

Capítulo V

Conclusiones del trabajo de estudio

5.1 Conclusiones

En el presente trabajo se evaluaron de forma objetiva los pronósticos numéricos a 24 horas de variables meteorológicas en superficie como: temperatura, viento y precipitación, sobre la Cuenca de México. El periodo de análisis comprendió los veranos (mayo-octubre) de 2000, 2001 y 2002, teniendo como finalidad evaluar la resolución espacial máxima a utilizar en pronóstico numérico, así como la de conocer los errores sistemáticos de dichos pronósticos. Para ello, se utilizó el modelo de mesoescala MM5, el cual es de dominio público y es uno de los modelos de mesoescala más completos. El MM5 se utilizó con un esquema de la asimilación de datos de superficie y altura a partir del 2002. Después de haber analizado por diversos métodos las salidas del modelo, se obtuvieron las siguientes conclusiones.:

- **Resolución espacial máxima a utilizar.** El error cometido en las simulaciones se reduce al aumentar la resolución espacial en el dominio. Sin embargo, aumentar resolución espacial por debajo de 8 km violaría los principios sobre los que se construyen las parametrizaciones, y se requiere simular algunos procesos explícitamente (nubes, capa límite, etc.), por lo que la resolución máxima que puede reproducir adecuadamente los procesos físicos a escala local es de 8 km. Cabe señalar que para fines de pronósticos operativos, uno de los aspectos a considerar es el ahorro de tiempo de procesamiento, por lo que una configuración de 10 km. puede cubrir las expectativas en el uso de la información meteorológica en el Valle de México.
- **Evaluación de pronósticos de precipitación.** Las simulaciones llegan a reproducir entre un 40% y un 70% la ocurrencia de un evento de lluvia. Incluso, la estructura de los patrones de lluvia captan con buena aproximación la circulación en superficie. Sin embargo, los pronósticos presentan limitaciones en cuanto a la

predicción de la cantidad de lluvia, específicamente cuando se trata de un evento de precipitación extrema, reduciéndose la confianza a tan sólo un 20% o 40% de acierto. Lo anterior puede estar asociado a las limitaciones en las parametrizaciones de nubes y a las condiciones iniciales. Para la corrección del primer punto se requerirá de mayor entendimiento en la microfísica de nubes, la cual posteriormente permitirá una mejor representación de los procesos convectivos y su asimilación numérica a escalas menores. En el segundo, se necesitará la incorporación sistemática de datos de estaciones de superficie y altura, de una red relativamente densa.

A pesar de las limitaciones relacionadas con errores inherentes al modelo, los productos del MM5 funcionan como una herramienta de pronóstico del tiempo al poder determinar la ocurrencia de lluvia o no lluvia. Para complementar el uso de un modelo numérico de pronóstico del tiempo y convertirlo en algo útil en materia de protección civil, se pueden utilizar herramientas adicionales como el radar y con ello, diseñar planes de prevención y alerta temprana ante lluvias intensas, ya que el problema de inundaciones no sólo se reduce al manejo oportuno de la información meteorológica, sino también a condiciones adecuadas en el sistema de drenaje, asentamientos irregulares y basura, puntos que llegan a cobrar mas peso que la información meteorológica.

- **Sobre la evaluación de la temperatura.** La temperatura es la variable que mejor reproduce el MM5. Los patrones de temperatura simulados en superficie sobre el Valle de México reproducen los cambios diurnos con gran acierto, mostrando errores de entre 1 y 2° C en temperaturas mínimas y de 2 a 4° C en máximas. En comparación con la precipitación, los errores cometidos en la temperatura resultan más fáciles de identificar y corregir, pues están asociados principalmente a diferencias de altura asociada a la resolución espacial del modelo y a las características del uso de suelo del modelo.
- **Sobre la evaluación del viento.** El modelo es capaz de reproducir en forma aproximada los patrones de viento en superficie sobre el Valle de México, llegando a

simular los cambios locales, relativamente pequeños, asociados a la compleja topografía del centro de México. En cuanto a la magnitud del viento, la sobreestimación de las simulaciones va de 2 a 6 m/s. Sin embargo, el error cometido puede ser corregido mediante un esquema estadístico como MOS (Model Output Statistics, por sus siglas en inglés). La intensidad y la dirección del viento en MM5 son bastante sensibles a la condición de uso de suelo. En ese sentido, se requerirá un análisis de capa límite para corregir los errores sistemáticos.

Para la temperatura y el viento, parte de los errores pueden ser corregidos mediante ajuste estadístico de las diferencias de altura, así como una mejora en la representación de orografía y uso de suelo del dominio. Este último permitirá reproducir de mejor forma las circulaciones locales.

- **Sobre la asimilación de datos.** Gran parte de la mejora en las simulaciones de las variables meteorológicas analizadas es consecuencia de la asimilación de los datos de las estaciones de superficie y altura situadas alrededor de la Ciudad, que permite una mejor representación de la condición inicial. Así, mientras mayor sea el área instrumentada en la región de interés, mejor será la representación de los campos iniciales. En el caso de la Ciudad de México, la asimilación de las estaciones de la RAMA y del sondeo realizado en el observatorio de Tacubaya son suficientes para cumplir con las condiciones requeridas. Sin esta consideración, el MM5 genera la condición inicial sólo con datos globales, y por ello, no es capaz de percibir los pequeños cambios atmosféricos locales; así, su uso perderá relevancia, reduciéndose el modelo prácticamente a un esquema de interpolación sofisticado.

La mejor forma de poder consolidar un esquema de pronóstico con un modelo numérico de mesoescala como MM5, deberá considerar:

- I. Asimilar la mayor cantidad de datos para generar la condición inicial.
- II. Estimar y corregir los errores sistemáticos de un dominio o localidad en particular.
- III. Utilizar una resolución de 8 o 10 km. para subdominios de regiones de interés específicas.

- IV. Actualizar y mejorar la base de datos de uso de suelo de la región de interés.
- V. Realizar evaluaciones sistemáticas operativas, tanto a nivel local como a nivel de patrones, con la finalidad de crear un sistema de post-procesamiento de las salidas del modelo.

Lo anterior permitirá una mejora en la calidad de los pronósticos numéricos del tiempo a corto plazo, llevando mayor confianza en la información meteorológica a la hora de planear. Lo anterior cobra importancia en un esquema de este tipo, al ser utilizado por pronosticadores operativos capacitados de las diversas agencias nacionales.

La combinación de modelos de pronósticos del tiempo con esquemas de toma de decisiones por sector permitirá que se reduzcan en gran medida los impactos negativos que los fenómenos hidrometeorológicos tienen en la sociedad, como puede ser en el Valle de México.

REFERENCIAS

- Akima, H. (1978) A method of bivariate interpolation and smooth surface fitting of irregularly distributed data points, *ACM Transactions of Mathematical Software*, Vol. 4, pp. 148-159.
- Blackadar, G. K., (1962). The vertical distribution of wind and turbulent exchange in a neutral atmosphere, *Journal of Geophysics Research*, Vol. 67, pp. 3095-3102.
- Bushby, F. H., (1987) A History of Numerical Weather Prediction, Short and Medium Range Numerical Weather Prediction (Special Volume of the Journal of the Meteorological Society of Japan), Editado por T. Matsuno, pp. 1-10.
- Corner, B. R., R. D., Palmer y M. F. Larsen, (1999). A new radiosonde system for profiling the lower troposphere. *Journal of Atmospheric and Oceanic Technology*: Vol. 16, pp. 828–836.
- Cox, R., B. L. Bauer y T. Smith., (1998). A mesoscale model intercomparison. *Bulletin of the American Meteorological Society*: Vol. 79, pp. 265–283.
- Cressman, G. P., (1959). An operational objective analysis system, *Monthly Weather Review*, vol. 87, pp. 367-374.
- Charney, J.G., R. Fjortoft y J. Von Newman (1950). Numerical integration of the barotropic vorticity equation, *Tellus*, Vol. 2, pp. 237-254.
- Dudhia, J., D. Gill, Y. Guo, D. Hansen, K. Manning, y W. Wang, (1999). PSU/NCAR Mesoscale Modeling System, Tutorial Class Notes and Users' Guide (MM5 Modeling System Version 2, with an introduction to Version 3).
- Fuentes, V., A. Jazcilevich, R. Aguirre, A. Wellens, J. Aysa y C. Rivera. (1993). Modelo Metropolitano de Gestión de la Calidad del Aire, *Reporte técnico*, Dirección de Ecología, Gob. Del Distrito Federal.
- García, R. J., (2002). Evaluación de Escenarios Utilizándole Modelo Regional de Calidad del Aire *Multiscale Climate Chemistry Model*, Tesis de doctorado, Posgrado en Ciencias de la Tierra, Instituto de Geofísica de la UNAM, México.
- Gilchrist, B., y Cressman, G. (1954). An experiment in objective analysis, *Tellus*, Vol. 6, pp. 309-318.
- Glahn, H. R., y D. A. Lowry, (1972). The use of model output statistics in objective weather forecasting, *Journal Applied of Meteor.*, Vol. 11, pp. 1203-1211.
- Grell, G. A., J. Dudhia y R. Stauffer, (1994). A Description of de Fifth-Generation Penn-State/NCAR Mesoscale Model (MM5). NCAR/TN-398+1a, National Center for Atmospheric Research, Boulder, CO., pp. 107.
- GDF, (2000). *La Ciudad de México hoy: Bases para un diagnóstico*, Cap. VII “Vulnerabilidad y deterioro ambiental de la Zona Metropolitana del Valle de México”, Realizado por la Oficialía Mayor del Gobierno del Distrito Federal. pp 114-149. (Biblioteca de la Dir. Gen. de Prot. Civil)
- Hanna, R. y R. Yang. (2001). Evaluation of mesoscale models simulation of near-surface winds, temperature, gradients, and mixing depths. *Journal of Applied of Meteor.* Vol. 40, pp. 1095-1104.
- Haltiner, G.J., y R.T. Williams, (1979). Numerical Prediction and Dinamic Meteorology, Edit. Wiley, New York, E.U., pp. 477.

- Hernández G. R., (1999). Modelación Preliminar del Campo de Viento Alrededor de la Central Nucleoeléctrica de Laguna Verde. Tesis de licenciatura, Facultad de Ciencias Atmosféricas, Universidad Veracruzana. 67 pag.,
- Jáuregui, E., (1995). Algunas alteraciones de largo periodo del clima de la Ciudad de México debidas a la urbanización. Revisión y perspectivas, *Boletín de Investigaciones Geográficas*, num. 31, Instituto de Geografía de la UNAM, México.
- Jáuregui, E., y E. Romales. (1996). The urban effects on convective precipitation in Mexico City, *Atmospheric Environment*, Vol. 30, pag. 3383-3389.
- Jáuregui, E. (2000). *El Clima de la Ciudad de México*, Editado por el Instituto de Geografía de la UNAM y Plaza y Valdéz Editores, 131 pag.
- Jazcilevich, A., A. García, y G. Ruiz-Suárez, (2002). A study of air flow patterns affecting pollutant concentrations in the region of Mexico. *Atmospheric Environment*, Vol. 37, pp. 183-193.
- Kain, J. y J. M. Fritsch, (1993). Convective parametrization for mesoscale model: The Kain-Fritsch scheme. The Presentation of Cumulus Convection in Numerical Models. *American Meteor. Soc.*, pp. 246.
- Kitade, T., K. Yanagino, N. Sato y M. Oozeki, (1987). On an Influence of Forecast-Analysis Cycle on the Forecast Performance, Short and Medium Range Numerical Weather Prediction (Special Volume of the Journal of the Meteorological Society of Japan), Editado por T. Matsuno. pp. 347-257.
- Klein, W. H. (1971). Computer prediction of precipitation probability in the United States. *Journal of Applied Meteorology*: Vol. 10, pp. 903-915.
- Magaña, V., y J. Pérez-López, (1998). Usos de un modelo de mesoescala en el estudio de la dinámica atmosférica regional en México, *Geounam, Boletín informativo de Ciencias de la Tierra*, vol. 5, pag. 33-39.
- Magaña, V., (2001) *Los Impactos de El Niño en México*, Publicado por la Secretaría de Gobernación, pag, 299.
- Magaña, V., J. Pérez-Fernández, , y J. Méndez-Pérez, (2002). Diagnostic and prognostic of extreme precipitation events in the México basin, *Geofísica Internacional*, Vol. 41, pp. 247-259.
- Maskey, A. (1989). *El Manejo Popular de los Desastres Naturales*, Intermediate Technology Development Group, Lima, Perú. (Disponible en Internet).
- OMM, (2002), Reducción de la vulnerabilidad a los fenómenos meteorológicos y climáticos extremos, *Reporte técnico-OMM*, No. 936, Ginebra., pp. 1-13.
- Ortíz, A., y O. Oropeza, (1992). Consideraciones críticas sobre la investigación geográfica de los desastres de origen natural, *Geografía y Desarrollo, Revista del Colegio de Geógrafos Posgraduados, A.C.*, año 4, vol. 3, pag. 2-8.
- Oke, T. R. (1973). City size and the urban heat island, *Atmospheric Environmental*, Vol. 7, pp. 769-779.
- Panofsky, H. (1949). Objective weather map análisis, *Journal Applied of Meteorology*, Vol. 6, pp. 386-392.
- Pérez, L., J., (1997). Variabilidad Climática Regional en México, Tesis de Licenciatura, Facultad de Ciencias, UNAM, México.
- Pérez, L. J., (2001). Variabilidad Climática Regional en el Altiplano Central de México, Tesis de Maestría, Posgrado en Ciencias de la Tierra, Instituto de Geofísica de la UNAM, México.

- Preisendorfer, R., R. Barnett, y P. Tim. (1983). Numerical model-reality intercomparison tests using small-sample statistics. *Journal of the Atmospheric Sciences*: Vol. 40, pp. 1884–1896.
- Reynolds, R., y T. Smith., (1994). Improved global sea surface using optimum interpolation, *Journal of Climate*, Vol. 7, pp. 929-948.
- Richardson, L. (1916). *Weather Prediction by Numerical Process* (Cambridge: Cambridge University Press).
- Rodríguez, D., (1999). Prevención de Desastres en la Zona Metropolitana de la Ciudad de México, Tesis de doctorado, Posgrado en Sociología de la Universidad Autónoma Metropolitana, México.
- Salas, D. (2000). Experimentos Numéricos de Circulación Atmosférica en el Valle de México, Tesis de Licenciatura, Facultad de Ciencias, Universidad Nacional Autónoma de México, UNAM, México.
- Shafran, P. C., N. L. Seaman, y G. A. Gayno, (2000). Evaluation of numerical predictions of boundary layer structure during the lake michigan ozone study (LMOS), *Journal Applied of Meteor.*, vol. 39, pp . 412-426.
- Saucier, W.(1955), *Principles of Meteorological Analisis* (University of Chicago Press).
- Seaman, N. L., y S. A. Michelson, (2000). Mesoscale meteorological structure of a hig-ozone episode during the 1995 NARSTON-Northeast study, *Journal Applied of Meteor.*, vol. 39, pp. 384-398.
- Stauffer, D., y N. L. Seaman, (1990). Use of four-dimensional data assimilation in a limited-area mesoscale model. Part I: Experiments with synoptic-scale data, *Mon. Wea. Review*, Vol. 118, pp. 1250-1277.
- Stensrud, D., y J. A. Skindlov, (1996). Gridpoint prediction of high temperature from a mesoscale model, *Weather and Forecasting*, Vol. 11, pp. 103-110.
- Stern, W., R. Pierrehumbert, J. Sirutis, J. Ploshay y K. Miyakoda, (1986). Recent Development in the GFDL Extended-Range Forecasting System, Short and Medium Range Numerical Weather Prediction (Special Volume of the Journal of the Meteorological Society of Japan), Editado por T. Matsuno, pp. 359- 363.
- Vázquez, A., J. (2000), Caracterización Objetiva de los Nortes del Golfo de México y su Variabilidad Interanual, *Tesis de Licenciatura*, Facultad de Ciencias de Atmosféricas, Universidad Veracruzana.
- Velázquez, A., y C. Rosales, (1999), *Escudriñando en los Desastres a todas las Escalas*, libro publicado por el proyecto Desinventar <www.desinventar.org>, Edit. Feriva, Colombia.
- Warner, T. y R. Anthes, (1978). Numerical simulations with a three-dimensional mesoscale model. *Monthly Weather Review*: Vol. 106, pp. 1079–1099.
- White, B.G., J. Paegle, W.J. Steenburgh, J.H. Horel, R.T. Swanson, L.K. Cook, D.J. Onton y J.G. Miles, (1999). Short-term forecast validation of six models, *Weather and Forecasting*, Vol. 14, pp. 84-108.
- Wilks, D., (1995). *Statistical Methods in Atmospheric Sciences*, Chap. 7: Forecast Verification, Academic Press., pp. 233-283.
- Yong-Fu, Q., y Zhong, Z., (1987). General Forms of Dynamic Equations for Atmosphere in Numerical Models with Topography, Short and Medium Range Numerical Weather Prediction (Special Volume of the Journal of the Meteorological Society of Japan), Editado por T. Matsuno. pp. 743-756.