

Impactos de la caída primaria de cenizas volcánicas y de su posterior removilización eólica

Impacts associated with the primary fallout of volcanic ash and subsequent aeolian remobilisation

Bariloche, 22 de Octubre de 2019

Documento Consensual

Comité Organizador

Costanza Bonadonna¹, Donaldo Bran², Lucia Dominguez¹

¹Departamento de Ciencias de la Tierra, Universidad de Ginebra, Suiza

²Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria, Argentina



Este documento es el resultado de la contribución de todos los participantes (Apéndice I)

Citation: Lucia Dominguez; Costanza Bonadonna; Donaldo Bran (2020), "Workshop on the Impacts associated with the primary fallout of volcanic ash and subsequent aeolian remobilisation, Consensual Document" <https://vhub.org/resources/4611>.

Contenido

Resumen	3
1) Necesidades y desafíos	4
2) Identificación de puntos críticos en las infraestructuras	4
3) Adquisición de datos	4
Executive Summary	5
1) Needs and Challenges	5
2) Identification of critical vulnerability aspects of infrastructures	6
3) Impact data acquisition	6
Introducción	7
Objetivos de la reunión	7
Tema I: Gestión de la crisis durante la erupción del Cordón Caulle en 2011	8
1. Definición de áreas prioritarias de acción	8
2. Lecciones aprendidas y resiliencia	9
Tema II: Impacto en las Infraestructuras Críticas (IFC)	9
1. Impacto en el sistema de Telecomunicaciones	9
2. Impacto en el transporte y tratamiento de efluentes cloacales	10
3. Metodología integral para la evaluación de impacto en las infraestructuras críticas mediante las técnicas de análisis forense	10
3.1. Aplicabilidad: ejemplo del daño físico en los conductores eléctricos	12
Tema III – Impacto en la agricultura y medio ambiente	13
1. Impacto en actividades agropecuarias	13
2. Impacto en Parques Naturales: Erupción del volcán Chaitén en Los Alerces (Chubut)	14
Tema IV – Gestión de riesgo volcánico desde las instituciones	14
1. Servicio Meteorológico durante las erupciones volcánicas	14
2. Programa de Evaluación de las Amenazas Volcánicas del SEGEMAR para Argentina	15
Conclusiones, desafíos y recomendaciones	17
1) Lecciones aprendidas	17
2) Identificación de puntos críticos en las infraestructuras	18
3) Adquisición de datos	19
Agradecimientos	19
Referencias	19
Apéndice I: Lista de participantes	22
Apéndice II: Programa	25
Apéndice III: Contexto de la Gestión del Riesgo en Argentina	26
Apéndice IV: Definiciones	27

Resumen

La complejidad inherente a las erupciones volcánicas y su relación con las sociedades actuales requiere estrategias innovadoras acerca de cómo evaluamos y gestionamos el riesgo volcánico. La erupción del volcán Cordón Caulle (Chile) en 2011 (CC-2011) demostró la complejidad adicional asociada a los peligros secundarios y consecuencias en cascada que prolongan y agravan los impactos a corto y largo plazo. En particular, la removilización continua de las cenizas volcánicas finas por acción del viento ha generado un impacto prolongado en el tiempo, incluso hasta nuestros días, 8 años después de la erupción.

El análisis detallado del impacto en tres de las localidades más afectadas por esta erupción, Villa la Angostura (VLA), San Carlos de Bariloche (SCB) e Ingeniero Jacobacci (IJ) revela que necesitamos una comprensión más profunda de la interacción entre la intensidad y tipología de los peligros con los diferentes sistemas expuestos en esta región (p. ej. las infraestructuras críticas, la población, la ganadería). Uno de los mayores inconvenientes resulta de la dificultad de compilar los datos del impacto de una manera integral y eficiente. Durante el periodo de gestión de la crisis, no se cuenta con suficiente tiempo para diseñar plantillas de toma de datos, esenciales para el análisis del impacto; después de la crisis, los datos son escasos y no homogéneos lo cual es a menudo muy difícil de interpretar. Si bien cada uno de los actores implicados en el momento de una emergencia cuenta con una gran cantidad de datos recogidos en diversos formatos (p. ej. reportes, informes técnicos, inventario de daños, periódicos, material audiovisual), no se cuenta con metodologías definidas o estándar acerca de cómo integrar y estructurar esta información de tal manera que podamos extraer los aspectos prioritarios en los que se debe trabajar para reducir el riesgo futuro.

Con el objetivo de contribuir en las estrategias de preparación de las comunidades y desarrollar métodos conjuntos más eficientes para la recopilación de datos de impacto, la Universidad de Ginebra en colaboración con el INTA han querido reunir los diferentes actores implicados en el impacto asociado a la erupción del 2011 del Cordón Caulle provenientes de diversas instituciones y perfiles profesionales. Se ha buscado pues discutir los resultados del proyecto de investigación en el análisis del impacto financiado por el Fondo Nacional Suizo #200021_163152 (2015-2019), y recopilar las diferentes perspectivas, lecciones aprendidas y estrategias de mitigación desde un enfoque inter-disciplinario. Entre los participantes contamos con profesionales y técnicos de instituciones comprendiendo varias Municipalidades, Subsecretarías Generales de la Protección Civil, Bomberos, Sistema de Telecomunicaciones y Sanitario, Agricultura, Cooperativa Ganadera, Hospital, Radio y TV, Parques Nacionales, los Servicios Geológico (SEGEMAR) y Meteorológico Nacional (SMN), el Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA) y la Universidad de Ginebra (la lista completa de participantes y el programa se encuentran en los Apéndices I y II).

Con base en las presentaciones orales y la discusión abierta durante el taller, surgieron las siguientes conclusiones y recomendaciones:

1) Necesidades y desafíos

- Fortalecer las alertas tempranas que son fundamentales para una coordinación previa y durante una crisis volcánica.
- Incrementar la comunicación y esfuerzo conjunto de la gestión volcánica entre las agencias operativas en Chile y Argentina.
- Dar continuidad a los protocolos que se vienen implementando en Argentina a través del Plan Nacional para la Reducción de Riesgo.
- Incentivar estrategias de comunicación, coordinación y trabajo conjunto entre todos los actores implicados (p.ej. Protección Civil, Universidades, Infraestructuras, comunidades) mediante talleres, protocolos, simulacros, etc.
- Implementar las lecciones aprendidas con la erupción del CC-2011.

2) Identificación de puntos críticos en las infraestructuras

- La vulnerabilidad sistémica, y, en particular la fuerte dependencia al servicio eléctrico es crítica en todas las infraestructuras de la región; incrementar pues la autonomía en cada infraestructura (p. ej. mediante el uso de grupos generadores) es fundamental.
- La interoperabilidad entre los Servicios de Obras Públicas y las infraestructuras es crucial para responder eficazmente y asegurar la funcionalidad durante la crisis volcánica.
- Los análisis de costo/beneficio son esenciales para la toma de decisiones y para obtener mayor inversión en preparación y planificación.

3) Adquisición de datos

- Las guías para una evaluación de impactos mas estructurada y cuantificable contribuirían a una reducción de impactos en el futuro.
- Existe un común acuerdo que las bases de datos comunes, actualizadas y geo-referenciadas, en las que todos los actores implicados puedan acceder en tiempo real, son fundamentales para la gestión del riesgo.
- Las evaluaciones de impacto post-evento estructuradas y cuantificables requieren también una base de datos geo-referenciada y sistemática de los impactos ocurridos para poder comprender mejor la interrelación entre los peligros volcánicos, su intensidad y el impacto esperado en los elementos expuestos.
- La rápida detección de la actividad eruptiva y su evolución en tiempo real es necesaria para los modelos de pronósticos de dispersión de cenizas del Servicio Meteorológico Nacional.
- Las bases de datos actualizadas y geo-referenciadas de las redes de infraestructuras son cruciales para asegurar la interoperabilidad entre la Protección Civil y las Infraestructuras.

Executive Summary

The inherent complexity associated with volcanic eruptions and their relationship with societies requires innovative strategies about how we assess and manage risk. The 2011 Cordón Caulle eruption (2011-CC) demonstrated the additional complexity associated with secondary hazards and cascading effects that prolong and exacerbate the primary impact in both the short- and long-term. In particular, the remobilisation of volcanic ash driven by wind has generated a long-lasting impact, even at current time 8 years after the eruption.

The detailed impact analysis in the three localities most impacted by this eruption, Villa la Angostura (VLA), San Carlos de Bariloche (SCB), and Ingeniero Jacobacci (IJ), reveals that we need a better understanding of the interaction of hazard typology and intensity with the various exposed systems in this region (e.g. critical infrastructures, agriculture, population). One of the most important complications rises from the fact that compiling impact data in an integrative and efficient way is a difficult task. During the crisis period, there is no time to design data acquisition templates, which are essential for the posterior impact analysis; after the crisis, the sparse and inhomogeneous collection of data is often difficult to interpret. Despite the large amount of data available in different formats provided by various stakeholders (e.g. technical reports, damage inventories, newspapers, pictures and videos), there is no standard methodologies on how to integrate and structure this information a posteriori in order to prioritize mitigation measures and reduce future volcanic risk.

With the objective of increasing community preparedness and developing more efficient strategies for collection of impact data, the University of Geneva in collaboration with the National Institute of Technology and Agriculture of Argentina have organised a workshop to gather stakeholders from various disciplines and institutions. This workshop was designed to provide a feedback on the impact analysis carried out as part of the Swiss National Science Foundation project #200021_163152 (2015-2019), and to compile the stakeholders perspectives, lessons learnt and risk reduction strategies adopted. Participants included professionals and technicians from various municipalities, civil protection, fire brigades, telecommunications, water-waste infrastructures, hospitals, cooperatives, radio and TV, geological and meteorological services, agriculture sector and universities (the list of participants and the program are available at Appendices I and II).

Based on the oral presentations and open discussions, the following conclusions and recommendations could be drawn:

1) Needs and Challenges

- Early warning systems that are fundamental for the coordination before and during a volcanic crisis need to be strengthened.
- Communication between operational agencies in Chile and Argentina needs to be strengthened.
- Protocols that are being implementing through the National Plan for the Risk Reduction in Argentina need to be followed up.
- Strategies should be encouraged that improve the communication, coordination and synergy among all the stakeholders (e.g. Civil Protection, Universities, Infrastructures,

Governments) and communities through workshops, protocols, emergency simulations, etc.

- The lessons learnt from the 2011-CC eruption need to be implemented

2) Identification of critical vulnerability aspects of infrastructures

- The systemic vulnerability, and, in particular, the strong dependency to the power supply, is critical for all the infrastructures in the region; therefore, the autonomy of each infrastructure needs to be increased (e.g. through the use of independent power generators).
- The interoperability between the public work services and the infrastructures is crucial to respond effectively and ensure the functionality during a volcanic crisis.
- Cost-benefit analyses are essential for decision making and better investment in preparedness and planning for the future.

3) Impact data acquisition

- Guidelines of a structured and quantifiable assessment of the impact to infrastructures would contribute to reduce the future impact.
- There is a common agreement on the need of updated and geo-referenced databases that all implied stakeholders can access in real time.
- Structured and quantifiable post-event impact assessments require also geo-referenced and systematic impact databases in order to understand and better correlate the different hazard intensities with the expected impact in the exposed elements.
- The rapid detection and characterization of the eruptive activity in real time are necessary for the forecasting modelling of ash dispersal by the Meteorological National Service.
- Geo-referenced and updated databases of the infrastructure networks are crucial to ensure an efficient interoperability between the Civil Protection and the infrastructure managers and technicians.

Introducción

Después de 41 años de reposo, el volcán Cordón Caulle (Chile) entró de nuevo en erupción el 4 de Junio de 2011 (Collini et al. 2013; Pistolesi et al. 2015). La erupción generó plumas volcánicas de 3 a 12 km de altura por encima del nivel del cráter, que fueron dispersadas hacia Argentina gracias a los vientos predominantes. Debido a la larga duración y complejidad de la actividad eruptiva en conjunto con una variación importante del viento, se produjo un depósito de alrededor de 1km³ de tefra riolítica con una estratigrafía bastante compleja (Pistolesi et al. 2015). Esta erupción produjo varios fenómenos en diferentes escalas de tiempo y espacio tales como flujos piroclásticos en las zonas más proximales al volcán (Chile), lahares en las zonas medias (rutas 231, 234, Villa Traful, Villa la Angostura), caída de ceniza afectando una amplia zona en Argentina (Gaitán et al. 2011; Collini et al. 2013; Bonadonna et al. 2015; Pistolesi et al. 2015). La removilización de cenizas volcánicas por la acción del viento afectó áreas muy extensas a largo plazo, prolongando y agravando el impacto de la erupción (Wilson et al. 2013; Craig et al. 2016c; Elissondo et al. 2016a; Forte et al. 2018; Dominguez et al. 2020). En particular la ceniza fina, especialmente de las capas más superficiales del depósito, se han removilizado continuamente por la fuerza del viento en todas las áreas afectadas por la erupción.

Se calcularon unas pérdidas económicas de alrededor de 187 millones de dólares en el sector de turismo (52% en Neuquén y 37% en Río Negro) y alrededor de 200 millones de dólares en el sector de la agricultura y ganadería (Elissondo et al. 2016). Sin embargo, las pérdidas a largo plazo debido a la removilización eólica de cenizas es incalculable.

El complejo volcánico Puyehue-Cordón Caulle ha tenido 11 erupciones en los últimos 250 años (1751-2011), 3 de las cuales ocurrieron en los últimos 100 años (1921, 1960, 2011). Estos datos indican que existe una alta probabilidad de que este volcán entre de nuevo en erupción en los próximos 50 años. Por esta razón un análisis exhaustivo del impacto ocasionado por la erupción del 2011 es clave para la reducción del riesgo futuro. Es importante mencionar que en Argentina el riesgo es administrado y manejado por el Plan Nacional para la Reducción de Riesgo (PNRRD) (Apéndice III).

Con el objetivo de contribuir en las estrategias de preparación de las comunidades y desarrollar métodos conjuntos más eficientes para la recopilación de datos de impacto, la Universidad de Ginebra en colaboración con el INTA han querido reunir los diferentes actores implicados en el impacto asociado a la erupción del 2011 del Cordón Caulle provenientes de diversas instituciones y perfiles profesionales (lista de participantes y programa en Apéndices I y II).

Objetivos de la reunión

- Discutir los resultados del proyecto de investigación científica financiado por el Fondo Nacional Suizo #200021_163152 entre 2015 y 2019, el cual se centró en el análisis del impacto del CC-2011 para comprender mejor la interacción entre los tipos de peligros o amenazas, su intensidad y duración con los elementos expuestos.
- Determinar las áreas o elementos críticos en cada sistema (infraestructuras) donde se deben tomar medidas de mitigación en el caso de ser afectados por ceniza volcánica.

Para esto es necesario identificar las causas físicas principales que causan los impactos, los efectos en cascada que inducen la pérdida de funcionalidad y los aspectos más vulnerables en cada sistema.

- Discutir las guías directrices para la recolección de datos para las autoridades responsables de la infraestructura crítica.
- Incentivar la comunicación entre las instituciones y los científicos para comprender las necesidades reales de las instituciones y los desafíos que afrontan en el desarrollo de estrategias de mitigación de riesgo volcánico.

Todos los temas tratados tanto en las presentaciones orales como en la discusión abierta se resumen en las siguientes secciones.

Tema I: Gestión de la crisis durante la erupción del Cordón Caulle en 2011

1. Definición de áreas prioritarias de acción

A pesar de que la región afectada pertenece a una de las zonas volcánicas más activas de Suramérica, las poblaciones analizadas dentro del marco de este proyecto (Villa la Angostura, San Carlos de Bariloche e Ingeniero Jacobacci) no contaban con protocolos de gestión de crisis volcánicas previamente a la erupción del Cordón Caulle (CC) en 2011. Por este motivo, la respuesta frente a la erupción se fue desarrollando a medida que las necesidades e impactos iban sucediendo. La Provincia de Rio Negro, y en particular toda el área de la Línea Sur fue fuertemente impactada debido a las características de la pluma volcánica y la sedimentación de tefra así como de los rasgos geomorfológicos y climáticos de esta región. Como resultado, una de las medidas de respuesta rápida más efectivas por parte del Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA) fue el mapeo de toda el área afectada en la provincia de Rio Negro por medio de imágenes satelitales (medidas de reflectancia antes y después del evento) y toma de datos directos en el campo (medición de espesores del depósito de caída primaria de ceniza) en colaboración con bomberos y defensa civil. El primer mapa de isópacas (isolíneas de espesor) fue realizado por el INTA mediante técnicas de interpolación con GIS (Gaitan et al. 2011). Este mapa de distribución de cenizas permitió definir las zonas prioritarias de acción para dar respuesta a los pobladores y productores ganaderos de la región. Mediante los datos del número de productores y cabezas de ganado provistos por SENASA (Servicio Nacional de Sanidad y Calidad Agroalimentaria) se obtuvo el número de animales expuestos. Se observó una disminución en el número de animales del 2011 al 2016; sin embargo, esto es el resultado de la caída de cenizas así como la fuerte sequía que sufre la zona.

En cuanto a las estrategias tomadas en el plazo inmediato, se cuenta con la repartición de agua, barbijos y antiparras, así como alimento para los animales. A largo plazo, se han implementado estrategias para la optimización y gestión de la información, estrategias para

el repoblamiento ganadero, medidas para la cuantificación de la vulnerabilidad socio ambiental y fortalecimiento de las relaciones interinstitucionales.

Por otra parte, la distribución geográfica de cenizas de diferente granulometría combinado con un gradiente climático característico desde la zona andina hacia la estepa patagónica, ha conllevado a procesos importantes de formación de agregados de partículas y suelos que, a largo plazo, han contribuido a la estabilización de cenizas reduciendo así la removilización eólica.

2. Lecciones aprendidas y resiliencia

Aún cuando hubo estudios y discusiones científicas previos acerca de la probabilidad de ser afectados por una erupción volcánica, desde el punto de vista de gestión de la emergencia volcánica, podemos decir que ninguna de las localidades afectadas se encontraba suficientemente preparada antes del 2011. Sin embargo, cada localidad conformó el Centro de Operaciones de Emergencia (COE) inmediatamente después de la erupción confiando en el apoyo y la contribución de muchos actores como la Defensa Civil, el INTA, el SEGEMAR, las cooperativas, los bomberos, los voluntarios, y los científicos. Sin embargo, las funciones, miembros, horas de reunión y medidas de mitigación fueron sustancialmente diferentes para cada localidad.

Una de las grandes carencias durante la emergencia fue la falta de información a todos los niveles. Desde la alerta temprana de erupción emitida por el Observatorio Volcanológico de los Andes del Sur de Chile (OVDAS), hasta la información que llegó a la población. Esto conllevó a una subestimación de la magnitud del impacto de la erupción y una desintegración entre los diferentes actores implicados en la gestión de la emergencia.

Una de las lecciones más importantes fue la necesidad de diseñar planes de emergencia y contingencia, los cuales se han ido desarrollando en menor o mayor medida para cada localidad. En el caso de VLA por ejemplo, después de la gestión de emergencia por lahares asociados a la erupción del CC, ha venido desarrollando un Plan de Riesgo y Evacuación por aumento de los cauces de ríos. Por otra parte, SCB se ha adherido al Marco de Sendai para la Reducción del Riesgo de Desastres y ha legislado los planes de emergencia dentro de una ordenanza en los cuales se cuenta con 30 escenarios de emergencia para la ciudad. La ley nacional de gestión del riesgo (SINAGIR) ha sido crucial en este sentido (Apéndices III).

Tema II: Impacto en las Infraestructuras Críticas (IFC)

1. Impacto en el sistema de Telecomunicaciones

El sistema de telecomunicaciones está conformado por una tecnología bidireccional de red híbrida de fibra óptica y cable coaxial. Cuenta con una cabecera de fibra óptica, telefonía (TE), banda ancha (BA) y televisión por cable (CATV), además de las redes troncales pasivas de fibra óptica, las redes secundarias activas por cable coaxial y las acometidas domiciliarias de acceso a los usuarios. Pese a tener una experiencia previa con fenómenos climáticos

(lluvia, viento, nieve y una combinación de los mismos) de corta duración, no se tenía una experiencia con cenizas volcánicas, el cual es un fenómeno recurrente de larga duración.

El impacto más importante ha sido la acumulación de ceniza en los filtros, la abrasión de diferentes elementos del sistema y la conductividad. Una de los elementos más sensibles son las antenas parabólicas que deben conservar una superficie tal que puedan reflejar las ondas electromagnéticas como un espejo en el foco de la parábola. Una de las afectaciones principales es la acumulación de cenizas en las antenas disminuyendo esta superficie de reflexión. La medida de mitigación más eficaz es la limpieza periódica de servidores, antenas y activos de las redes coaxiales. En el caso de las antenas se debe utilizar agua a presión inmediatamente después de la sedimentación. En el caso de la red coaxial (fuentes de potencia, baterías, etc.), se debe utilizar compresor de aire.

Otras medidas adoptadas fueron el entrenamiento del personal (incluyendo el uso de barbijos y gafas), la reorganización de funciones en los días de mayor viento, y el desarrollo de aspersores de agua para limpiar las antenas. El estudio costo/beneficio que conlleva soterrar la red mostró que no es viable por el momento.

2. Impacto en el transporte y tratamiento de efluentes cloacales

La red de efluentes cloacales cuenta con una planta depuradora con una capacidad instalada de 90.000 habitantes y 4 colectores con una capacidad total de transporte de 3400 m³/h. La capacidad de la red estaba sobrepasada previamente a la erupción, con lo cual no había mucho margen operacional en el caso de alguna contingencia.

Los impactos principales relacionados a la ceniza volcánica fueron la reducción de la capacidad hidráulica debido a la llegada de ceniza volcánica que entró en los desagües cloacales ya que en algunas zonas ambos desagües (cloacales y fluviales) estaban conectados de manera ilegal. Parte de la ceniza limpiada entró en estos desagües y se acumuló en la planta depuradora y en las redes. Esto sumado a diversos cortes de energía eléctrica (en especial el ocurrido el 7 de junio) agravó las consecuencias en esta red. Sin embargo, no se detectaron problemas desde el punto de vista biológico en la planta.

En cuanto a las medidas de mitigación, se realizó una campaña de divulgación, concientización y desvinculación de las conexiones irregulares de la red cloacal y pluvial. Se desarrollaron estrategias de limpieza en las redes y de eliminación de material pétreo en las unidades de tratamiento para recuperar la capacidad hidráulica. También se construyó un desarenador localizado antes de la estación de bombeo principal.

3. Metodología integral para la evaluación de impacto en las infraestructuras críticas mediante las técnicas de análisis forense

Las erupciones volcánicas son fenómenos naturales complejos con un gran impacto potencial en las comunidades, pero poco frecuentes. La interacción entre los productos emitidos y las condiciones en superficie (atmosféricas, topográficas) generan una gran gama de fenómenos que actúan a diferentes escalas espaciales y temporales. Estos fenómenos, cuando entran en contacto con los sistemas expuestos, generan diversos impactos que son

a menudo muy difíciles de cuantificar. Adicionalmente, en el momento de la emergencia, no se cuentan con suficientes protocolos de toma de datos que puedan ser utilizados posteriormente para el análisis de los impactos. Por otra parte, debido a la relativa baja frecuencia de las erupciones volcánicas, tenemos pocas oportunidades para analizar los impactos reales, sus causas y toda la cadena de consecuencias (efectos en cascada) que se producen una vez un impacto ocurre. Si bien cada uno de los actores implicados en el momento de una emergencia natural cuenta con una gran cantidad de datos recogidos en diversos formatos (p. ej. reportes, informes técnicos, inventario de daños, periódicos, material audiovisual), no contamos aún con metodologías definidas de cómo debemos integrar y estructurar esta información de tal manera que podamos extraer los aspectos claves en los que se debe trabajar para reducir el riesgo futuro.

Con este fin, se ha realizado un estudio detallado de los impactos ocasionados por la ceniza volcánica asociada con la erupción del CC-2011, pero también del impacto debido a la continua removilización de ceniza por el viento desde el 2011 hasta este día. En este estudio se hizo especial hincapié en todas las posibles causas de los daños físicos así como de todos los efectos en cascada que se generan a partir de un daño físico, es decir la pérdida de funcionalidad de las infraestructuras y sus posteriores consecuencias.

La metodología propuesta incluye los siguientes pasos principales:

a) Encontrar evidencias

Identificar los impactos y todas las características que obedecen a las preguntas: Qué? Quién? Cuándo? Dónde? Cómo? Porqué?

b) Estructurar los hechos

Analizar las causas primarias de los impactos y todas las posibles consecuencias que pueden generar. Es indispensable determinar todas las interdependencias entre sistemas y clasificar los impactos según 4 ordenes de causas (Tabla 1).

- Primer Orden: Fallo físico
- Segundo Orden: Pérdida de función
- Tercer orden: Impacto sistémico entre las IFC
- Orden mayor: Impacto sistémico a los sectores económicos, sociales y a la Economía Nacional.

Una vez determinadas las causas y consecuencias, es necesario organizar y estructurar toda esta información mediante el uso de herramientas lógicas. En esta metodología se propone el uso de árboles de fallo para investigar y analizar las causas de los fallos de primer orden (fallo físico); y el uso de árboles de eventos para analizar los posibles escenarios que se pueden producir como consecuencia del efecto en cascada, producto de la interdependencia entre sistemas. La versatilidad de estas herramientas permite la conexión de estos árboles mediante estructuras gracias que permiten la visualización de todos los posibles escenarios asociados a un evento volcánico.

	1 ^{er} ORDEN	2 ^{do} ORDEN	3 ^{er} ORDEN	ORDEN MAYOR
--	-----------------------	-----------------------	-----------------------	-------------

Tipo de Impacto	Fallo físico	Pérdida de función	Impacto sistémico			
			Entre IFC y otros sistemas	Impacto a los sectores económicos	Perturbación y malestar social	Impacto a la Economía
Escala temporal (duración)	segundos-días	segundos-días	horas-días-meses	meses-años	meses-años	meses-años
Escala espacial (área afectada)	Componente del sistema	Parte del Sistema (%)	Parte del Sistema (%)	Local-regional-nacional	Local-regional-nacional	Nacional - internacional

Tabla 1. Clasificación de los impactos según su orden causal

c) Identificar los puntos críticos

El objetivo final de esta metodología es proveer la información de una manera gráfica y conceptual acerca de un impacto en particular y todos los posibles escenarios generados, con el fin de establecer las prioridades de acción para la reducción del riesgo en el caso de un evento futuro. La capacidad de mitigación está intrínsecamente relacionada con el grado de conocimiento de los impactos y la resolución del estudio.

3.1. Aplicabilidad: ejemplo del daño físico en los conductores eléctricos

El análisis detallado del impacto en las infraestructuras permitió constatar que las comunidades son altamente vulnerables ante la pérdida de servicio eléctrico. De hecho, todas las infraestructuras como las telecomunicaciones, suministro de agua, hospitales y escuelas dependen fuertemente del servicio eléctrico. En este estudio se identificó que el daño físico más recurrente es la descarga eléctrica en los aisladores de corriente. Se ha determinado empíricamente y mediante experimentos que el proceso de descarga eléctrica en los aisladores está relacionado a una acumulación de ceniza bajo unas condiciones de humedad determinadas (Wardman et al. 2012, 2014; Wilson et al. 2012). La conductividad en el aislador ocurre cuando existe una acumulación dada de ceniza y ésta contiene suficientes sales que al contacto con la humedad se vuelven solubles. Las condiciones de humedad más favorables pueden ocurrir a una intensidad y duración determinada de nieve, lluvia, niebla o rocío. Una vez ocurre una descarga eléctrica en el aislador, se pueden presentar diversos escenarios de pérdida de funcionalidad en el sistema eléctrico que a su vez va a determinar la pérdida de funcionalidad en las otras infraestructuras que necesitan la electricidad (p. ej. la funcionalidad de las rutas o de los hospitales).

En el ejemplo analizado no contamos con información suficiente para cuantificar las probabilidades de impacto y los umbrales de excedencia de cada factor. Sin embargo, podemos estructurar conceptualmente la cadena de consecuencias y distinguir los puntos críticos de control. En el caso de los aisladores eléctricos por ejemplo se detectó que proteger los aisladores y/o lavarlos inmediatamente después que la ceniza se deposita es crucial para evitar la descarga eléctrica. Sin embargo, las estrategias de mitigación a largo plazo deben

incluir un mejor diseño de estos aisladores específicamente en regiones volcánicas. p. ej. incrementar la cantidad de aisladores en las líneas o desarrollar aisladores con materiales antiadherentes. Para esto es necesario implementar curvas de fragilidad que describan los umbrales de resistencia, las cuales deben ser derivadas tanto de datos experimentales como de datos de impacto real.

El Análisis forense cuenta pues con un potencial enorme a la hora de estimar y cuantificar los parámetros que construyen las diversas dimensiones de vulnerabilidad (p. ej. física, sistémica), que en última instancia representa el componente mayor en la reducción del riesgo futuro.

Tema III – Impacto en la agricultura y medio ambiente

1. Impacto en actividades agropecuarias

El impacto en las actividades agropecuarias producto de la caída primaria de ceniza volcánica ha sido descrito para numerosas erupciones alrededor del mundo, entre ellas, el Monte Santa Helena en 1980 (Cook et al. 1981), Ruapehu en 1995-1996 (Cronin et al. 1998) o Merapi en 2006 (Wilson et al. 2007). En contraposición, la caracterización de los impactos vinculados a la subsecuente removilización de ceniza por acción del viento ha sido mucho más subestimada. Este fenómeno comenzó a cautivar el interés de la comunidad volcanológica en la última década, siendo un caso emblemático el de las tormentas de ceniza en el norte de Santa Cruz, producto de la removilización de los depósitos de la erupción del volcán Hudson de 1991 (Wilson et al. 2011). En el caso particular del CC en 2011, numerosas investigaciones abordaron el tema de la caída primaria de cenizas y subrayaron la importancia de la removilización eólica de cenizas (Villagra et al. 2012; Wilson et al. 2013; Easdale et al. 2014; Craig et al. 2016a, b; Elisondo et al. 2016a). Sin embargo, el fenómeno de removilización masiva de ceniza asociada al CC adquirió relevancia nuevamente con las nubes de ceniza que alcanzaron niveles atmosféricos tales que llegaron a Buenos Aires y Uruguay, cientos de kilómetros lejos de la fuente, generando grandes perturbaciones del tráfico aéreo (Folch et al. 2014).

Utilizando herramientas tanto de las ciencias sociales como naturales, Forte et al. (2018) se enfocaron en el estudio de la fenomenología, dinámica e impacto de la removilización eólica de la ceniza volcánica en las comunidades rurales de la región patagónica, con especial énfasis en la localidad de Ing. Jacobacci. El estudio conjunto de los datos meteorológicos, reportes de periódicos y entrevistas a pobladores arrojó que los eventos de removilización de ceniza por acción del viento fueron muy frecuentes e intensos durante los primeros 6 meses posteriores a la erupción. Algunos de estos desplazaron ceniza más de 1100 km, afectando a grandes ciudades como Buenos Aires. Al igual que para el caso de Hudson, los eventos presentaron variación estacional, siendo más frecuentes durante las estaciones secas y de fuertes vientos (entre septiembre y marzo). En términos absolutos, la frecuencia fue disminuyendo paulatinamente hasta abril de 2014, donde un evento de lluvias extraordinarias ocasionó la removilización de gran cantidad del material volcánico remanente. En relación a los impactos en las actividades agropecuarias, los autores sugieren que los eventos de removilización de ceniza exacerbaban y prolongaban en el tiempo el impacto de la caída

primaria. Entre los impactos identificados destacan: falta de alimento para el ganado, problemas gastrointestinales, ceguera por abrasión de córnea, contaminación de lana con ceniza, pérdida de ganado por falta de visibilidad en el campo y contaminación de fuentes superficiales de agua. Dada la similitud de impactos entre caída primaria y subsecuente removilización, resulta difícil discernir entre ambos mientras la erupción se encuentra en curso. Sumado a esto, el impacto de la caída de ceniza primaria y de los posteriores eventos de removilización eólica amplificó las consecuencias de un periodo de sequía que azotaba la zona desde 2007. Esto pone en evidencia la necesidad del análisis de escenarios multi-peligros y abordajes multidisciplinarios en sectores tan complejos como el agropecuario.

2. Impacto en Parques Naturales: Erupción del volcán Chaitén en Los Alerces (Chubut)

El Parque de Los Alerces, que cuenta con aproximadamente 300.000 hectáreas, hace parte de un corredor natural hacia Chile de más de 600.000 hectáreas. Este parque fue fuertemente afectado por las cenizas volcánicas del volcán Chaitén en 2008. Aún perteneciendo a una zona volcánica altamente activa, la Institución de Parques Naturales de Argentina no contaba con un protocolo de contingencia por erupciones volcánicas hasta la erupción del Chaitén. Se adaptaron entonces los protocolos existentes para otro tipo de contingencias para responder a la emergencia volcánica. Uno de los problemas mayores estuvo relacionado a la falta de comunicación debido a perturbaciones en el sistema eléctrico. Entre las acciones que se llevaron a cabo fue la participación activa en los COE, reparto de agua y barbijos a poblaciones rurales y escuelas, reparto de fardos de pasto, tramitación de subvenciones a productores, transporte de ganado a otros campos, monitoreo de aguas y cenizas. Igualmente, se diseñaron unos folletos de información al poblador con las recomendaciones acerca de qué hacer antes, durante y después de una lluvia de cenizas. Se establecieron también vías de contacto con INTA y Universidades para la evaluación del impacto sobre la ganadería (Referencia) y el impacto en especies muy vulnerables como el Huemul (Referencia). Existe un informe operativo completo compilando todas estas acciones en el cual se solicita al Presidente de Parques la declaración como "Área Protegida en Emergencia". A largo plazo se diseñó y legisló (2012) el "Protocolo Interinstitucional de Gestión de Información ante la Amenaza de Caída de Cenizas Volcánicas en el Territorio Argentino. Etapa: Preparación para la Emergencia". Actualmente se cuenta con el Sistema Comando de Incidentes (SCI), el Comando Operativo de Emergencias (COE) y cada parque tiene protocolos específicos (APN).

Tema IV – Gestión de riesgo volcánico desde las instituciones

1. Servicio Meteorológico durante las erupciones volcánicas

La interacción entre el material volcánico eyectado a la atmósfera y las condiciones meteorológicas son cruciales para determinar la dispersión y sedimentación de la ceniza volcánica. Por esta razón, el Servicio Meteorológico Nacional (SMN) monitorea 24 horas

durante los 365 días del año. Se monitorea la ocurrencia de erupciones, su dispersión, eventual depósito y eventual removilización. El SMN cuenta con dos ramas de servicio:

▪ Servicios para la aeronáutica

El SMN alberga el Centro de Avisos de Cenizas Volcánicas (VAAC por sus siglas en inglés) de Buenos Aires el cual es un centro regional que se ocupa de vigilar alrededor de 150 volcanes en Suramérica (10°N – 90°S y 90°W - 10°W). Su función principal es la vigilancia de la extensión lateral y vertical de las cenizas volcánicas en la atmosfera mediante sensores remotos y datos del volcán en superficie. De esta manera, se producen los pronósticos cada 6 horas mediante modelos numéricos de dispersión de cenizas combinados con modelos meteorológicos y se envían al sistema de comunicaciones aeronáuticas.

▪ Servicios para la protección civil

Con base en el Protocolo Interinstitucional, se implementó hace poco el trabajo conjunto con SEGEMAR para asesorar a SINAGIR en el caso de una erupción. Se cuenta con diversos productos tanto para la protección civil (pronósticos meteorológicos especiales y pronósticos numéricos de depósito de ceniza volcánica) como para la comunidad (pronósticos meteorológicos a 7 días que se publican en la web). Próximamente estará disponible un producto tanto para protección civil como para la comunidad, que son los avisos cada 6 horas por posible reducción de visibilidad y eventual caída de ceniza (por erupción en curso o removilizada).

En el largo plazo, se busca homogenizar el sistema para emitir y publicar alertas por municipios con un código de colores (rojo a verde) y las recomendaciones a la población. Estas alertas incluyen los diferentes fenómenos meteorológicos (p. ej. lluvias, tormentas, viento, viento zonda, nevadas), así como la causa de reducción de la visibilidad (p. ej. niebla, polvo en suspensión, cenizas volcánicas, humo, altas y bajas temperaturas).

2. Programa de Evaluación de las Amenazas Volcánicas del SEGEMAR para Argentina

El Programa de Evaluación de las amenazas volcánicas de SEGEMAR se conforma por las cartas y estudios de peligrosidad volcánica realizados en el marco del Programa Nacional de Cartas Geológicas y Temáticas del Instituto de Geología y Recursos Minerales (IGRM) y por el Observatorio Argentino de Vigilancia Volcánica (OAVV). La misión principal de dicho programa es la mitigación del riesgo volcánico al que se encuentra expuesto el territorio nacional, su población e infraestructura. Una de los grandes desafíos es la gestión de riesgo volcánico en áreas binacionales como es el caso de Chile y Argentina. El 27 de enero de 2013 se firmó el acuerdo binacional para el control, monitoreo y gestión de las erupciones en el área fronteriza

de ambos países. De la misma manera, se firmó un acuerdo específico sobre el monitoreo de los volcanes Copahue y Puyehue entre SERNAGEOMIN (Chile) y SEGEMAR (Argentina). De acuerdo al Protocolo Binacional de alertas volcánicas, la comunicación entre ambos países se hace a través de SEGEMAR, el cual es el encargado de emitir los avisos al VAAC-SMN a las autoridades de Protección Civil (Nacionales, Provinciales y Municipales).

Actualmente el OAVV ha diseñado su código de niveles de alerta volcánica y los reportes quincenales de la actividad, al igual que está trabajando en el diseño de un nuevo sitio web con alto contenido acerca de los procesos volcánicos, los sistemas de vigilancia, alertas, etc. Particularmente, las alertas volcánicas son emitidas en la plataforma de SINAGIR-Digital.

Todas las actividades del OAVV se encuentran dentro del marco de SINAGIR, y están en colaboración con diversas instituciones nacionales tales como el SMN, CONAE, IGN, Universidades y CNEA, al igual que organismos internacionales como el SERNAGEOMIN, el Servicio Geológico Colombiano (SGC), el Servicio Geológico de los Estados Unidos (USGS) y las Universidades de Wisconsin-Madison y de Mainz.

Argentina y Chile comparten el arco volcánico andino con alrededor de 120 volcanes activos (con registro de erupciones en el holoceno e histórico), de los cuales 39 volcanes están situados en Argentina o muy cerca del límite de ambos países (Elissondo et al. 2016b). A lo largo de los últimos 27 años han ocurrido una serie de erupciones volcánicas que han afectado económica y socialmente a ambos países: Hudson (1991), Lascar (1993), Llaima (2007), Chaitén (2008), Planchón-Peteroa (2010), Puyehue-Cordón Caulle (2011), Copahue (2012), Villarica (2015) y Calbuco (2015). Con el objetivo de identificar los volcanes que representan un mayor riesgo en Argentina y de esta manera priorizar la gestión, se desarrolló una metodología de ranking basada en el Sistema de Evaluación del Riesgo Relativo del Servicio Geológico de los Estados Unidos (USGS) (Ewert et al. 2005; Ewert 2007). Se combinaron 15 factores de peligrosidad (p.ej. Máximo Índice de Explosividad Volcánica (IEV), recurrencia eruptiva), con 10 factores de exposición (p. ej. Índice de población, fatalidades históricas, infraestructura de energía) que resultan en un valor de peligrosidad y exposición para cada volcán. Se trata de una evaluación cualitativa del riesgo relativo como resultado de la multiplicación de peligrosidad y exposición. Sin embargo, no se tienen en cuenta ni las probabilidades de ocurrencia, ni la vulnerabilidad ni las pérdidas. Los volcanes de mayor riesgo en Argentina son Copahue en primer lugar y Planchón-Peteroa en segundo lugar dada su actividad altamente frecuente y la población residente en cercanías de estos volcanes. Es importante enfatizar que este estudio de ranking no incluye los volcanes chilenos, no obstante, es un trabajo que se encuentra en desarrollo.

Basados en el ranking de riesgo volcánico para Argentina, se seleccionaron 8 volcanes (Tupungatito, San José, Maipo, Planchón-Peteroa, Laguna del Maule, Tromen, Copahue y

Lanín) clasificados en 3 categorías de acuerdo a la amenaza asociada en relación al tipo y frecuencia de las erupciones, la duración de la actividad eruptiva, la actividad histórica, el impacto sobre la actividad humana e infraestructura y el interés científico. Se planeó una inversión de 4 millones de dólares para el equipamiento en monitoreo visual, sismológico, geodésico y geoquímico, con el objetivo de generar alertas tempranas por parte del OAVV. Así mismo, SEGEMAR está realizando los mapas de peligrosidad para estos volcanes, de los cuales se ha terminado el mapa del Complejo Volcánico Laguna del Maule en colaboración con SERNAGEOMIN, y los mapas de los volcanes Lanín y Copahue se encuentran en fase preliminar.

Otras actividades por parte de SEGEMAR incluyen su participación en el COE durante las crisis de los volcanes Cordón Caulle, Copahue, Planchón-Peteroa y Lanín; el desarrollo de mapas de susceptibilidad de lahares y peligrosidad por caída de tefra en colaboración con la Universidad de Ginebra; la redacción de informes para la Protección Civil sobre el estado e impacto de los volcanes en alerta (dentro del marco de SINAGIR); y talleres de divulgación y apoyo en la elaboración de Planes de Emergencia.

Conclusiones, desafíos y recomendaciones

Esta reunión contribuyó a un encuentro fructífero entre profesionales y técnicos de las instituciones implicados en la gestión del riesgo a nivel local y regional, así como científicos de diversas áreas (geólogos, ingenieros, meteorólogos, agrónomos). Se destaca la participación constructiva de todos los participantes lo cual es muy positivo para establecer una interacción más fluida y colaborativa entre todos los actores implicados.

Este tipo de encuentros es muy necesario para mantener una memoria colectiva en eventos recurrentes de poca frecuencia, como es el caso de las erupciones volcánicas. Estos eventos son a menudo olvidados frente a los acontecimientos y obligaciones cotidianas; sin embargo, los impactos que afectan amplias zonas a corto y largo plazo, ameritan no sólo documentarlos, sino mantener vivas las lecciones en la memoria social e institucional. Debido a que gran parte de los participantes al taller cumplían funciones durante la emergencia del CC-2011, recuperar las experiencias vividas de primera fuente fue fundamental para reconstruir las siguientes lecciones aprendidas y recomendaciones:

1) Lecciones aprendidas

La necesidad más importante que surge a partir de la erupción del CC-2011 es la implementación de alertas tempranas e información sobre los eventos volcánicos potenciales. Los protocolos que se vienen implementando a través del Plan Nacional para la Reducción de Riesgo son fundamentales para incrementar la comunicación y el esfuerzo conjunto entre Chile y Argentina, no sólo para el monitoreo volcánico, sino para desarrollar estrategias de alertas tempranas.

Una de las lecciones más importantes aprendidas con la erupción del CC-2011 es la necesidad del trabajo conjunto y coordinado entre los distintos organismos: Protección Civil, Universidades, Infraestructuras críticas. Para esto es necesario la sinergia entre los diferentes actores implicados a través de una definición específica de las funciones y responsabilidades de cada componente del COE, así como el diseño de planes conjuntos de contingencia. En este sentido, la legislación del SINAGIR en 2016 abrió grandes perspectivas en materia de reducción de riesgo en Argentina. Paulatinamente todas las provincias y comunidades se van adhiriendo a este Plan Nacional para la Gestión de Riesgo.

Aunque la percepción recurrente de las comunidades ante el CC-2011 es la falta de preparación adecuada, previamente a la erupción, también lo es la sensación que actualmente se han aprendido muchas lecciones, se están implementando muchas estrategias de gestión y la preparación para un evento futuro es substancialmente mayor.

2) Identificación de puntos críticos en las infraestructuras

Se identificó que la vulnerabilidad sistémica, en particular la inter-dependencia entre sistemas genera largas cadenas de consecuencias en las infraestructuras. Particularmente, la dependencia en la energía eléctrica limita todas las otras infraestructuras, como por ejemplo las telecomunicaciones, a unas pocas horas, según la autonomía de baterías o la capacidad de grupos generadores, que son a su vez, dependientes del suministro de combustible. En el caso particular de la Cooperativa Eléctrica de Bariloche, esta dependencia ha llevado a un plan de contingencia en el cual se intenta asegurar el suministro eléctrico y por ende el funcionamiento de telecomunicaciones en lugares cruciales como son hospitales y comisarías.

Otro de los mayores problemas es la coordinación entre los Servicios de Obras Públicas (limpieza) y las demás infraestructuras. Las redes de telecomunicaciones son altamente vulnerables pues se encuentran paralelas a las carreteras y son bastante superficiales (entre 30 y 70 cm de profundidad). Muchas veces, aún cuando no se ha presentado ningún daño físico en la red, en el momento en que la maquinaria de limpieza remueve material, suele arrancar o dañar el cableado. Estos cortes son poco probables, pero si se presentan en las carreteras inter-municipales pueden dejar incomunicada toda una población. Durante la erupción del CC, este problema de interoperabilidad fue bastante común y subrayó dos problemas fundamentales: por una parte, no existen sistemas de información geográfica que incluyan la ubicación de este cableado y su profundidad; y, por otra parte, no hubo una verdadera coordinación entre Servicios Públicos y los técnicos de las infraestructuras para integrar mejor una respuesta eficaz a la hora de la limpieza de rutas. Es necesaria pues una base de datos común y actualizada para que todos los actores implicados puedan acceder a la información en tiempo real.

Concerniente a la alta vulnerabilidad sistémica de las infraestructuras críticas, en particular la dependencia del sistema eléctrico, se plantearon diversas propuestas para el futuro; entre ellas,

- Incrementar la autonomía de cada sistema (p. ej. mediante grupos generadores).
- Contemplar los diferentes elementos relacionando los efectos en cascada que suelen generar largas cadenas de consecuencias.
- Los análisis detallados de costo/beneficio son esenciales para que los gobiernos que toman las decisiones inviertan más en preparación y planificación para el futuro. Para esto es necesario una evaluación de impactos más estructurada y cuantificada acerca de los impactos que ya ocurrieron en el pasado.

3) Adquisición de datos

Bajo el marco del SINAGIR se han desarrollado cuatro ejes principales en función de la experiencia en Argentina como la de otros países, para promover la interacción entre la Protección Civil, la comunidad científica y la población. Estos protocolos en desarrollo se enfocan en cómo transmitir la información técnica en información pública. Por ejemplo, la Protección Civil de Neuquén se coordina con SEGEMAR que es el ente científico de referencia.

Dentro de este mismo marco, existen actualmente cursos y procedimientos para gestionar el riesgo volcánico, incluyendo simulacros, los cuales se han implementado en Neuquén y Copahue.

La información y muestreo en tiempo real es fundamental para los modelos de pronósticos de dispersión y depósitos de ceniza (SMN-VAAC). Por esta razón una base de datos en tiempo real y geo-referenciada sería muy útil en la coordinación de respuestas ante una crisis volcánica.

Otras preguntas referentes a la toma de datos que quedan por resolver son:

- Cómo acoplar la toma de datos útiles con el manejo de la emergencia? Qué se puede coleccionar y qué no durante la crisis volcánica y después?
- Existen formatos establecidos para el registro de fallos? Los impactos están codificados? Cómo insertar el factor ceniza en esos formatos?

Agradecimientos

El Comité Organizador desea agradecer a todos los participantes su interés y contribución durante este taller. Así mismo deseamos agradecer al Fondo Nacional Suizo (FNS) por su colaboración y financiación para la realización de este taller mediante el proyecto #200021_163152.

Referencias

- Bonadonna C, Cioni R, Pistolesi M, et al (2015) Sedimentation of long-lasting wind-affected volcanic plumes: the example of the 2011 rhyolitic Cordón Caulle eruption, Chile. *Bull Volcanol* 77:13. doi: 10.1007/s00445-015-0900-8
- Collini E, Osorio MS, Folch A, et al (2013) Volcanic ash forecast during the June 2011 Cordón Caulle eruption. *Nat Hazards* 66:389–412. doi: 10.1007/s11069-012-0492-y
- Cook RJ, Barron JC, Papendick RI, Williams GJ (1981) Impacts on agriculture of Mount St

- Helens eruption. *Science* (80-) 211:16–22.
- Craig H, Wilson T, Stewart C, et al (2016a) Impacts to agriculture and critical infrastructure in Argentina after ashfall from the 2011 eruption of the Cordón Caulle volcanic complex: an assessment of published damage and function thresholds. *J Appl Volcanol* 5:7. doi: 10.1186/s13617-016-0046-1
- Craig HM, Wilson TM, Stewart C, et al (2016b) Agricultural impact assessment and management after three widespread tephra falls in Patagonia, South America. Springer Netherlands
- Craig HM, Wilson TM, Stewart C, et al (2016c) Impacts to agriculture and critical infrastructure in Argentina after ashfall from the 2011 eruption of the Cordón Caulle volcanic complex: an assessment of published damage and function thresholds. *J Appl Volcanol* 5:7. doi: 10.1186/s13617-016-0046-1
- Cronin SJ, Hedley MJ, Neall VE, Smith RG (1998) Agronomic impact of ash fallout from the 1995 and 1996 Ruapehu Volcano eruptions, New Zealand. *Environ Geol* 34:21–30.
- Dominguez L, Bonadonna C, Forte P, et al (2020) Aeolian Remobilisation of the 2011-Cordón Caulle Tephra-Fallout Deposit : Example of an Important Process in the Life Cycle of Volcanic Ash. 7:1–20. doi: 10.3389/feart.2019.00343
- Easdale MH, Sacchero D, Vigna M, Willems P (2014) Assessing the magnitude of impact of volcanic ash deposits on Merino wool production and fibre traits in the context of a drought in North-west Patagonia, Argentina. *Rangel J* 36:143–149. doi: 10.1071/RJ13124
- Elissondo M, Baumann V, Bonadonna C, et al (2016a) Chronology and impact of the 2011 Cordón Caulle eruption, Chile. *Nat Hazards Earth Syst Sci* 16:675–704. doi: 10.5194/nhess-16-675-2016
- Elissondo M, Farías C, Collini E (2016b) Volcanic Risk Assessment in Argentina. Cities on Volcanoes 9, Puerto Varas, Chile. In: *Volcanic Risk Assessment in Argentina. Cities on Volcanoes 9. Puerto Varas,*
- Ewert J (2007) System for Ranking Relative Threats of U.S. Volcanoes.
- Ewert JW, Guffanti M, Murray TL (2005) An Assessment of Volcanic Threat and Monitoring Capabilities in the United States: Framework for a National Volcano Early Warning System (NVEWS). *US Geol Surv Open-File Rep* 1–62.
- Folch A, Mingari L, Osorio MS, Collini E (2014) Modeling volcanic ash resuspension – application to the 14–18 October 2011 outbreak episode in central Patagonia, Argentina. *Nat Hazards Earth Syst Sci* 14:119–133. doi: 10.5194/nhess-14-119-2014
- Forte P, Domínguez L, Bonadonna C, et al (2018) Ash resuspension related to the 2011-2012 Cordón Caulle eruption, Chile, in a rural community of Patagonia, Argentina. *J Volcanol Geotherm Res* 350:18–32. doi: 10.1016/j.jvolgeores.2017.11.021
- Gaitán JJ, Ayesa JA, Umaña F, et al (2011) Cartografía del área afectada por cenizas volcánicas en las provincias de Río Negro y Neuquén.
- Gaitán JJ, Ayesa JA, Raffo F, et al (2011) Monitoreo de la distribución de cenizas volcánicas en Río Negro y Neuquén : situación a los 6 meses de la erupción.
- Jenkins SF, Wilson TM, Magill C, et al (2015) Volcanic ash fall hazard and risk.
- Pistolesi M, Cioni R, Bonadonna C, et al (2015) Complex dynamics of small-moderate volcanic events: the example of the 2011 rhyolitic Cordón Caulle eruption, Chile. *Bull Volcanol* 77:3. doi: 10.1007/s00445-014-0898-3
- Thorarinsson S (1944) Petrokronologiska Studier på Island. *Geogr Annu* 26:1–217.

- Villagra S, Ayesa JA, Raffo F, Easdale M (2012) Cenizas Del Cordón Caulle-Puyehue Para La. Wardman J, Wilson T, Hardie S, Bodger P (2014) Influence of volcanic ash contamination on the flashover voltage of HVAC outdoor suspension insulators. IEEE Trans Dielectr Electr Insul 21:1189–1197. doi: 10.1109/TDEI.2014.6832265
- Wardman JB, Wilson TM, Bodger PS, et al (2012) Potential impacts from tephra fall to electric power systems: A review and mitigation strategies. Bull Volcanol 74:2221–2241. doi: 10.1007/s00445-012-0664-3
- Wilson T, Cole J, Cronin S, et al (2011) Impacts on agriculture following the 1991 eruption of Vulcan Hudson, Patagonia: Lessons for recovery. Nat Hazards 57:185–212. doi: 10.1007/s11069-010-9604-8
- Wilson T, Stewart C, Bickerton H, et al (2013) Impacts of the June 2011 Puyehue-Cordón Caulle volcanic complex eruption on urban infrastructure, agriculture and public health.
- Wilson TM, Kaye G, Stewart C, Cole J (2007) Impacts of the 2006 Eruption of Merapi Volcano, Indonesia, on Agriculture and Infrastructure.
- Wilson TM, Stewart C, Sword-Daniels V, et al (2012) Volcanic ash impacts on critical infrastructure. Phys Chem Earth 45–46:5–23. doi: 10.1016/j.pce.2011.06.006

Apéndice I: Lista de participantes

Comité Organizador	Institución	Email
1) Costanza Bonadonna	Universidad de Ginebra, Suiza	Costanza.bonadonna@unige.ch
2) Donaldo Bran	Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria	bran.donaldo@inta.gov.ar
3) Lucia Dominguez	Universidad de Ginebra, Suiza	Lucia.dominguez@unige.ch
4) Corine Frischknecht	Universidad de Ginebra, Suiza	corine.Frischknecht@unige.ch
Participantes	Institución	Email
5) Marcos Arretche	Subsecretaría General de Protección Civil, VLA	marcosarretche@gmail.com
6) Oscar Armengol	Bomberos Voluntarios, IJ	dejacobacci@gmail.com
7) José Balladares	Secretaría General de Protección Civil, Nación	Jose.balladares@minseg.gov.ar
8) Marcela Blanco	Subsecretaría de Medioambiente y Desarrollo Sustentable de la Provincia – Delegación Viedma	mblanco@ambiente.rionegro.gov.ar
9) Claudio Brockerhof	Regional Patagonia – Servicio Nacional de Manejo del Fuego, Ministerio de Seguridad de la Nación	regional6patagonia@gmail.com
10) Eduardo Broglio	Cooperativa de Electricidad Bariloche Ltda, SCB	EBroglio@ceb.coop
11) Gustavo Cabañares	Hospital, IJ	gcabadapa@gmail.com
12) Sergio Caneo	Protección Civil de la Municipalidad de Esquel	sergalesquel@gmail.com
13) Adriana Patricia Díaz	Subsecretaría General de Protección Civil, SCB	defensacivilmscb@bariloche.gov.ar
14) Manuela Elissondo	SEGEMAR	manuelaje@yahoo.com.ar

15) Andrea Enriquez	Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria, Argentina	enriquez.andrea@inta.gov.ar
16) Horacio Fernández	Cooperativa de Electricidad Bariloche Ltda, SCB	HFernandez@ceb.coop
17) Pablo Forte	Universidad de Buenos Aires	fortepablo.gl@gmail.com
18) Sebastian Garcia	SEGEMAR	Sebagarcia85@gmail.com
19) Andrés Gaetano	Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria, Argentina	gaetano.andres@inta.gov.ar
20) Martin Giusti	Subsecretaría de Defensa Civil y Protección Ciudadana, Prov. Neuquén	giustimartin@hotmail.com
21) Lucas Gómez	Dirección General de planes y relevamientos territoriales, Neuquén	Lucas.defensacivil@gmail.com
22) Santiago Hourbeigt	Plan de Gestión Integrada de Riesgos en el Sector Agropecuario, Neuquén	santiagoh@neuquen.gov.ar
23) Segundo Inostrosa	Edersa, IJ	sinostrosa@edersa.com.ar
24) Johanna Kaufman	SEGEMAR	Johanna.f.kaufman@gmail.com
25) Alejandra Lepori	Hospital, IJ	alelepori2000@hotmail.com
26) Paulino Mansilla	Cuartel de Bomberos Voluntarios, IJ	
27) Fernando Martin	Cooperativa de Electricidad Bariloche Ltda, SCB	FMartin@ceb.coop
28) Mondillo Maximiliano	Hospital, IJ	Eltano_13@yahoo.com.ar
29) Jazmin Miguel	Ente Región Sur Programa Ganadero, IJ	jazminmiguel24@gmail.com
30) Leonardo Mingari	Barcelona Supercomputing Center, España	Leonardo.mingari@bsc.es
31) Gerónimo Millain	Departamento de riesgo geológico, Neuquén	Geroo.millain@gmail.com

32) Luciana Musella	Parques Nacionales	lmusella@apn.gov.ar
33) Martin Nini	DPA Regional Zona Andina	mnini@dpa.rionegro.gov.ar
34) Soledad Osoros	Servicio Meteorológico Nacional – VAAC Buenos Aires	msosoros@smn.gov.ar
35) Gonzalo Pazos	Edersa, IJ	gpazos@edersa.com.ar
36) Ricardo Pereyra	Intendencia – Parque Nacional Nahuel Huapi	rpereyra@apn.gov.ar
37) Marisa Pérez	Cooperativa Ganadera Indígena	coop.ganaderaindigena@gmail.com
38) Fernando Raffo	Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria	raffo.fernando@inta.gov.ar
39) Ailen Rodríguez	Subsecretaría de Medioambiente y Desarrollo Sustentable de la Provincia, IJ	ailun_5@yahoo.com.ar
40) Virginia Velasco	Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria	velasco.virginia@inta.gov.ar
41) Pablo Zamorano	Bomberos Voluntarios, IJ	zamoranosur@gmail.com

*VLA-Villa La Angostura; SCB-San Carlos de Bariloche; IJ-Ingeniero Jacobacci

Apéndice II: Programa

9:30 – 10:00	Bienvenida y registro	
10:00 – 10:20	Introducción: M. Sarasola (INTA) y C. Bonadonna (UNIGE)	
TEMA I: Impacto asociado a la erupción del Puyehue-Caulle en 2011		
10:20-12:00	<ul style="list-style-type: none"> ➤ 10:20-10:40 F. Raffo (INTA) “Erupción del Puyehue-Cordón Caulle. Evaluación del impacto de la ceniza en el medio rural” ➤ 10:40-11:00 A. Enriquez (INTA) “El lado « B » del vulcanismo : la ceniza como agente formador de suelos” ➤ 11:00-11:20 M. Arretche (SubSec. Protección Civil, VLA) “Fragilidad de la Infraestructura crítica en una localidad netamente turística: Villa la Angostura” ➤ 11:20-11:40 A. Diaz (SubSec. Protección Civil, SCB) “Lecciones aprendidas y resiliencia” 11:40-12:00 O. Armengol (Bomberos Voluntarios, IJ) “Vivencias de la erupción en Ingeniero Jacobacci” 	<p><i>Moderadores:</i></p> <p><i>L. Dominguez</i> <i>M. Elissondo</i></p>
12:00-13:00	Almuerzo	
TEMA II: Impacto en las infraestructuras críticas		
13:00-15:00	<ul style="list-style-type: none"> ➤ 13:00-13:20 E. Broglio (CEB, SCB) “Cenizas del Caulle en Telecomunicaciones. Un desafío, una oportunidad” ➤ 13:20-13:40 H. Fernández (CEB, SCB) “Cenizas del Caulle, su impacto en el transporte y tratamiento de efluentes cloacales” ➤ 13:40-14:30 L. Dominguez (UNIGE, Suiza) “Investigación forense de los impactos por ceniza volcánica en las infraestructuras críticas” ➤ 14:30-15:00 Discusión 	<p><i>Moderadores:</i></p> <p><i>C. Bonadonna</i> <i>J. Kaufman</i></p>
15:00-15:30	Pausa - café	
TEMA III: Impacto en la agricultura y medio ambiente		
15:30-16:10	<ul style="list-style-type: none"> ➤ 15:30-15:50 P. Forte (UBA, AR) “Porqué evaluar el impacto que genera la ceniza volcánica? El caso de las actividades agropecuarias” ➤ 15:50-16:10 R. Pereyra (Parques Nacionales) “Erupción del Chaitén en 2008, primera experiencia contemporánea de ceniza volcánica en Parques Naturales” 	<p><i>Moderadores:</i></p> <p><i>D. Bran</i> <i>L. Dominguez</i></p>
TEMA IV: Gestión de riesgo volcánico desde las Instituciones		
16:10-16:50	<ul style="list-style-type: none"> ➤ 16:10-16:30 S. Osoreo (SMN) “Servicio Meteorológico durante las erupciones volcánicas” ➤ 16:30-16:50 S. Garcia y M. Elissondo (SEGEMAR) “Programa de Evaluación de las Amenazas Volcánicas del SEGEMAR para Argentina” 	<p><i>Moderadores:</i></p> <p><i>D. Bran</i> <i>L. Dominguez</i></p>
16:50-17:00	Cierre de la reunión	

*VLA = Villa la Angostura, SCB=San Carlos de Bariloche, IJ = Ingeniero Jacobacci.

Apéndice III: Contexto de la Gestión del Riesgo en Argentina

Es importante mencionar que actualmente la gestión del riesgo en Argentina se encuentra alineada con el Marco de Acción de Hyogo (2005-2015) y el Marco de Acción de Sendai para la Reducción del Riesgo de Desastres (2015-2030). El Plan Nacional para la Reducción de Riesgo (PNRRD) está constituido por las políticas relacionadas con la gestión integral del riesgo y los principios básicos que deben desarrollarse para la ejecución de programas y acciones para reducir los riesgos existentes, garantizar mejores condiciones de seguridad a la población y proteger el patrimonio económico, social, ambiental y cultural (<https://www.argentina.gob.ar/sinagir/institucional/plan-nacional-reduccion-de-riesgos>).

Dentro del marco del PNRRD, la gestión del riesgo en Argentina se encuentra institucionalizado a través del Sistema Nacional de Gestión Integral del Riesgo (SINAGIR) que fue creado en Octubre de 2016 tras la sanción de la Ley 27287. El SINAGIR está integrado por el Consejo Nacional (todos los ministerios) para la Gestión Integral del Riesgo y la Protección Civil, el Consejo Federal (Representantes de todas las provincias) de Gestión Integral del Riesgo y la Protección Civil y la Secretaría Ejecutiva. El objetivo del SINAGIR es integrar las acciones y articular el funcionamiento de los organismos del Gobierno Nacional, Provincial, de la Ciudad Autónoma de Buenos Aires y gobiernos municipales, las organizaciones no gubernamentales y la sociedad civil, para fortalecer y optimizar las acciones destinadas a la reducción de riesgos, el manejo de la crisis y la recuperación. La finalidad última del SINAGIR es garantizar la protección integral de las personas, las comunidades y el ambiente ante la existencia de riesgos (<https://www.argentina.gob.ar/sinagir/institucional>).

Apéndice IV: Definiciones

Las siguientes definiciones están en acuerdo con el glosario de las Naciones Unidas para la Reducción del Riesgo (UNDRR),

Amenaza: proceso, fenómeno o actividad humana que puede ocasionar muertes, lesiones u otros efectos en la salud, daños a los bienes, perturbaciones sociales y económicas o daños ambientales.

Evento peligroso: manifestación de una amenaza en un lugar concreto durante un período de tiempo concreto.

Impacto: se define como la interacción entre un evento peligroso y los diferentes elementos expuestos, abarcando los impactos a los sectores económicos (p. ej. agropecuario, turismo), sociales, a la infraestructura o a la salud pública. El impacto puede tener efectos negativos (p. ej. pérdidas económicas) y efectos positivos (p. ej. beneficios económicos). El impacto está intrínsecamente relacionado a la **vulnerabilidad** pre-existente del elemento expuesto y de cómo el elemento va a responder a un evento peligroso dado.

Vulnerabilidad comprende todas aquellas condiciones determinadas por factores o procesos físicos, sociales, económicos y ambientales que aumentan la susceptibilidad del elemento expuesto a los efectos de la amenaza. En contraposición, la **resiliencia** es la habilidad del elemento expuesto a una amenaza de resistir, absorber, acomodar, adaptarse, transformar o recuperarse de los efectos de una amenaza de una manera eficiente.

Tefra: material volcánico emitido durante una erupción volcánica explosiva independientemente de su tamaño de partícula, forma o composición (Thorarinsson 1944). Las partículas cuyo diámetro es menor a 2mm son llamadas cenizas volcánicas. Las cenizas pueden ser gruesas (63 μm a 2 mm) o finas (< 63 μm).

De acuerdo con Jenkins et al. 2015, una de las amenazas volcánicas primarias más extendidas geográficamente es la dispersión en la atmósfera y posterior caída de tefra. La removilización eólica puede ocurrir en el mismo momento de la sedimentación de tefra o durante los años e incluso siglos posteriores a la erupción, constituyendo uno de los peligros volcánicos secundarios más duraderos y más extendidos espacialmente.