

Conclusiones

En conclusión, el trabajo reciente para reconocer de manera explícita la incertidumbre inherente en la formulación de modelos climatológicos ha llevado a un sistema fiable de predicción estacional por conjuntos, que puede utilizarse en la sanidad, la agricultura, la hidrología, la gestión del agua y muchas otras aplicaciones. La investigación que conduce a dicho sistema multi-modelos aprovecha la clase de colaboración internacional fomentada por la OMM. El proyecto DEMETER seguirá desarrollándose en el proyecto FP6 ENSEMBLES de la UE que, a su vez, contribuirá de manera importante a la nueva iniciativa COPES del PMIC. El sistema multi-modelos está siendo evaluado en la actualidad dentro de la predicción numérica del tiempo como parte del proyecto THORPEX.

Referencias

- CANTELOUBE, P. y J.-M. TERRES, 2005: Use of seasonal weather forecasts in crop yield modelling. Aparecerá en *Tellus 57A* (también disponible en: <http://www.ecmwf.int/research/demeter/news/tellusa.html>).
- 356 CHALLINOR, A. J., J. M. Ó, T. R. WHEELER y F. J. DOBLAS-REYES. Probabilistic simulations of crop yield over western India using the DEMETER seasonal hindcast ensembles. Aparecerá en *Tellus 57A* (también disponible en: <http://www.ecmwf.int/research/demeter/news/tellusa.html>).
- HAGEDORN, R., F. J. DOBLAS-REYES y T. N. PALMER, 2004: The rationale behind the success of multi-model ensembles in seasonal forecasting. Aparecerá en *Tellus 57A* (también disponible en: <http://www.ecmwf.int/research/demeter/news/tellusa.html>).
- LORENZ, E. N., 1963: Deterministic non-periodic flow. *J. Atmos. Sci.* 42: 433-471.
- MARLETTO, V., F. ZINONI, L. CRISCUOLO, G. FONTANA, S. MARCHESI, A. MORGILLO, M. R. M. VAN SOETENDAEL, E. CEOTTO y U. ANDERSON, 2005: Evaluation of downscaled DEMETER multi-model ensemble seasonal hindcasts in Northern Italy by means of a model of wheat growth and soil water balance. Aparecerá en *Tellus 57A* (también disponible en: <http://www.ecmwf.int/research/demeter/news/tellusa.html>).
- MORSE, A. P., F. J. DOBLAS-REYES, M. B. HOSHEN, R. HAGEDORN, M. C. THOMSON y T. N. PALMER, 2005: First steps towards the integration of a dynamic malaria model within a probabilistic multi-model forecast system. Aparecerá en *Tellus 57A* (también disponible en: <http://www.ecmwf.int/research/demeter/news/tellusa.html>).
- PALMER, T. N., 2001: A nonlinear dynamical perspective on model error: a proposal for nonlocal stochastic-dynamic parametrisation in weather and climate prediction models. *Q. J. R. Meteorol. Soc.*, 127, 685-708.
- PALMER, T. N., 2002: The economic value of ensemble forecasts as a tool for risk assessment: from days to decades. *Q. J. R. Meteorol. Soc.*, 128, 747-774.
- PALMER, T. N., A. ALESSANDRI, U. ANDERSEN, P. CANTELOUBE, M. DAVEY, P. DÉLÉCLUSE, M. DEQUÉ, E. DÍEZ, F. J. DOBLAS-REYES, H. FEDDERSEN, R. GRAHAM, S. GUALDI, J.-F. GUÉRÉMY, R. HAGEDORN, M. HOSHEN, N. KEENLYSIDE, M. LATIE, A. LAZAR, E. MAISONNAVE, V. MARLETTO, A. P. MORSE, B. ORFILA, P. ROGEL, J.-M. TERRES y M. C. THOMSON, 2004: Development of a European multi-model ensemble system for seasonal to interannual prediction. *Bull. Amer. Meteor. Soc.*, 85, 853-872.
- ROULSTON, M. y L. SMITH, 2005: Weather roulette: demonstrating the value of medium-range ensemble prediction systems. *Weather*. Presentado.
- THOMSON, M. C., S. J. MASON, S. J. CONNOR, T. PHINDELA, F. J. DOBLAS-REYES, R. HAGEDORN, A. P. MORSE y T. N. PALMER, 2004: Malaria epidemics predicted using DEMETER seasonal climate forecasts. Presentado a *Science*.

Predicción operativa de las tempestades de polvo en China: visión de conjunto

Por ZHANG Guocai y SONG Zhenxin*

Introducción

La erosión por el viento constituye un grave problema medioambiental en las regiones áridas y semiáridas de China y en muchas otras partes del mundo. Las zonas desérticas ocupan, aproximadamente, el trece por ciento de la tierra continental de China y son importantes fuentes de tempestades de polvo en Asia.

Estas áreas incluyen las regiones áridas templadas situadas entre los 75°E y 125°E y entre los 35°N y 50°N. Las tempestades de polvo en China se producen sobre todo en primavera e invierno, pero con mayor frecuencia en abril, donde se dan entre un tercio y la mitad del total del año. En primavera, la tierra helada de la superficie está especialmente suelta, favoreciendo la erosión eólica. Los episodios de polvo están impulsados por viento fuerte asociado a un sistema frontal.

* Centro Meteorológico Nacional de Pekín, China.

Últimamente el tiempo polvoriento ha despertado una gran atención. Reduce la productividad de la tierra, ocasiona la degradación del suelo, reduce la visibilidad y afecta enormemente al transporte. Los impactos de la arena destruyen los cultivos jóvenes, y la contaminación atmosférica relacionada con el polvo ocasiona riesgos para la salud. Por ello, la simulación y la predicción de las tempestades de polvo no solo son importantes para la agricultura sostenible a largo plazo sino también para el desarrollo económico.

En la primavera de 2002, se creó un grupo de investigación en la Administración Meteorológica de China (AMC). El grupo utilizó un sistema de modelización integrada de la erosión por el viento desarrollado por Shao y otros (1999, 2000), datos de superficie y datos de un Sistema de Información Geográfica (SIG) para hacer predicciones en tiempo real de las tempestades de polvo en China. El Centro Meteorológico Nacional ofrece predicciones numéricas de tiempo polvoriento todos los días: el primer pronóstico en tiempo real de ese tipo en el mundo.

Tempestades de polvo en China

Distribución espacial

La Figura 1(a) muestra que las tempestades de polvo se producen sobre todo en el oeste y en el norte, con una frecuencia especialmente alta en la cuenca del Tarim, sus zonas circundantes y en el Corredor del Hexi. La Figura 1(b) muestra que las zonas afectadas por la arena transportada por el viento se extienden hasta los tramos medios del río Changjiang.

Variación estacional

Hay tres tipos de tempestades de polvo estacionales en China:

- Tipo primavera: se produce en la mayor parte de la estación (de marzo a mayo) en el norte de China.

- Tipo de invierno-primavera: se produce sobre todo en invierno y primavera en la Meseta del Tíbet.
- Tipo de primavera-verano: se produce con frecuencia, de primavera a verano, en el Corredor del Hexi.

Tempestades de polvo en China, 1954-2002

La Figura 2(a) muestra que el número de días con tempestades de polvo en el norte de China decreció en los últimos años. El número de días con tempestades de polvo sólo aumentó en Xihai (en la parte norte de la cuenca del Chaidamu), en algunos lugares de Mongolia Interior y en las Regiones Autónomas de Xinjiang. La Figura 2(b) muestra la tendencia decreciente de la variación de los días totales con tempestades de polvo desde 1952 hasta 2002.

Hay dos factores que ocasionan las tempestades de polvo: polvo rico, poroso y seco en la superficie terrestre y un viento fuerte sostenido. La investigación demuestra que el desierto en China ha aumentado a un ritmo de 1 560 km² por año desde finales de la década de 1950 hasta mediados de la de 1970. Se aceleró a un promedio de 2 100 km² por año desde mediados de la década de 1970 hasta mediados de la de 1980; de 2 460 km² por año, desde mediados de la década de 1980 hasta mediados de la de 1990; y de 3 436 km² por año desde mediados de la década de 1990. La cobertura vegetal en China es pobre en general. Donde los recursos minerales son más ricos, la aparición de tempestades de polvo debería incrementarse. Como no es así, podemos concluir que el viento es el principal factor en la disminución de las tempestades de polvo.

Calculamos que el coeficiente de correlación entre los días con tempestades de polvo y los días con viento fuerte (velocidad ≥ 17 m/s) en 1961-2002 era de 0,924, lo que demuestra que las condiciones del viento constituyen el efecto principal sobre la variación de las

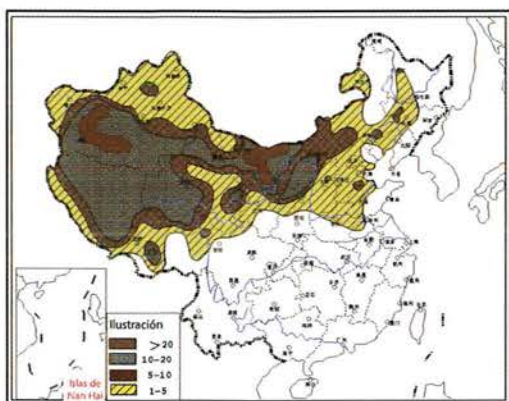


Figura 1(a) — Distribución de los días totales de tiempo con tempestades de polvo desde 1956 hasta 2000

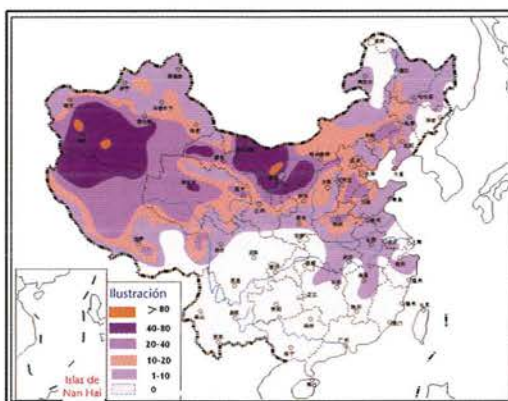


Figura 1(b) — Distribución de los días totales de tiempo con arena transportada por el viento desde 1956 hasta 2000

tempestades de polvo. En la primavera del mismo período, el coeficiente de correlación entre viento fuerte y la temperatura mínima media fue de $-0,628$ y $-0,715$, respectivamente. Sabemos que el clima se ha vuelto más cálido en el norte de China desde la década de 1980. Concluimos que el calentamiento del clima es la razón real de la disminución de las tempestades de polvo en China.

Sistema integrado de predicción de tempestades de polvo

Estructura del sistema

El sistema integrado de predicción de tempestades de polvo consta de un modelo atmosférico, un modelo de superficie terrestre, un modelo de erosión eólica, un modelo de transporte y deposición y una base de datos de información geográfica. El modelo atmosférico ofrece los datos de entrada a las otras tres componentes. El modelo de superficie terrestre simula los intercambios de energía, momento y masa entre la atmósfera, la tierra y la vegetación, pero, lo que es más importante en el contexto de la modelización de la erosión por el viento, ofrece como salida la humedad del suelo. El modelo de erosión eólica obtiene la velocidad de fricción a partir del modelo atmosférico, la humedad del suelo a partir del esquema de superficie terrestre y otros parámetros espaciales de la base de datos del SIG. El modelo de erosión del viento predice el flujo de saltación a lo largo de la corriente y el ritmo de emisión de polvo para distintos grupos de tamaños de partículas. El modelo de transporte y de deposición obtiene los datos de velocidad del flujo, turbulencia y precipitación a partir del modelo atmosférico y el ritmo de emisión de polvo y la información del tamaño de las partículas a partir del modelo de erosión eólica. La Figura 3 ilustra un posible procedimiento de cálculo: primero se ejecuta el modelo atmosférico, después de inicializarlo con la dinámica y la física atmosférica. A ello sigue la ejecución de los modelos de superficie terrestre y de erosión eólica. Por último, se lleva a cabo el cálculo del transporte y la deposición del polvo.

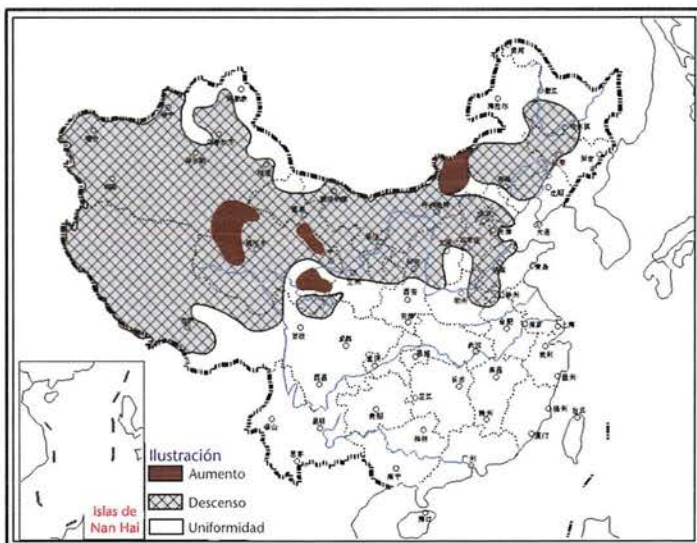


Figura 2(a) — Variabilidad de las tempestades de polvo en China desde 1954 hasta 2000

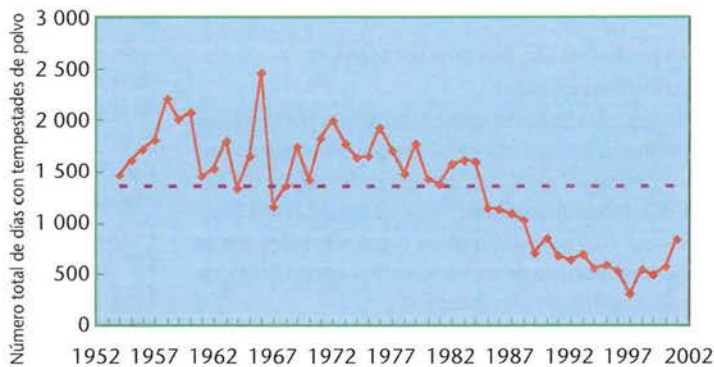


Figura 2(b) — Variación de los días totales en los que se han producido tempestades de polvo en China desde 1954 a 2001

Resultados de la predicción

Hay dificultades evidentes en la modelización cuantitativa de la erosión por el viento, ya que tanto el ritmo de emisión de polvo como el flujo de saltación a lo largo de la corriente son muy sensibles a los datos de entrada, como la humedad del suelo y el índice de área frontal, que son difíciles de determinar con precisión. Sin embargo, los modelos de erosión por el viento desarrollados últimamente han obtenido patrones y estimaciones de la intensidad de la erosión que están bastante de acuerdo con las observaciones (Marticorena y Bergametti, 1995; Shao y otros, 1996; Shao y Leslie, 1997 y Lu y Shao, 2000). El sistema de modelización integrada de erosión eólica está anidado en la AMC con el modelo global T213, que ofrece los datos iniciales y de frontera para el sistema integrado de erosión por el viento. Desarrollamos el programa de preproceso necesario para

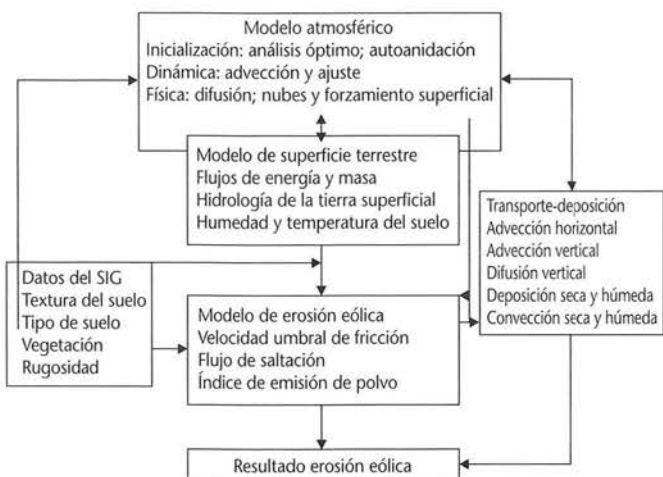


Figura 3 — Estructura del sistema integrado de modelización de erosión por el viento

leer la base de datos de predicciones del T213 y pasar de niveles isobáricos a niveles verticales atmosféricos. En condiciones de clima seco, el riesgo de erosión por el viento en primavera es alto en China. En consecuencia, una proporción importante de la superficie terrestre tenía poca vegetación protectora y la superficie terrestre era susceptible a la erosión eólica. La evolución simulada de tempestades de polvo se muestra cualitativamente de acuerdo con las observaciones. La concordancia cuantitativa no se ha verificado por falta de datos de observaciones.

En la predicción de episodios de tempestades de polvo, la fiabilidad de los datos de forzamiento atmosférico y la disponibilidad de parámetros de superficie terrestre son dos limitaciones adicionales impuestas a la modelización de la erosión por el viento. Los episodios de erosión eólica están asociados frecuentemente al desarrollo de ciertos episodios sinópticos y subsinópticos de tiempo severo, y estos tipos de episodios meteorológicos suelen ser difíciles de describir y de predecir con los modelos atmosféricos. Necesitamos parámetros superficiales de alta resolución como la textura del suelo, las propiedades hidráulicas del mismo, las características de la vegetación y las propiedades aerodinámicas de la superficie. Por lo tanto, se espera que, a medida que mejoren distintos aspectos del sistema de modelización, la simulación y la predicción del tiempo polvoriento se vuelvan más satisfactorias.

Referencias

- BAGNOLD, R. A., 1941: *The Physics of Blown Sand and Desert Dunes*. Methuen, Londres.
- GILLETTE, D. A. y K. J. HANSON, 1989: Spatial and temporal variability of dust production caused by wind erosion in the United States. *J. Geophys. Res.*, 94D: 2197-2206.
- IRANNEJAD, P. e Y. SHAO, 1998: Description and validation of the atmosphere land surface interaction scheme (ALSIS) with HAPEX and Cabauw data. *Global Planet. Change*, 19: 87-114.
- LESLIE, L. y R. PURSER, 1991: High-order numerics in a three-dimensional time-split semi-Lagrangian forecast model. *Mon. Wea. Rev.*, 119: 1612-32.
- LIU, T. S. *et al.*, 1985: *Loess and Environment*, p. 215. China Ocean Press, Pekín.
- LU, H. e Y. SHAO, 2000: Toward Quantitative Prediction of Dust Storms: Integrated Wind Erosion modelling System and its Application. *Env. Modelling & Software*.
- MARTICORENA, B. y G. BERGAMETTI, 1995: Modelling the atmospheric dust cycle: 1 - Design of a soil-driven dust emission scheme. *J. Geophys. Res.*, 100: 16415-16430.
- MARTICORENA, B., G. BERGAMETTI, B. AUMONT, Y. CALLOT, C. N'DOUME y M. LEGRAND, 1997: Modelling the atmospheric dust cycle: 2 - Simulation of Saharan dust sources. *J. Geophys. Res.*, 102, 40: 4387-4404.
- OWEN, R., 1964: Saltation of uniform grains in air. *J. Fluid Mech.*, 20: 225-42.
- SHAO, Y. y H. LU, 2000: A simple expression for wind erosion threshold friction velocity. *J. Geophys. Res.*
- SHAO, Y. y A. LI, 1999: Numerical modelling of saltation in atmospheric surface layer. *Boundary-Layer Meteorol.*, 91: 1999-225.
- SHAO, Y., M. R. RAUPACH y J. F. LEYS, 1996: A model for predicting aeolian sand drift and dust entrainment on scales from paddock to region. *Aus. J. Soil Res.*, 34: 309-342.
- SHAO, Y. y L. M. LESLIE, 1997: Wind erosion prediction over Australian continent. *J. Geophys. Res.*, 102: 30091-30105.
- SHAO, Y., 2000: *Physics and modelling of wind erosion*. Kluwer Academic Publishers, EE.UU.
- TEGEN, I. e I. FUNG, 1994: Modelling of mineral dust in the atmosphere: sources, transport and optical thickness. *J. Geophys. Res.*, 99: 22897-22914.
- TEGEN, I. e I. FUNG, 1995: Contribution to the atmospheric mineral aerosol load from land surface modification. *J. Geophys. Res.*, 100: 18707-18726.
- WALKER, A. S., 1982: Deserts of China. *Am. Sci.*, 70: 366-376.
- WESTPHAL, D. L., O. B. TOON y T. N. CARSON, 1988: A case study of mobilization and transport of Saharan dust. *J. Atmos. Sci.*, 45: 2145-2175.

