

# SIMULACIONES POR ENSAMBLES DE RESUSPENSIÓN DE CENIZA VOLCÁNICA

Eliana Sabrina Vazquez<sup>1</sup>, Leonardo Alejandro Mingari<sup>2</sup>, María Soledad Osoreo<sup>1</sup>

[evazquez@smn.gob.ar](mailto:evazquez@smn.gob.ar). Autor/a correspondiente.

<sup>1</sup>Servicio Meteorológico Nacional (SMN)

<sup>2</sup>Barcelona Supercomputing Center (BSC)

**Palabras clave:** Ceniza Volcánica, FALL3D, Resuspensión.

## 1) INTRODUCCIÓN

La resuspensión eólica y la dispersión atmosférica de cenizas volcánicas puede ocasionar efectos negativos en la salud humana, la flora, la fauna, el transporte aéreo y terrestre. Los pronósticos de dispersión de cenizas volcánicas se basan principalmente en simulaciones numéricas y pueden constituir una herramienta fundamental para la toma de decisión en pos de reducir los posibles impactos. Durante los últimos años se han realizado importantes avances en el modelado determinista de removilización de ceniza volcánica. El siguiente paso, es la generación de simulaciones por ensambles para representar la incertidumbre asociada a diferentes condiciones iniciales y parámetros del modelo. En el modelado de removilización de ceniza volcánica existen diversas fuentes de incertidumbre, tales como el estado del depósito y la fracción de material que puede ser liberado; los parámetros involucrados en los esquemas de emisión, los cuales están usualmente basados en experimentos realizados con polvo mineral; las parametrizaciones de los procesos físicos en la capa límite planetaria, la difusión turbulenta, la sedimentación y la meteorología. Por tal motivo, recientemente se ha vuelto evidente la necesidad de realizar predicciones probabilísticas a fin de cuantificar la incertidumbre de estos parámetros. Una forma de abordar este problema es mediante la generación de ensambles de simulaciones numéricas. Mientras que existen antecedentes sobre la utilización de pronósticos por ensamble para representar la incertidumbre asociada a los pronósticos de dispersión focalizados en la incertidumbre en la columna eruptiva (Bursik y otros 2012; Madankan y otros 2014, Fu y otros, 2015, Osoreo, 2018, Osoreo y otros 2019), ninguno estudio se ha enfocado aún en la resuspensión de ceniza volcánica. El objetivo de este trabajo es realizar un estudio probabilístico basado en simulaciones por ensambles de resuspensión de ceniza volcánica, perturbando los datos de entrada más relevantes del modelo, como parámetros de la fuente de emisión, campos meteorológicos, de manera conjunta e independiente, para tener en cuenta diferentes fuentes de incertidumbre.

## 2) METODOLOGÍA

Para realizar las simulaciones se utiliza el modelo FALL3D 8.x (Costa y otros 2006, Folch y otros 2009, 2020) acoplado al modelo Weather Research and Forecasting (WRF-ARW) (Skamarok y otros 2008). El FALL3D es un modelo atmosférico de dispersión, euleriano tridimensional, que simula el transporte y depósito de ceniza volcánica. En este trabajo se presenta y se evalúa una nueva implementación del esquema de resuspensión que permite generar ensambles de resuspensión dentro del FALL3D. Para la realización de simulaciones de resuspensión, el FALL3D requiere como inputs de entrada, el depósito de ceniza volcánica, la fracción y el tamaño de partículas, los campos meteorológicos y el umbral de velocidad de fricción ( $u_{*th}$ ). Para obtener datos meteorológicos de alta resolución se utiliza el modelo WRF-ARW, que es un sistema numérico de predicción meteorológica de mesoescala. Para realizar las simulaciones se contó con el acceso al Cluster del Departamento de Investigación de Desarrollo del Servicio Meteorológico

Nacional con un total de 200 procesadores.

Se considera como caso de estudio a los eventos de resuspensión del depósito de cenizas ocurridos tras la erupción del Complejo Volcánico Puyehue-Cordón Caulle. Para generar las simulaciones se consideraron tamaños de ensamble mayores a 25 miembros y se perturbaron los parámetros del modelo más relevantes tales como la velocidad de fricción y las componentes horizontales del viento. La simulación se compara con resultados determinísticos e imágenes satelitales de los eventos. Para evaluar el desempeño de la metodología propuesta se utilizan diferentes métricas de evaluación.

### 3) RESULTADOS

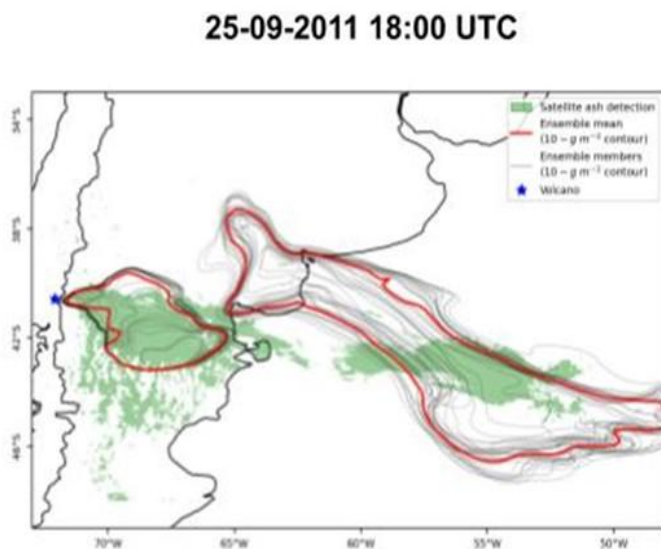


Figura 1: Ceniza detectada por el sensor MODIS (verde), contorno de carga de masa  $10 \text{ g m}^{-2}$  de la media del ensamble (rojo), y de los miembros del ensamble (negro), volcán Puyehue-Cordón Caulle (azul), para el 25 de septiembre del 2011 a las 18 UTC.

En la Figura 1, se muestra una comparación cualitativa entre la ceniza detectada por el sensor MODIS (sombreado verde), a bordo del satélite AQUA y los resultados de carga de masa modelada, que es la columna de masa total por unidad de área, para el día 25 de septiembre del 2011 a las 18 UTC para un evento de resuspensión del depósito de cenizas ocurrido en cercanías del Complejo Volcánico Puyehue-Cordón Caulle. La ceniza volcánica es detectada usando el algoritmo de diferencia de temperatura de brillo (BDT) basado en los canales infrarrojos del sensor MODIS. El sector este de la pluma de ceniza detectada por el satélite, sobre el Océano Atlántico, fue emitida el día previo mientras que sobre la Patagonia es posible observar resuspensión en desarrollo. Por otro lado, las líneas representan los contornos de carga de masa de  $10 \text{ g m}^{-2}$  para la media del ensamble (rojo) y para cada miembro del ensamble (negro). Se puede observar que la ceniza está principalmente concentrada en dos regiones, en concordancia con la ceniza detectada por el satélite, aunque la nube simulada se dispersa hacia el sur. Por otro lado, en la región norte, el algoritmo no detecta la ceniza volcánica, debido a la nubosidad meteorológica (no mostrado), sin embargo las estaciones meteorológicas de superficie reportaron la presencia de ceniza volcánica en esta zona.

### 3) CONCLUSIONES

En este trabajo se presenta una nueva metodología para modelar eventos de resuspensión usando el modelo FALL3D que permite generar un ensamble de simulaciones perturbando los parámetros más inciertos del modelo. Este sistema de modelado puede ser eficientemente ejecutado en

paralelo usando recursos HPC y podría ser aplicado para generar pronósticos probabilísticos en un entorno operativo. Utilizando datos satelitales se ha demostrado que la generación de predicciones probabilísticas mejora las métricas de evaluación del modelo respecto de las simulaciones determinísticas tradicionales.

Para evaluar los resultados del modelo es necesaria la integración de diferentes fuentes de información (e.g. imágenes satelitales, estaciones en superficies, LIDARES, contadores de partícula, fotómetros solares) para obtener una descripción completa de la distribución espacio-temporal de la pluma de ceniza resuspendida. Por tal motivo, en futuros trabajos se incorporarán nuevas fuentes de observaciones. Además, los desarrollos resultantes de este trabajo representan un paso preliminar para la implementación de un sistema de asimilación de datos basado en ensambles.

## REFERENCIAS

- Bursik, M., Jones, M., Carn, S., Dean, K., Patra, A., Pavolonis, M., Pitman, E.B., Singh, T., Singla, P., Webley, P., Bjornsson, H. y Ripepe, M., 2012:** Estimation and propagation of volcanic source parameter uncertainty in an ash transport and dispersal model: application to the Eyjafjallajökull plume of 14–16 April 2010. *Bull. Volcanol.*
- Costa, A., G. Macedonio y A. Folch, 2006:** A three dimensional Eulerian model for transport and deposition of volcanic ashes. *Earth and Planetary Science Letters* 241, 634-647.
- Folch A., Costa A. y Macedonio G., 2009:** FALL3D: A computational model for transport and deposition of volcanic ash, *Comput. Geosci.*, 35, 1334–1342.
- Folch A., Mingari L., Gutierrez N., Hanzich M., Macedonio G. y Costa A., 2020:** FALL3D-8.0: a computational model for atmospheric transport and deposition of particles, aerosols and radionuclides – Part 1: Model physics and numerics. *Geosci. Model Dev.*, 13, 1431–1458.
- Fu G., Lin H. X., Heemink A. W., Segers A. J., Lu S. y Palsson T., 2015:** Assimilating aircraft-based measurements to improve Forecast Accuracy of Volcanic Ash Transport. *Atmospheric Environment*, 115, 170-184.
- Madankan R., Pouget S., Singla P., Bursik M., Dehn J., Jones, M., Patra A., Pavolonis M., Pitman E. B., Singh T. y Webley P., 2014:** Computation of probabilistic hazard maps and source parameter estimation for volcanic ash transport and dispersion. *Journal of Computational Physics*, 271, 39-59.
- Osores, M. S., 2018:** Evaluación de estrategias para el pronóstico numérico por ensambles de dispersión de ceniza volcánica en Sudamérica. Tesis Doctoral, Universidad de Buenos Aires. Facultad de Ciencias Exactas y Naturales.
- Osores, M. S., Ruiz, J., Folch, A. y Collini, E., 2019:** Volcanic ash forecast using ensemble-based data assimilation: the Ensemble Transform Kalman Filter coupled with FALL3D-7.2 model (ETKF-FALL3D, version 1.0). *Geosci. Model Dev. Discuss.*, <https://doi.org/10.5194/gmd-2019-95>, in review.
- Skamarock, W. C., Klemp, J. B., Dudhia J., Gill, D. O., Barker, D. M., Duda, M. G, Huang, X.-Y., Wang W. y Powers, J. G., 2008:** A Description of the Advanced Research WRF Version 3. NCAR Tech. Note NCAR/TN-475+STR, 113 pp.