



Implementación de sistema de pronóstico de dispersión piroclástica en tiempo real. Ejemplo para la erupción del Volcán Calbuco 2015.

Francisco Bucchi M*, Álvaro Amigo R.

Unidad de Geología y Peligros Volcánicos, RNVV, Servicio Nacional de Geología y Minería, Santa María 0104, Providencia, Santiago, Chile

* email: francisco.bucchi@gmail.com

Palabras Claves: Dispersión de piroclastos, modelación, Calbuco, Fall3d, Ash3d, manejo de crisis eruptiva.

Resumen

Los modelos numéricos Fall3d y Ash3d se encuentran en la línea de avanzada en el pronóstico de dispersión y acumulación piroclástica. Para mejorar la capacidad de reacción de la Red Nacional de Vigilancia Volcánica del Servicio Nacional de Geología y Minería, se implementaron ambos modelos y pudiendo reproducirse la dispersión y depósito de caída producido por la erupción del volcán Calbuco ocurrida el 22 y 23 de abril de 2015. El resultado obtenido se considera satisfactorio, dado que permite al mismo tiempo estimar la dirección de dispersión de la nube de piroclastos y el depósito producido en áreas cercanas al volcán. Mientras Ash3d permite obtener resultados en menos tiempo a través de un proceso relativamente sencillo, Fall3d produce resultados más precisos, estimando además el tiempo de llegada de los piroclastos a ciudades y aeropuertos de interés. A partir de los datos de esta erupción se pudo calibrar ambos modelos para ejecución en casos de mayor incertidumbre, específicamente ante una próxima erupción explosiva.

1. Introducción.

La capacidad para pronosticar la dispersión y acumulación de piroclastos durante una erupción volcánica en curso es uno de los puntos críticos de un sistema de vigilancia volcánica. Este fenómeno tiene el potencial de afectar lugares distantes a cientos o incluso miles de km de la fuente, y por lo tanto el impacto derivado puede ser perjudicial para un alto número de personas, además de efectos directos en el ambiente y en diversas ramas de la actividad económica (agricultura, ganadería, forestal, entre otros). Más aún, estos efectos pueden derivarse de erupciones de pequeña y mediana magnitud, por lo que es uno de los peligros volcánicos que afectan con mayor frecuencia a la población. En nuestro país hemos experimentado estos efectos en las

recientes erupciones de los volcanes Calbuco (2015), Villarrica (2015), Cordon Caulle (2011) y Chaitén (2008).

Los modelos de última generación, como Fall3d (Mastin et al., 2013) y Ash3d (Folch et al., 2009), permiten pronosticar la dirección de la dispersión de piroclastos a escalas de cientos a miles de kilómetros de la fuente, los tiempos de llegada a puntos críticos, como ciudades y aeropuertos, la concentración de material a distintos niveles de vuelo y el espesor del depósito. Estos modelos necesitan ser calibrados con parámetros geológicos tales como flujo de masa, distribución granulométrica y altura de la columna para ser usados correctamente. En el presente trabajo se presenta la calibración de los modelos Fall3d y Ash3d, realizada al intentar reproducir la dispersión y acumulación de piroclastos producidos por la erupción del Vn. Calbuco 2015.

2. Metodología.

2.1 Descripción de los modelos Fall3d y Ash3d.

Fall3d y Ash3d son modelos de dispersión de piroclastos que utilizan campos tridimensionales de vientos. En ambos casos se usó el archivo de vientos de mejor resolución que permite cada modelo: GFS, de ~55 km de resolución, para Ash3d, y WRF, de 12 km de resolución, para Fall3d. Ash3d funciona a través de una plataforma web simplificada, y requiere ingresar el volumen eruptado, altura de la columna y duración de cada pulso eruptivo. Por su parte, Fall3d requiere la misma información que Ash3d, y además la distribución granulométrica, flujo de masa, y densidad y esfericidad de las partículas.

2.2 Resumen de la erupción del Calbuco 2015.

La erupción del Calbuco 2015 consistió de dos pulsos principales. El primero pulso ocurrió a las 18:00 hrs (21 UTC) del 22 de abril, con una duración de 1,5 hrs y una altura de columna de $15 \pm 0,5$ km. El segundo y mayor pulso ocurrió a las 01:00 hrs (04 UTC) del 23 de abril, duró 6 hrs y tuvo una columna de $17,1 \pm 0,3$ km de altura (Bertín et al. 2015, enviado al congreso geológico). La

densidad de los piroclastos, medida con picnómetro de agua, fue de 1,3 a 1,5 g/cm³.

La calibración consistió en intentar reproducir el depósito de piroclastos (medido en terreno, Bertín et al. 2015), la dispersión de la nube de piroclastos (obtenida de las imágenes del satélite GOES 13,) y el tiempo de llegada de los piroclastos al Vn. Villarrica. Este último dato se pudo obtener gracias a las cámaras de vigilancia que mantiene el OVDAS alrededor del Vn. Villarrica, y a que éste presenta incandescencia continua durante las noches. En la madrugada del 23 de abril la incandescencia del Vn. Villarrica desaparece completamente alrededor de las 04 UTC (01:00 hora local) y nuevamente alrededor de las 11 UTC (08:00 hora local), debido a la llegada de los piroclastos. Se descarta que la desaparición de la incandescencia se deba a nubosidad porque en otras imágenes se ve que las nubes no son capaces de opacar completamente la incandescencia, ni lo hacen en todas las cámaras de vigilancia al mismo tiempo, como fue en este caso.

3. Resultados y discusión

Los resultados de los modelos se muestran en la Tabla 1 y en las figuras 1 a 4. Tanto Fall3d como Ash3d reproducen de buena manera la ruta que siguió la nube de piroclastos producida por el primer y segundo pulso eruptivo (figuras 1 a la 4). Con respecto al tiempo de llegada al Vn. Villarrica, ambos modelos informan que la nube llega entre las 00 y 01 UTC. Sin embargo, esto corresponde al paso de la nube de piroclastos en altura, y en particular a la llegada al borde de la nube, que está diluido. A esta hora no se observa caída de piroclastos en superficie en Villarrica que se pueda apreciar por las cámaras del OVDAS. La caída de piroclastos aumenta gradualmente desde aproximadamente las 03 UTC, momento en que la imagen se comienza a hacer difusa, hasta ser muy abundante a las 04 UTC y 11 UTC, en que se obstruye totalmente la visión de las cámaras. Nosotros asociamos este momento a la llegada del núcleo de la nube de piroclastos, que es la parte con mayor densidad de material. Según Fall3d, la llega del núcleo de la nube (carga de la nube >100 gr/m²) ocurre entre las 03 y 04 UTC para el primer pulso, y entre las 10 y 11 UTC para el segundo pulso, lo que es concordante con lo observado.

El depósito de caída simulado por los modelos presenta una diferencia de alrededor de 27° (Fall3d) y 34° (Ash3d) en el eje de dispersión con el eje del depósito medido en terreno. Esto se debe principalmente a diferencias entre los vientos utilizados (pronósticos) y los que ocurrieron, y la diferencia es mayor mientras más gruesa sea la resolución del archivo de vientos. Por otro lado, con ambos modelos se pudieron reproducir de buena manera las isópacas, siendo mejor la reproducción hecha con

Fall3d. Esto se debe a que Fall3d permite ajustar el flujo de masa de la erupción, la distribución granulométrica y la densidad de los piroclastos, además de trabajar con un campo de vientos de mejor resolución. Por su parte, Ash3d utiliza valores estándar para estos parámetros y un campo de vientos de peor resolución.

Los resultados de la calibración se consideran satisfactorios, pues se pudo reproducir la ruta de dispersión de los piroclastos, el tiempo de llegada al Vn. Villarrica y el depósito de caída. Aunque con ambos modelos se obtuvieron resultados satisfactorios, con Fall3d se obtuvieron los mejores resultados, lo que se debe a la utilización de un campo de vientos de mejor resolución y a la posibilidad de ajustar una mayor cantidad de parámetros geológicos. Con Ash3d se obtuvieron resultados comparativamente más malos que con Fall3d, especialmente en lo que se refiere al depósito, pero esto se compensa con su simplicidad de uso.

El resultado de este ejercicio es tener parámetros de referencia para utilizar Fall3d y Ash3d en casos de mayor incertidumbre, como lo es la simulación durante una erupción en curso. Se prevé un mejoramiento considerable de la capacidad de la Red Nacional de Vigilancia Volcánica para pronosticar la dispersión de piroclastos y el depósito de caída en tiempo real.

Agradecimientos

Los autores agradecen profundamente la buena disposición y ayuda de Rodrigo Delgado y Yoska Hernández de la Dirección Meteorológica de Chile, particularmente en la modelación y visualización de los resultados de los modelos, y en la facilitación de vientos WRF de buena resolución.

Referencias

- Bertín, D., Amigo, A., Astudillo, V., Bertín, L., Bucchi, F. 2015. Erupción del Volcán Calbuco 2015: Estratigrafía eruptiva y volumen involucrado. Congreso Geológico Chileno, 2015.
- Folch, A., Costa, A., Macedonio, G., 2009. FALL3D: A computational model for transport and deposition of volcanic ash. *Comput. Geosci.* 35 (6), 1334–1342.
- Mastin, L.G., Randall, M.J., Schwaiger, H.F., and Denlinger, R.P., 2013. User's guide and reference to Ash3d—A three-dimensional model for Eulerian atmospheric tephra transport and deposition: U.S. Geological Survey

		Dato	Fall3d	Ash3d
Dirección de dispersión de la nube de piroclastos	Primer Pulso	NNE	NNE	NNE
	Segundo Pulso	NE	NE	NE
Hora de llegada de piroclastos al Vn. Villarrica	Primer Pulso	~04 UTC	03-04 UTC*	-
	Segundo Pulso	~11 UTC	10-11 UTC*	-
Depósito	Eje de dispersión del depósito	N38°E	N65°E	N72°E
	Distancia isópaca 1 cm al volcán	60,5 km	65 km	~76 km

* Estos valores corresponden a la llegada del núcleo de la nube de piroclastos (carga de la nube >100 gr/m²) al Vn. Villarrica, lo que se asocia a la caída abundante de piroclastos en superficie y que obstruye la visión de la incandescencia del Vn. Villarrica.

Tabla 1. Comparación de las simulaciones hechas con Fall3d y Ash3d. En términos generales, los resultados de ambos modelos se pueden considerar buenos, aunque Fall3d reproduce de mejor manera la dispersión de piroclastos y el depósito formado. La principal ventaja de la versión utilizada de Ash3d (versión web) es su simplicidad de uso.

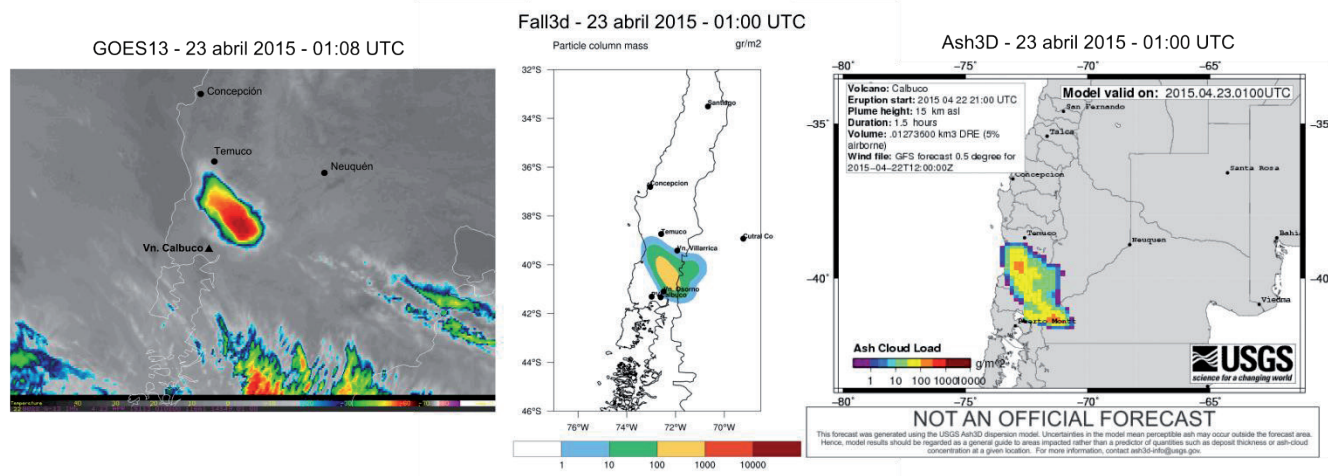


Figura 1. Dispersión de la nube de piroclastos. Primer pulso eruptivo. 23/04/2015 01:00 UTC.

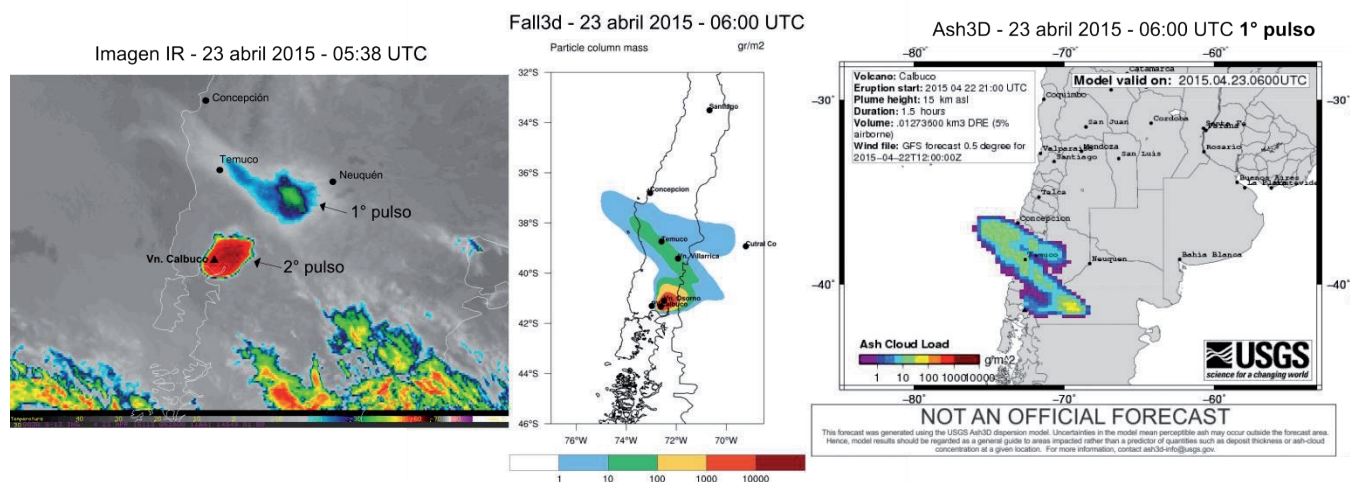


Figura 2. Dispersión de la nube de piroclastos. Primer y segundo pulso eruptivo. Notar que en la imagen satelital no se destacan las partes más diluidas de la nube de piroclastos (color celeste en imagen de Fall3d y verde en la imagen de Ash3d). Notar además que en Ash3d sólo se puede simular un pulso cada vez. En este caso se muestra el primer pulso eruptivo simulado por Ash3d. 23/04/2015 06:00 UTC.

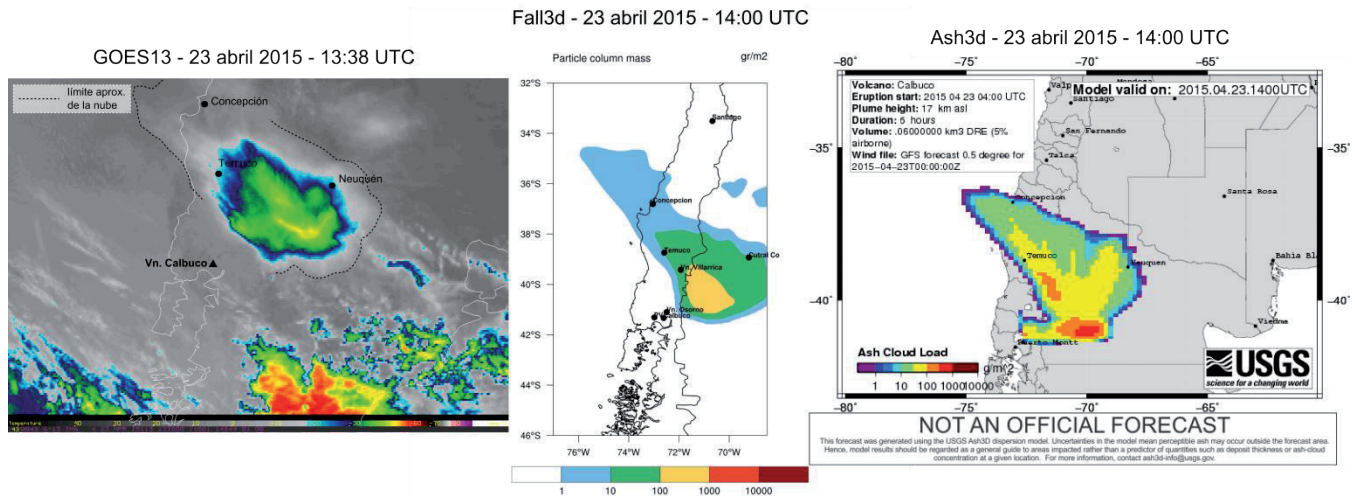


Figura 3. Dispersión de la nube de piroclastos. Segundo pulso eruptivo. Notar que en la imagen satelital no se destacan las partes más diluidas de la nube de piroclastos (indicada con una línea puntada en la imagen satelital, color celeste en imagen de Fall3d y verde claro en la imagen de Ash3d). 23/04/2015 14:00 UTC.

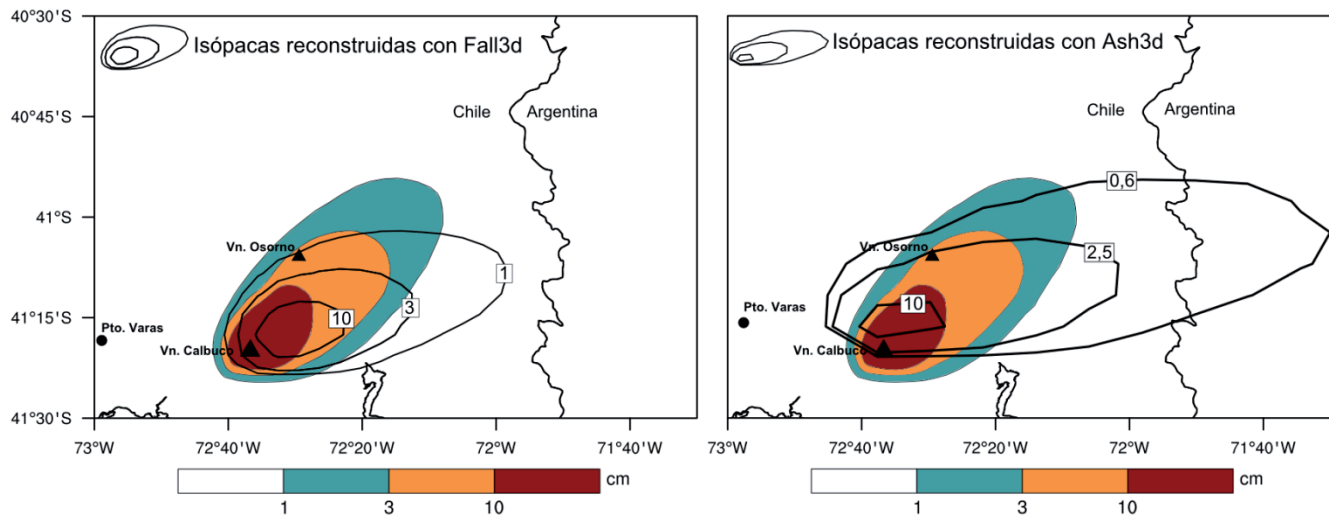


Figura 4. Comparación de isópacas simuladas y medidas. Las isópacas simuladas con Fall3d reproducen de mejor forma los valores medidos porque trabaja con un archivo de vientos de mejor resolución y permite ajustar un mayor número de parámetros geológicos, como distribución granulométrica y densidad de los piroclastos. Se muestran las isópacas entregadas por Ash3d más cercanas a los valores de isópacas construidas con datos de terreno.