

Interacción de las erupciones volcánicas con la atmósfera: interacciones específicas y el caso histórico del Pinatubo en 1991, con simulaciones climáticas de los años sucesivos.

Evelina Dallara

Resumen

Repositorio: https://github.com/Eve16/Proyecto_final.git

Palabras clave: Erupciones volcánicas, atmósfera, capa de aerosoles de Junge

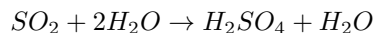
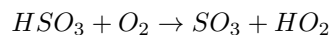
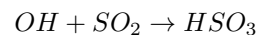
1. Introducción

Las erupciones volcánicas tienen un efecto importante tanto a escala local como global, considerando la superficie terrestre como la atmósfera. Los efectos sobre esta última pueden causar cambios importantes en el clima, a pequeños y grandes intervalos de tiempo, afectando de manera diferente a la sociedad. Las interacciones entre la columna eruptiva y la atmósfera se pueden observar de distintas formas, en este caso vamos a considerar principalmente la capa de aerosoles de Junge y la formación de las nubes cirrus. Además, se va a presentar un caso de erupción histórica que ha tenido un impacto importante a escala global: la erupción del Pinatubo en 1991. Finalmente se presentarán los resultados de la modelización climática de los dos años después de la erupción.

2. Efectos sobre la capa de aerosoles de Junge

La capa de aerosol de Junge es un estrato global situado a unos 20 km de altitud que refleja la luz solar y por tanto lleva a un enfriamiento de la atmósfera inferior, así como a un calentamiento local por la absorción de la radiación [von Glasow et al., 2009]. Se ha podido observar como las erupciones explosivas que llegan a alcanzar esta altitud tienen un importante

impacto sobre esta última capa, debido mayormente a la emisión de sulfuros. Estos sulfuros, emitidos en forma de SO_2 se oxidan formando el H_2SO_4 , que puede llevar a un aumento de los aerosoles de sulfato líquido y que pueden permanecer en la atmósfera durante años [Vernier et al., 2011]. La oxidación de este último se produce según las ecuaciones



Uno de los ejemplos más significativos del efecto de una erupción volcánica sobre la capa de Junge ha sido la erupción del Pinatubo en 1991. Durante esta erupción los 20 Tg de SO_2 que habían sido emitidos llegaron a la capa de Junge y causaron un enfriamiento de la temperatura global de unos 0.4 °C en el año después de la erupción y un calentamiento de la estratosfera inferior de 1.5 °C. Además, después de esta erupción, los aerosoles volcánicos han sido transportados hacia latitudes mayores donde se produjeron reacciones que llevan a la formación del agujero del ozono. Con el tiempo los aerosoles disminuyen debido a sedimentación e intercambios entre la estratosfera y troposfera, así que la estratosfera llega de nuevo a estar en condición no-volcánica. De hecho, en ausencia de erupciones volcánicas la presencia de la capa de Junge se relaciona con la emisión en la superficie de precursores de gases sulfúricos

3. Consecuencias en la formación de los cirrus

Los cirrus son nubes que se forman en la capa superior de la troposfera, el estrato de la atmósfera que va desde la superficie terrestre hasta unos 10 km de altitud, a través de cristales de hielo que crecen sobre núcleos que suelen ser partículas de arena o metálicas. Además, estas nubes tienen un efecto mayor sobre las radiaciones con longitudes de ondas grandes, causando así un mayor calentamiento de la superficie terrestre. Resulta importante conocer si los aerosoles en la estratosfera provenientes de erupciones volcánicas tienen algún efecto sobre la formación de los cirrus. [Friberg et al., 2015] ha estudiado esta relación y observó una variación de las concentraciones de sulfuros en la parte inferior de la estratosfera (LMS) y capa superior de la troposfera (UT) dependiendo de la estación del año. Es importante tener en cuenta también que la concentración de sulfuros aumenta desde los trópicos hacia latitudes mayores. Mientras que, si consideramos latitudes medias vemos como en la LMS hay altos valores de S/PV , que es la razón entre sulfuros y potencial de vorticidad, durante la primavera que después disminuye en verano, con un mínimo durante agosto-octubre. El máximo coincide con el flujo de aire descendiente desde la estratosfera hacia la LMS, donde se forman los cirrus, que lleva consigo las partículas de sulfuros, este movimiento de aire se denomina circulación de Brewer-Dobson (BD). En la Figura 1 se puede observar la existencia de una similitud entre las variaciones de concentraciones de sulfuros en los casos de la LMS y de la UT, lo que indica una fuerte relación entre las dos concentraciones en aerosoles que puede estar influenciada por la actividad volcánica. Por tanto, se puede decir que la variabilidad de los sulfuros está causada por la variación estacional debido al movimiento de las masas de aire y por las contribuciones de aerosoles volcánicos. En general, un aumento de los aerosoles lleva a un incremento de las partículas que pueden fingir como núcleos para la condensación, disminuyendo el tamaño y entonces aumentando de consecuencia la capacidad de reflejar la radiación (aumento del albedo de la nube).

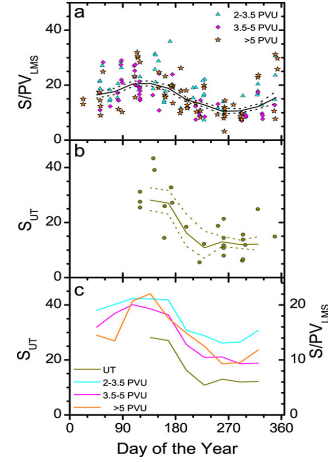


Figura 1: Cambios estacionales en (a) S/PV en diferentes intervalos de PV en la LMS, (b) las concentraciones de sulfuros en la UT, y (c) comparación directa del S/PV en la LMS y sulfuros en la UT.

4. Caso erupción Pinatubo 1991

El 15 de junio de 1991 se produjo la erupción del Mt Pinatubo, con la consecuente producción de una columna eruptiva que alcanzó los 30 km de altitud. Esta última aportó una gran cantidad de SO_2 , que al reaccionar con la estratosfera se transformó en H_2SO_4/H_2O , con una masa resultante de aerosoles de unos 30 Tg, considerado como la mayor perturbación de la estratosfera del último siglo [McCormick et al., 1995]. La nube de esta erupción ha sido ampliamente estudiada con numerosos métodos y ha sido observada su importante influencia sobre las concentraciones de NO_2 , cloro reactivo y ozono. Estaba constituida por vapor aqueo, gases sulfúreos y aerosoles, concentrándose en una altitud entre los 20 y 27 km logró dar la vuelta al mundo en 22 días. En la Figura 2 vemos la evolución de los aerosoles producidos por este evento eruptivo, obtenido a través del instrumento de ocultamiento solar SAGE II. El movimiento de la masa de aerosoles en este caso se desplazó desde los trópicos de manera muy lenta, un hecho que parece ser una característica muy

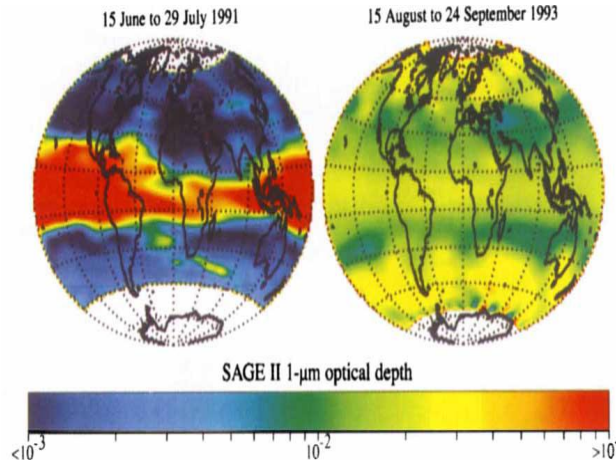


Figura 2: Desarrollo y dispersión de los aerosoles inyectados en la atmósfera durante la erupción del Pinatubo y monitorizados por distintos satélites.

común de las grandes erupciones a bajas latitudes. De hecho, el transporte de los aerosoles hacia los polos se produce más difícilmente con la presencia de vientos del este en zonas ecuatoriales. En este caso hubo unos vientos del este que dominaban sobre los 23 km durante los primeros seis meses después de la erupción. Sin embargo, a altitudes menores los aerosoles se desplazaron más rápidamente hacia los polos. La disminución de la concentración de aerosoles está debido al hecho de que con el tiempo estos son transportados desde la estratosfera a la troposfera donde sufren varios mecanismos que causan su sedimentación sobre la superficie de la Tierra. De hecho, se observa como a partir del año 1993 la concentración disminuye. Debido a la gran inyección de sulfuros en la estratosfera se han registrado valores de albedo muy altos durante los meses de julio, agosto y septiembre del mismo año de la erupción. El aumento de albedo había sido detectado también en regiones con valores generalmente altos de este mismo, debido a la inclusión de aerosoles en la troposfera superior que, por tanto, interaccionan con nubes convectivas, alterando sus propiedades microfísicas. Como hemos visto anteriormente, el aumento de los aerosoles causa un aumento en el albedo, lo que debería causar un en-

friamiento. Sin embargo, dependiendo de las propiedades microfísicas de los aerosoles, se puede producir una absorción en el IR, llevando a un calentamiento por efecto invernadero, o una dispersión de la radiación solar, produciendo un enfriamiento. Además, si el radio de los aerosoles supera los $2\mu\text{m}$ el efecto de calentamiento domina y en el caso de la erupción del Pinatubo hubo un incremento de este parámetro desde 0.3 a $1\mu\text{m}$, por tanto, debería producirse un enfriamiento. Sin embargo, en un primer momento se registró un aumento de la temperatura en la estratosfera, hasta 1992, y hacia el final de 1993 se observó un enfriamiento en la estratosfera, que se relacionó con la pérdida de ozono, un absorbente eficiente de radiación solar y responsable del calentamiento en la estratosfera.

5. Simulación del modelo climático de los dos años después de la erupción

[Kirchner et al., 1999] han hecho una simulación del calentamiento y enfriamiento debido a los efectos de la erupción del Pinatubo en 1991 de los sucesivos dos años. En total se han hecho tres series de experimentos de los dos años utilizando diferentes *sea surface temperatures* (SSTs) y para cada experimento se han hecho cinco experimentos con aerosoles y cinco sin, con diferentes condiciones iniciales (Tabla 2). Para ello ha sido utilizado el modelo de circula-

Band	Wavelength, μm	Description
1	5.3-6.9, 28.6- ∞	LW, water vapor absorption
2	12.5-20.0	LW, CO_2 absorption
3	8.0-9.0, 10.3-12.5	LW, window
4	9.0-10.3	LW, ozone absorption
5	20.0-28.6	LW, window
6	3.6-5.3, 6.9-8.0	LW, water vapor absorption
7	0.2-0.68	SW, Solar UV and Visible
8	0.68-4.0	SW, Solar near IR

Cuadro 1: Resolución espectral del esquema espectral del ECHAM4.

	Climatological SST	Observed SST (El Niño)	Observed SST (La Niña)
No aerosol forcing	C	O	L
With aerosol forcing	AC	AO	AL

Cuadro 2: Etiquetas de los diferentes modelos de circulación, basados en condiciones de contorno.

ción general ECHAM4 (GCM), basado en el modelo de previsión del tiempo del *European Centre for Medium-Range Weather Forecasting* (ECMWF). El ECHAM4 incluye el esquema modificado de Morcrette con el tratamiento explícito de los efectos radiativos de los aerosoles. La transferencia radiativa se divide en seis regiones espectrales y la radiación solar se divide en las bandas del visible y del cercano infrarrojo (Tabla 1). Los efectos que se han podido observar en relación de la estratosfera, donde se sitúa la capa de Junge, consisten en un calentamiento de la circulación estratosférica que va a influir también en las características de la troposfera. De hecho en la Figura 3 se puede ver la oscilación de temperatura en los años de la erupción del volcán.

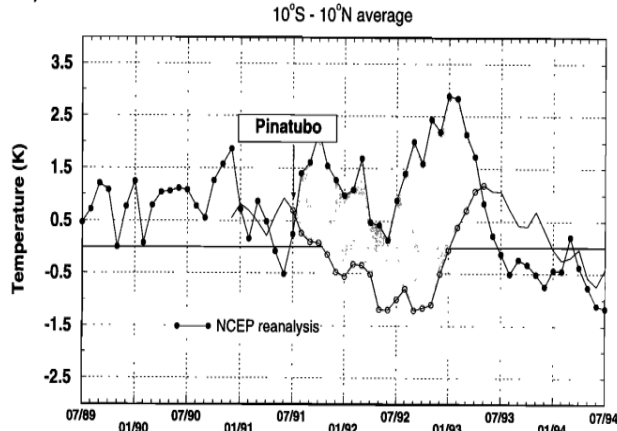


Figura 3: Anomalías de temperatura (K) en la estratosfera, obtenidos a partir del reanálisis del *National Centers for Environmental Prediction* (NCEP) con la climatología de los años 1968–1997.

La respuesta térmica debida a los aerosoles volcánicos en la estratosfera situada en los trópicos resulta

ser independiente de los diferentes SSTs. De hecho, la temperatura aumenta de unos 3-4 K, mientras que en los polos durante el invierno la respuesta es mucho más variable. Además, la posición y la magnitud de la anomalía son diferentes dependiendo de los SSTs, lo que demuestra la importancia de la influencia de la troposfera, situada encima de la estratosfera.

Las simulaciones demuestran que el efecto de la troposfera puede ser diferente para regímenes de calentamiento de la estratosfera similares, utilizando experimentos con diferentes SSTs. Por tanto, se puede decir que el vortice polar resulta ser dependiente de la circulación troposférica y entonces el aumento de la temperatura en la estratosfera no es el único factor importante que puede introducir cambios significativos en la troposfera. Además se pudo observar un enfriamiento durante el verano, que ha sido bien reproducido por los experimentos y un calentamiento durante el verano. En el primer caso, el enfriamiento es un efecto del del forcing radiativo de los aerosoles, mientras que el calentamiento resulta de los cambios en la circulación en la troposfera, debido a la interacción entre esta última y la estratosfera

Referencias

- [Friberg et al., 2015] Friberg, J., Martinsson, B. G., Sporre, M. K., Andersson, S. M., Brenninkmeijer, C. A., Hermann, M., Velthoven, P. F., and Zahn, A. (2015). Influence of volcanic eruptions on midlatitude upper tropospheric aerosol and consequences for cirrus clouds. *Earth and Space Science*, 2(7):285–300.
- [Kirchner et al., 1999] Kirchner, I., Stenchikov, G. L., Graf, H.-F., Robock, A., and Antuña, J. C. (1999). Climate model simulation of winter warming and summer cooling following the 1991 mount pinatubo volcanic eruption.

- Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, 104(D16):19039–19055.
- [McCormick et al., 1995] McCormick, M. P., Thomason, L. W., and Trepte, C. R. (1995). Atmospheric effects of the mt pinatubo eruption. *Nature*, 373(6513):399.
- [Vernier et al., 2011] Vernier, J.-P., Thomason, L. W., Pommereau, J.-P., Bourassa, A., Pelon, J., Garnier, A., Hauchecorne, A., Blanot, L., Trepte, C., Degenstein, D., et al. (2011). Major influence of tropical volcanic eruptions on the stratospheric aerosol layer during the last decade. *Geophysical Research Letters*, 38(12).
- [von Glasow et al., 2009] von Glasow, R., Bobrowski, N., and Kern, C. (2009). The effects of volcanic eruptions on atmospheric chemistry. *Chemical Geology*, 263(1-4):131–142.