

ESTUDIO DE LA DISPERSIÓN DE CENIZAS VOLCÁNICAS DEL PUYEHUE: SIMULACIONES Y VALIDACIÓN.

C. Mulena¹, D. Allende², E. Puliafito³; G. Lakkis^{4*}.

Grupo de Estudios de la Atmósfera y el Ambiente (GEAA), Facultad Regional Mendoza – Universidad Tecnológica Nacional, Rodríguez 273, (M5502AJE) Mendoza, Argentina. Tel: 54 261 5243003, celeste.mulena@gmail.com

Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET)

*Facultad de Ciencias Agrarias, Pontificia Universidad Católica Argentina (UCA), Cap. Gral. Ramón Freire 183, (C1426AVC), Buenos Aires, Argentina.

*Equipo Interdisciplinario para el Estudio de Procesos Atmosféricos en el Cambio Global (PEPACG), Pontificia Universidad Católica Argentina (UCA), Alicia Moreau de Justo 1300, Buenos Aires, Argentina.

Recibido: 06/08/12; Aceptado: 28/09/12

RESUMEN: El presente trabajo está centrado en la utilización y validación del modelo FALL3D para la simulación de la dispersión de aerosoles, durante la erupción del volcán Puyehue, ocurrida el 4 de junio de 2011. Este modelo Euleriano fue configurado para modelar la pluma de cenizas durante un período de 10 días. Se validaron las salidas meteorológicamente con datos de superficie y altura provenientes de estaciones de los Servicios Meteorológicos de Argentina y Chile. Asimismo, utilizando datos satelitales de MODIS, se aplicaron varios algoritmos para la detección de ceniza volcánica, verificando así la evolución de la pluma. El buen acuerdo entre las comparaciones cualitativas y cuantitativas de las simulaciones con las mediciones sugiere una adecuada aproximación de modelado y permite la aplicación futura de estas herramientas para el estudio de los efectos radiativos de aerosoles volcánicos.

Palabras clave: ceniza volcánica, modelo FALL3D, modelo WRF, volcán Puyehue, validación.

INTRODUCCIÓN

Las partículas volcánicas inyectadas a la atmósfera durante erupciones explosivas forman plumas y lluvias de cenizas características, constituyendo una seria amenaza a las poblaciones cercanas, incluyendo daños por la inhalación de cenizas, perjuicios en zonas cultivada y en el ganado, interrupción de la red de caminos y disminución en la seguridad del transporte aéreo (Connor et al., 2001; Spence, et al., 2005a; Spence, et al., 2005b). Asimismo, el componente fino de la ceniza volcánica puede dispersarse sobre áreas muy grandes, influenciando significativamente el balance energético radiativo de la tierra y causando cambios en el clima (Crutzen, 2006; Kristiansen et al., 2010).

El 4 de junio de 2011, comenzó un evento volcánico en el complejo Puyehue-Cordón Caulle (Lara et al., 2006), uno de los centros activos en la Zona Volcánica Sur (ZVS), dispersando materiales piroclásticos en la estepa patagónica, debido a una circulación predominante de vientos oeste-este. La actividad de este volcán obligó al desalojo de más de 3.500 personas y al cierre de los pasos fronterizos. La nube de cenizas provocada por la erupción se extendió sobre varias ciudades argentinas, entre ellas San Carlos de Bariloche y Villa La Angostura. Posteriores incidencias de la pluma de cenizas en el espacio aéreo sudamericano ocurrieron hasta varios meses posteriores a la erupción, aunque cabe señalar que la mayor inyección en la atmósfera tuvo lugar los primeros 3 a 4 días después del evento.

Actualmente, las plumas volcánicas son monitoreadas generalmente usando técnicas de identificación basadas en satélites. Sin embargo, estos métodos, están limitados tanto por las condiciones meteorológicas, como por la frecuencia de pasada del satélite. Una manera de complementar la información del sensor remoto consiste en usar modelos de dispersión, que pueden simular la concentración de ceniza en la atmósfera y la sedimentación de partículas en el suelo.

¹ Becaria en formación doctoral CONICET

² Becario Postdoctoral CONICET

³ Investigador Independiente CONICET

⁴ Investigadora UCA

El trabajo desarrollado aquí está centrado en la utilización y validación del modelo Euleriano FALL3D (Costa et al., 2006) para la simulación de la dispersión de aerosoles volcánicos, durante la erupción reciente del Puyehue.

El trabajo está organizado de la siguiente manera: *a)* en primer lugar se resume el evento eruptivo cronológicamente, detallando las características de dispersión haciendo foco en la fase de erupción principal, entre el 4 y 13 de junio de 2011; *b)* luego, se presenta una visión general de la aproximación de modelado y configuraciones utilizadas; *c)* se realiza una validación de la meteorología, comparando las salidas del modelo meteorológico empleado con mediciones en tierra y radiosondeos; *d)* se emplean datos de nivel 1 de MODIS para la discriminación de ceniza volcánica de nubes, utilizando dos algoritmos diferentes para tal fin; *e)* finalmente, se concluye con una discusión de los resultados, incertidumbres y las implicaciones de los resultados en la generación de un sistema operacional que permita posibles estrategias de mitigación.

MATERIALES Y MÉTODOS

Caso de estudio

El complejo volcánico que comprende el Puyehue, Cordón Caulle y Sierra Nevada está situado en el norte de los Andes Patagónicos, en la Zona Volcánica Sur (ZVS), el arco volcánico activo desde los 33°S a los 46°S, en el centro sur argentino-chileno. El 4 de junio de 2011, a las 15:15 (hora local) el Observatorio Vulcanológico de los Andes del Sur del Servicio Nacional de Geología y Minería de Chile (OVDAS-Sernageomin) informó de la explosión y una columna de 5 km de ancho y de una altitud de 10 km sobre el nivel del mar. El viento, a una altura de 5 Km respecto a la base volcánica, fue en dirección Sur, mientras que a 10 Km de altura, se orientó en las direcciones Sureste y Este.

El nivel de alerta volcánica se comunicó como erupción moderada por lo menos los 10 primeros días. La actividad de este volcán obligó al desalojo de más de 3.500 personas y al cierre de los pasos fronterizos. Además, las poblaciones cercanas tales como Villa La Angostura y San Carlos de Bariloche, entre otras, sufrieron las consecuencias del siniestro.

Aproximación de modelado

FALL3D es un modelo Euleriano dependiente del tiempo, en tres dimensiones, para simular el transporte y deposición de cenizas volcánicas. El modelo resuelve la ecuación de advección-difusión-sedimentación en una grilla estructurada que sigue las elevaciones del terreno utilizando un esquema explícito de diferencias finitas de segundo orden (Costa et al., 2006; Folch et al., 2009). Las entradas del modelo son datos meteorológicos, topografía, distribución del tamaño de grano, forma y densidad de las partículas y caudal másico de partículas inyectadas en la atmósfera.

Con el objeto de reconstruir los campos meteorológicos durante la erupción, las simulaciones incluyeron datos meteorológicos generados con el modelo de meoscala Weather Research and Forecasting (WRF, Skamarock et al., 2008).

El modelo WRF fue configurado con un dominio que comprende el sur de Argentina y Chile, con una resolución de 27 km, centrado en 45° 37' S y 66° 56' O, con un tamaño de 2700 x 2700 km² (ver Figura 1). Para la coordenada vertical, se utilizaron 27 niveles sigma hasta 50 hPa. Condiciones iniciales y de contorno para el modelo se tomaron de datos de reanálisis del European Centre for Medium Range Forecasts (ECMWF) ERA-Interim (Dee et al., 2011) en una resolución de 0,7 grados cada 6 horas. Se utilizó un spin-up de 24 horas antes de la simulación para ingresar los datos al modelo de dispersión. El modelo meteorológico se configuró para correr desde el 3 al 13 de junio de 2011.

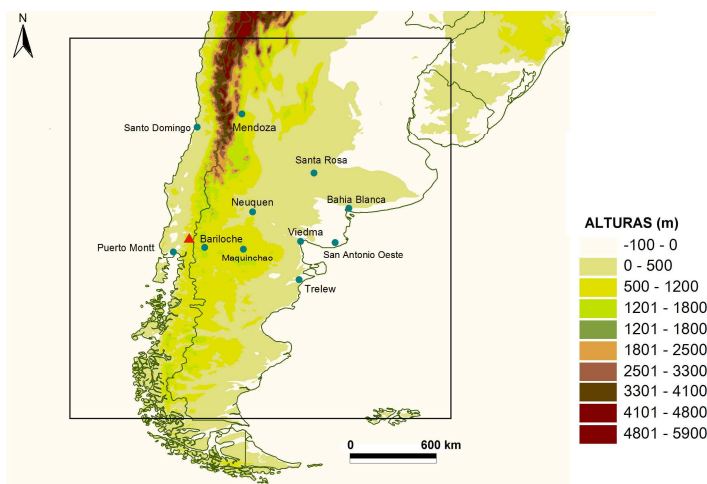


Figura 1: Vista esquemática del dominio de modelado, incluyendo la topografía, y la ubicación del volcán Puyehue en rojo. Los puntos azules indican la ubicación de sitios meteorológicos de superficie y altura utilizados para la validación.

Se configuraron varias opciones para la simulación meteorológica en el modelo WRF, las cuales se detallan en la Tabla 1.

Proceso atmosférico	Configuración del modelo WRF
Radiación de onda larga	Esquema RRTM (Rapid Radiative Transfer Model)
Radiación de onda corta	Esquema de Dudhia
Microfísica de nubes	Esquema WSM5 (Single-Moment 5-class)
Capa superficial	Esquema de difusión Térmica
Capa límite planetaria	Esquema YSU
Cúmulos	Esquema de Kain-Fritsch

Tabla 1: Opciones de configuración seleccionadas para la simulación con WRF.

En resumen, las condiciones meteorológicas durante el período de simulación involucraron vientos hacia el sureste y este a 10 km de altura, hasta el día 5 de junio donde cambiaron hacia el noreste, permaneciendo estas condiciones estables, hasta el día 10 de junio donde los vientos predominantes se dirigieron hacia el sureste. A partir del día 12 de junio, en general, la dispersión de piroclastos presentó una orientación estable hacia el este y sureste.

Configuración del modelo FALL3D

Un resumen de los detalles de configuración efectuadas en el modelo FALL3D se indican en la Tabla 2:

Configuración	Opciones
Coordenadas dominio	80.1° W-57.0° W, 50.5° S -28.5° S
Altura de la ventana volcánica	1.410 m aproximadamente
Granulometría	Con distribución bigaussiana y 7 clases o tamaños de particulado
Tipo de fuente	Plume
Modelo de velocidad terminal	Ganser
Modelo de turbulencia vertical	Similarity

Tabla 2: Resumen de las opciones de configuración del modelo FALL3D

MODIS y detección de ceniza volcánica

Debido a que el componente ácido de la ceniza volcánica posee propiedades de absorción opuestas al agua y al hielo en las longitudes de onda comprendidas entre 10-12 μm , es común la utilización de datos de satélites en las longitudes del infrarrojo para estudiar el transporte de cenizas en las erupciones explosivas y diferenciarlo de nubes meteorológicas. En este trabajo, se utilizaron dos algoritmos diferentes para el reconocimiento de patrones asociados a aerosoles volcánicos con el objeto de validar y complementar los resultados de la simulación.

Prata (1989; 2009) desarrolló su método basándose en la diferencia entre la temperatura de brillo entre dos canales del satélite de la NOAA centrados alrededor de 11 y 12 μm . La Diferencia de Temperatura de Brillo (DTB) entre los dos canales es generalmente negativa para plumas volcánicas (mayor absorción en 11 que en 12 μm) y positiva para nubes meteorológicas (mayor absorción e 12 que en 11 μm). En este trabajo, se utilizaron los canales 31 y 32 del producto MOD02-Level 1B de MODIS (Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer, Guenther et al., 1998) centrados en 11 y 12 μm . Se computó la DTB en las imágenes obtenidas para los días de simulación, de acuerdo con la fecha y hora de pasada de los satélites Terra y Aqua, con resolución de 1 km.

Debido a que el método de Prata puede dar diferencias negativas en ausencia de ceniza volcánica en determinadas condiciones, por ejemplo sobre superficies muy frías (Prata et al., 2001), se utilizó también el método sugerido por Ellrod y colaboradores (Ellrod et al., 2003) para lograr una clara discriminación de aerosoles volcánicos.

El método propuesto por Ellrod utiliza las dos bandas de 11 y 12 μm en conjunto con la información aportada en la banda de 3,9 μm (canal 22 de MODIS) que se caracteriza por poca absorción en presencia de humedad y una gran sensibilidad a fuentes de calor, permitiendo un mejor contraste. La función propuesta por Ellrod se resume en la ecuación (1):

$$B = 60 + 10 \left[\text{DTB}(12 - 11)_{\mu\text{m}} \right] + \left[\text{DTB}(3,9 - 11)_{\mu\text{m}} \right] \quad (1)$$

donde B es una temperatura de brillo (K) y el parámetro a evaluar. En situaciones en las que está presente ceniza volcánica, los términos que contienen las DTB se maximizan (especialmente durante el día) y el valor de B alcanza un máximo. Debido a la complejidad de los procesos radiativos involucrados en la banda de 3,9 μm , no existe un valor umbral para discernir ceniza volcánica, por lo que esta discriminación se hace comparando el valor relativo de B en cada punto respecto a los del entorno.

RESULTADOS

Validación meteorológica del modelo WRF

Debido a que los patrones meteorológicos afectan fuertemente el transporte y dispersión de los aerosoles volcánicos, a modo de introducción en el apartado de Resultados, se presenta brevemente una comparación entre variables meteorológicas predichas y las observadas. Debe tenerse en cuenta que los resultados de la simulación son representativos de áreas de 27 x 27 km^2 , mientras que las mediciones son observaciones puntuales.

Una evaluación extensiva del desempeño del modelo WRF en zonas de topografía compleja, ya ha sido llevada a cabo en (Allende et al., 2012). Las comparaciones presentadas allí, sugieren que la configuración empleada para este estudio es también adecuada para capturar la evolución de la meteorología durante el período de simulación.

Las observaciones de temperatura, punto de rocío, velocidad y dirección de viento fueron obtenidas de un total de 10 estaciones de superficie, del Servicio Meteorológico Nacional (SMN) de Argentina y de la Dirección Meteorológica de Chile (ver ubicación en Figura 1).

La Figura 2 representa un diagrama de Taylor (Taylor, 2001) mostrando el desempeño del modelo para las 10 estaciones comparadas. En este diagrama, se indican el coeficiente de correlación y la relación entre las desviaciones estándar de los campos medidos y observados. Las líneas punteadas indican la desviación estándar normalizada. Las líneas radiales son correlaciones calculadas de acuerdo a Taylor (2001). Puede notarse aquí que el modelo captura la tendencia general de todas las variables, mostrando un alto grado de correspondencia entre los campos medidos y observados. Existe asimismo, mayor variabilidad en las componentes zonales y meridionales del viento de algunas estaciones, como Mendoza, Bariloche y Neuquén. Esto se debe a que se trata de sitios donde la influencia topográfica en los vientos de superficie no puede ser bien resuelta por la escala del modelo.

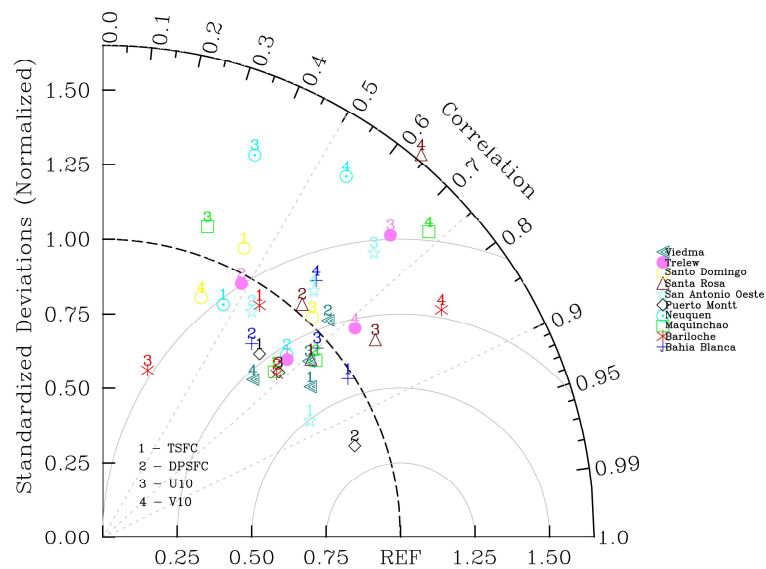


Figura 2: En el diagrama de Taylor, los números del 1 al 4 representan los resultados para Temperatura a 2 m, Punto de rocío a 2m, Componente zonal del viento a 10 m y Componente meridional del viento a 10m, para las distintas estaciones de superficie indicadas en la Figura 1. REF indica una predicción perfecta.

De igual manera, se hicieron comparaciones entre radiosondeos obtenidos en las estaciones de Mendoza, Santa Rosa, Santo Domingo y Pudahuel y las salidas de WRF. En la Figura 3 se muestran las comparaciones para el día 9 de junio de 2011 para dos de estas estaciones. En color naranja se indican los valores medidos de temperatura (trazo continuo) y punto de rocío (trazo de rayas) medidos. En negro se presentan los valores estimados por WRF. En general, el modelo captura las tendencias generales, tanto de punto de rocío, como temperatura, y velocidad y dirección de viento. El modelo predice correctamente la tendencia de temperaturas, con una diferencia promedio de 0,4°C en todos los niveles. Existen variaciones mayores en punto de rocío, con diferencias promedio de 4,1°C. Las desviaciones más importantes se dan en los niveles cercanos a la superficie y por encima de los 150 hPa. En los sitios de sondeo, el modelo predice las direcciones del viento ligeramente rotadas, casi siempre por debajo de 500 hPa. Sin embargo, el modelo simula bien la magnitud de las velocidades a todos los niveles. Estos resultados sugieren que la configuración de WRF empleada en este estudio captura los principales características meteorológicas entre el 3 y el 13 de junio, aunque existen algunas desviaciones en las velocidades y dirección de viento, cercanas a la superficie, que influyen los impactos de las plumas simuladas con FALL3D.

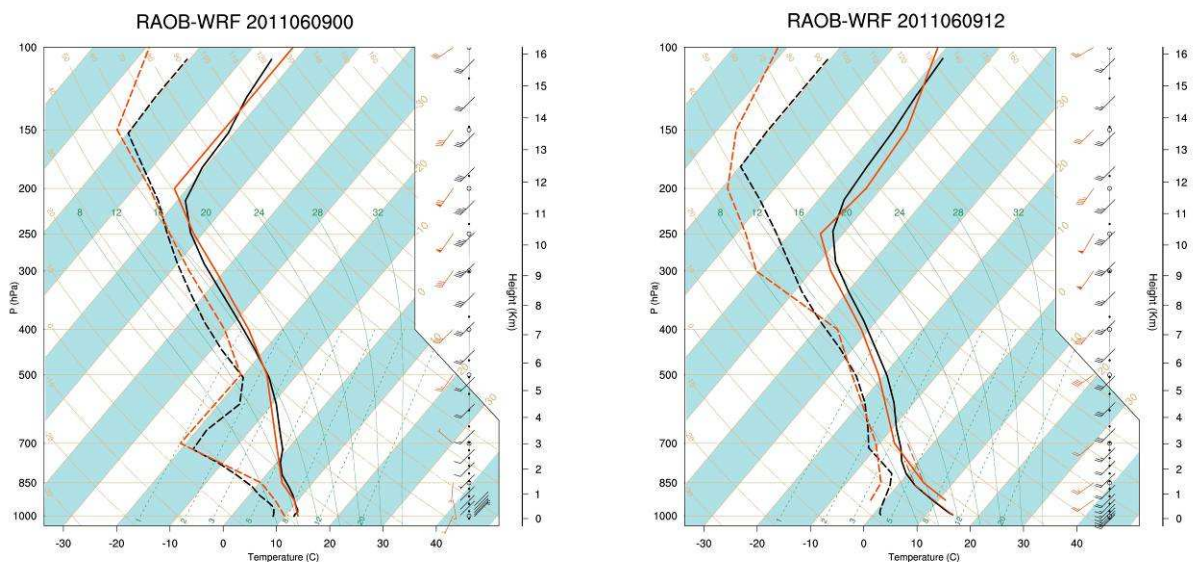


Figura 3: Comparación entre los radiosondeos y simulaciones de WRF: a) Para la estación de Santo Domingo, el día 9/6/2011 a las 00 UTC y b) Para la estación de Santa Rosa, el día 9/6/2011 a las 12 UTC.

Dispersión de ceniza volcánica y validación

La erupción del Puyehue comenzó el día 4 de junio a las 19 UTC aproximadamente. La erupción continuó por varios días, con diferente intensidad, dispersando cenizas debido a vientos predominantes en la dirección oeste-este, tal como se muestran en la Figura 4, donde se representan contornos de concentración de partículas a nivel del suelo. Una inspección cualitativa de las imágenes en el panel revela que la simulación reproduce las principales características de la evolución de la pluma volcánica descrita en la sección de Materiales y Métodos. Puede notarse aquí que la geometría de la pluma cambia para el día 6 de junio, extendiéndose hacia el centro y norte del territorio argentino. Esta situación cambia el día 7 de junio en el que

la dispersión de ceniza se vuelca hacia el sureste. Los días 8 y 9 de junio, nuevamente se verificaron mayores concentraciones en el centro del país

La Figura 5, Figura 6 y Figura 7 muestran una comparación entre las salidas del modelo FALL3D y ambos métodos de detección de ceniza usando datos de MODIS. Puede verse que para el día 6 de junio existen áreas en la Patagonia argentina cubiertas por nubes de cenizas volcánicas, junto con algunas nubes meteorológicas (discriminadas con valores positivos para el método de Prata, con valores mínimos en el método de Ellrod). En el caso del día 7 de junio, se produce un cambio notorio en la dirección de viento que provoca una inversión en la dirección de la pluma de cenizas.

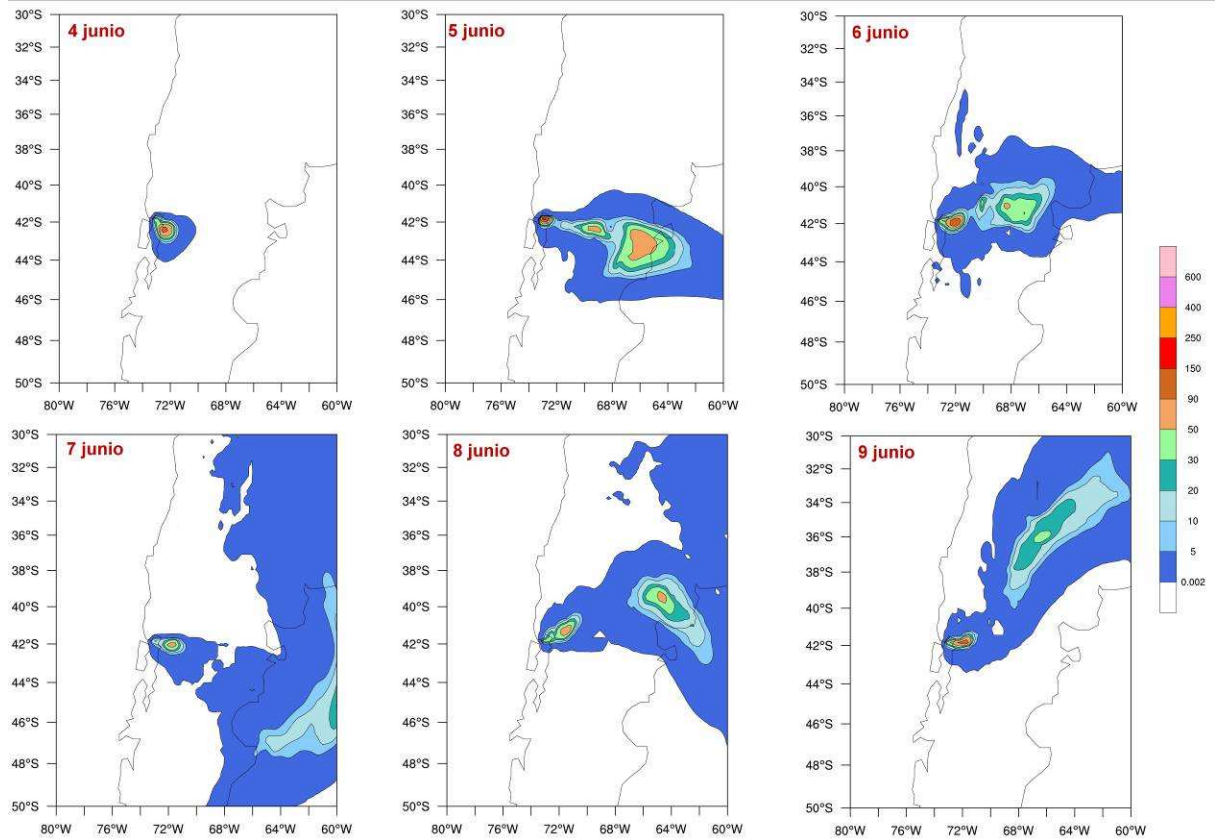


Figura 4: Resultados de la simulación obtenidos con FALL3D para los primeros 6 días desde la erupción, siempre a las 22 UTC. Los contornos muestran áreas de isoconcentración de partículas a nivel del suelo, en mg/m^3 .

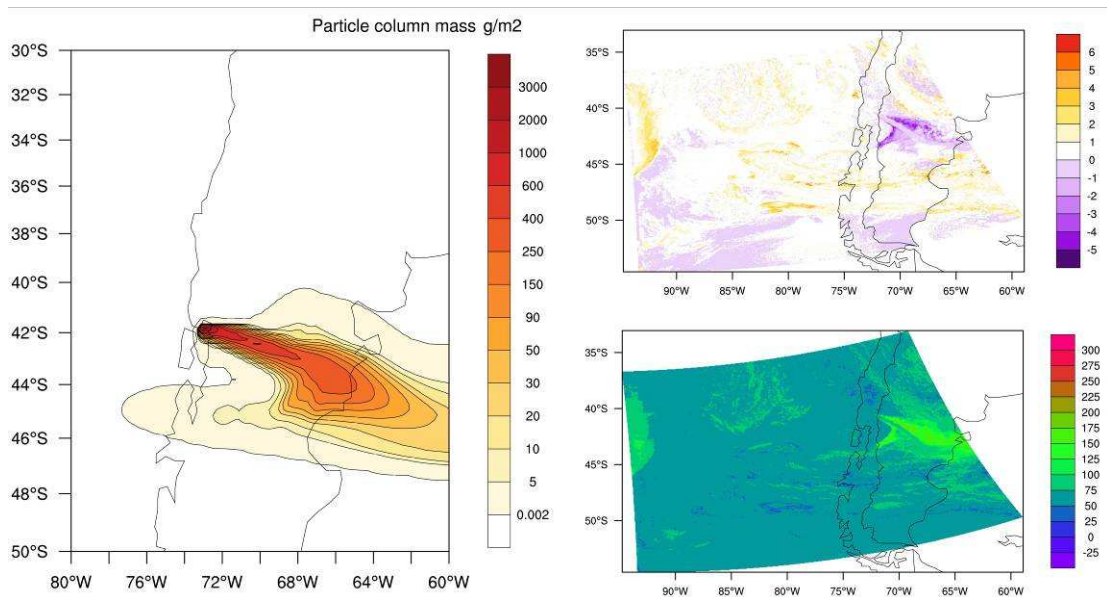


Figura 5: Comparación cualitativa entre la columna de ceniza volcánica (en g/m^2) simulada con FALL3D (izquierda) y la discriminación de aerosoles volcánicos utilizando el método de Prata (arriba) y el método de Ellrod (abajo) a partir de datos satelitales de MODIS, para el día 6 de junio de 2012 a las 4 UTC.

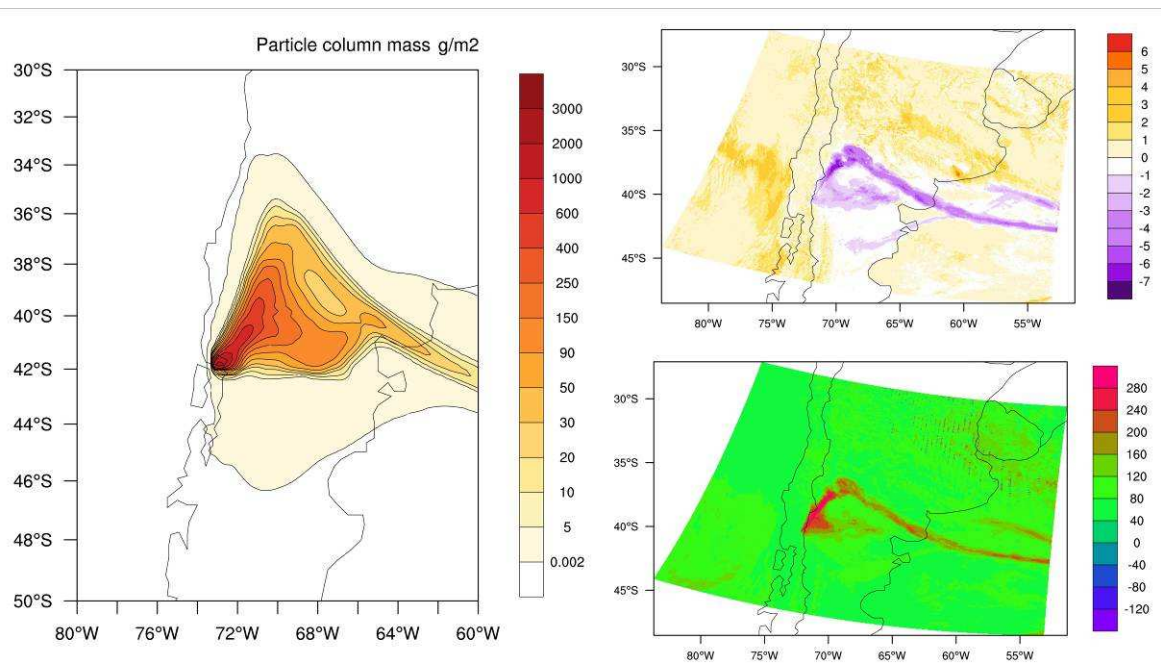


Figura 6: Comparación cualitativa entre la columna de ceniza volcánica (en g/m^2) simulada con FALL3D (izquierda) y la discriminación de aerosoles volcánicos utilizando el método de Prata (arriba) y el método de Ellrod (abajo) a partir de datos satelitales de MODIS, para el día 7 de junio de 2012 a las 14 UTC.

Existe una serie de píxeles al sur de la pluma principal identificados como ceniza volcánica de acuerdo al método de Prata, que no resultan tan evidentes utilizando el método de Ellrod. Este resultado es acorde a estudios previos en los cuales el método de Prata puede clasificar erróneamente nubes a grandes alturas y superficies cubiertas con nieve/hielo como ceniza. El método de 3 bandas propuesto por Ellrod realiza una discriminación más severa, pudiéndose distinguir más precisamente ceniza volcánica de nubes y suelo, corrigiendo el problema con el algoritmo de Prata, cuando las condiciones meteorológicas son complejas. Para el día 12 de junio, ambos algoritmos identifican una pequeña pluma de aerosoles volcánicos, también representada por el modelo FALL3D.

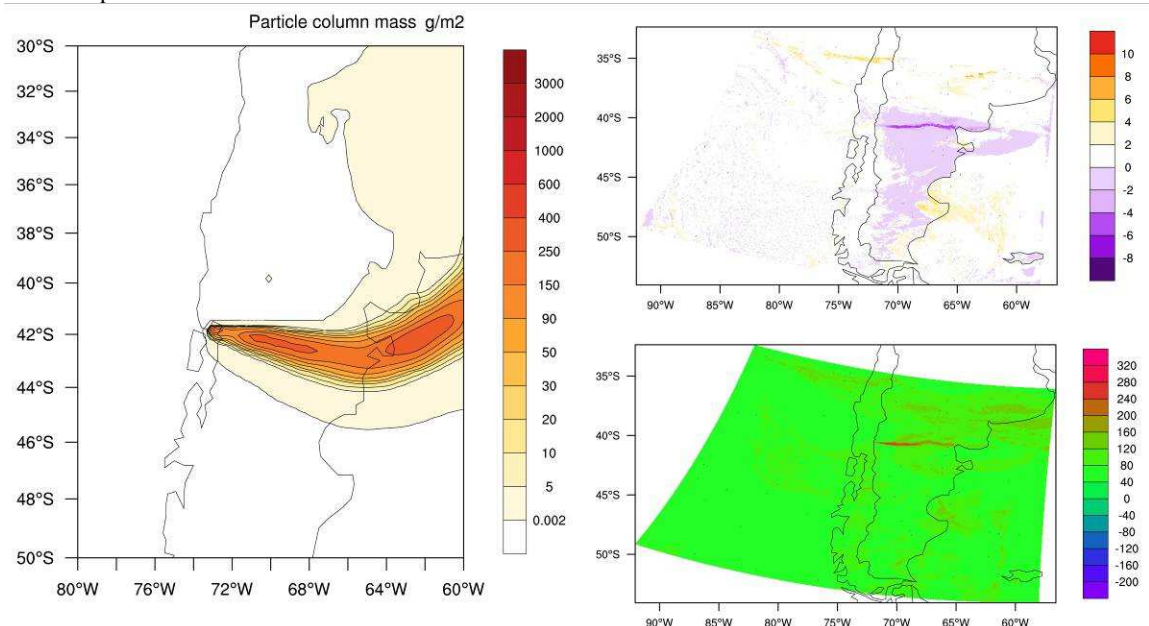


Figura 7: Comparación cualitativa entre la columna de ceniza volcánica (en g/m^2) simulada con FALL3D (izquierda) y la discriminación de aerosoles volcánicos utilizando el método de Prata (arriba) y el método de Ellrod (abajo) a partir de datos satelitales de MODIS, para el día 12 de junio de 2012 a las 15 UTC.

CONCLUSIONES

En este trabajo, se aplicó el modelo Euleriano FALL3D para estudiar la dispersión de ceniza volcánica de la erupción del Puyehue en junio de 2011. El modelo fue corrido con datos meteorológicos generados por el modelo de mesoescala WRF, alimentado con datos de reanálisis ERA-Interim. Para evaluar cualitativamente la dispersión de aerosoles, se probaron los métodos de discriminación de ceniza de Prata y Ellrod, utilizando datos de MODIS para todo el período de simulación. Las comparaciones entre las salidas del modelo con las mediciones de MODIS poseen un acuerdo razonable, dadas las incertidumbres inherentes al modelo y a los datos de entrada.

Un parámetro crucial para una correcta predicción de la dispersión de cenizas es la masa total liberada durante la erupción, que desafortunadamente puede estimarse con gran incertidumbre. Asimismo, se puede mencionar entre las fuentes de incertidumbre a la granulometría, las alturas de la columna eruptiva, el caudal másico emitido, entre otros. En el caso de la granulometría se supusieron 7 clases o bins. Cabe señalar que se han tomado datos y mediciones de los reportes del OVDAS-Sernageomin (Reportes Chile, 2011) los cuales se detalla la imposibilidad de medición o estimación de los parámetros.

La evaluación de los métodos de discriminación de ceniza muestra que, en general ambos algoritmos se condicen con las salidas del modelo FALL3D. Asimismo, la utilización de la técnica de 3 bandas, en general, no reveló una mayor discriminación de ceniza volcánica que el método de Prata. Ambos métodos funcionan bien en las condiciones meteorológicas presentes durante el período de estudio.

El entendimiento actual de cómo los aerosoles pueden afectar al tiempo atmosférico y el clima posee grandes incertidumbres, que deben reducirse con el objeto de estimar adecuadamente el impacto de las fuentes naturales, como así también las antropogénicas. Una simulación realista de los procesos involucrados en la emisión, transporte, dispersión y transformación de esos aerosoles es fundamental para responder esas preguntas. El sistema de modelado WRF-FALL3D con la configuración y parametrizaciones detalladas aquí representa adecuadamente la dispersión de cenizas volcánicas y permitirá en un futuro, la realización de estudios sobre los efectos radiativos de aerosoles y su realimentación en procesos atmosféricos.

AGRADECIMIENTOS

Los autores desean agradecer a la Dra. Estela Collini del Servicio Meteorológico Nacional y al personal del Observatorio Vulcanológico de los Andes del Sur del Servicio Nacional de Geología y Minería de Chile por sus valiosísimos consejos y sugerencias.

REFERENCIAS

- Allende D. G., Mulena G. C., Puliafito S. E., Lakkis S. G., Cremades P. G. y Castro, F. H. (2012). A first approach on modeling windblown dust in Zonda wind events. XI Congreso Argentino de Meteorología. CONGREMET (p. 14). Mendoza, Argentina.
- Connor C. B., Hill B. E., Winfrey B., Franklin N. M., y La Femina P. C. (2001). Estimation of volcanic hazards from tephra fallout. *Natural Hazards Review*, 2(1), 33-42.
- Costa A., Macedonio G. y Folch A. (2006): A three-dimensional Eulerian model for transport and deposition of volcanic ashes. In: *Earth and Planetary Science Letters*. 241 (3-4), pp. 634-647.
- Crutzen P. J. (2006). Albedo enhancement by stratospheric sulfur injections: a contribution to resolve a policy dilemma?. In: *Climatic Change*. Springer 77 (3-4), pp. 211-220.
- Dee D. P., Uppala S. M., Simmons A. J., Berrisford P., Poli P., Kobayash, S., Andrae, U., et al. (2011). The ERA-Interim reanalysis: configuration and performance of the data assimilation system. *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society*, 137(656), 553-597. John Wiley & Sons.
- Ellrod Gary P., Connell, Bernardette H., Hillger y Donald W. (2003). Improved detection of airborne volcanic ash using multispectral infrared satellite data. In: *Journal of Geophysical Research*. 108 (D12), pp. 1-13.
- Folch A.; Costa A. y Macedonio G. (2009): FALL3D: A computational model for transport and deposition of volcanic ash. In: *Computers & Geosciences*. 35 (6), pp. 1334-1342.
- Guenther B., Godden G., Xiong X., Knight E., Qiu S., Montgomery H., Hopkins M. M., et al. (1998). Prelaunch Algorithm and Data Format for the Level 1 Calibration Products for the EOS-AM1 Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer (MODIS). *Geoscience and Remote Sensing*, 36(4), 1142-1151.
- Kristiansen N. I., Stohl A., Prata A. J., Richter A., Eckhardt S., Seibert P., Hoffmann A., et al. (2010). Remote sensing and inverse transport modeling of the Kasatochi eruption sulfur dioxide cloud. *J. Geophys. Res.*, 115, D00L16. AGU.
- Lara L. E., Moreno H., Naranjo, J. A., Matthews S. y Pérez de Arce, C. (2006). Magmatic evolution of the Puyehue-Cordón Caulle Volcanic Complex (40° S), Southern Andean Volcanic Zone: From shield to unusual rhyolitic fissure volcanism. *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 157(4), 343-366.
- Prata A. J. (2009). Satellite detection of hazardous volcanic clouds and the risk to global air traffic. In: *Natural Hazards*. Springer Netherlands 51 (2), pp. 303-324.
- Prata, A. J. (1989): Observations of volcanic ash clouds in the 10-12 μm window using AVHRR/2 data. In: *International Journal of Remote Sensing*. 10 (4-5), pp. 751-761.
- Prata F., Bluth G., Rose B., Schneider D. y Tupper, A. (2001). Comments on "Failures in detecting volcanic ash from a satellite-based technique". *Remote Sensing of Environment*, 78, 341-346.
- Reportes de OVDAS-Sernageomin (2011). www.sernageomin.cl
- Skamarock W. C., Klemp J. B., Gill D. O., Barker D. M., Wang W., y Powers, J. G. (2008). A Description of the Advanced Research WRF Version 3. Mesoscale and Microscale Meteorology Division, National Center for Atmospheric Research.
- Spence R. J. S., Kelman I., Calogero E., Toyos G., Baxter P. J. y Komorowski, J.-C. (2005a). Modelling expected physical impacts and human casualties from explosive volcanic eruptions. *Natural Hazards and Earth System Science*, 5(6), 1003-1015.
- Spence R. J. S., Kelman I., Baxter P. J., Zuccaro G. y Petrazzuoli, S. (2005b). Residential building and occupant vulnerability to tephra fall. *Natural Hazards and Earth System Science*, 5(4), 477-494.
- Taylor K. E. (2001). Summarizing multiple aspects of model performance in a single diagram. In: *J. Geophys. Res.* AGU 106 (D7), pp. 7183-7192.

ABSTRACT

This work is focused on the use and validation of the Eulerian model FALL3D in the simulation of volcanic aerosol dispersion during the Puyehue volcano eruption, occurred on June 4th 2011. This Eulerian model was configured to simulate de ash plume development during a period of 10 days. Model outputs were validated against surface and upper air meteorological data obtained from the Argentina and Chile meteorological services. In addition, using MODIS satellite data, two methods for ash discrimination were applied to verify the plume evolution. The good agreement of the qualitative and quantitative comparisons between simulated and measured data suggest an appropriate modeling approach and allows a future application of these tools in the study of radiative effects of volcanic aerosols.

Keywords: volcanic ash, FALL3D model, WRF model, Puyehue volcano, validation