

SIMULACION COMPUTACIONAL DE LA DISPERSION ATMOSFERICA DE HUMO PROVOCADO POR UN INCENDIO ACCIDENTAL EN LA LOCALIDAD DE LA PLATA, BUENOS AIRES, ARGENTINA

**César A. Aguirre^{1,3}, Guillermo J. Berri^{2,3}, Mariana Dezzutti², Juan M. Queirel²,
Eliana Marcos², Carlos G. Sedano¹ y Guillermo A. Rondán^{1,3}**
cesar.aguirre@uner.edu.ar. Autor/a correspondiente.

¹Fac. de Cs. Agropecuarias, Universidad Nacional de Entre Ríos (FCA-UNER)

²Fac. de Cs. Astronómicas y Geofísicas, Universidad Nacional de La Plata (FCAG-UNLP)

³Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET)

Palabras clave: Difusión turbulenta, Arrastre, Modelos.

1) INTRODUCCION

Este trabajo presenta un algoritmo de difusión térmica turbulenta y arrastre de aire que permite simular la dispersión atmosférica y trayectoria de plumas de humo provocadas por incendios. Este algoritmo ha sido implementado en el código de simulación meteorológica de mesoescala acoplado a un modelo estocástico lagrangiano de trayectoria de partículas fluidas denominado “Sistema de Predicción Regional Avanzado - Estocástico” (ARPS-STO) desarrollado por Xue et al. (2000) y adaptado por Aguirre et al. (2006) con el fin de posibilitar la simulación de la dispersión atmosférica de especies químicas pasivas y reactivas. Aguirre et al. (2014) incorporan un acople del modelo ARPS-STO con el Modelo de Capa Límite Atmosférica de Mesoescala (MCLM) propuesto por Berri et al. (2010). El modelo MCLM permite determinar las variaciones de la circulación atmosférica en capas bajas en la región del Río de la Plata, inicializado y forzado con condiciones de borde del pronóstico operacional del Servicio Meteorológico Nacional (SMN).

El caso de estudio es el ocurrido el 19 de marzo de 2018, alrededor de las 1700 hora local, donde un enorme incendio en la planta de Mafissa, la fábrica de fibras sintéticas más importante de la ciudad de La Plata comienza. El fuego duró 24 horas y destruyó las instalaciones, a pesar de los esfuerzos de los bomberos y las autoridades de Defensa Civil. Se muestra en este trabajo una comparación entre la dispersión observada a partir de una imagen de satélite Sentinel-2 y la obtenida utilizando el modelo ARPS-STO.

2) METODOS

La imagen de satélite utilizada para validar la disposición espacial de la pluma simulada por ARPS-STO corresponde al canal visible del satélite Sentinel-2 que posee una resolución espacial de 10 m. Esta imagen corresponde a las 1058 hora local del 20 de marzo de 2018. Los datos meteorológicos para inicializar el modelo y forzar las condiciones de borde durante la simulación provienen de las salidas del modelo MCLM con una resolución espacial de 5 Km. Este último se inicializa con el pronóstico operativo de Eta-SMN y comienza a las 0600 hora local del 20 de marzo de 2018, pero la simulación con ARPS-STO comienza a las 0700 hora local para eliminar posibles desajustes entre variables como consecuencia de la inicialización. Las condiciones de contorno ARPS-STO se actualizan cada 15 minutos con los resultados del MCLM y cada 10 min ARPS-STO registra la posición de las partículas de fluido que representan el resultado del transporte y la difusión de la pluma de humo. La resolución espacial de la grilla de cálculo ARPS-STO es de 50 m. El algoritmo implementado en el código permite tener en cuenta la difusión turbulenta de calor desde el foco del incendio y el arrastre de aire circundante a la pluma que se incorpora a la misma. En este sentido se debe tener en cuenta que existe una doble vía de acoplamiento de estos fenómenos ya que las

altas temperaturas del foco del incendio aceleran el movimiento vertical de humo en la parte baja de la pluma. Esto provoca un arrastre de aire circundante relativamente más frío que aumenta la masa de la columna de humo pero a su vez la enfría debido a la mezcla turbulenta. Además, el humo que asciende en la atmósfera provoca un aumento de la temperatura del aire circundante. Esta doble vía de acoplamiento térmico y dinámico es postulada a partir de las ecuaciones de empuje vertical, difusión de calor y arrastre de aire que incrementa el volumen de la pluma de humo a medida que asciende:

$$F_B = (\rho_s - \rho_f) g V_f = \rho_f V_f \frac{dU_3}{dt}, \quad F_B = (\rho_s - \rho_f) g V_f = \rho_f V_f \frac{\Delta U_3}{\Delta t} \quad (1)$$

$$dU_3 = \left(\frac{T_f}{T_s} - 1 \right) g dt, \quad \Delta U_3 = \left(\frac{T_f}{T_s} - 1 \right) g \Delta t \quad (2)$$

$$\frac{dT_f}{dt} = \frac{C_{dif}}{2 t_t} (T_s - T_f), \quad T_f^{(t+\Delta t)} = T_s^{(t)} + e^{-\frac{C_{dif}}{2 t_t} \Delta t} (T_f^{(t)} - T_s^{(t)}) \quad (3)$$

$$\frac{dT_s}{dt} = \frac{C_{dif}}{2 t_t} (T_f - T_s), \quad T_s^{(t+\Delta t)} = \frac{\sum (V_f^{(t+\Delta t)} T_f^{(t+\Delta t)})}{\sum V_f^{(t+\Delta t)}} + e^{-\frac{C_{dif}}{2 t_t} \Delta t} \left(T_s^{(t)} - \frac{\sum (V_f^{(t)} T_f^{(t)})}{\sum V_f^{(t)}} \right) \quad (4)$$

Las ecuaciones (1), (2), (3) y (4) se expresan a la izquierda en forma diferencial y a la derecha han sido discretizadas. En (1) F_B es la fuerza de empuje, ρ_s y ρ_f las densidades del aire arrastrado por la pluma y de la partícula fluida que representa un volumen V_f de humo. U_3 es la velocidad vertical de la partícula fluida. En (2), (3) y (4), T_s y T_f son las temperaturas del aire arrastrado y de la partícula fluida, g es la aceleración de la gravedad, C_{dif} es el coeficiente de difusión turbulento y t_t es el tiempo característico de la turbulencia. El efecto de la elevación de la pluma de humo caliente provoca un aumento de la temperatura del aire T_a alrededor de la pluma. La temperatura del aire en el siguiente paso de tiempo $T_a^{(t+\Delta t)}$ es computado por ponderación volumétrica de la temperatura del aire arrastrado $T_s^{(t+\Delta t)}$:

$$T_a^{(t+\Delta t)} = \frac{\sum (V_f^{(t+\Delta t)} T_s^{(t+\Delta t)}) + (V_a - \sum V_f^{(t)}) T_a^{(t)}}{V_a} \quad (5)$$

En (5) V_a es el volumen de la celda de la grilla de cálculo definido en ARPS y, por lo tanto, no cambia con el tiempo. El símbolo Σ en (4) y (5) es aplicado a todas las partículas fluidas en cada celda de la grilla.

El fenómeno de arrastre e ingreso de aire fresco a la pluma de humo es computado haciendo aumentar el volumen de las partículas fluidas. Para ello se considera que el aumento del volumen de aire puede ser obtenido a partir las ecuaciones parametrizadas propuestas por Heskestad (2016). De esta forma, el aumento de volumen de cada partícula fluida puede obtenerse como:

$$\Delta V_f^{(t)} = E \Delta t \left(\frac{g}{\rho_a C_p T_a^{(t_0)}} \frac{\Delta Q_c}{\Delta t} \frac{1}{np_z} \right)^{1/3} (z^{(t)} - z_0)^{5/3} \quad (6)$$

donde $E = 0,153$ es una constante adimensional, $C_p = 1005 J kg^{-1} K^{-1}$ es el calor específico del aire a presión constante, z_0 es el origen virtual, $\Delta Q_c / \Delta t$ es la parte convectiva de la tasa total de liberación de calor del foco de incendio en $kJ s^{-1}$ y np_z es el número de

partículas fluidas a una altura $z^{(t)}$ desde el origen de la fuente ígnea. De esta forma, la partícula fluida aumenta su volumen en cada paso de tiempo $V_f^{(t+\Delta t)} = V_f^{(t)} + \Delta V_f^{(t)}$ y las concentraciones de humo en el aire pueden ser computadas como:

$$C_r^{(t+\Delta t)} = \frac{C^{(t+\Delta t)}}{C^{(t_0)}} = \frac{V_f^{(t_0)}}{V_f^{(t+\Delta t)}} \quad (7)$$

donde $C_r^{(t+\Delta t)}$ es la concentración al próximo paso de tiempo relativa a la fuente ígnea $C^{(t_0)}$.

3) RESULTADOS Y CONCLUSION

La Figura 1 compara la disposición espacial de la pluma de humo modelada (derecha) con el humo visible en la imagen de satélite a las 1100 hora local (izquierda).

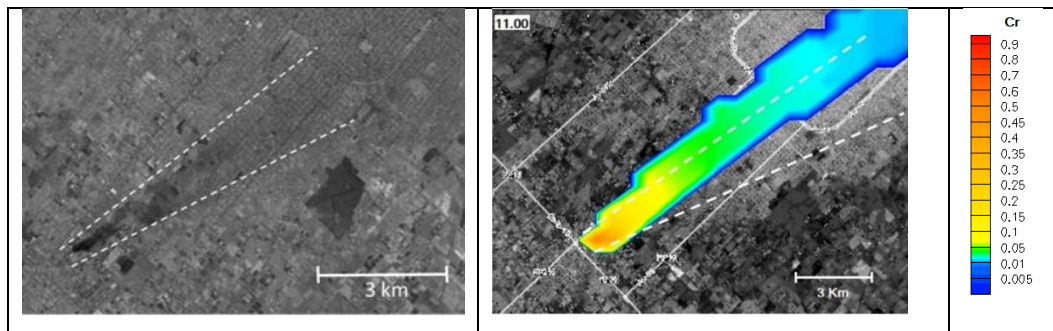


Figura 1: Comparación de la dispersión de la pluma simulada con la imagen Sentinel-2. La línea de puntos en el panel derecho representa los límites laterales de la pluma en la imagen satelital

El buen resultado de la simulación indica que es posible utilizar ARPS-STO con las condiciones iniciales y de borde proporcionadas por pronósticos operativos para realizar un diagnóstico de las zonas que podrían verse afectadas por incendios accidentales.

REFERENCIAS

Aguirre C.A., Brizuela A.B., Vinkovic I., Simoëns S., 2006: A subgrid Lagrangian stochastic model for turbulent passive and reactive scalar dispersion. *International Journal of Heat and Fluid Flow*. Elsevier Science, 27(4), 627-635.

Aguirre C.A., Berri G.J., Brizuela A.B. and Orcellet E.E., 2014: External Weather Data Assimilation to Simulate Wind and Temperature Fields in the Region of Gualeguaychú, Argentina. *Journal of Mechanics Engineering and Automation*, 4, 887-899.

Berri G.J., Sraibman L., Tanco R. and Bertossa G., 2010: Low-level wind field climatology over the La Plata River region obtained with a mesoscale atmospheric boundary layer model forced with local weather observations, *Journal of Applied Meteorology and Climatology*, 49(6), 1293-1305.

Heskestad G., 2016: Fire plumes, flame height and air entrainment, 978-1-4939-2565-0. *The SFPE Handbook of Fire Protection Engineering book*. Fifth Edition Volume I. Ed: Morgan J. Hurley. Springer New York Heidelberg, Dordrecht London, 396-428.

Xue M., Droegemeier K., Wong V., 2000: The Advanced Regional Prediction System (ARPS). A Multi-Scale Nonhydrostatic Atmospheric Simulation and Prediction Model. Part I: Model Dynamics and Verification. *Meteorology Atmospheric Physics*, 75, 161-193.