

# Ceniza volcánica: Dispersión y caída. Impactos, riesgos y mitigación

Reckziegel, Florencia \*; Arango Palacios, Eliana \*; Viramonte, José G. \*

\*Instituto de Bio y Geociencias del NOA (IBIGEO, CONICET)

Hace algunos años, el país se vio afectado por diferentes erupciones volcánicas. Tales como las del Láscar (23°22'S - 67°44'O, Chile, 1993), Chaitén (42°50'S - 72°39'O, Chile, 2008), Cordón Caulle (40°35'S - 72°07'O, Chile, 2011) o el Calbuco (41°20'S - 72°39'O, Chile, 2015). Estas erupciones explosivas con columnas eruptivas superiores a los 15 km de altitud, ocasionaron nubes de ceniza que al dispersarse cubrieron una amplia región de nuestro país afectando significativamente a diferentes sectores sociales. Hay ciudades que sufrieron la caída de ceniza durante meses, por lo que numerosos habitantes debieron ser evacuados, tuvieron problemas de salud, sufrieron pérdidas en su producción agrícola o ganadera, de infraestructura, problemas en el transporte terrestre y aéreos, entre otras muchas consecuencias.

Tabla 1: Denominación de materiales de origen piroclástico en función al tamaño de las partículas. Cuadro modificado de Teruggi et al., 1978 por Villarosa, 2011 (revista Presencia, edición Especial referida a la erupción del volcán Puyehue).

PIROCLASTO (individuo)	TEFRA (agregado no consolidado)	PIROCLASTITA (agregado consolidado)	TAMAÑO
BLOQUE BOMBA	CASCAJO PIROCLÁSTICO AGLOMERADO PIROCLÁSTICO	BRECHA PIROCLÁSTICA AGLOMERADO PIROCLÁSTICO	> 32 mm PIROPSFITAS
LAPILLO	LAPILLI	LAPILLITA	2 mm
TRIZA	CENIZA (O CENIZA GRUESA)	TOBA	PIROPSAMITAS 0,064 mm
PULVICULA	POLVO (O CENIZA FINA)	CHONITA	PIROPELITAS <

Teniendo en cuenta lo mencionado anteriormente y, que la cordillera de los Andes constituye un eje magmático y volcánico activo de primer orden, podemos deducir que nuestro país sufrió y seguramente seguirá sufriendo este tipo de consecuencias derivadas de la caída de cenizas volcánicas. Con estos antecedentes y con el fin de mitigar los riesgos que genera este tipo de fenómeno, es que creamos un programa informático, denominado ATLAS (Atmospheric Lagrangian Dispersion - dispersión atmosférica Lagrangiana), que permite calcular y pronosticar la dispersión de las cenizas, anticipando la dirección y cantidad de material volcánico que estará en el aire y cuánto, finalmente se depositará en el suelo. Todo ello con el fin de generar las alertas necesarias con el tiempo suficiente de antelación, a fin de tomar las medidas preventivas que permitan mitigar su efecto. Por supuesto, que esto sólo funciona si contamos antes, con el conocimiento suficiente de la población, referente a los riesgos a los que nos somete la caída de ceniza volcánica.

Para lograr avanzar en la mitigación de riesgos y reducir las consecuencias durante posibles futuros eventos, se deben reunir conocimientos, herramientas y resultados de diferentes disciplinas. En el IBIGEO (Instituto de Bio y Geociencias del Noroeste Argentino) se trabaja en esta problemática mediante un grupo de trabajo multidisciplinario.

Se elaboró un programa que, dada una erupción volcánica y conociendo parámetros básicos de la misma, permite modelar la dispersión de la ceniza volcánica en la atmósfera y su final caída en el suelo, proporcionando información de la carga depositada en el suelo ( $\text{kg}/\text{m}^2$ ) así como las concentraciones en el aire ( $\text{kg}/\text{m}^3$ ). Este programa realiza un pronóstico de la ubicación y dirección de la nube de ceniza y cuantificación de masa. A partir de los resultados de estos pronósticos, es que los organismos de defensa civil pueden tomar decisiones tempranas para la prevención de los efectos de caída de ceniza, en las poblaciones que serán afectadas.

### ¿Qué es la ceniza volcánica?

La ceniza volcánica tiene un alcance y dispersión geográfica muy superior en comparación a las partículas de mayor tamaño (bombas, bloques, etc.), las que solo se localizan en las zonas proximales del cráter del volcán. Luego, la escala de afectación puede variar y ser desde local a regional o global dependiendo fuertemente de las características del viento.

La composición química y petrográfica de las partículas de ceniza, depende de cada volcán y cada erupción. Esto significa que cada erupción es diferente, con características específicas que emiten un material particular con una composición mineral determinada. En términos muy generales se puede decir que las tefras están compuestas mayoritariamente por cristales y fragmentos de roca, trizas y fragmentos de vidrio volcánico (la roca es enfriada tan rápidamente cuando sale a la superficie que no

permite la formación o crecimiento de minerales, formando así, el vidrio volcánico) y presenta formas afiladas y duras. En la Figura 1 se presenta una vista al microscopio de una muestra de ceniza colectada durante la erupción del volcán Calbuco en el año 2015. Se puede apreciar claramente las típicas formas afiladas y la composición vítrea de las trizas de vidrio. Es por esto que cuando hablamos de ceniza volcánica, estamos hablando de un material delicado para la salud humana. Fundamentalmente cuando la ceniza es suficientemente fina (menor a 10 µm de diámetro), puede ocasionar graves problemas respiratorios. En la Figura 2 se puede ver una relación entre el tamaño de las partículas atmosféricas y el nivel de alcance que tiene para el sistema respiratorio. Asimismo, la presencia de distintos materiales adsorbidos en la superficie de la ceniza (SO<sub>4</sub>, Cl, B, Br, etc.) la hace muchas veces corrosiva, ampliando aún más las consecuencias nocivas para el ambiente y la salud humana.

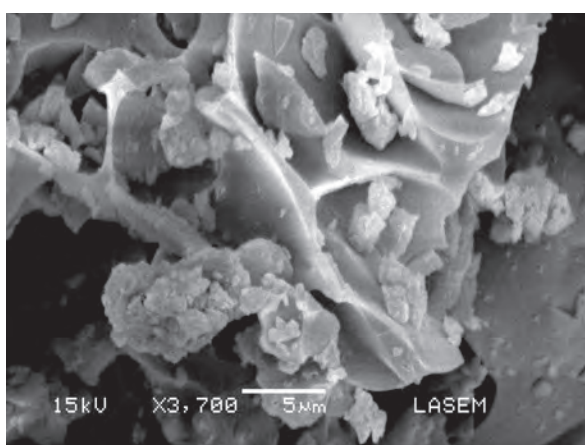


Figura 1: Vista al microscopio de una muestra de ceniza volcánica correspondiente a la erupción del Calbuco en el 2015.

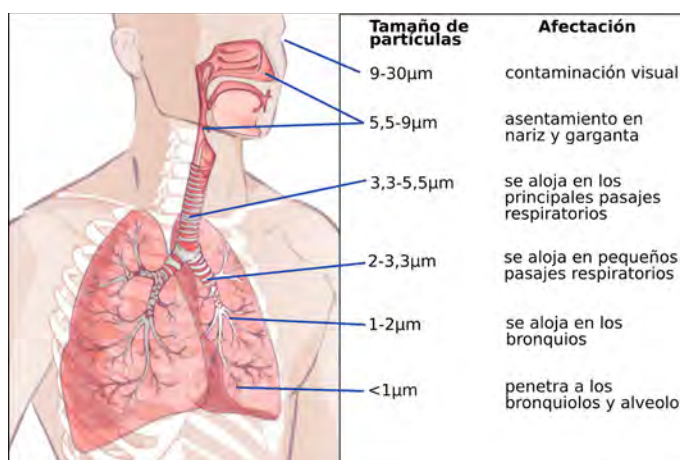


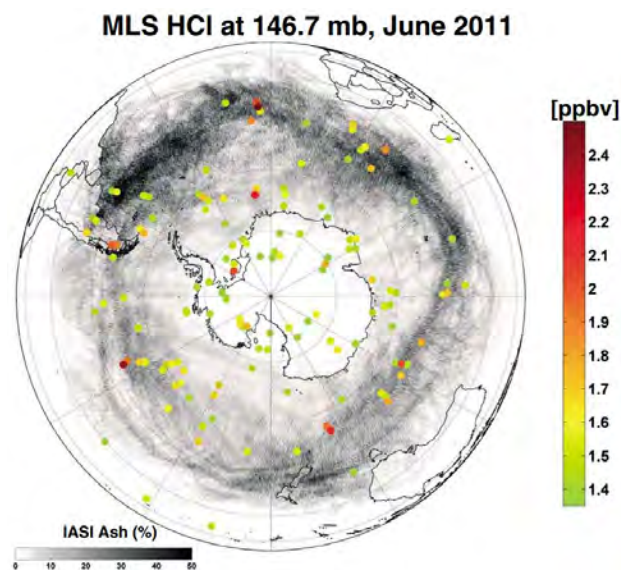
Figura 2: Afectación de la ceniza volcánica en el sistema respiratorio en función a su tamaño.

### ¿Por qué es importante hablar de ceniza?

Debido a la composición y al tamaño de la ceniza, es que ésta constituye un peligro para diferentes sectores. La posibilidad que pueden viajar de cientos a miles de km desde la fuente, la hace aún más peligrosa. Por ello el área de afectación de la ceniza dispersada en la atmósfera y su caída en el suelo, es significativamente más grande que otros peligros volcánicos. Un ejemplo de esta situación la constituye la erupción del Cordón Caulle en el año 2011, donde la nube de ceniza de este volcán chileno llegó a Buenos Aires, pasando por varias provincias de Argentina y extendiéndose hasta el mar y otros países, dando la vuelta al mundo (Theys et al., 2013). Podemos ver el alcance de la ceniza en el mapa representado en la Figura 3; en este mapa se representa mediciones de cloruro de hidrógeno (HCl) superpuesto a la detección de ceniza volcánica (en gris).

La caída de ceniza es el peligro volcánico que tiene el mayor potencial de afectar de manera directa o indirecta a un mayor número de personas en el mundo.

Figura 3: Ceniza volcánica detectada (en color gris) que da la vuelta al mundo por el hemisferio sur. Se superponen en color, porcentajes de mediciones de HCl.



Puede causar daños en la salud, como irritación en los ojos, en la piel o problemas respiratorios, fundamentalmente cuando existe una enfermedad previa. En la Figura 4 se observa la ceniza de la erupción del Cordón Caulle (2011) suspendida en el aire, en la ciudad de Villa la Angostura. Por ese motivo es necesario la utilización de medidas de seguridad como el uso de barbijos.

Además, puede cubrir una ciudad de tal manera que modifica los horarios de luz (generando oscuridad) e incluso cambios de temperatura.



Figura 4: Ceniza volcánica suspendida y depositada en la ciudad de Villa la Angostura. Imagen publicada en el diario La Capital el 17 de junio de 2011, junto a la cual informaban que algunos vecinos se autoevacuaron, hubo colapsos de techos, la ciudad no contaba con servicio de agua desde hacía un día y que solucionar los problemas para la toma de agua demoraría al menos 48 hs, la mitad de la población estaba sin luz, adelantarian el receso escolar de invierno y que la actividad turística (actividad principal de la ciudad) se vería seriamente perjudicada.

La ceniza también es perjudicial para la agricultura y la vegetación en general, pues se cubren todas las plantas y los suelos con ceniza y pueden cambiar las propiedades texturales y químicas de los suelos. Debido a su composición mineral, la agricultura puede verse muy dañada (Fig. 5).



Figura 5. a) Plantaciones de repollo, habas y aromáticas cubierta por ceniza volcánica. Foto tomada de la edición especial de la revista Presencia referida a la erupción del volcán Puyehue. 2011. b) Frutos dañados por ceniza. Foto tomada por Nahuilén Guanco, obtenida de la web.

La ganadería sufre impactos muy fuertes. La ceniza cubre el pasto, lo seca y de esa manera se reduce la fuente de alimentación de los animales (Fig. 6). Además, les corroe los dientes, impidiendo que los animales puedan seguir alimentándose, ocasionando en muchos casos, la muerte del mismo. En este sentido, es necesario implementar medidas preventivas para resguardar o evacuar a los animales y/o conseguir alimento no contaminado mientras dure la caída de ceniza en la zona, según el caso podrían ser días o meses. Para poder actuar con rapidez y eficacia en el momento, es importante contar con planes y medidas preventivas. No obstante, la presencia de ceniza puede también ser beneficiosa a largo plazo, por el aporte de elementos de interés como potasio, magnesio, entre otros, favoreciendo la fertilización del suelo e incrementando el cultivo posterior a su caída.



Figura 6. Las plantas y el agua para los animales se cubre de ceniza. Los animales para subsistir necesitan ser evacuados y/o recibir asistencia permanente de alimento. Foto tomada de "Sobre la tierra", <http://sobrelatierra.agro.uba.ar> del 8 de septiembre de 2011.

Los cursos de agua pueden ser afectados al ser cubiertos por ceniza (Fig. 7). Luego, tanto por los agentes contaminantes solubles, como cambiando la temperatura o disminuyendo la disponibilidad de oxígeno para los animales acuáticos. Finalmente, también se derivan problemas en los equipos disponibles para la toma de agua previo a su potabilización pudiendo ocasionar la falta de agua potable en ciudades.

También ocurren problemas infraestructurales con la caída de ceniza, tales como colapsos de techos por la carga depositada (Fig. 8). Además, en líneas de comunicación y transportes eléctricos, ya que las partículas de ceniza que caen se adhieren a la superficie, sobre todo ante la presencia de humedad, lo que la hace conductiva y ácida, y por lo tanto provoca fluctuaciones de voltaje. Esto implica que las compañías de electricidad deben mantener un trabajo arduo y constante mientras dure la caída de ceniza, tanto en el control de aislantes como en mantener limpias las líneas y torres en cada evento de caída. En la Figura 9 se puede observar al personal durante la limpieza de cables.



Figura 7: Lago Nahuel Huapi cubierto de ceniza en Villa La Angostura en Junio del 2011. Foto: La Nación.



Figura 8. Techo colapsado por acumulación de ceniza. Paso Internacional Cardenal Samoré, Neuquén. Foto tomada el 8 de Junio de 2011 por Valeria Outes y Gustavo Villarosa.

Los sistemas de calefacción, ventilación y refrigeración también son vulnerables a la caída de ceniza volcánica. Muchos de ellos poseen un sistema de control electrónico. Ejemplos de estos casos son hospitales, refrigeración de alimentos perecederos, enfriamiento de grandes salas computacionales, entre otros.



Figura 9. Bombero realizando limpieza en el tendido eléctrico en Villa la Angostura. Foto tomada el 15 de junio de 2011 por Osvaldo Peralta.



Figura 10. Aeronave de Austral permaneció en las pistas de un aeropuerto en San Carlos de Bariloche, Río Negro. Foto tomada por Chiwi Giambirtone obtenida desde la web.

La dispersión de cenizas representa un grave impacto para el transporte aéreo (Fig. 10). Las consecuencias pueden ser muy diversas ocasionando la interrupción y desvíos de vuelos, cierre de aeropuertos e incluso el encuentro inesperado de una aeronave en áreas con concentraciones significativas de ceniza. En este sentido, la Organización de Aviación Civil Internacional (OACI) estableció en el año 1998 nueve centros de aviso de ceniza volcánica (Volcanic Ash Advisory Centres VAAC) en el mundo. Estos centros proporcionan de manera permanente pronósticos e información de la dispersión de ceniza volcánica en la atmósfera a nivel mundial emitidas por un volcán en erupción o por un evento de removilización, es decir de ceniza que fue depositada y tiempo después el viento la vuelve a levantar, originando un evento secundario de dispersión. Argentina se encuentra bajo el control de la VAAC Buenos Aires, quien está encargada de toda la zona sur de América.

Contar con buenos pronósticos que informen las zonas que serán afectadas por cenizas y que además, sean generados con rapidez para proporcionar información con suficiente anticipación, es crucial para poder mitigar los efectos que implica la caída de ceniza volcánica y poder elaborar planes adecuados de acción. A partir de los resultados de modelos de dispersión de partículas, se pueden elaborar mapas de peligrosidad para posibles futuros casos y de este modo poder informar las zonas de mayor acumulación de cenizas en el suelo, así como mapas de clasificación de zonas de alto, medio y bajo riesgo de concentración de contaminantes en diferentes niveles atmosféricos importantes para la aeronavegación.

### Pronosticar la dispersión y caída de ceniza volcánica

El programa ATLAS simula la dispersión y caída de cenizas volcánicas desde que éstas son emitidas por una erupción. ATLAS puede ser utilizado para cualquier erupción en cualquier parte del mundo. Basta con indicar en un archivo, ciertas referencias que utiliza el programa para realizar la simulación. Estas referencias son:

- Geográficas: Coordenadas del volcán, altura del volcán sobre el nivel del mar (m snm), dominio geográfico de interés, es decir el espacio geográfico dentro del cual se realizará la simulación.
- Meteorológicas: un archivo meteorológico que contiene información de la atmósfera: velocidad y dirección de vientos, humedad, temperatura, etc..
- Volcanológicas: A las cenizas se dividen en clases según sus tamaños, densidades y factor de forma (redondeada o estrellada), altura de la columna eruptiva, flujo de masa emitido, entre otros.

Con todos estos datos se ejecuta el programa. Al finalizar, nos devuelve como resultado un mapa con la distribución de ceniza para cada unidad de tiempo. Mediante el mismo podemos observar cómo se irá moviendo la nube de ceniza a medida que pasen las horas y saber exactamente qué cantidad de masa de material volcánico habrá en cada punto geográfico: a diferentes niveles de altura en la atmósfera y depositado en el suelo.

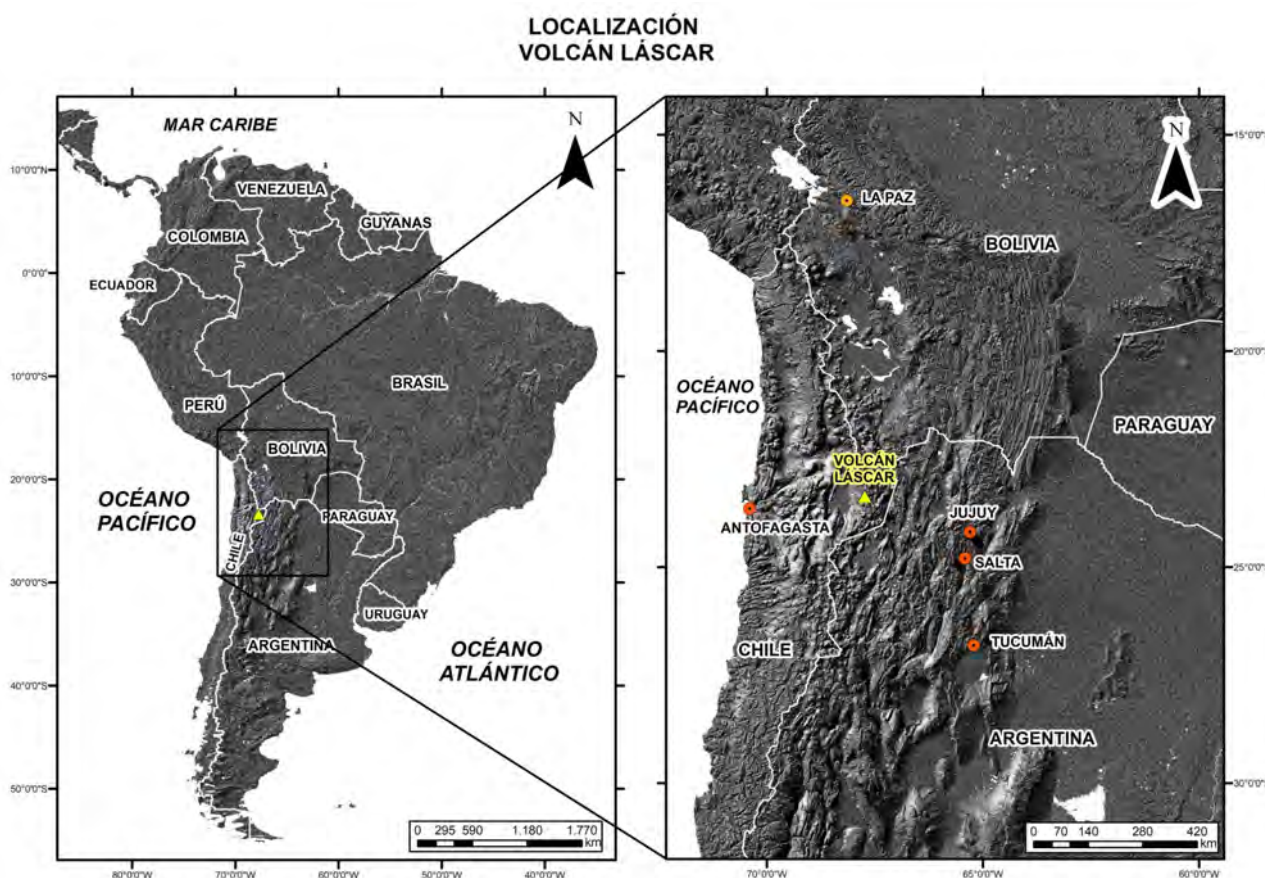


Figura 11. Ubicación geográfica del Volcán Láscar.



Para simular el transporte de un conjunto de partículas que pueden ser liberadas por un volcán o estar dispersas en la atmósfera, o ser removilizadas a partir de una zona donde habían sido depositadas previamente, ATLAS resuelve la ecuación de Advección-Difusión-Sedimentación (ADS) en cada paso de tiempo para cada partícula. Esta ecuación considera tres procesos para las partículas:

**Advección por viento:** mediante una ecuación de advección se simula el movimiento que sufre cada partícula por la acción del viento. Este movimiento depende de las características físicas (tamaño, densidad y forma) ya que las partículas con menor tamaño, menor densidad y forma más aerodinámica, se transportarán a mayores distancias.

**Sedimentación:** Esta componente de la ecuación está relacionada con la velocidad de cada partícula de caer al suelo debido a la fuerza gravedad y también dependiente de las condiciones físicas de las partículas.

**Difusión:** las partículas se separan entre sí mediante una componente aleatoria debido a la turbulencia. Esta parte de la ecuación permite simular la turbulencia.

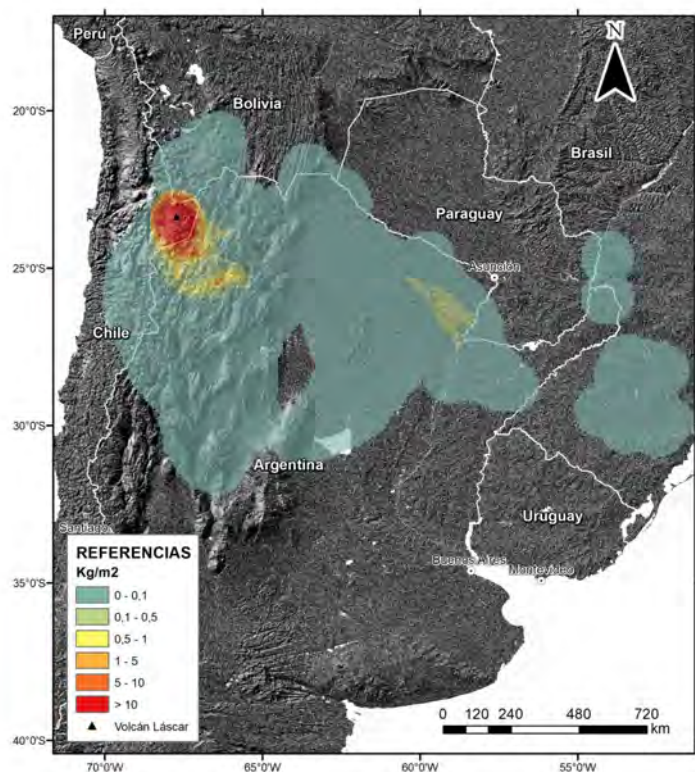


Figura 12. Dispersión de ceniza volcánica del Volcán Láscar correspondiente al evento de abril del 1993, simulada por el programa ATLAS. 39 horas después de iniciada la erupción.

Cuando un volcán entra en erupción presentando actividad explosiva, se indica al programa todos los parámetros de entrada mencionados anteriormente. Luego, se da inicio al programa y éste inicializa todas las partículas para cada instante de tiempo, por sobre el volcán y según una distribución acorde al estilo eruptivo que es elegido por el usuario. También inicializa las características físicas asociadas a cada partícula, las que van a tener gran influencia en su transporte. Luego, calcula la ecuación de ADS para cada instante de tiempo y para cada partícula, obteniendo de esta manera un registro temporal del transporte de las partículas. Como cada una de ellas tiene una masa asociada, se calcula la masa de ceniza disponible en la atmósfera, la carga que se deposita en suelo y específicamente el material que habrá para puntos geográficos de interés, éstos pueden ser ciudades, aeropuertos, etc.

Este programa también puede ser utilizado para simular el comportamiento que tuvo la nube de ceniza de una erupción pasada. Analizar erupciones pasadas es muy útil para poder trazar mapas de peligrosidad y de riesgo para posibles erupciones futuras. Ya que cada volcán suele tener un tiempo determinado de recurrencia entre eventos y éstos eventos suelen tener características similares entre sí. Mediante el estudio de las erupciones pasadas, es posible obtener los parámetros fundamentales de las erupciones más frecuentes que produce un volcán determinado (Altura de columna eruptiva, ritmo de descarga, granulometría promedio, etc.). Ello permite rápidamente, producida una erupción, tomar medidas de mitigación así como aplicar esos parámetros a la erupción para realizar la modelación en tiempo cuasi real.

En los últimos años, varios volcanes del sur de Chile entraron en erupción y dispersaron ceniza que afectaron grandes regiones de nuestro país. Muchas ciudades del sur de Argentina, se vieron seriamente afectadas. Sin embargo, en el norte de Chile también existen volcanes activos (Láscar, Lastarria, etc.) aunque no presentan una actividad violenta en los últimos años. En particular, el volcán Láscar, cuya ubicación podemos ver en la figura 11 presenta una actividad recurrente con erupciones de tipo vulcanianas (ver Guzmán y Montero, 2011: TBGNOa, Vol. 1: 32-39). Estas erupciones presentan columnas eruptivas de 2-3 km sobre el cráter y debido a la zona en la que se encuentra el volcán Láscar, sin ciudades ni aeropuertos cerca, pasan desapercibidas. Sin embargo, en el año 1993 presentó una erupción de tipo sub-pliniana con una columna eruptiva de altura variable y de hasta 15-20 km sobre el cráter. Esta erupción dispersó cenizas que afectó a muchas provincias del país. En la figura 12 se puede ver la columna de masa dispersada luego de 39 horas de iniciada la erupción. La dispersión corresponde a un resultado de la simulación con ATLAS.

Además del evento significativo del año 1993 del volcán Láscar, hay registros de una erupción pre-histórica de tipo pliniana con una altura de hasta 30 km sobre el cráter. La dispersión de ceniza de este evento sobre nuestro país fue significativamente superior a la del evento del 1993.

No hay manera de saber si un episodio como este, puede o no volver a ocurrir en el futuro cercano. Pero dado que no lo podemos descartar, lo mejor que podemos hacer es estar informados para saber cómo actuar en caso de vivir un evento así tanto en la ciudad donde se reside, en un viaje, o de manera indirecta.

### Acciones de organismos públicos ante un evento de dispersión de ceniza volcánica

El Sistema Nacional para la Gestión Integral del Riesgo (SINAGIR) fue creado en Octubre de 2016. Está integrado por el Consejo Nacional para la Gestión Integral del Riesgo y la Protección Civil, el Consejo Federal de Gestión Integral del Riesgo y la Protección Civil y la Secretaría Ejecutiva. La finalidad del sistema es la protección integral de las personas, las comunidades y el ambiente ante la existencia de riesgos. Este sistema funciona para todo tipo de riesgos, desde inundaciones, incendios, erupciones volcánicas, etc. No es específico y hasta la fecha no cuenta con mayores datos publicados para el público en general, ni realizan un estudio y seguimiento con monitoreo de los diferentes volcanes que pueden afectar a nuestro país. Por el momento, al ser nuestro país de organización federal, defensa civil de cada provincia o municipio es la encargada de actuar en situaciones de erupciones volcánicas, asistir a los afectados y de trazar un plan de acción. Sin embargo, no hay políticas unificadas ni protocolos establecidos que sean de público conocimiento para todas las provincias que puedan estar afectadas. Las provincias de Neuquén y Río Negro, que han sido más afectadas en las erupciones de los últimos años tienen planes de acción y más herramientas (panfletos y trípticos, entre otros recursos) que difunden a la población para indicar cómo actuar ante un evento de este tipo. Sin embargo, hay que tomar conciencia que a todos nos puede tocar vivir una caída de cenizas. Si eso sucede, lo mejor es saber cómo actuar con la tranquilidad del conocimiento.

**Agradecimientos:** A Anelise Reckziegel por la revisión y aportes al manuscrito

.....

Para conocer más:

.....

D'Elia Leandro, La erupción del volcán Calbuco. Los volcanes, Boletín de divulgación. Abril 2015.

Erupción volcán Puyehue. Edición especial-N57. Presencia. ISSN 0326 – 7040. Junio 2011.

Los peligros de las cenizas volcánicas para la salud. Guía para el público. Documento elaborado por IVHHN y USGS, la Comisión de Ciudades y Volcanes (CaV) y el Instituto de Geología y Ciencias Nucleares de Nueva Zelanda (GNS) e Investigaciones Geológicas de los Estados Unidos (USGS).