

MODELO DE CAPTURA DE PARTÍCULAS DE NIEVE Y DE POLVO AMBIENTAL POR EL VIENTO

MODEL STUDY OF SNOW AND DUST PARTICLES UPTAKE BY WIND

Hugo Martínez

Hugo Martínez

Ingresó al IANIGLA en 1987 para estudiar la nieve y la producción de avalanchas. Desde 1991 hasta 1995 trabajó en la División Nivología del CEMAGREF de Grenoble (Francia), obteniendo la Maestría en Mecánica de Medios Geofísicos y del Medio Ambiente, opción Atmósfera, Hielo y Océanos (1992) y el Doctorado en Geofísica, Geoquímica y Geomecánica (1995) de la Universidad Joseph Fourier (Grenoble).

Entered the IANIGLA in 1987 to study the snow and the production of snow avalanches. From 1991 to 1996 worked at the Snow Division of the CEMAGREF in Grenoble, France, obtaining his Master's degree in Mechanics and Geophysical Environment, option Atmosphere, Ice and Oceans (1992) and the PhD in Geophysics, Geochemistry and Geomechanics (1995) at the Joseph Fourier University (Grenoble).

(English version by M.E. Soler)

Hay varias formas en las cuales la experiencia en simulación de transporte eólico de nieve por el viento (Martínez, 1996) puede ser usada con gran beneficio para el estudio del clima de Sudamérica y de la Antártida, utilizando los Modelos de Circulación General atmosférica (GCMs) (Genthon, 1994).

La nieve es un componente esencial del clima de la Antártida. Virtualmente toda la cantidad de agua que alimenta la calota de hielo antártica precipita en forma de nieve. Debido a que las partículas de nieve fresca en la Antártida pueden ser muy pequeñas (hasta 15 mm), la removilización y el transporte son posibles incluso en regiones donde la intensidad del viento en cercanías de la superficie es moderada. El hecho de que las partículas más finas se depositan más lentamente contribuye a explicar que el radio medio del grano de nieve es más pequeño en la superficie que en los estratos interiores de la calota. Los granos más finos dispersan la radiación más eficientemente, y se ha observado que el albedo espectral de la superficie de nieve en Antártida aumenta después de los episodios de transporte eólico. Debido a que

el albedo medio en el centro de la Antártida es elevado (0,9), una pequeña perturbación del mismo induce un gran cambio relativo de la energía solar absorbida.

Sin embargo, la captura o levantamiento de nieve es más importante en regiones de vientos fuertes y frecuentes, generalmente sobre las pendientes costeras donde se desarrollan los flujos catabáticos. A raíz de la compresión adiabática en el interior, las masas de aire catabáticas son relativamente templadas y muy secas cuando llegan a la costa. En tal ambiente, el hielo transportado en suspensión se sublima rápidamente, proceso que absorbe calor y hace decrecer la temperatura superficial en varios grados C. Además se pierde energía cinética del flujo bifásico cuando las partículas son movilizadas, pero el aumento de masa de nieve incrementa la cantidad de movimiento del flujo. Finalmente, los vientos catabáticos redistribuyen grandes cantidades de nieve sobre varias centenas de kilómetros, perturbando por ende la distribución del balance de masa superficial sobre la calota de hielo. En algunos lugares, la erosión eólica da por resultado una

There are several ways in which the expertise on modelling snow uptake by winds (Martínez, 1996) can be used with great benefit for the study of climate of South America and Antarctica with atmospheric General Circulation Models (GCMs) (Ghenton, 1994).

Snow is an essential component of the climate of Antarctica. Virtually all the water that feeds the ice sheet falls as snow. Because particles of fresh snow in Antarctica can be very small (down to 15 mm), re-mobilisation and drift are possible even in regions where the surface wind is moderate. The fact that the finest particles settle more slowly contributes to explain that the mean grain radius of snow is smaller at the surface than beneath. Finer grains scatter radiation more efficiently, and it has been observed that the spectrally averaged surface albedo in central Antarctica is very high (0.9), a small albedo induces a large relative change of absorbed solar energy.

However, snow uplift is most important in regions of strong and frequent winds, that is, over the steep coastal slopes where katabatic flows develop. Because of adiabatic compression, the katabatic air masses

are relatively warm and very dry when they reach the coast. In such environment, airborne ice sublimates quickly, a process which absorbs heat and decreases the surface air temperature by possibly several degrees C. In addition, kinetic energy is lost where particles are mobilised, but the additional mass increases the momentum of the flow. At last, katabatic winds redistribute large quantities of snow over up to several hundreds of kilometres, thus perturbing the distribution of surface mass balance over the ice sheet. In some places, wind erosion results in a net ablation. From simple models, it is estimated that the export of ice to the oceans by snow-loaded air streams accounts for 2 to 7% of the total mass lost (mostly through icebergs release).

A model study is desirable to improve our present knowledge of the impact of snow uptake and transport by winds on the climate and mass balance of Antarctica. A new version of the Laboratoire de Météorologie Dynamique (LMD) GCM with a refined grid (100 km) over Antarctica has been tested at LGGE. The large scale picture of the spatial and temporal distribution of winds over ice sheet is of unprecedented

ablación neta. A partir de modelos simples, se estima que la exportación de hielo a los océanos por parte de flujos de aire cargados de nieve es la causal del 2 al 7% de la pérdida total de la masa precipitada (generalmente a través de desprendimientos de témpanos).

Actualmente estudiamos un modelo que permite mejorar nuestros conocimientos sobre el impacto de la captura y transporte de nieve sobre el clima y balance de masa de la Antártida. Actualmente estamos probando en el Laboratoire de Glaciologie et Géophysique de l'Environnement (LGGE) una nueva versión del GCM del Laboratoire de Météorologie Dynamique (LMD) de l' Ecole Normale Supérieure (ENS) de París, que utiliza una grilla de resolución refinada de 100 km sobre la Antártida. A gran escala, la distribución espacial y temporal de los vientos sobre la calota de hielo posee una gran resolución, y la estimación de captura eólica de nieve y sus consecuencias sobre los balances de energía superficial y de masa pueden ser usadas para corregir el clima simulado por el modelo (Genthon, 1995).

Se está además trabajando en la implementación de fórmulas numéricas para el ciclo atmosférico (fuentes, transporte, mezclado, deposición, etc.) de especies de aerosoles en el nuevo GCM del LMD (Genthon, 1992). Esta investigación está llevándose a cabo en relación con los estudios de testigos de hielo, particularmente orientados sobre las regiones polares. El muestreo atmosférico y los análisis de testigos de hielo muestran que las partículas

minerales del suelo (polvo) "voladas" de la superficie de los continentes del Hemisferio Sur pueden ser transportadas en la atmósfera hacia la Antártida. Los testigos de hielo también indican que cantidades de polvo ambiental (micropartículas) mucho mayores se depositaron sobre el hielo antártico durante la era glaciaria, posiblemente a raíz de la expansión o migración de las regiones áridas, de una captura más eficiente del polvo por el viento, y/o de un transporte más eficiente por parte de la circulación general atmosférica. La simulación climática y el mecanismo de producción de los aerosoles atmosféricos pueden ayudar a clasificar y cuantificar estas contribuciones.

Los procesos de movilización eólica de la nieve y del polvo ambiental tienen mucho en común, por lo que parte de las fórmulas numéricas desarrolladas para las partículas de nieve (Martínez, 1996) pueden ser generalizadas. El análisis mineralógico de las micropartículas capturadas en testigos de hielo antártico indica a la Patagonia como la mayor fuente de las mismas durante el último periodo glaciario. Los vientos y otros aspectos de la meteorología de la región, como así también los diagramas de transporte desde América del Sur hacia la Antártida, son entonces de gran interés. El nuevo GCM del LMD, incrementado con nuestra formulación para el transporte de micropartículas, es una herramienta muy apropiada para estudiar los climas de Sudamérica y de Antártida, y sus relaciones que se encuentran a partir de las micropartículas almacenadas en los testigos de hielo.

quality. In turn, the estimation of snow uptake and consequences on surface energy budget and mass balance is used to correct the climate simulated by the model (Genthon, 1995).

We are also currently working on the implementation of numerical formulations for the atmospheric cycle (sources, transport, mixing, deposition) of aerosol species in the new LMD GCM (Genthon, 1992). This research is carried out in relation with ice core studies, and this is particularly focused on the polar regions. Atmospheric sampling and ice cores analysis show that the mineral soil particles (dust) blown away at the surface of the Southern Hemisphere continents can be transported in the atmosphere all the way to Antarctica. Ice cores also indicate that much larger quantities of dust settle on the Antarctic ice during an ice age, possibly because of the expansion or migration of the arid regions, a more efficient dust uptake by wind, and/or a more efficient transport by the atmospheric circulation. Modelling climate and aerosols together may help sort out and quantify these contributions.

The processes of snow and dust mobilisation by winds have much in common, so that part of the numerical formulations developed for the former particles (Martínez, 1996) could be used for the latter as well. The isotopic analysis of dust retrieved in an Antarctic ice core has clearly pointed at the Southern America (Patagonia) as a major source during the last ice age. Winds and other aspects of meteorol-

ogy in the region, as well as patterns of transport away from the region and toward Antarctica, are thus a major interest. The new LMD GCM augmented with formulations for the cycle of dust should be a very appropriate tool to study the climate of South America, Antarctica, and their relations as seen through mineral dust in ice cores.

REFERENCIAS REFERENCES

- BEGHIN, P. and X. OLAGNE. 1991. Experimental study of the dynamics of powder snow avalanches. *Cold Regions Science and Technology*, 19: 317-326.
- HOPFINGER, E. and J. TOCHON-DANGUY. 1977. A study model of powder snow avalanches. *Journal of Glaciology*, (81) 19: 343-356.
- MARTÍNEZ, H. 1995. Etude des facteurs influençant le transport de neige par le vent à partir des profils de concentration en soufflerie diphasique. La Houille Blanche, *Revue Internationale de l'Eau*, Paris, 7: 76-82.
- MARTÍNEZ, H. and M. NAAIM. 1995. Experimental and theoretical determination of concentration profiles and influence of particle characteristics in blowing snow. *Surveys in Geophysics*, Kluwer Academic Publishers, 16: 695-710.
- MARTÍNEZ, H. Feb. 1996. Contribution à la modélisation du transport éolien de particules. Mesures de profils de concentration en soufflerie diphasique. PhD Thesis, CEMAGREF Editions, 204 pp.
- NAAIM, M. and H. MARTÍNEZ. 1996. Dense and powder avalanches modelling in France. *Geogaceta*, (20) 6: 132-138, Madrid.
- NISHIMURA, K. and N. MAENO. 1989. Contribution of viscous forces to avalanche dynamics. *Annals of Glaciology*, 13: 202-206.