



TRANSFERENCIA DE RECOMENDACIONES PARA EL SECTOR NÁUTICO EN CASO DE CAÍDAS PIROCLÁSTICAS

Pablo Agustín Salgado ^{1;2}

Gustavo Villarosa ^{1;2}

Débora Beigt ¹

Valeria Outes ¹

(Manuscrito recibido el 28 de agosto de 2023, en versión final 26 de marzo de 2024)

Para citar este documento

Salgado, P. A., Villarosa, G., Beigt, D. & Outes, V. (2024). Transferencia de recomendaciones para el sector náutico en caso de caídas piroclásticas. *Boletín geográfico*, 46, <http://id.caicyt.gov.ar/ark:/s2313903x/8cdzgeh�>

Resumen

En un periodo de tan sólo 25 años, las caídas de ceniza volcánica de cuatro erupciones explosivas afectaron severamente la famosa e intensa actividad náutica que se desarrolla en los lagos de Patagonia andina. Estos eventos suscitaron numerosos intentos de rescate por vías náuticas, infructuosos a causa del efecto negativo de la ceniza en la funcionalidad de los buques, e incluyeron consecuencias tan extremas como el hundimiento de algunas embarcaciones amarradas. Aquí, investigamos posibles vías de transferencia de las lecciones aprendidas a partir de los eventos de caída de ceniza asociados a las erupciones de los volcanes Hudson (1991), Chaitén (2008), Cordon Caulle (2011-2012) y Calbuco (2015). En este trabajo describimos los distintos procesos colaborativos mediante los cuales se conceptualizó, diseñó, consensuó, revisó y transfirió efectivamente a operarios y autoridades náuticas de Patagonia el presente afiche “Ceniza volcánica: avisos para el sector náutico” (en su versión nro. 1). Esta herramienta se basa en, y articula con, una serie de posters diseñados originalmente para dar aviso a otros sectores de servicios de infraestructura crítica, que incluyen a los sistemas de transporte vial y aeronáutico. El afiche elabora empíricamente acerca de: (1) los peligros para la actividad, asociados a caídas de

¹ IPATEC (Instituto Andino-Patagónico de Tecnologías Biológicas y Geoambientales), CONICET-UNCO, Av. de los Pioneros 2350, S. C. de Bariloche 8400, Argentina..

² Centro Regional Universitario Bariloche, Universidad Nacional del Comahue, Quintral 1250, S. C. de Bariloche 8400, Argentina. E-mail: pabloagustinsalgado@comahue-conicet.gob.ar

ceniza volcánica en vías navegables internas de Patagonia; (2) los efectos negativos de la ceniza volcánica en puertos y en embarcaciones; (3) estrategias de preparación; (4) acciones de respuesta recomendadas, particularmente durante y una vez finalizada la emisión y caída de ceniza volcánica; y (5) otras fuentes de aviso y consulta disponibles. El objetivo final de este trabajo de investigación consiste en generar una serie de recomendaciones tendientes a la reducción del riesgo de desastre y construcción de la resiliencia para el sector náutico de la Patagonia Argentina en caso de caídas piroclásticas.

Palabras clave: Peligros volcánicos, Impactos de ceniza volcánica, Manejo de la emergencia, Comunicación del riesgo, Transporte naval

COMMUNICATING RECOMMENDATIONS FOR THE NAUTICAL SECTOR IN THE EVENT OF VOLCANIC ASHFALL

Abstract

In just 25 years' time, four major explosive volcanic eruptions caused pyroclastic falls that had a profound impact on the renowned and extensive nautical activities in the Andean Patagonian lakes. These events prompted multiple rescue attempts through water transport resources, which were unsuccessful due to the effect of volcanic ash on ships' functionality and included consequences as severe as the capsizing of moored vessels. Here, we investigate various methodologies for effectively communicating the lessons learned following the Hudson (1991), Chaitén (2008), Cordon Caulle (2011-2012), and Calbuco (2015) volcanic eruptions and ashfall events. Within this work, we describe the diverse collaborative processes through which the present poster, titled "Volcanic Ash: Advice for the Nautical Sector" (version no. 1) was effectively conceptualized, designed, agreed upon, reviewed, and communicated to ship and port operators in Patagonia Argentina. This communication resource is rooted in and aligns with a suite of posters originally designed to provide guidance across other critical infrastructure service sectors, including road and air transport networks. The poster empirically elaborates on: (1) the hazards to water transport systems associated with the primary fallout of volcanic ash in fluvio-lacustrine waterways; (2) the negative effects of volcanic ash on ports and ships; (3) diverse preparedness strategies; (4) recommended emergency response actions, particularly during and after volcanic ash emission and fallout; and (5) alternative sources of information on volcanic ash impacts. Our primary goal is to provide some critical recommendations for disaster risk reduction and building resilience amongst the nautical sector in Argentine Patagonia in the event of pyroclastic fallouts.

Keywords: Volcanic hazards, Volcanic ash impacts, Emergency management, Risk communication, Water transport

Introducción

Las erupciones volcánicas pueden generar una gran variedad de peligros para la sociedad (Blong, 1984). Entre estos, las caídas piroclásticas (o caídas de ceniza volcánica *s. ampl.*) representan la amenaza con el potencial de afectar la mayor extensión de territorio y, en consecuencia, la mayor cantidad de poblaciones que lo habitan (Wilson, Wilson, Deligne & Cole, 2014a). Si bien rara vez significan una amenaza directa para la vida humana, las caídas de ceniza en ámbitos urbanos, incluso las más discretas, pueden provocar una pluralidad de impactos sobre distintos servicios de infraestructura crítica (Wilson *et al.*, 2012), incluyendo los sistemas de transporte vial, ferroviario (Blong, 1984, Blake *et al.*, 2017, 2018), aéreo (Guffanti, Mayberry, Casadevall & Wunderman, 2009; Guffanti, Casadevall & Budding, 2011; Prata & Rose, 2015) y naval (Salgado *et al.*, 2023).

Es sabido que la presencia de ceniza en la atmósfera representa un peligro extremo para la aviación (Prata & Rose, 2015) y la investigación acerca de sus efectos en las aeronaves se ha visto fuertemente impulsada a partir de los reconocidos acontecimientos ocurridos en 1982 y 1989 con los vuelos comerciales 009 de *British Airways* (conocido también como el Incidente de Yakarta, a partir de la erupción del Mt. Galunggung, en Indonesia) y 867 de *KLM* (a partir de la erupción del volcán Redoubt, en EE. UU.). En ambos casos, los cuatro motores de los aviones se detuvieron momentáneamente a causa del encuentro inadvertido con las nubes de ceniza. Sin embargo, estos fallos pudieron ser rápidamente revertidos, evitando así la catástrofe (Guffanti *et al.*, 2011). Afortunadamente, a lo largo de la historia aeronáutica no se han registrado jamás accidentes que implicasen la caída de aviones o fatalidades humanas como consecuencia directa de una erupción volcánica (Guffanti *et al.*, 2011). Por el contrario, para la industria naval, existe un inusitado número de acontecimientos con resultados desastrosos, ocurridos durante los últimos pocos miles de años de historia.

El racconto global de estos acontecimientos incluye numerosos casos leves, como pequeños contratiempos, demoras, interrupciones del servicio, el deterioro de cargamentos o infraestructura, perjuicios económicos, etc., pero también casos con consecuencias devastadoras, como el sepultamiento y desaparición de puertos o el hundimiento de embarcaciones y el consecuente deceso de las tripulaciones a bordo. Posiblemente uno de los casos más significativos lo representa la desaparición del buque japonés *Kaiyo-Maru Nro. 5* y sus 29 tripulantes en septiembre de 1952, mientras se investigaba el curso de una erupción submarina a unos 400 km de Tokio. Unos meses después, algunos restos de la embarcación hundida pudieron ser hallados, aún con fragmentos pumíceos incrustados en ella (Blong, 1984). En Argentina existen también casos tan notables como el zozobrado de embarcaciones amarradas en los alrededores de Villa La Angostura (Provincia del Neuquén) producto de la acumulación de caídas de ceniza volcánica de hasta 170 mm de espesor, durante la recordada erupción del Cordón Caulle de junio de 2011 (Salgado *et al.*, 2023). Muy a pesar de todos estos antecedentes tan significativos, el conocimiento acerca de la amenaza que representan las erupciones volcánicas para puertos y embarcaciones es

extremadamente escaso, o apenas incipiente en la literatura náutica (Cragg, 2019), volcanológica (Salgado *et al.*, 2023) y del manejo de emergencias (Salgado *et al.*, 2022).

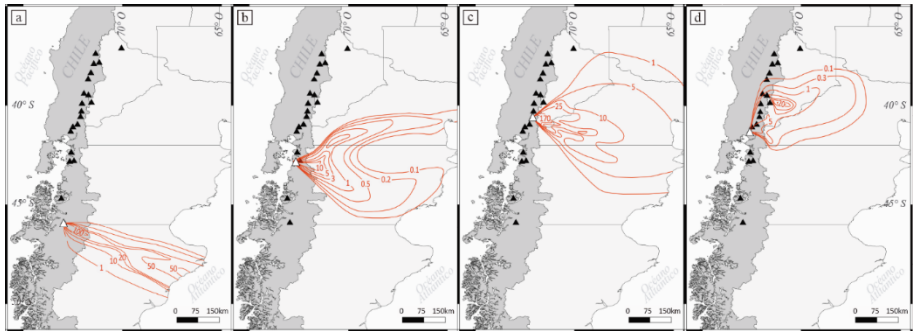


Figura 1. Distribución de los depósitos de ceniza volcánica generados por las erupciones de los volcanes: (a) Hudson de 1991 (Scasso, Corbella & Tiberi, 1994); (b) Chaitén de 2008 (Watt, Pyle, Mather, Martin, & Matthews, 2009); (c) Cordón Caulle de 2011-2012 (Alloway *et al.*, 2015); y (d) Calbuco de 2015.

La Patagonia argentina (Figura 1) es un territorio recurrentemente afectado por caídas de materiales piroclásticos generados a partir de erupciones explosivas ocurridas en los segmentos más australes de la Zona Volcánica Sur (33° S - 46° S; Stern, 2004), un arco volcánico activo que comprende unos 60 volcanes holocenos y más de 400 erupciones confirmadas para tiempos históricos, contabilizadas desde el año 1558 hasta la actualidad (GVP, 2013). Debido al importante flujo regional de vientos del oeste de latitudes extra-tropicales (*westerlies*), este territorio es recurrentemente afectado por la dispersión atmosférica y caída de estos materiales piroclásticos (Villarosa *et al.*, 2006). En las últimas tres décadas, las caídas de ceniza de cuatro erupciones explosivas (VEI \geq 4; Newhall & Self, 1982) correspondientes a las de los volcanes Hudson de 1991 (VEI: 5, Naranjo, Moreno & Banks, 1993; Figura 1a), Chaitén de 2008 (VEI: 4, Watt *et al.*, 2009; Figura 1b), Cordón Caulle de 2011-2012 (VEI \sim 4-5, Bonadonna *et al.*, 2015; Figura 1c) y Calbuco de 2015 (VEI: 4, Romero *et al.*, 2016; Figura 1d) provocaron estragos en las poblaciones que habitan la región. Esto incluyó un severo impacto sobre la profusa y turísticamente famosa actividad náutica que se desarrolla en sus lagos (Figura 2), así como varios intentos de evacuación o rescate de pobladores y animales por vías lacustres (Figura 3), muchos de ellos, infructuosos (Salgado *et al.*, 2022). Incluso al momento de elaboración de este trabajo, a más de diez años de la que fuere una de las erupciones más importantes del siglo, la removilización de ceniza del Cordón Caulle en cuencas fluvio-lacustres del Parque Nacional Nahuel Huapi continúa representando una seria amenaza para la infraestructura costera (Beigt *et al.*, 2019, 2023; Villarosa *et al.* 2023) y las embarcaciones que navegan la región (Salgado *et al.*, 2022, 2023).



Figura 2. Efectos de la ceniza volcánica en embarcaciones y sitios portuarios: (a) formación de *pumice rafts* en Mlle. La Flecha (Neuquén); (b) limpieza de buques de pasajeros en Pto. Pañuelo (Río Negro); (c) inspección en seco de los sistemas de transmisión y propulsión del Catamarán Victoria Andina (Río Negro); y (d) removilización de ceniza volcánica por acción de las hélices del Catamarán José Julián en Pto. Canoa (Neuquén).

Todas estas instancias de daño y disrupción en sistemas de transporte naval han sido recientemente relevadas y sistematizadas por Salgado *et al.* (2023) en lo que representa la primera categorización a nivel mundial de impactos por caídas piroclásticas, y otros fenómenos asociados, para puertos y embarcaciones. En esta revisión de casos, asociados a las erupciones más recientes y significativas de los volcanes Hudson (1991), Chaitén (2008), Cordón Caulle (2011-2012) y Calbuco (2015), se han identificado, sistematizado y descrito todos los efectos negativos que la ceniza volcánica ha tenido para los distintos elementos y sistemas que componen un buque *tipo* (p. ej., la estabilidad y navegabilidad del buque, superficies y equipamiento de cubierta, distintos espacios confinados, sistemas de energía, electrónica y computadoras, sistemas de transmisión y propulsión, turbinas, sistemas dependientes de tomas de *agua de mar*, etc.) y dos dominios portuarios distintivos (las zonas terrestre y de evacuación y la zona marítima). En adición, también se evaluaron la efectividad y la eficacia comprobada de distintas medidas adoptadas para la prevención, mitigación y remediación de los impactos (incluyendo la restricción de la navegación, el asilo de los buques, diversas medidas de prevención de obturación de sistemas con tomas de agua de mar de los buques, medidas de contención de ingresos de *pumice rafts* en bahías portuarias y otros sitios críticos, el despeje de ceniza volcánica de los buques y los puertos, etc.).

Sorprendentemente, todos estos antecedentes y lecciones aprendidas no han tenido mayores repercusiones entre las autoridades y los operarios del sector náutico de Patagonia andina. En su recopilación de casos de estudio, y sobre un total de 62 personas entrevistadas para tales fines (pertenecientes a 26 entidades vinculadas al transporte naval de Patagonia), Salgado *et al.* (2023) hallaron que un rotundo 100% de las partes consultadas (n: 62) afirmó no haber contado con ningún tipo de aviso acerca de los posibles efectos de la ceniza en la actividad. Esta situación es bastante habitual entre los operarios de servicios de infraestructura crítica, quienes muy comúnmente indican no haber contado con conocimientos previos acerca de la peligrosidad que representa una erupción volcánica para cada sector (Paton *et al.*, 2008). Una proporción equivalente de entidades consultadas (92%; n: 26) también afirmó no haber recibido ningún tipo de asesoramiento respecto a la implementación de prácticas adecuadas para la prevención o reducción de daños. Este desconocimiento fue causante directo de inacciones o malas prácticas que condujeron a pérdidas económicas considerables, y a la exposición innecesaria de tripulaciones y pasajeros a bordo en situaciones de riesgo extremo (Wilson *et al.*, 2013, Salgado *et al.*, 2022, 2023).

Este tipo de experiencias tampoco suele servir como un catalítico de preparación para afrontar futuras emergencias (Johnston *et al.*, 1999). Cuatro eventos importantes de caídas de ceniza afectaron Patagonia en un lapso de tan sólo 24 años, e incluso mucho menos de una década si se consideraran las tres últimas y más disruptivas erupciones andinas. Aun así, absolutamente ninguna de las entidades consultadas (0%; n: 26) indicó haber consignado registros escritos respecto a aprendizajes en materia de prevención, mitigación y remediación de impactos (Salgado *et al.*, 2023). Estos conocimientos quedaron preservados únicamente como experiencias individuales de aquellos gestores del transporte involucrados en cada situación. De este modo, la sistematización y evaluación de impactos propuesta por Salgado *et al.* (2023) representa también el primer y único registro empírico escrito de experiencias en la temática, no sólo para Patagonia, sino también para cualquier otra región navegable del mundo.

Dado que los impactos por caídas piroclásticas suelen ser mucho más complejos y polifacéticos que los derivados de cualquier otro peligro volcánico, las caídas de tan solo unos pocos milímetros de ceniza pueden desencadenar fuertes demandas de información por parte de la sociedad en situación de emergencia (Stewart *et al.*, 2016). Motivado en ello, este trabajo de investigación propone generar recomendaciones, y analizar posibles vías de transferencia de lecciones aprendidas, para el sector náutico de la Patagonia Argentina en caso de caídas piroclásticas. Basándose en las propuestas originales de Wilson *et al.* (2014b) para otros sectores de infraestructura crítica de Nueva Zelanda, aquí se pone a disposición de científicos, gestores del riesgo, tomadores de decisiones y operarios de puertos y embarcaciones, una nueva herramienta de transferencia efectiva tendiente a la construcción de la resiliencia y la reducción del riesgo de desastres en la región (Giddens, 1990; Beck, 1992, 1999; Luhmann, 1993).

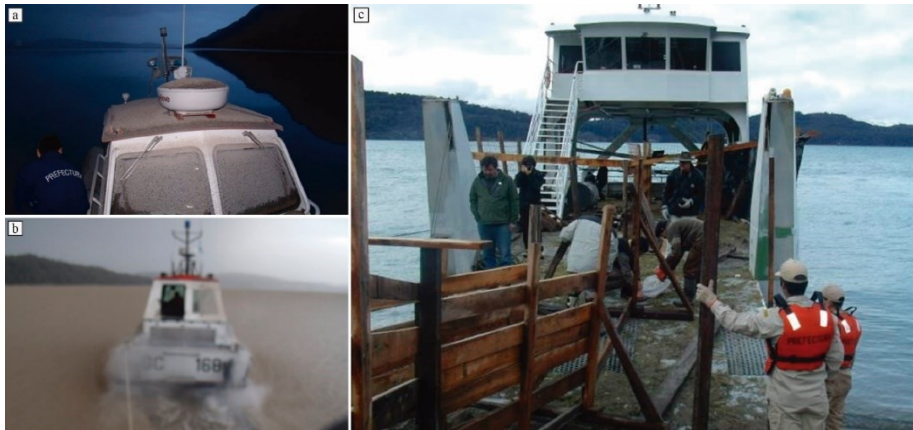


Figura 3. Acciones de respuesta a la emergencia volcánica: (a y b) ejemplos de guardacostas averiados durante distintos intentos de rescate y evacuación lacustre en el Lago Nahuel Huapi (Neuquén); (c) evacuación y asistencia rural por medio un ferry- barcaza, y otros buques de apoyo, en poblaciones costeras del Lago Nahuel Huapi (Río Negro).

En las siguientes secciones, elaboraremos acerca de cómo se identificaron estas falencias en los sistemas de transporte naval de Patagonia, y sobre cómo se gestó, confeccionó e incorporó en los sistemas locales y regionales del manejo y prevención de desastres, el presente afiche de aviso “Ceniza volcánica: avisos para el sector náutico”.

Metodología

Relevamiento de los contenidos.

En términos generales, los contenidos resumidos en el afiche se encuentran minuciosamente desarrollados en Salgado *et al.* (2023), donde se incluye información acerca de decenas de puertos y centenares de embarcaciones afectadas por estas cuatro erupciones volcánicas. Estos datos fueron relevados mediante: (1) numerosas visitas de reconocimiento a lugares afectados; (2) inspecciones guiadas por operarios de sitios y activos impactados; y (3) la realización de un cuantioso número de entrevistas con distintas partes afectadas. El diseño de esta primera ronda de entrevistas, así como el procesamiento de la información recopilada, fueron asesorados por parte de expertos técnicos en ciencias náuticas, ingeniería marítima, mecánica y arquitectura naval. Con este cometido, se han entrevistado a la fecha un total de 64 personas (n: 64) pertenecientes a 26 entidades u organizaciones diferentes (n: 26) con distintos tipos de injerencia en la navegación de los lagos de la región. Estas labores se concretaron principalmente entre 2019 y 2020. Sin embargo, el presente trabajo se

enmarca en proyectos de investigación y extensión (en curso) mucho más amplios, iniciados incluso antes de la crisis asociada a la erupción del volcán Chaitén de 2008 (ver agradecimientos), lo que comprendió también el asesoramiento a tomadores de decisiones y autoridades locales, provinciales y nacionales, y la participación en numerosos Comités de Emergencia.

Conceptualización del afiche como método de transferencia.

La elección de un afiche como método óptimo de transferencia se basa en la propuesta elaborada por Wilson *et al.* (2014b), la cual estuvo inicialmente destinada a organismos de servicios de infraestructura crítica de Nueva Zelanda, sin incluir sistemas de transporte naval. Esta serie de pósteres fue luego internacionalizada por la *Cities and Volcanoes Commission's Volcanic Ash Impacts Working Group* a través de la página web de la USGS (<http://volcanoes.usgs.gov/ash/index.htm>). En su experiencia, Wilson *et al.* (2014b) observaron que las fuentes de consulta simples, concisas y de fácil acceso prevalecen como el recurso más eficiente al momento de comunicar durante situaciones de emergencia. En contraposición, los recursos más detallados y extensos fueron mejor considerados para las instancias de planificación y preparación. De esta forma, Wilson *et al.* (2014b) consideran que una cartelería en formato tipo póster representaría la vía más adecuada para condensar y transferir este tipo de información. Con estas premisas, y en una primera etapa de conceptualización, los contenidos elaborados en Salgado *et al.* (2023) fueron condensados y reestructurados en un listado de conceptos sencillos, ordenados y categóricos, que mantienen un lenguaje accesible y permiten un rápido abordaje de la problemática en situación de emergencia. El mensaje está específicamente diseñado para ser dirigido a los posibles futuros usuarios, en este caso particular, operarios de puertos y embarcaciones.

Consenso de posibles usuarios: segunda ronda de entrevistas.

A inicios de 2023 se culminó el diseño de una versión preliminar de afiche, con el fin de ser puesta a prueba mediante pequeños ensayos de testeo. Para ello, se planificó una segunda ronda de entrevistas con algunos de los actores previamente consultados en 2019 y 2020, a fin de compartir esta versión preliminar de afiche y obtener de primera mano sugerencias de mejora. Del grupo original de 62 personas entrevistadas, se seleccionó entonces un subgrupo más reducido, compuesto por 17 autoridades y tomadores de decisiones (n: 17) pertenecientes a 12 entidades u organismos distintos (n: 12). La determinación de este subgrupo se definió en base al rol desempeñado por los actores, quienes fueron consultados únicamente en carácter técnico, según sus competencias y funciones profesionales (*role-driven interviews*; Longhurst, 2015). Las entrevistas se realizaron entre enero y abril de 2023 de forma presencial en el sitio de trabajo del consultado y continuadas vía telecomunicaciones en los casos que fuera necesario. Las entrevistas fueron diseñadas con carácter semiestructurado (Longhurst, 2015), una herramienta de investigación cualitativa que permite a la persona consultada elaborar sobre temáticas que no estuvieran

preestablecidas en la formulación original de la entrevista. Estos cuestionamientos preestablecidos refirieron en aspectos generales a: (1) la factibilidad de implementación del recurso en caso de caída de ceniza volcánica; (2) la posibilidad de incorporación del afiche en manuales de procedimientos o protocolos de acción internos al organismo consultado; (3) la claridad, minuciosidad, relevancia y nivel de detalle con el que se desarrollan los contenidos; (4) la apropiación del lenguaje técnico y terminología específica; (5) la adecuación del formato y diseño gráfico; y (6) la apropiación de distintos tipos de soporte (digital y/o físico). Esta segunda ronda de entrevistas permitió incluir activamente a las partes interesadas en un proceso participativo y colaborativo de construcción del producto e identificar algunos aspectos de mejora sensible. Todas estas sugerencias fueron conceptualizadas para la elaboración de una primera versión definitiva de afiche que se reseña y pone a disposición.

Aporte de expertos y asesoramiento externo.

La versión preliminar de afiche también fue puesta a disposición de 3 profesionales expertos en ciencias náuticas, ingeniería marítima, mecánica y arquitectura naval, con el fin de obtener asesoramiento técnico respecto a la apropiación y factibilidad de implementación de las recomendaciones sugeridas. También se contó con la revisión por parte de 2 científicos especialistas en riesgo volcánico, con amplia experiencia y trayectoria en el país, quienes brindaron consejo y sugerencias de mejora. Por último, también se contó con el asesoramiento para la síntesis y organización de contenidos de la Dra. C. Stewart, quien participó en la confección de la serie original de pósteres descrita en Wilson *et al.* (2014b).

Resultados

El soporte del afiche.

La primera versión definitiva de afiche (Versión 1, junio de 2023; Figura 4; **Material suplementario**) consiste en una cartelería diseñada para su impresión en Tamaño A2 o proporcionales, puesta a disposición en formato digital y papel, para facilitar el acceso y la transmisión del recurso entre los usuarios.

Las partes del afiche.

Los contenidos están organizados en cuatro secciones principales, divididas a su vez en subsecciones, a fin de facilitar una rápida visualización de la información según los requerimientos del lector al momento de la consulta.

¿Qué sucede durante una caída de ceniza volcánica?

A diferencia de otros servicios de infraestructura crítica, e incluso otros sistemas de transporte, la navegación probó ser particularmente vulnerable a una variedad de peligros adicionales, asociados a la caída primaria de ceniza (Salgado *et al.*, 2023). Todos estos procesos, *syn-* y *post-*eruptivos, han demostrado un gran potencial de

causar daño/disrupción en los puertos, las naves y la actividad, incluso años después de finalizada la emisión de material piroclástico. Más aún, la removilización de ceniza en el agua puede extender la huella del peligro a regiones distales, no afectadas originalmente por la caída primaria de ceniza (Salgado *et al.*, 2023). La primera sección del afiche pretende entonces informar a los usuarios acerca de esta diversidad de procesos con distintos potenciales de daño, graficando en un diagrama en bloque sencillo los posibles destinos de la ceniza en ámbitos fluvio-lacustres. Esta representación se complementa con breves reseñas y fotografías de casos reales. Es importante señalar que otros recursos similares a este no suelen elaborar sobre los aspectos físicos del peligro, sino que se centran primordialmente en las acciones de respuesta. La necesidad de incorporar esta sección particular fue consultada y reafirmada positivamente por los usuarios (88.2%; n: 17) durante la segunda ronda de entrevistas.

Efectos de la ceniza volcánica.

En una segunda sección, el afiche enumera los posibles impactos de la ceniza volcánica sobre: (1) los puertos, incluyendo la infraestructura, el equipamiento y las actividades que se desarrollan en distintos dominios (*sea-side* y *land-side domains*); y (2) las embarcaciones, incluyendo los distintos elementos, sistemas y equipamientos que componen un buque tipo (REGINAVE, 2019; <http://www.saij.gob.ar/>). Cada una de estas dos subsecciones se complementa con fotografías de casos reales a modo de ejemplo, registrados en Patagonia. En ambos casos, la información se organiza según “tipo de impacto” (disrupción en la operatividad/navegabilidad, o daño físico) y según el dominio operativo (en puertos) o sistema (en buques) afectado. En particular, la categorización de “tipos de impactos” se elabora en sentido amplio, sin pormenorizaciones que refieran a distintos grados de severidad de impacto o especificaciones de intensidad de peligro.

Cómo prepararse.

La revisión de casos de estudio en Patagonia reflejó, por un lado, una profunda falta de conocimientos acerca del riesgo de caída de ceniza volcánica para el sector. Pero también permitió identificar una serie de medidas de preparación, relativamente sencillas de incorporar a los sistemas vigentes (Salgado *et al.*, 2022, 2023). Estas estrategias incluyen: (1) la elaboración de planes de respuesta que contemplen acciones como la restricción de la navegación, el retorno o desvío de embarcaciones, y la evacuación o auxilio preventivo de personas y ganado en sitios remotos, dependientes de sistemas de transporte funcionales; (2) la identificación (y puesta en disponibilidad) de los recursos y suministros necesarios para salvaguardar embarcaciones, proteger equipamiento e infraestructura portuaria, y poner en marcha operativos de limpieza o remediación; y (3) la identificación de posibles sitios de acopio para el material piroclástico (p. ej., producto de la limpieza o el dragado). Estas recomendaciones se presentan como lineamientos generales, con el objetivo de preservar su aplicabilidad a los distintos organismos que pudieran servirse de este recurso.

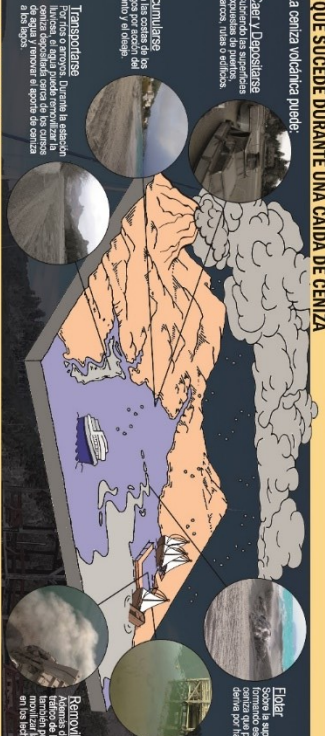
Cómo actuar.

Todos los operativos de respuesta a la emergencia (Salgado *et al.*, 2022) y de mitigación o remediación de impactos (Salgado *et al.*, 2023) observados en Patagonia tuvieron resultados muy variados en cuanto a su eficacia o eficiencia para aminorar los efectos adversos del fenómeno. Por ejemplo, medidas como el retiro de embarcaciones del agua, el abrigo de las cubiertas de los buques y la restricción imperativa de la navegación, resultaron ser estrategias completamente exitosas para atenuar daños y prevenir situaciones de riesgo. Por otro lado, la instalación de barreras de contención para evitar el ingreso de *pumice rafts* a las bahías, o la introducción de filtros adicionales en circuitos de agua de mar, mostraron niveles de eficacia poco consistentes entre caso y caso. Otro aspecto interesante que surge de este análisis es la importancia del momento específico en que se ejecutan estas acciones de respuesta. Por ejemplo, el apremio por despejar el material piroclástico que se acumulaba en los puertos, antes de finalizada la emisión y caída de ceniza volcánica, condujo a la necesidad de tener que repetir estos operativos numerosas veces. Por el contrario, el despeje periódico e inmediato de la ceniza que se acumulaba en las embarcaciones resultó ser vital a la hora de mitigar daños en la cubierta, e incluso prevenir situaciones extremas como hundimientos. A partir de esto, la última sección del afiche ofrece entonces una guía simple y estructurada de recomendaciones y acciones de respuesta para implementar, específicamente: (1) durante la caída de ceniza; y (2) una vez culminada la misma. Estas acciones consideran también contener impactos en otros servicios de infraestructura crítica (*cascading impacts*; Wilson *et al.*, 2012) con consecuencias para la náutica, como la interrupción de accesos viales (Salgado *et al.*, 2022).

Geniza Volcánica

AVISOS PARA EL SECTOR NAÚTICO

QUÉ SUCEDE DURANTE UNA CAÍDA DE CENIZA



Acumularse
En las costas de las montañas de la Ventra y el Volcán.

Transportarse
Por ríos y arroyos. Durante la estación lluviosa, la lluvia puede transportar la ceniza a las zonas de cultivo y a las aguas.

Caer y Deposarse
Cubren las superficies horizontales, se acumulan en las barras, muelles y edificios.

Ender
En la superficie del agua. Continúan resacas hasta de 10 metros de altura. El viento levanta volutas de ceniza por debajo de la superficie.

Multitud
En el fondo de los puertos, donde se acumulan las embarcaciones.

Removilización
Al menos del agua y el viento, el efecto de las erudiciones movilizan la ceniza acumulada en los muelles.

En los Puertos

- Observación de la operatividad por:
 - Baja visibilidad por presencia de ceniza en el aire o cubriendo señales y horizonte.
 - Condiciones de trabajo deficientes y peligro para la salud de operarios y pasajeros.
 - Interrupción de servicios críticos como el suministro eléctrico, comunicaciones, manejo de cenizas en fideicomiso en helixias y canales.
 - Riesgo de obturación y daños de sistemas con falta de agua de mar en las embarcaciones.
- Atención y cuidado de superficies expuestas, equipos y maquinarias, contaminación de la provisión de combustible.
- Daños en infraestructura en costas de acumulación externa, agravado por lluvias o mareas.
- Peligro de resaca por acumulación de ceniza en las vías.

En las Embarcaciones

- Observación de la navegabilidad por:
 - Baja visibilidad por presencia de ceniza en el aire o cubriendo ventanas y perillas; Atención de las señales y perillas de posicionamiento o comunicaciones.
 - Condiciones de trabajo deficientes y peligro para la salud de tripulación y pasajeros.
 - Daño en superficies, equipo de cubierta.
 - Impacto de ceniza fino en equipos electrónicos y daños en sala de control, de medidas, cabina de pasaje (p. ej., fallos en sistemas de navegación y comunicación).
 - Efectos de ceniza sedimentada por ceniza en cubiertas (quemada por lluvias y viento), deshidratación, vómitos, náuseas y resaca; riesgo de caídas de altura.
 - Peligro de ceniza fina en espacios cerrados y daños en sala de control, de medidas, cabina de pasaje (p. ej., fallos en sistemas de navegación y comunicación).
 - Los efectos en el ambiente marino, como la contaminación de las aguas, la contaminación de las playas y la contaminación de las costas, pueden ser graves.
- Atención y cuidado de sistemas críticos con límites. Lleve a bordo la provisión de agua (reserva) por presencia de ceniza en el agua.
- Daños en partes móviles, estructura (sistemas de propulsión y transmisión).
- Atención, control y mantenimiento digital adecuados en los sistemas.

CÓMO PREPARARSE

Elaborar planes de respuesta que contemplen:

- La reacción de la navegación.
- El método o el diseño y manejo de barcos.
- La atención y el estado permanente de presencia en el área afectada. El barco afectado y también también pueden obstaculizarse e identificarse y proporcionar de suministros y recursos necesarios para:
- Retirar del agua (de ser posible) las embarcaciones y mantenerlas bajo techo.
- Prevenir: cultura, mareas, edificios y maquinarias; salir de áreas en costas y edificios (edificios de bna, envolturas, pasillos, etc.).
- Impedir ingresar de ceniza hacia al puerto.
- Desplegar la ceniza de los edificios del barco (escalas, copias, puentes, bodega, etc.).
- Evitar la ceniza de ser posible, moverse a la altura de la cabeza, cerrar la boca, evitar la inhalación de ceniza.
- Identificar posibles albos de resaca para la ceniza y evitar su posterior removilización. Se identifican siempre ceniza al agua.

CÓMO ACTUAR

Durante la caída de ceniza

- Actuar al plan de respuesta, mantenerse con tranquilidad y **CÓMO PREPARARSE**
- La actividad debe ser en el fondo de puerto o en el muelle. Si es necesario, puede ser requerido para evacuar. Evitar de no ser posible el caso de actividades.
- Promover a tripulación y operarios con **elementos de protección personal** (ropa impermeable, botas, guantes, lentes, mascarillas, casaca, casco, guantes).
- Minimizar la exposición de tripulación y embarcaciones a la ceniza.
- Iniciar firma agua en bodega y cenizas de mar, el flujo de agua y estado de funcionamiento de embarcación debe ser permanente y controlado; mantener el flujo de agua de navegación en bodega de agua de navegación en bodega de agua.
- Evitar permanecer a bordo de helixias en caso de resaca.
- La atención de resaca en puerto puede ser controlado.
- Las embarcaciones que queden a la intemperie se recomienda que queden más protegidas y restauradas a fin de evitar inconvenientes adicionales.

CÓMO ACTUAR

Climatizada la caída de ceniza

- Evitar la resaca de las helixias y verificar el estado de navegabilidad de la ceniza.
- Retirar la ceniza de las superficies de cubierta y limpiar el equipo de navegación.
- Limpiar la ceniza de los interiores del barco para evitar daños en electrónica y maquinaria.
- Verificar elementos móviles sumergidos los sistemas de propulsión y transmisión.
- Remover y limpiar la ceniza que se acumula en bodegas portuarias.
- Asegurar profundidades de cables, abastecimiento.

DÓNDE ENCONTRAR AVISO

Consultar los avisos de las autoridades competentes de la zona de navegación, como el **Centro de Operaciones y Mantenimiento de la Armada** (COMOPMA) y el **Centro de Operaciones y Mantenimiento de la Armada** (COMOPMA).



VERSIÓN 1, Junio de 2023
 Contenido elaborado por Silviano et al.

Figura 4. Previsualización de la versión definitiva de afiche (Versión 1, junio de 2023), disponible como **Material suplementario**.

Acceso a fuentes de aviso y material complementario.

En situación de emergencia, es muy común que las comunidades se topen con alertas provenientes de fuentes informales, especialmente de redes sociales o sitios web poco confiables. Estos pueden diferir de las fuentes oficiales y generar confusión y desconfianza entre los habitantes de una región, lo que incluye a los operarios de sistemas de infraestructura crítica (Haynes, Barclay & Pidgeon, 2008). Por ello, se incluyen en el afiche los sitios web, pertinentes para la región, donde hallar aviso oficial de caída de ceniza volcánica, incluyendo: el observatorio volcanológico local, el Servicio Meteorológico Nacional, y agencias de manejo de la emergencia correspondientes. Por otro lado, y dada la naturaleza expeditiva con la que se presenta esta guía de recomendaciones, el afiche ofrece también acceso a otros materiales de consulta, donde es posible hallar: (1) información extendida sobre impactos y mitigación de ceniza volcánica en servicios de infraestructura crítica y (2) sistemas de transporte naval; (3) acceso a otros pósteres complementarios; y (4) información sobre los efectos de los peligros volcánicos para la salud. Estos accesos se presentan como enlaces web para el uso digital de afiche, o como códigos de acceso tipo QR (*Quick Response code*) para el uso de versiones impresas.

Transferencia.

En Argentina, todas las acciones destinadas a la reducción de riesgos, el manejo de crisis y la recuperación están integradas en el Sistema Nacional para la Gestión Integral del Riesgo y la Protección Civil que articula el funcionamiento de la sociedad civil con los distintos organismos gubernamentales, desde el gobierno nacional al municipal y no gubernamentales (Ley 27.287, 2016). En concordancia y a la fecha, el afiche (Versión 1, junio de 2023) ha podido ser transferido efectivamente a las distintas Direcciones de Protección Civil de los municipios afectados por al menos uno de estos eventos de caída de ceniza, que incluyeran a San Martín de Los Andes, Villa La Angostura (Provincia del Neuquén), San Carlos de Bariloche (Provincia de Río Negro) y a Defensa Civil de Lago Puelo (Provincia de Chubut). El afiche también fue puesto a disposición de otros organismos vinculados a la regulación del transporte náutico en Patagonia, como la Administración de Parques Nacionales Lanín, Arrayanes, Nahuel Huapi y Los Alerces; Prefectura Naval Argentina de San Martín de Los Andes, Villa La Angostura y San Carlos de Bariloche; y los Clubes Náuticos de San Martín de Los Andes y San Carlos de Bariloche. Adicionalmente, se concretó la transferencia del afiche a numerosas entidades privadas de la región vinculadas al turismo lacustre, totalizando a la fecha unas 10 empresas privadas y asociaciones de proveedores de servicios particulares. Varias de estas entidades manifestaron la intención de incorporar el afiche a distintos manuales, protocolos o planes de gestión internos (preexistentes o en elaboración) de los cuales absolutamente ninguno contemplaba acciones de respuesta frente a caídas de ceniza volcánica para la náutica.

Durante la segunda etapa de entrevistas (consenso de posibles usuarios) y ante la interrogante “¿*Qué usos específicos consideraría que puede darle al afiche?*” muchos consultados expresaron en al menos una instancia (82.3%; n: 17) la intención de exhibir el afiche en sitios concurridos por el público en general (puertos,

embarcaciones y otras áreas de interés turístico) a fin de sensibilizar a la población acerca de las posibles consecuencias de la actividad volcánica en la región. Este tipo de estrategia ha demostrado ser anteriormente una herramienta muy efectiva para la comunicación del riesgo basada en el territorio, dado que pueden alcanzar a un gran número de habitantes (y visitantes) que no aspiran a informarse intencionalmente en el asunto (Rouquette, Jacquez, Vries & Franco, 2023). Particularmente, la inacabada percepción del riesgo volcánico que existe entre las distintas comunidades de Patagonia ya había sido identificada como una problemática frecuente para las sucesivas caídas de ceniza que afectarían la región. Algunos entrevistados (58.8%; n: 17) destacaron también el valor que representaría transferir el recurso al ámbito educativo local (escuelas, terciarios, universidades) para la enseñanza de peligros naturales a los que se expone la región. Otros destinatarios expresaron (47%; n: 17), ante la interrogante “¿Qué otro tipo de asistencia o servicio cree que podría solicitar al grupo de investigación?” el deseo de concretar talleres de trabajo dirigidos específicamente al sector, donde se asesore a la comunidad náutica acerca de los peligros volcánicos a los que se exponen y cómo hacerles frente.

Discusión

El presente afiche representa un recurso de suma utilidad y único en su tipo para la reducción de la vulnerabilidad del transporte náutico por caídas de ceniza volcánica. Sin embargo, existen algunas consideraciones y limitaciones que deben ser atendidas.

Los contenidos que se plasman en el afiche han sido desarrollados a partir de casos de estudio relevados primordialmente en Patagonia argentina, elaborando conceptos y preservando terminologías que son específicos para la región. Aun así, la transferencia a usuarios en otros ámbitos (incluso el marítimo), podría significar un primer avance hacia el desarrollo de redes de transporte más resilientes a los peligros volcánicos en otras áreas.

A diferencia de la serie de pósteres elaborados por Wilson *et al.* (2014b) y puestos en acción durante la erupción del Chaitén de 2008 (Stewart *et al.*, 2009), este afiche emergente aún no ha sido aplicado en casos de nuevas caídas de ceniza volcánica. Su implementación en futuras situaciones de emergencia, incluso fuera del territorio patagónico, aportaría a la ampliación, adecuación y optimización de las recomendaciones realizadas. Una primera aproximación provechosa podría resultar de la transferencia del recurso a las autoridades de regiones afectadas por las mismas caídas piroclásticas al otro lado de la Cordillera de los Andes, en el país limítrofe de Chile (p. ej., Donovan *et al.*, 2023), donde también se han registrado impactos de ceniza volcánica sobre el transporte naval (Salgado *et al.*, 2023).

En modo alguno el afiche desarrolla especificaciones acerca de los distintos grados de severidad de impacto (que van desde instancias de no-impacto hasta pérdidas totales de los activos) y su relación con distintas medidas de intensidad del peligro (espesor de caída de tefra, concentración de tefra en el agua, etc.), analizados en Salgado *et al.* (2023). Tampoco se incluyen propuestas de soluciones ingenieriles

específicas a cada problemática, sino lineamientos generales de mejoras a incorporar, identificando sistemas y elementos particularmente vulnerables a los efectos de la ceniza que requieran atención especial.

Muchos usuarios destacaron el valor del afiche para la comunicación del riesgo en ámbitos ajenos al náutico. En efecto, el mismo forma actualmente parte regular en la agenda de actividades de extensión, difusión, y educación en las que participa el grupo de trabajo. No obstante, este recurso no fue diseñado con tales fines, con lo que destacamos la necesidad de elaborar y diseminar materiales específicos para la sensibilización y comunicación de la problemática. Un ejemplo de esto lo representa el tríptico “Caída de ceniza volcánica en Bariloche y alrededores ¿Qué debemos saber?”, elaborado por este grupo de trabajo y puesto a disposición de autoridades, comunicadores y la comunidad en general desde 2002. Y si bien la transferencia del recurso ha podido ser efectivamente concretada con numerosas instituciones vinculadas al manejo de emergencias y la gestión de desastres, resta también advertir y aconsejar a las comunidades vecinales de la región, usuarias de medios particulares de transporte naval, acerca de impactos, cómo prepararse y cómo actuar en caso de futuras caídas de ceniza volcánica.

Resumen de conclusiones

Este trabajo pone a disposición un afiche de aviso (Figura 4; **Material suplementario**) destinado a operarios de puertos y embarcaciones en caso de caída de ceniza volcánica. A través del mismo se espera: (1) informar los posibles destinos de la ceniza volcánica en áreas navegables; (2) visibilizar posibles impactos y elementos vulnerables en las redes de transporte naval; (3) recomendar acerca de estrategias de prevención para la reducción del riesgo de desastres; (4) sugerir una guía de acciones de respuesta en situación de emergencia y de remediación en escenarios de post-desastre; y (5) poner a disposición de los operarios una fuente confiable de información y consulta. En el presente artículo hemos elaborado acerca de los procesos colaborativos mediante los que se conceptualizó, confeccionó, consensuó y transfirió este recurso gráfico a las distintas entidades y organismos vinculados a la navegación lacustre de Patagonia andina.

Agradecimientos

Los autores desean expresar su agradecimiento a cada uno de los respondientes de la segunda ronda de entrevistas por su tiempo y compromiso brindados durante la búsqueda de consenso de posibles usuarios. Extendemos también nuestra gratitud al piloto de ultramar Lic. Fernando Baranzini y otros dos profesionales expertos en ciencias náuticas, así como a los dos científicos especialistas en riesgo volcánico por su dedicada revisión de la versión preliminar de afiche. Por último, agradecemos también a la Dra. C. Stewart (*Massey University*) por sus aportes y sugerencias para

la síntesis y organización de los contenidos del afiche. Este trabajo de investigación ha sido financiado a través de la Agencia Nacional de Promoción Científica y Tecnológica, FONCyT, MINCyT, Argentina (PICT 2015-1322 y PICT 2016-0084); la Universidad Nacional del Comahue, UNCO (PIN I 04/B191 y PIN I 04/B226); y el Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas, Argentina, CONICET (PUE 2018 IPATEC).

Referencias

- Alloway, B. V., Pearce, N. J. G., Villarosa, G., Outes, V. & Moreno, P. I. (2015). Multiple melt bodies fed the AD 2011 eruption of Puyehue-Cordón Caulle, Chile. *Scientific Reports*, 5(1). <http://doi.org/10.1038/srep17589>
- Beck, U. (1992). *Risk society: Towards a new modernity*. Sage.
- Beck, U. (1999). *World risk society*. Cambridge, UK, Polity.
- Beigt, D., Villarosa, G., Outes, V., Gómez, E. A. & Toyos, G. (2019). Remobilized Cordon Caulle 2011 tephra deposits in north-Patagonian watersheds: Resedimentation at deltaic environments and its implications. *Geomorphology*, 341, 140-152. <http://doi.org/10.1016/j.geomorph.2019.05.023>
- Beigt, D., Villarosa, G., De Luca, L., Barbosa, A., Gómez, E. A. & Raniolo, L. A. (2023). Coastal instability associated to gravitational processes in the large patagonian lakes: a study of recent events. *Revista De La Asociación Geológica Argentina*, 80(2), 280-299. <https://revista.geologica.org.ar/raga/article/view/1649>
- Blake, D. M., Wilson, T. M. Cole, J. W., Deligne, N. I. & Lindsay, J. M. (2017). Impact of volcanic ash on road and airfield surface skid resistance. *Sustainability*, 9(8), 1389. <http://doi.org/10.3390/su9081389>
- Blake, D. M., Wilson, T. M. & Stewart, C. (2018). Visibility in airborne volcanic ash: considerations for surface transportation using a laboratory-based method. *Natural Hazards*, 92(1), 381-413. <http://doi.org/10.1007/s11069-018-3205-3>
- Blong, R. J. (1984). *Volcanic hazards: a sourcebook on the effects of eruptions*. Elsevier.
- Bonadonna, C., Pistolesi, M., Cioni, R., Degruyter, W., Elissondo, M. & Baumann, V. (2015). Dynamics of wind-affected volcanic plumes: The example of the 2011 Cordón Caulle eruption, Chile. *Journal of Geophysical Research: Solid Earth*, 120(4), 2242-2261. <http://doi.org/10.1002/2014jb011478>
- Cragg, P. (2019). Eruptions and ships. *Geoscientist soapbox*, 2019, 9. Disponible en: <http://www.geolsoc.org.uk/geoscientist>
- Donovan, A., Toyos, G., Amigo, A., Villarosa, G., Lafranco, G. & Rovere, E. (2023). Managing cross-border eruptions: Insights from recent crises in Chile and Argentina. *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 435. <https://doi.org/10.1016/j.jvolgeores.2023.107774>
- Guffanti, M., Mayberry, G. C., Casadevall, T. J. & Wunderman, R. (2009). Volcanic hazards to airports. *Natural Hazards*, 51(2), 287-302. <http://doi.org/10.1007/s11069-008-9254-2>

- Guffanti, M., Casadevall, T. J. & Budding, K. (2011). Encounters of aircraft with volcanic ash clouds: A compilation of known incidents, 1953-2009. *U.S.G.S. Data Service*, 545.
- Giddens, A. (1990). *The consequences of modernity*. Cambridge, Polity Press.
- GVP, Global Volcanism Program (2013). *Volcanoes of the World*, v. 4.8.2. Venzke E (ed.) Smithsonian Institution. <http://doi.org/10.5479/si.GVP.VOTW4-2013>
- Haynes, K., Barclay, J. & Pidgeon, N. 2008. The issue of trust and its influence on risk communication during a volcanic crisis. *Bulletin of Volcanology*, 70(5), 605-621. <http://doi.org/10.1007/s00445-007-0156-z>.
- Johnston, D. M., Bebbington, M., Lai, C-D., Houghton, B. F. & Paton, D. (1999). Volcanic hazard perceptions: comparative shifts in knowledge and risk. *Disaster Prevention and Management*, 8(2), 118-126. <http://doi.org/10.1108/09653569910266166>
- Longhurst, R. (2015). Semi-structured interviews and focus groups. En N. Clifford, N., Cope, M., Gillespie, T. & French S. (eds.) *Key Methods in Geography* (143-156). London, Routledge.
- Luhmann, N. (1993). *Risk: a sociological theory, trans.* Rhodes Barrett, Berlin and New York: Walter de Gruyter.
- Naranjo, J. A., Moreno, H. & Banks, N. G. (1993). La erupción del volcán Hudson en 1991 (46° S): Región IX, Aisén, Chile. *Servicio Nacional de Geología y Minería Boletín* 44: 1-33.
- Newhall, C. G. & Self, S. (1982). The volcanic explosivity index (VEI) an estimate of explosive magnitude for historical volcanism. *Journal of Geophysical Research*, 87(C2), 1231. <http://doi.org/10.1029/jc087ic02p01231>
- Paton, D., Smith, L., Daly, M. & Johnston, D. M. (2008). Risk perception and volcanic hazard mitigation: Individual and social perspectives. *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 172(3-4), 179-188. <http://doi.org/10.1016/j.jvolgeores.2007.12.026>
- Prata, F. & Rose, B. (2015). Volcanic ash hazards to aviation. En Sigurdsson, H. (ed.), *The Encyclopedia of Volcanoes* (911-934), Elsevier Inc.
- Romero, J., Morgavi, D., Arzilli, F., Daga, R., Caselli, A., Reckziegel, F., Viramonte, J., Díaz-Alvarado, J., Polacci, M., Burton, M. & Perugini, D. (2016). Eruption dynamics of the 22-23 April 2015 Calbuco Volcano (Southern Chile): Analyses of tephra fall deposits. *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 317, 15-29. <http://doi.org/10.1016/j.jvolgeores.2016.02.027>
- Rouquette, S., Jacquez, L., Vries, B. & Franco, L. (2023). Exploring the best communication channels to inform a local population about volcanic risk: Comparing information approaches at El Misti, Arequipa, Peru. *Volcánica*, 6, 45-62. <http://doi.org/10.30909/vol.06.01.4562>
- Salgado, P. A., Villarosa, G., Beigt, D. & Outes V. (2022). Water evacuations in remote tourist regions: evaluating case studies from natural hazards in North Patagonian lakes, Argentina. *Journal of Mountain Science*, 19(6), 1782-1807. <http://doi.org/10.1007/s11629-021-7207-3>
- Salgado, P. A., Villarosa, G., Beigt, D., Outes V., Stewart, C. & Baranzini, F. (2023). Impacts on water transport networks after three widespread volcanic ashfalls in

- Andean Patagonian lakes. *Volcánica*, 6(2), 173-200. <http://doi.org/10.30909/vol.06.02.173200>
- Scasso, R., Corbella, H. & Tiberi, P. (1994). Sedimentological analysis of the tephra from the 12-15 August 1991 eruption of Hudson volcano. *Bulletin of Volcanology*, 56, 121-132. <http://doi.org/10.1007/BF00304107>
- Stern, C. R. (2004). Active Andean volcanism: its geologic and tectonic setting. *Revista Geológica de Chile*, 31(2). <http://doi.org/10.4067/s0716-02082004000200001>.
- Stewart, C., Pizzolon, L., Wilson, T. M., Leonard, G. S., Dewar, D., Johnston, D. M. & Cronin, S. J. (2009). Can volcanic ash poison water supplies? *Integrated Environmental Assessment and Management*, 5(4), 713-716.
- Stewart, C. Wilson, T. M., Sword-Daniels, V., Wallace, K. L., Magill, C. R., Horwell, C. J., Leonard G. S. & Baxter, P. J. (2016). Communication demands of volcanic ashfall events. En Nemeth, K. (ed.), *Advances in Volcanology* (23-49), Springer. http://doi.org/10.1007/11157_2016_19
- Villarosa, G., Outes, V., Hajduk, A., Montero, E. C., Sellés, D., Fernández, M. & Crivelli, E. (2006). Explosive volcanism during the Holocene in the Upper Limay River Basin: the effects of ashfalls on human societies, Northern Patagonia, Argentina. *Quaternary International*, 158(1), 44-57. <http://doi.org/10.1016/j.quaint.2006.05.016>
- Villarosa, G., Outes, V., Beigt, D., Amat, P. & Salgado, P. A. (2023). Las múltiples dimensiones del fenómeno volcánico en la Patagonia Norte: aportes científicos interdisciplinarios del Grupo GEA para el estudio de la erupción del Cordón Caulle. En Murriello, S. & Barrios García, G. (eds.), *A 10 años de la erupción del Puyehue-Cordón Caulle*, UNRN. <http://doi.org/10.4000/books.eunrn.20073>
- Watt, S. F. L., Pyle, D. M., Mather, T. A., Martin, R. S. & Matthews, N. E. (2009). Fallout and distribution of volcanic ash over Argentina following the May 2008 explosive eruption of Chaitén, Chile. *Journal of Geophysical Research*, 114(B4). <http://doi.org/10.1029/2008jb006219>
- Wilson, G., Wilson, T. M., Deligne N. I. & Cole, J. W. (2014a). Volcanic hazard impacts to critical infrastructure: A review. *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 286, 148-182. <http://doi.org/10.1016/j.jvolgeores.2014.08.030>
- Wilson, T. M., Stewart, C., Sword-Daniels, V., Leonard, G. S., Johnston, D. M., Cole, J. W., Wardman, J., Wilson, G. & Barnard, S. T. (2012). Volcanic ash impacts on critical infrastructure. *Physics and Chemistry of the Earth A/B/C*, 45, 5-23. <http://doi.org/10.1016/j.pce.2011.06.006>
- Wilson, T. M., Stewart, C., Bickerton, H., Baxter, P. J., Outes, V., Villarosa, G. & Rovere, E. (2013). Impacts of the June 2011 Puyehue-Cordón Caulle volcanic complex eruption on urban infrastructure, agriculture and public health. *GNS Science Report 2012/20*.
- Wilson, T. M., Stewart, C., Wardman, J., Wilson, G., Johnston, D., Hill, D., Hampton, S., Villemure, M., McBride, S., Leonard, G. S., Daly, M., Deligne, N. & Roberts, L. (2014b). Volcanic ashfall preparedness poster series: a collaborative process for reducing the vulnerability of critical infrastructure. *Journal of Applied Volcanology*, 3, 10. <http://doi.org/10.1186/s13617-014-0010-x>