ANÁLISIS DEL ENTORNO SINÓPTICO ASOCIADO A TURBULENCIA EN AIRE CLARO INDUCIDA SOBRE EL VUELO AR1219

Nicolás Rivaben[1,2] - Claudia M. Campetella[1,2]

[1]*Departamento de Ciencias de la Atmósfera y los Océanos (FCEyN-UBA)* – [2]*Servicio Meteorológico Nacional (SMN) – Min. Defensa de la Nación*

nrivaben@smn.gov.ar

Motivación

La turbulencia en aire claro (TAC) inducida es un fenómeno frecuente en cercanías de actividad convectiva muy poco estudiado en el país. La penetración de las ascendentes en el tope de las celdas convectivas genera ondas de gravedad que pueden propagarse a más de 100MN. Esta turbulencia puede tener carácter severo e inducir incidentes/accidentes en aeronaves.

Objetivos

El objetivo de este presente trabajo es caracterizar el entorno sinóptico asociado a un evento de turbulencia severa inducida por convección experimentado por un Boeing 737-700 de Aerolíneas Argentinas, en vuelo Porto Alegre-Aeroparque. Además se realiza un evaluación de los índices de turbulencia en aire claro más comúnmente utilizados.

Introducción

La turbulencia es un fenómenos asociado a saltos o sacudidas de una aeronave en vuelo. Los mismos están relacionados a la ruptura de ondas de gravedad. Éstas están asociadas a una cortante del viento negativa sobre el tope de la convección profunda como se muestra en la figuras 1 y 2. Los reportes de turbulencia se clasifican en 5 categorias *nula, ligera, moderada, fuerte/severa y extrema*, en particular la turbulencia *severa* está caracterizadas de la siguiente manera:

Categoría de la turbulencia	Respuesta de la aeronave	Magnitud de la aceleración vertical de la aeronave (g)	Experiencia del pasajero	*EDR* ($\varepsilon^{1/3}$) ($m^{2/3}.s^{-1}$), como B737 y/o B757
Fuerte/Severa	Cambios grandes y abruptos en actitud, altitud e IAS (*velocidad indicada de la aeronave)*. La aeronave puede estar temporariamente fuera de control.	1.0-2.0	Los ocupantes son fuertemente forzados por sus cinturones de seguridad. Los objetos sin asegurar se convierten en proyectiles	0.5-0.7

Efectos en la aeronave y magnitudes asociadas a un evento de turbulencia fuerte/severa. Adaptado de *Federal Aviation Administration 2012 y Lester 1994*)

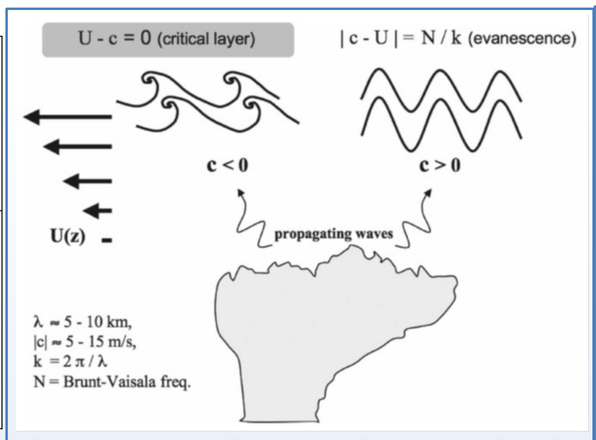

Figura 1. Esquema de propagación y ruptura de ondas de gravedad asociada a una cortante del viento intensa sobre el tope de la convección profunda. Fuente: Lane y Sharman, 2008.

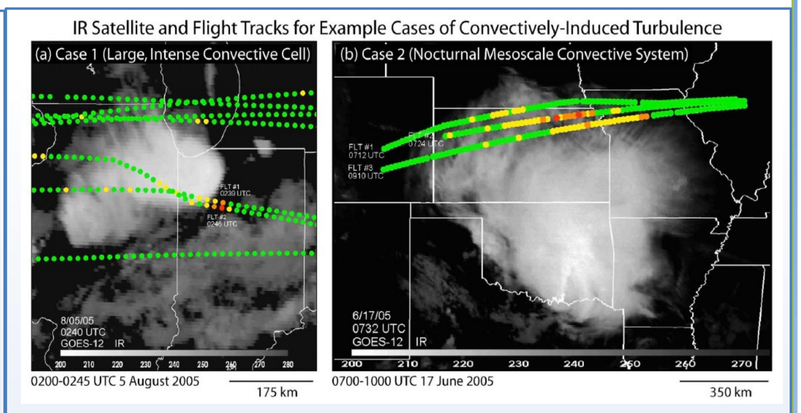

Figura 2. Composiciones de imágenes GOES canal IR con trayectorias de vuelo para casos de turbulencia convectiva inducida para los casos 17/6/2005 y 5/8/2005. Círculos verdes representan trazas de turbulencia, al igual que los amarillos turbulencia leve, naranjas moderada y rojas severa respectivamente. Fuente: Lane y otros, 2012.

Datos y metodologías

Se recibió el dato desde Aerolíneas Argentinas informando que el vuelo AR1219 del día 04/05/2014 en la ruta Porto Alegre – Aeroparque registró turbulencia severa a las 1940UTC en FL380 con variaciones de viento de 300/110KT a 300/55KT y temperatura de -28°C a -33°C en 10s (B737-700) sobre 31°24'12"S-055°09'40"W.

Se analizaron los siguientes datos:

- imágenes satelitales GOES 13, canal 3 y 4
- análisis operativos del modelo GFS, con resolución espacial 0,5°x0,5°.
- Se evaluaron los índices de turbulencia usados más frecuentemente: Índice Brown, Dutton, Ellrod TI1 y Ellrod TI2, como se muestra en la tabla adjunta:

Brown (Br)	Dutton (EI)	Ellrod Turbulence Index 1 (ETI1)	Ellrod Turbulence Index 2 (ETI2)
$\boldsymbol{Br} = \sqrt{0.3 \cdot \eta^2 + DST^2 + DSH^2}$ Donde, $\eta = f + \frac{\partial v}{\partial x} + \frac{\partial u}{\partial x}$ f corresponde al parámetro de Coriolis	$\boldsymbol{EI} = 1.25 \times Sh + 0.25 \times Sv^2 + 10.5$ Donde, *Sh* es la cortante horizontal del viento calculada c/100km $Sh = \frac{1}{u^2+v^2}\left(uv\frac{\partial u}{\partial x} - u^2\frac{\partial u}{\partial y} + v^2\frac{\partial v}{\partial x} - uv\frac{\partial v}{\partial x}\right)$ *y Sv* la cortante vertical ($s^{-1}km^{-1}$) como: $Sv = \sqrt{\left(\frac{\partial u}{\partial p}\right)^2 + \left(\frac{\partial v}{\partial p}\right)^2}$	$\boldsymbol{ETI1} = CVV \times DEF$ Donde CVV $= \left\|\frac{\partial \vec{V}}{\partial z}\right\| = \sqrt{\left(\frac{\partial u}{\partial p}\right)^2 + \left(\frac{\partial v}{\partial p}\right)^2}$ y $DEF = \sqrt{DST^2 + DSH^2}$ Teniendo en cuenta $DST = \frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y}$ y $DSH = \frac{\partial v}{\partial x} + \frac{\partial u}{\partial y}$	$\boldsymbol{ETI2} = CVV \times [DEF + CVG]$ Con $CVG = -\left(\frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y}\right)$ *Los términos asociados a DEF son los mismos que ETI1*

Resultados

Secuencia de imágenes satelitales: Se observa la evolución desarrollo convectivo profundo sobre la prov. de corrientes, que se desplaza hacia el NE mientras que el yunque presenta oscilaciones en la temperatura de brillo de los tres canales, indicando la presencia de ondas de gravedad propagándose con dirección NW-SE:

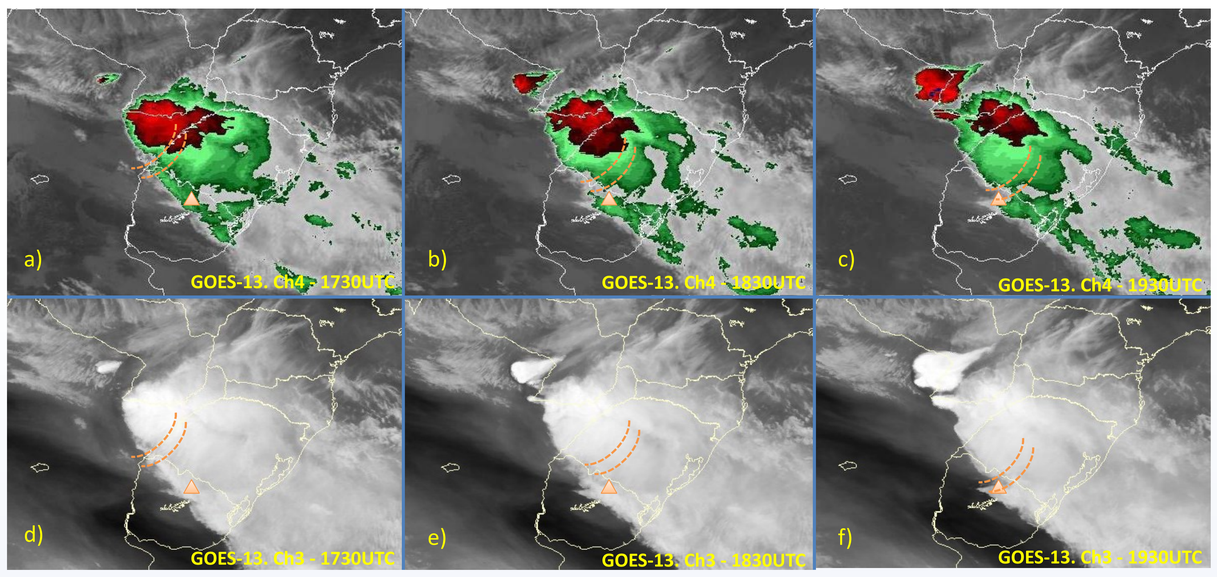

Figura 3. Secuencia de imágenes satelitales para las 1730UTC (a y d), 1830UTC (b y e) y 1930UTC (c y f) para el día 04/05/2014. Las figuras a), b) y c) corresponden al canal infrarrojo térmico (Ch4) y las figuras d), e) y f) corresponden al canal de vapor de agua (Ch3). Fuente: INPE-CPTEC

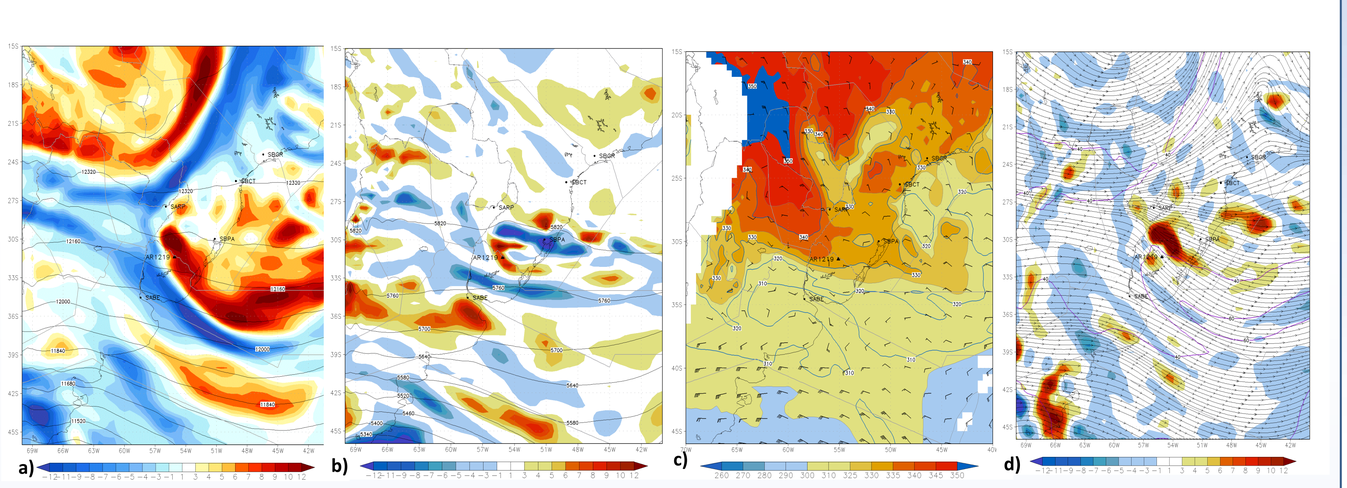

Figura 4. Campos para las 18UTC del día 04/05/2014. La figura **a)** representan altura geopotencial c/60mgp (cont.), vorticidad relativa*$10^{-4}.s^{-1}$en 300hPa (somb.). La figura **b)** representan altura geopotencial c/60mgp (cont.), vorticidad relativa*$10^{-5}.s^{-1}$en 500hPa (somb.). La figura **c)** representa temperatura potencial equivalente (cont. y somb.) y viento en $m*s^{-1}$ en 850hPa (barbas). La figura **d)** representa función corriente (líneas de corriente) y divergencia (somb) y magnitud del viento en $m*s^{-1}$ (cont.) en 200hPa.

CONCLUSIONES

- **Se detectaron ondas de gravedad propagándose desde el yunque un sistema convectivo en disipación. Las ondas de gravedad viajaron al menos 400km durante el período analizado.**
- **En el lugar se presentaban condiciones de inestabilidad inercial que podrían haber favorecido las ondas de gravedad iniciadas por la convección.**
- **Los índices no pronosticaban turbulencia significativa excepto ID en el lugar del incidente.**
- **Se recomienda NO volar corriente abajo en sistemas convectivos bajo condiciones marginales de inestabilidad inercial.**

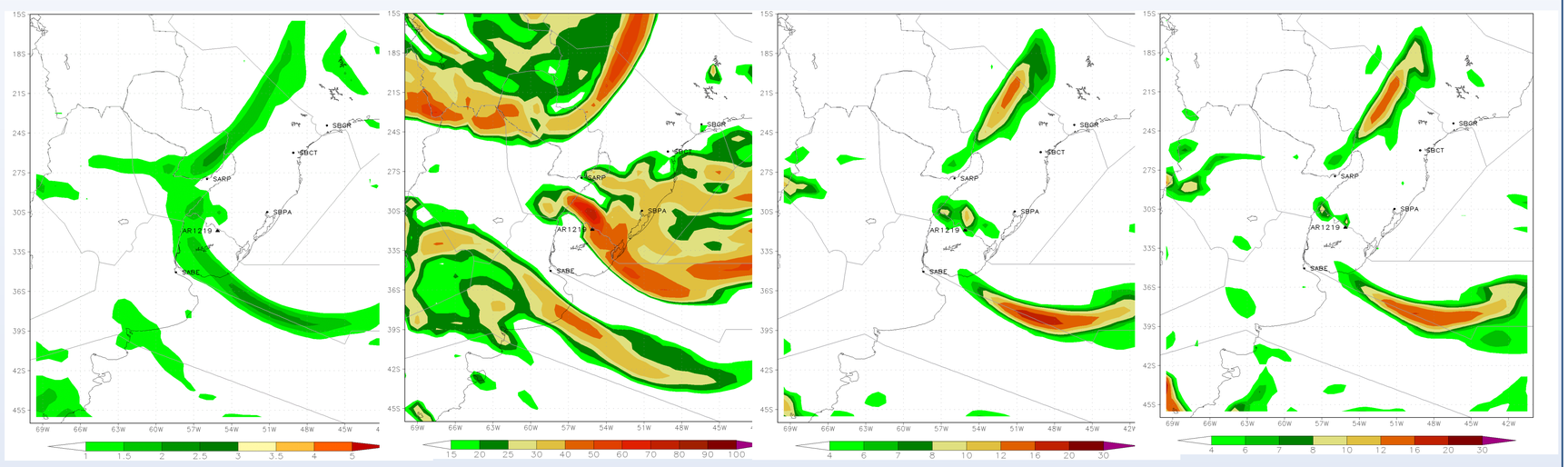

Figura 5. Campos de turbulencia pronosticada para las 18UTC del día 04/05/2014 en FL390 (200hPa). La figura **a)** corresponde al índice Brown*100(somb). **b)** índice Dutton(somb). **c)** índice Ellrod TI1*$10^7 s^{-1}$ (somb). **d)** Ellrod TI2*$10^7 s^{-1}$ (somb).

Referencias:

- Lane, T. P., and R. D. Sharman, 2006. Gravity wave breaking, secondary wave generation, and mixing above deep convection in a three-dimensional cloud model. Geophys. Res. Lett., 33, L23813, doi:10.1029/2006GL027988.
- Lane T. P., Sharman R. D., 2008,Some influences of background flow conditions on the generation of turbulence due to gravity wave breaking above deep convection. J. Appl. Meteor. Climatol., 47, 2777–2796.
- Lane T. P., Sharman R. D., Trier S. B., Fovell R. G., Williams J. K, 2012. Recent advance in the understanding of near-cloud turbulence. Bull. Amer. Meteor. Soc. Apr. 2012, 499-515

Ministerio de Defensa Presidencia de la Nación

SECRETARÍA DE CIENCIA, TECNOLOGÍA Y PRODUCCIÓN

Agradecimientos:
A **Raúl Rodano** , Asesor Meteorólogo de Aerolíneas Argentinas quien gentilmente nos brindó el dato de turbulencia severa en el vuelo AR1219 y al Servicio Meteorológico Nacional por los recursos aportados.