

ENGELAMIENTO EN VUELO: CASO DE ESTUDIO SOBRE LA SIERRA DE GUADARRAMA

Pedro Bolgiani¹, Lara Quitián-Hernández¹, Sergio Fernández-González²,
María Luisa Martín³, Francisco Valero¹, Andrés Merino⁴, Eduardo García-Ortega⁴,
José Luis Sánchez⁴.

¹Departamento de Física de la Tierra, Astronomía y Astrofísica. Facultad de Física,
Universidad Complutense de Madrid.

²Agencia Estatal de Meteorología (AEMET). Leonardo Prieto 8, Madrid.

³Departamento de Matemática Aplicada. Escuela de Ingeniería Informática, Universidad de Valladolid.

⁴Grupo de Física de la Atmósfera. IMA, Universidad de León.

1. Introducción

Las condiciones meteorológicas adversas son la causa de múltiples accidentes de aviación, siendo el engelamiento una de las situaciones más peligrosas para la seguridad en vuelo (Caliskan & Hajiyev, 2013).

Se considera engelamiento el encuentro con agua subfundida en la atmósfera. El agua subfundida es más frecuente con temperaturas entre 0 °C y -15 °C debido a la eficiencia de nucleación de los cristales de hielo, a la baja concentración de núcleos de congelación y a su temperatura de activación (Fernández-González, et al. 2014). Las corrientes verticales intensas y la cizalladura favorecen la formación de grandes gotas superenfriadas (SLD, *Supercooled Large Droplets*) (Rasmussen, et al. 2002, Bernstein, et al. 2005). También resulta favorable la presencia de capas de inversión sobre el techo de nubes (Korolev & Isaac, 2000). Por todo esto son especialmente relevantes los procesos de engelamiento en Cumulonimbos y en ondas de montaña (Korolev, et al. 2003).

Sin embargo, los modelos numéricos tienden a sobreestimar la presencia de agua en fase sólida y subestimar la presencia de agua subfundida, de tal manera que no se pronostica con precisión la concentración de SLD (Fernández-González, et al. 2014). Esto genera que el pronóstico de engelamiento sea manifiestamente mejorable.

A través de un caso de estudio, este trabajo evalúa si la información meteorológica aeronáutica es adecuada para anticipar casos de engelamiento. Así mismo, se proponen diferentes métodos de predicción a corto plazo y *nowcasting*.

2. Caso de estudio y metodología

Los datos analizados se registran en tiempo real durante un vuelo comercial el día 28 de febrero de 2017, aproximadamente a las 16:45 UTC, sobre la sierra de Guadarrama. Al descender a 3270 msnm se vuela a través de una capa de nubes y se observa engelamiento moderado con hielo mixto, así como turbulencia moderada.

Se analizan la observación y previsión meteorológica del aeropuerto, los mapas de meteorología significativa y los avisos especiales emitidos. En ningún caso se anticipan condiciones de engelamiento ni turbulencia en la zona.

A fin de estudiar si el evento podría haber sido previsto, se proponen tres métodos de análisis. En primer lugar se estudia la situación sinóptica, para comprobar si sería po-

sible un pronóstico a medio plazo. Se prosigue modelizando la situación con el modelo WRF (*Weather Research and Forecasting*), para un posible pronóstico a corto plazo. Este es un modelo mesoescalar, no hidrostático, que ya ha sido aplicado para el estudio de eventos de englamamiento (Fernández-González, et al. 2014). Finalmente, se recurre a la teledetección, usando imágenes del MSG (*METEOSAT Second Generation*) para confirmar las condiciones de englamamiento y su posible uso para *nowcasting*. Se estudia el canal visible de alta resolución y las composiciones RGB (*Red Green Blue*) Natural Diurna y Solar Diurna para la detección de fase y tamaño de hidrometeoros (Lensky & Rosenfeld, 2008).

3. Resultados y discusión

El análisis de la situación sinóptica a las 12:00 UTC se caracteriza por la presencia de un “bloqueo tipo *omega*” (Bluestein, 1993). Esta configuración atmosférica favorece la advección de aire frío y húmedo sobre la zona de estudio, así como la estabilidad en la baja troposfera. A 850 hPa la atmósfera presenta viento de componente noroeste sobre la península ibérica, y temperatura de aproximadamente 3 °C sobre el área de Madrid. Dicha situación favorece la generación de ondas de montaña a sotavento de la sierra de Guadarrama y la consecuente posibilidad de englamamiento.

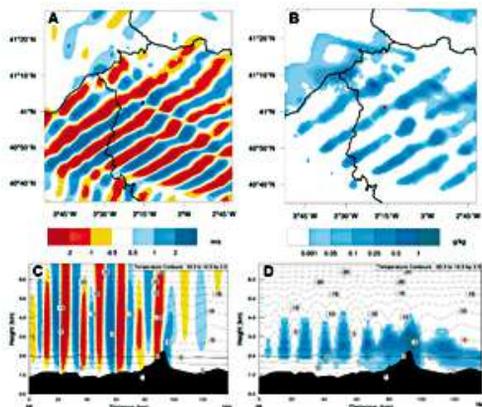


Figura 1: Modelizaciones del WRF para el 28FEB2017 a las 17:00. Sección horizontal a 3300 msnm (A) y vertical (C) de la componente vertical del viento (m s^{-1}) y temperatura ($^{\circ}\text{C}$). Sección horizontal a 3300 msnm (B) y vertical (D) del contenido de agua líquida (g kg^{-1}) y temperatura ($^{\circ}\text{C}$).

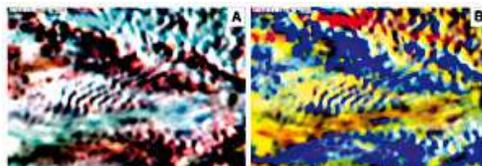


Figura 2: Composiciones RGB de las observaciones del MSG para el 28FEB2017 a las 16:42 en el área de estudio. Colores Naturales Diurnos (A) y Solar Diurna (B).

Los resultados del WRF muestran viento de componente noroeste, perpendicular a la sierra de Guadarrama. La temperatura a 3300 msnm es aproximadamente $-6\text{ }^{\circ}\text{C}$, fluctuando alternativamente entre los $-8\text{ }^{\circ}\text{C}$ y los $-3\text{ }^{\circ}\text{C}$ a sotavento de la sierra, posible indicio de ondas de montaña. Al analizar la componente vertical del viento y la temperatura a

sotavento en el dominio 4 [Figura 1A y C] se confirma la presencia de ondas de montaña, consistente con la turbulencia observada. La modelización de la nubosidad [Figura 1B y D] muestra nuevamente el patrón de ondas. Además, en la sección vertical del contenido de agua líquida se puede comprobar que el nivel de la isocero se encuentra en torno a los 2000 msnm, por lo que todo lo que se encuentre por encima será agua subfundida, confirmando una situación de engelamiento.

El canal visible de alta definición del MSG ratifica la existencia de ondas de montaña. También se observa en el canal de vapor de agua ($7,3 \mu\text{m}$). La composición RGB Natural Diurna [Figura 2A] nos muestra el techo de nubes de las ondas en blanco, indicando que la fase es líquida. La composición Solar Diurna [Figura 2B] nos las muestra en amarillo, indicando gotas de pequeño tamaño. Ambas composiciones confirman también la situación de engelamiento.

4. Conclusiones

Este trabajo muestra que los pronósticos aeronáuticos son deficientes para el caso estudiado. Se presenta una situación de engelamiento y turbulencia que no se aporta en la información aeronáutica previa al vuelo. Sin embargo, las condiciones sinópticas permiten anticipar la posibilidad de aparición de ondas de montaña. Estas son correctamente modelizadas por el WRE, pronosticando claramente la turbulencia y engelamiento observados. La situación se confirma a través de las imágenes del MSG, que además permitiría realizar nowcasting.

5. Referencias

- Bernstein, B.C., F. McDonough, M. K. Politovich, B. G. Brown, T. P. Ratvasky, D. R. Miller, C. A. Wolff, y G. Cunning. 2005. «Current icing potential: algorithm description and comparison with aircraft observations.» *Journal of Applied Meteorology* 44 (7): 969-986.
- Bluestein, H. B. 1993. *Synoptic-dynamic meteorology in midlatitudes. Volume II. Observations and theory of weather systems*. New York, NY, United States: Oxford University Press.
- Caliskan, F., y C. Hajiyev. 2013. «A review of in-flight detection and identificación of aircraft icing and reconfigurable control.» *Progress in Aerospace Sciences* 60: 12-34.
- Fernández-González, Sergio, José Luis Sánchez, Estibaliz Gascón, Laura López, Eduardo García-Ortega, y Andrés Merino. 2014. «Weather Features Associated with Aircraft Icing Conditions: A Case Study.» *The Scientific World Journal* 2014.
- Korolev, Alexei V., George A. Isaac, Stewart G. Cober, J. W. Strapp, y John Hallett. 2003. «Microphysical characterization of mixed-phase clouds.» *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society* 129 (587): 39-65.
- Korolev, Alexei V., y George A. Isaac. 2000. «Drop growth due to high supersaturation caused by isobaric mixing.» *Journal of the Atmospheric Sciences* 57 (10): 1675-1685.
- Lensky, I.M., y D. Rosenfeld. 2008. «Clouds-Aerosols-Precipitation Satellite Analysis Tool (CAPSAT).» *Atmospheric Chemistry and Physics* 8: 6739-6753.f
- Rasmussen, R. M., I. Geresdi, G. Thompson, K. Manning, y E. Karplus. 2002. «Freezing drizzle formation in stably stratified clouds: The role of radiative cooling of clouds droplets, cloud condensation nuclei and ice iniciation.» *Journal of atmospheric sciences* 59 (4): 837-860.