the gaps between the local community and volcanic experts in southern Chile”. *Journal of Volcanology and Geothermal Research* 398, pág. 106903. ISSN: 0377-0273. doi: [10.1016/j.jvolgeores.2020.106903](https://doi.org/10.1016/j.jvolgeores.2020.106903).
- Mariño, J., K. Cueva, J.-C. Thouret, C. Arias, A. Finizola, R. Antoine, E. Delcher, C. Fauchard, F. Donnadieu, P. Labazuy, S. Japura, R. Gusset, P. Sanchez, D. Ramos, L. Macedo, I. Lazarte, L. Thouret, J. Del Carpio, L. Jaime y T. Saintenoy (2021). “Multidisciplinary Study of the Impacts of the 1600 CE Huaynaputina Eruption and a Project for Geosites and Geo-touristic Attractions”. *Geoheritage* 13 (3). doi: [10.1007/s12371-021-00577-5](https://doi.org/10.1007/s12371-021-00577-5).
- Masse, W. B. y M. J. Masse (2007). “Myth and catastrophic reality: using myth to identify cosmic impacts and massive Plinian eruptions in Holocene South America”. *Geological Society, London, Special Publications* 273 (1), págs. 177-202. doi: [10.1144/gsl.sp.2007.273.01.15](https://doi.org/10.1144/gsl.sp.2007.273.01.15).
- Pallister, J., P. Papale, J. Eichelberger, C. Newhall, C. Mandeville, S. Nakada, W. Marzocchi, S. Loughlin, G. Jolly, J. Ewert y J. Selva (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](https://doi.org/10.1186/s13617-019-0082-8).
- Prival, J.-M., J.-C. Thouret, S. Japura, L. Gurioli, C. Bonadonna, J. Mariño y K. Cueva (2020). “New insights into eruption source parameters of the 1600 CE Huaynaputina Plinian eruption, Peru”. *Bulletin of Volcanology* 82 (1). ISSN: 1432-0819. doi: [10.1007/s00445-019-1340-7](https://doi.org/10.1007/s00445-019-1340-7).
- Ramón, P., S. Vallejo, P. Mothes, D. Andrade, F. J. Váscónez, H. Yepes, S. Hidalgo y S. Santamaría (2021). “Instituto Geofísico – Escuela Politécnica Nacional, the Ecuadorian Seismology and Volcanology Service”. *Volcanica* 4 (S1), págs. 93-112. doi: [10.30909/vol.04.S1.93112](https://doi.org/10.30909/vol.04.S1.93112).
- Reckziegel, F., E. Bustos, L. Mingari, W. Báez, G. Villarosa, A. Folch, E. Collini, J. Viramonte, J. Romero y S. Osóres (2016). “Forecasting volcanic ash dispersal and coeval resuspension during the April–May 2015 Calbuco eruption”. *Journal of Volcanology and Geothermal Research* 321, págs. 44-57. ISSN: 0377-0273. doi: [10.1016/j.jvolgeores.2016.04.033](https://doi.org/10.1016/j.jvolgeores.2016.04.033).
- Roca Palma, A. E., E. R. Mérida Boogher, C. M. F. Chun Quinillo, D. M. E. González Domínguez, G. A. Chigna Marroquin, F. J. Juárez Cacao y P. D. Argueta Ordoñez (2021). “Volcano observatories and monitoring activities in Guatemala”. *Volcanica* 4 (S1), págs. 203-222. doi: [10.30909/vol.04.S1.203222](https://doi.org/10.30909/vol.04.S1.203222).
- Rodríguez, L. A., P. Forte, M. Rivera, M. Agosto, H. Delgado, J. L. Palma, J. Mariño, P. Samaniego, L. Macedo y H. Wright (2018). “The first two Meetings of Latin American Volcano Observatories (Encuentro de Observatorios Vulcanológicos de Latinoamérica)”. *Millenia of Stratification between Human Life and Volcanoes: strategies for coexistence - Cities on Volcanoes 10* (Napoli, Italy). Ed. por R. A. Corsaro, M. G. Di Giuseppe, R. Isaia, A. Mormone y R. Nave. Vol. Misc, pág. 977.
- Sherrod, D. R., J. W. Vallance, A. Tapia Espinosa y J. P. McGeehin (2008). “Volcan Baru: Eruptive History and Volcano-Hazards Assessment”. *Open-File Report*. ISSN: 2331-1258. doi: [10.3133/ofr20071401](https://doi.org/10.3133/ofr20071401).
- Stern, C. R. (2018). “Obsidian sources and distribution in Patagonia, southernmost South America”. *Quaternary International* 468, págs. 190-205. ISSN: 1040-6182. doi: [10.1016/j.quaint.2017.07.030](https://doi.org/10.1016/j.quaint.2017.07.030).
- Wegner, W., G. Worner, R. S. Harmon y B. R. Jicha (2011). “Magmatic history and evolution of the Central American Land Bridge in Panama since Cretaceous times”. *Geological Society of America Bulletin* 123 (3-4), págs. 703-724. doi: [10.1130/b30109.1](https://doi.org/10.1130/b30109.1).