



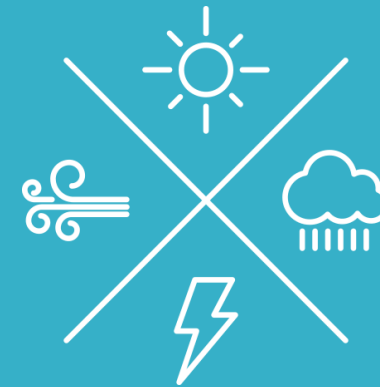
ICAO

UNITING AVIATION

NO COUNTRY LEFT BEHIND



Taller sobre SIGMET, GAMET, AIRMET, Avisos de  
Aeródromos y Cizalladura de Viento  
Introducción al Uso de los Modelos Numéricos para la  
preparación de SIGMET pronosticados.  
18 y 19 de noviembre 2021.



**inumet**

Departamento de Meteorología Aeronáutica  
Jefa Met. Natali Bentancor  
n.bentancor@inumet.gub.uy

Departamento de Pronóstico del Tiempo y Vigilancia Meteorológica  
Jefe Met. Néstor Santayana  
n.santayana@inumet.gub.uy

# INTRODUCCIÓN



# INTRODUCCIÓN

La información SIGMET es expedida por una Oficina de Vigilancia Meteorológica (MWO-OVM) y dará una descripción concisa en lenguaje claro abreviado del acaecimiento, o acaecimiento previsto de fenómenos meteorológicos en ruta específicos, que puedan afectar a la seguridad de las operaciones de aeronaves en vuelo, y de la evolución de esos fenómenos en el tiempo y en el espacio.

Análisis de las condiciones de la FIR afectada

Preparación del mensaje SIGMET

Difusión del mensaje SIGMET

# INTRODUCCIÓN

- El período de validez de los mensajes SIGMET no será superior a 4 horas.
- En el caso especial de los mensajes SIGMET para nubes de cenizas volcánicas y ciclones tropicales, el período de validez se extenderá a 6 horas.
- La información SIGMET se cancelará cuando los fenómenos dejen de acaecer o ya no se espere que vayan a ocurrir en el área.

# INTRODUCCIÓN

- Es función de las OVM las cuales existen, principalmente, para preparar y emitir información sobre la existencia real o prevista de ciertas condiciones meteorológicas peligrosas en ruta, que puedan afectar la seguridad de las aeronaves y las operaciones de aeronaves a poca altura.
- La preparación y difusión de los mensajes SIGMET advierte a los pilotos y demás personal aeronáutico acerca de condiciones meteorológicas que puedan afectar la seguridad de la aviación civil internacional.

# INTRODUCCIÓN

Las OVM deberán suministrar localmente la información SIGMET:

- a las dependencias ATS/ACC/FIC
- a las Oficinas Meteorológicas de Aeródromo (OMA) dentro de su propia FIR
- a los Bancos Internacionales de Datos OPMET
- a las Estaciones de enlace ISCS, SADIS, otras OVM

¿Para qué fenómenos  
se expiden los SIGMET?



# ¿Para qué fenómenos se expiden los SIGMET?

## **TORMENTAS CON O SIN GRANIZO --- TS O TSGR**

- oscurecidas OBSC TS
- inmersas EMBD TS
- frecuentes FRQ TS
- línea de turbonada SQL TS
- oscurecidas con granizo OBSC TSGR
- inmersas con granizo EMBD TSGR
- frecuentes con granizo FRQ TSGR
- línea de turbonada con granizo SQL TSGR

# ¿Para qué fenómenos se expiden los SIGMET?

## ENGELAMIENTO

- SEV ICE se refiere al engelamiento fuerte excepto en nubes convectivas.
- SEV ICE (FZRA) se refiere a condiciones de engelamiento fuerte causadas por lluvia engelante.

## TURBULENCIA

- SEV TURB: debe mencionarse solamente la turbulencia fuerte y *moderada para: turbulencia a poca altura asociada con vientos fuertes en superficie.*

# ¿Para qué fenómenos se expiden los SIGMET?

## **ONDA DE MONTAÑA**

- SEV MTW

## **TEMPESTAD DE POLVO**

- HVY DS

## **TEMPESTAD DE ARENA**

- HVY SS

# ¿Para qué fenómenos se expiden los SIGMET?

## **CENIZA VOLCÁNICA**

- VA/VC CLD: Los mensajes SIGMET relacionados con las nubes de cenizas volcánicas, se basarán en información de asesoramiento proporcionada por los VAAC (Volcanic Ash Advisory Center) de referencia.

## **NUBES RADIOACTIVAS**

- RDOACT: Los mensajes SIGMET relativos a nubes de cenizas volcánicas pronosticados para una región de información de vuelo, se expedirán tan pronto como sea posible pero no más de 12 horas antes del inicio del período de validez.

## **CICLONES TROPICALES**

- TC: ciclón tropical con vientos en la superficie de velocidad media de 17 m/s (34 kt) o más y 10 minutos de duración. TC (+nombre del ciclón)

# MODELOS NUMÉRICOS DE PREDICCIÓN DISPONIBLES



**inumet**

# ¿Qué es un modelo numérico?

## ¿Qué es un Modelo?

Un modelo es cualquier esquema o metodología que nos permita pronosticar la evolución futura del comportamiento atmosférico.

### Tipos de Modelos:

- Análogos
- Persistencia
- Tendencia
- Valores medios
- **Modelo de pronóstico numérico**

x - momento: 
$$\frac{\partial u}{\partial t} + u \frac{\partial u}{\partial x} + v \frac{\partial u}{\partial y} + w \frac{\partial u}{\partial z} - f v = -\frac{1}{\rho_0} \frac{\partial p}{\partial x} + \frac{\partial}{\partial x} \left( A \frac{\partial u}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left( A \frac{\partial u}{\partial y} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left( \nu_E \frac{\partial u}{\partial z} \right)$$

y - momento: 
$$\frac{\partial v}{\partial t} + u \frac{\partial v}{\partial x} + v \frac{\partial v}{\partial y} + w \frac{\partial v}{\partial z} + f u = -\frac{1}{\rho_0} \frac{\partial p}{\partial y} + \frac{\partial}{\partial x} \left( A \frac{\partial v}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left( A \frac{\partial v}{\partial y} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left( \nu_E \frac{\partial v}{\partial z} \right)$$

continuidad: 
$$\frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} + \frac{\partial w}{\partial z} = 0$$

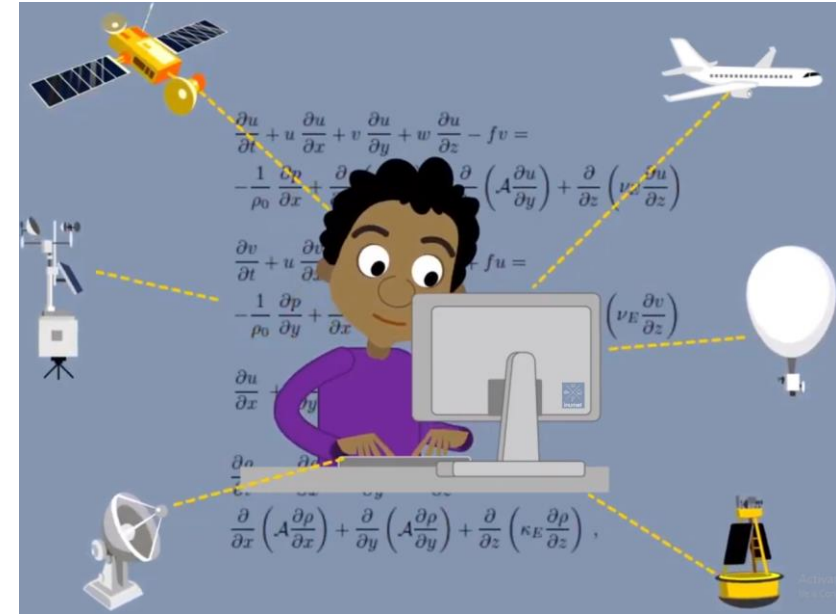
energía: 
$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + u \frac{\partial \rho}{\partial x} + v \frac{\partial \rho}{\partial y} + w \frac{\partial \rho}{\partial z} = \frac{\partial}{\partial x} \left( A \frac{\partial \rho}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left( A \frac{\partial \rho}{\partial y} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left( \kappa_E \frac{\partial \rho}{\partial z} \right),$$

## ¿Qué es un Modelo Atmosférico o Numérico?

Un modelo atmosférico es una descripción matemática construida sobre la base del conjunto de ecuaciones diferenciales que gobiernan los movimientos en la atmósfera. Estas ecuaciones son no lineales y, por lo tanto, imposibles de resolver exactamente, así que se recurre a métodos numéricos que brindan soluciones bastante aproximadas.

En otras palabras, los modelos son un conjunto de programas que resuelven las ecuaciones y prevén la evolución de la atmósfera.

*Como ejemplo:  
En INUMET, utilizamos dos modelos globales (el del ECMWF y el GFS) y un LAM (WRF).*



## Características de un Modelo Numérico:

- Son la herramienta más usada para realizar pronósticos del tiempo.
- Requieren de una gran capacidad computacional para resolver las ecuaciones que rigen el comportamiento de la atmósfera.
- Pueden ser globales o de área limitada (LAM).
- Se caracterizan por su resolución horizontal y vertical.
- Pueden emplear distintas coordenadas verticales.
- Requieren del uso de parametrizaciones para simular el efecto de los procesos no resueltos.

## ¿Cuáles Modelos usar?

Recordemos a *Charney (1948)*, el cual propuso 3 definiciones: Macro, Meso y Micro-Escala

- **Macro:** los fenómenos en los que las aceleraciones propias del sistema son de magnitud despreciables frente a la aceleración de Coriolis.
- **Meso:** es aquella que las leyes de la hidrostática todavía son válidas y a la vez ha dejado de ser válido el cuasi-geostrofismo. Las aceleraciones propias del sistema no son despreciables frente a la de Coriolis, incluso pueden tener un orden de magnitud semejante, pero son muy inferiores a la aceleración de la gravedad.
- **Micro:** aquella donde las aceleraciones del sistema son tan grandes que su magnitud es comparable a la de la aceleración de la gravedad. Los fenómenos de la micro responderán, por tanto, a leyes no-hidrostáticas, lejos del cuasi-equilibrio de la macro-escala.

En ese sentido, para analizar la probabilidad de ***tormentas y sus fenómenos asociados***, es recomendable ponderar (sobre otros) el uso de modelos de mesoescala, principalmente no-hidrostáticos con alta resolución.

Pero... previo a tener un cabal conocimiento de la situación sinóptica, mediante el uso de modelos globales.

Video didáctico sobre Modelos: <https://www.inumet.gub.uy/sala-de-prensa/videos/modelos-numericos-de-prediccion-del-tiempo>

## Algunos enlaces de interés

Sitios con acceso a Modelos globales:

<https://www.ecmwf.int/en/forecasts/charts>

<https://mag.ncep.noaa.gov/model-guidance-model-area.php>

<https://earth.nullschool.net/>

<https://www.windy.com/>

<https://www.wpc.ncep.noaa.gov/international/wng/>

Visualizar Sondeos pronosticados (clic sobre el lugar de interés):

<https://www.pivotalweather.com/model.php?m=gfs>

<https://www.tropicaltidbits.com/analysis/models/>

Videos didácticos (educativos):

<https://www.inumet.gub.uy/sala-de-prensa/videos>



# MODELOS NUMÉRICOS DE PREDICCIÓN DISPONIBLES PARA LA EMISIÓN DE SIGMET PRONOSTICADOS



# MODELOS NUMÉRICOS DE PREDICCIÓN DISPONIBLES PARA LA EMISIÓN DE SIGMET PRONOSTICADOS

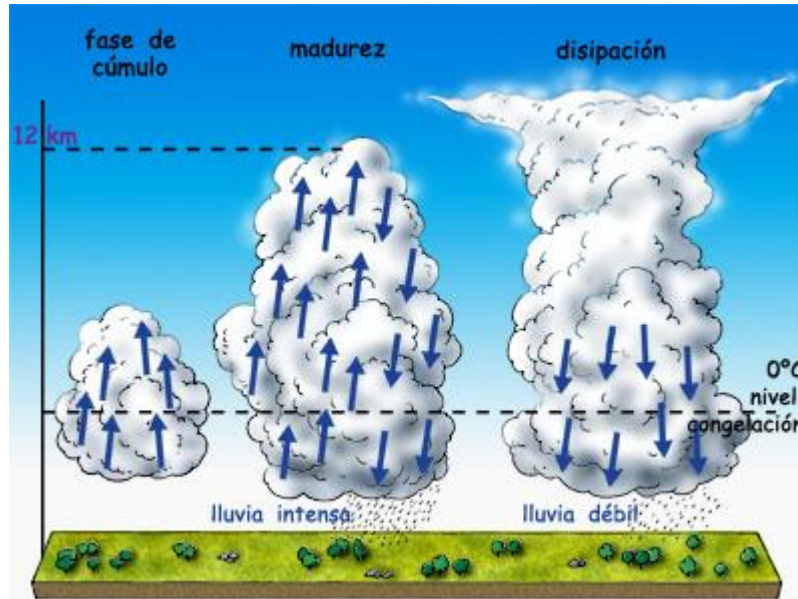
## **Tormentas**

*3 ingredientes:*

- Humedad
- Inestabilidad
- Ascensos

*4° ingrediente:*

- Cizalladura



El tipo de fenómenos convectivos, así como la severidad de los mismos, dependen de las condiciones del entorno en el que se desarrollan y, fundamentalmente, de los procesos asociados con la **flotabilidad** de la burbuja y con la **cizalladura vertical** del viento.

Como no es posible saber exactamente dónde y cuándo se formará una tormenta, en el pronóstico convectivo se trabaja con **probabilidades**.

Básicamente hay dos tipos de probabilidad:

- Probabilidad de tormentas, sin discriminar el potencial de severidad
- Probabilidad de tiempo severo, que es el riesgo real a la población

# MODELOS NUMÉRICOS DE PREDICCIÓN DISPONIBLES PARA LA EMISIÓN DE SIGMET PRONOSTICADOS

La **flotabilidad** ejerce un control fundamental sobre los fenómenos convectivos, directamente relacionada con la intensidad de las corrientes ascendentes/descendentes.

Es importante el **mecanismo de disparo**. La presencia de forzamientos de tipo orográfico intensos, así como de ascensos asociados con la presencia de fronteras mesoescalares, suele ser suficiente para que se desarrollen corrientes ascendentes significativas.

La **cizalladura vertical** del viento, ejerce el control fundamental sobre la organización de la convección por medio de dos mecanismos:

- La interacción de la cizalladura con el frente de racha y el embolsamiento frío de origen convectivo, que modula la capacidad del frente de racha para producir nuevas células convectivas y dar lugar a estructuras multicelulares
- La interacción de la cizalladura con la corriente ascendente, que modula la capacidad de la corriente ascendente para desarrollar las características rotacionales que se observan en las estructuras supercelulares altamente organizadas.

# MODELOS NUMÉRICOS DE PREDICCIÓN DISPONIBLES PARA LA EMISIÓN DE SIGMET PRONOSTICADOS

Los ingredientes necesarios para que aparezca **convección profunda** son:

- Que el entorno sea condicionalmente inestable.
- Que esté presente un mecanismo de forzamiento o de disparo para elevar la burbuja hasta el NCL.
- Que exista suficiente humedad para que las burbujas, caso de ser forzadas a ascender, puedan alcanzar el nivel de convección libre (NCL).

## En conclusión: ¿qué debemos ver en los modelos?

- Convergencia niveles bajos
- Gatillador o disparador (ej. térmico, frontal, topográfico, brisas, vaguadas, etc...)
- Ascensos niveles bajos/medios (omegas)
- Divergencia en niveles altos (Corriente en chorro)
- Vapor de agua/Humedad/Agua precipitable (LLJ u otra fuente)
- Inestabilidad (Método de Parcelas o termodinámico)
- Cizalladura y Helicidad
- MJO en fase pondera la divergencia/ventilación en altura

# MODELOS NUMÉRICOS DE PREDICCIÓN DISPONIBLES PARA LA EMISIÓN DE SIGMET PRONOSTICADOS

**Helicidad relativa a la tormenta (HRT o SRH) 0-1km**  
<  $-150 \text{ m}^2 \text{ s}^{-2}$ : rotación próximo a la superficie (tornados)

**Helicidad relativa a la tormenta (HRT o SRH) 0-3k**  
<  $-300 \text{ m}^2 \text{ s}^{-2}$ : rotación en niveles bajos (superceldas - SC)

## Cizalladura 0-3km (Shear 0-3)

Unicelular: hasta  $10 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ .

Multiceldas:  $10$  a  $20 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ .

Supercelulas: pueden alcanzar hasta los  $50 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ .

## Cizalladura 0-6km (Shear 0-6)

<  $10 \text{ m s}^{-1}$  □ Tormentas poco organizadas

Entre  $10 / 15 \text{ m s}^{-1}$  □ Tormentas organizadas

Entre  $15 / 25 \text{ m s}^{-1}$  □ Tormentas muy organizadas (SC)

$25 \text{ m s}^{-1}$  □ Tormentas con intensa rotación

## Energía potencial disponible para convección (*Convective Available Potential Energy - CAPE*)

<  $500 \text{ J kg}^{-1}$  → baja inestabilidad

Entre  $500 / 1500$  → inestabilidad moderada

Entre  $1500 / 3000$  → alta inestabilidad

>  $3000$  → inestabilidad extrema

## Índice de levantamiento (*Lifted Index - LI*)

$LI > 0$  → sin inst. termodinámica

$-2 < LI < 0$  → inestabilidad baja

$-4 < LI < -2$  → inestabilidad moderada

$-6 < LI < -4$  → inestabilidad alta

$LI < -6$  → inestabilidad extrema

## Índice Gálvez Davison (GDI)

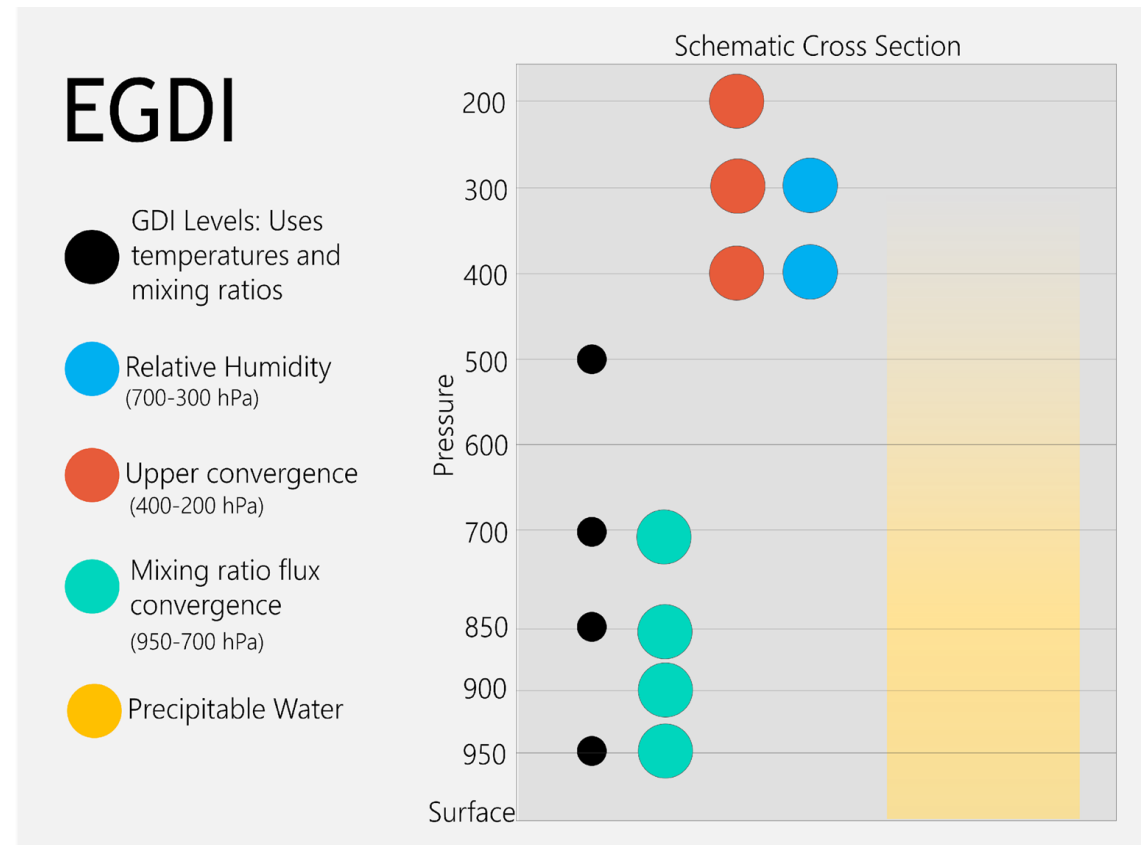
## Algoritmo Gálvez Santayana (GR02T)

### Índice Gálvez Davison Mejorado (EDGI)

Índice termodinámico adimensional que diagnostica ambientes favorables para convección tropical y subtropical (2014)

Es el GDI resaltado con 4 procesos que importan para la convección profunda en el trópico, en base a calibración en Sudamérica y el Caribe:

- **Convergencia de humedad (950-700 hPa)**  
Rol en estimulación e iniciación de convección, lo que aumenta montos de precipitación.
- **Convergencia en altura (400-200 hPa)**  
Estimula descensos e inversiones elevadas que limitan montos de precipitación
- **Humedad Relativa (400-300 hPa)**  
Se asocia a inversiones elevadas y a procesos de entrañamiento de aire seco que limitan montos.
- **Agua precipitable**  
Valores >30mm estimulan precipitación.



## GR02T: Cómo detecta el potencial de severidad?

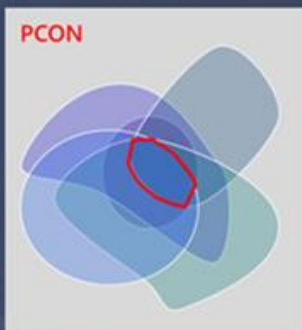
### PARTE I. Detección del potencial de convección profunda(PCON)

#### a) Cinco variables necesarias:

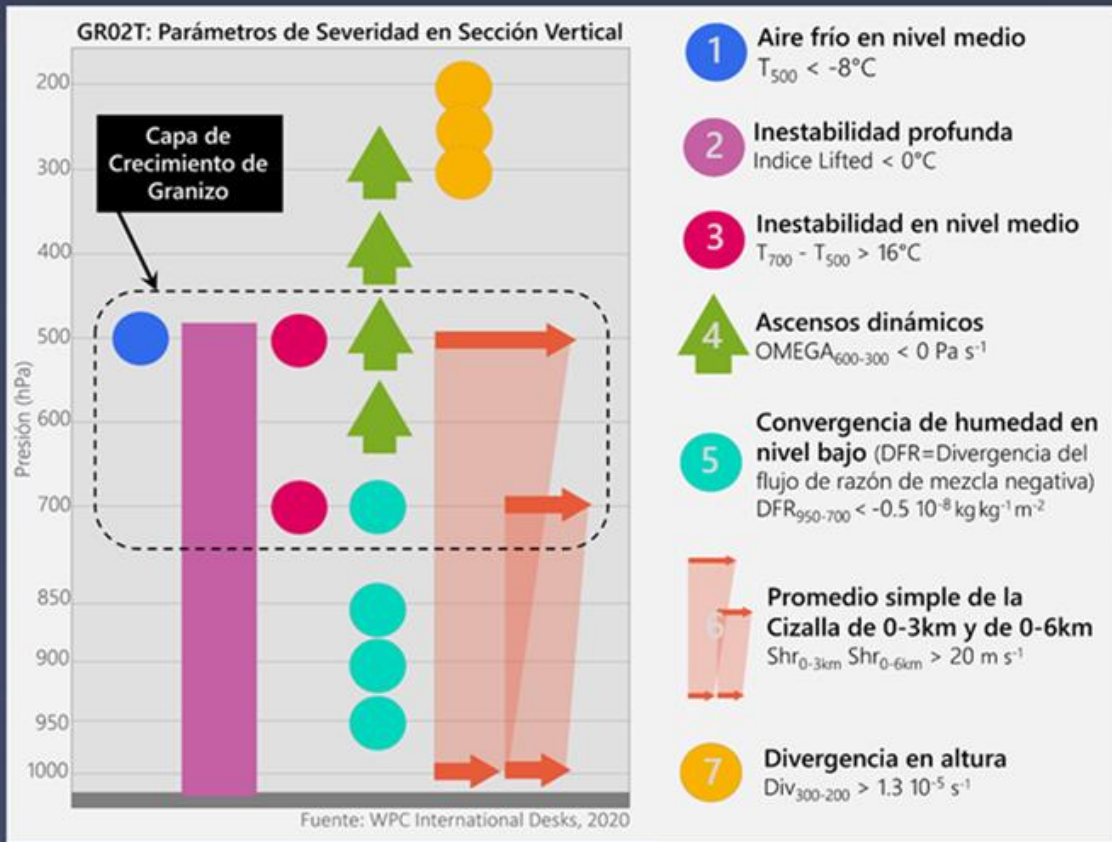
- 1)  $PWAT > 20\text{mm}$
- 2)  $LI < +1^\circ\text{C}$
- 3)  $T_{600} < +2^\circ\text{C}$
- 4)  $RH_{700-500} > 50\%$
- 5)  $OMEGA_{600-300} < -10^{-4} \text{ Pa s}^{-1}$

#### b) Se multiplican

Muestran 1 cuando todas están presentes, sino 0.



### PARTE II. Procesos que resaltan el potencial de tiempo severo en el GR02T



### Algoritmo GR02T

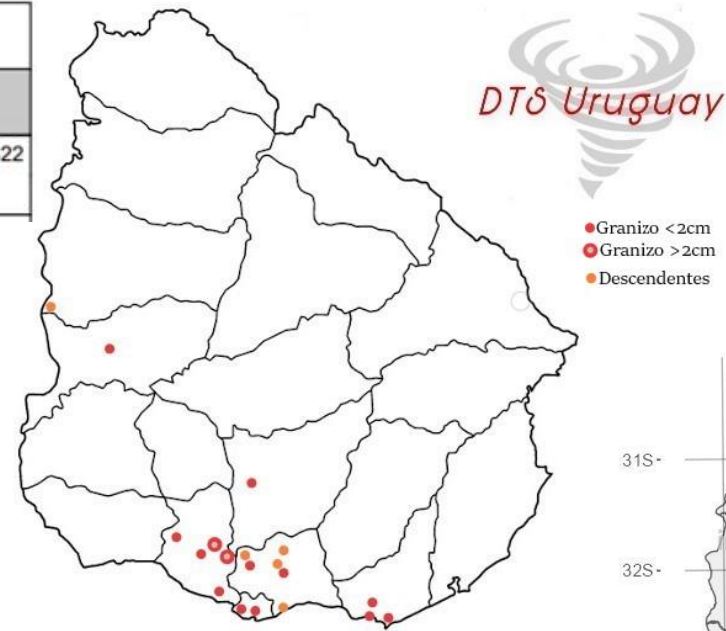
J. Gálvez y  
N.Santayana

Detección de  
Potencial de tiempo  
severo con  
ponderación en el  
granizo

# MODELOS NUMÉRICOS DE PREDICCIÓN DISPONIBLES PARA LA EMISIÓN DE SIGMET PRONOSTICADOS

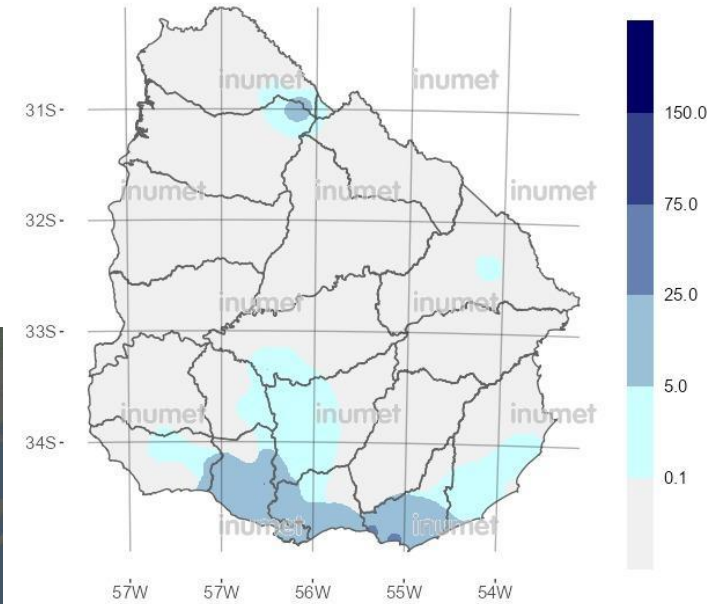
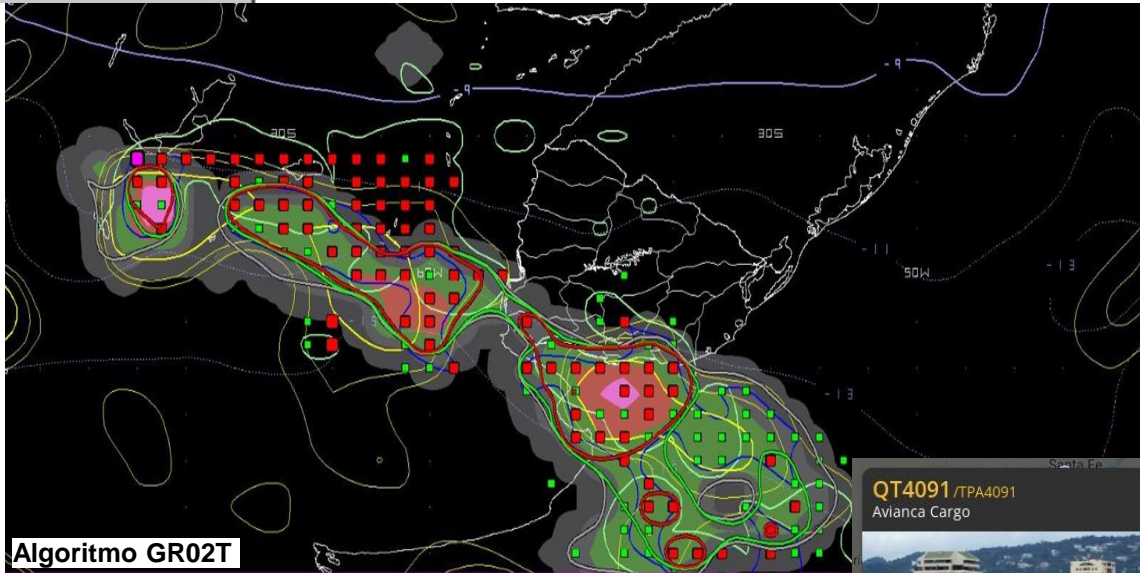
## Sigmat por Tormentas

WSUY31 SUMU	160330		
SUEO SIGMET	2	VALID	160330/160530
SUEO MONTEVIDEO FIR	EMBD TS GR OBS WI S3247 W05815 - S3305 W05315 - S3513 W05248 - S3533 W05527 - S3422 W05801 - S3349 W05829 - S3247 W05815 TOP FL390 MOV E 10KT INTSF=		



Tiempo severo en el Área Metropolitana de Montevideo

15 al 16/nov./2021



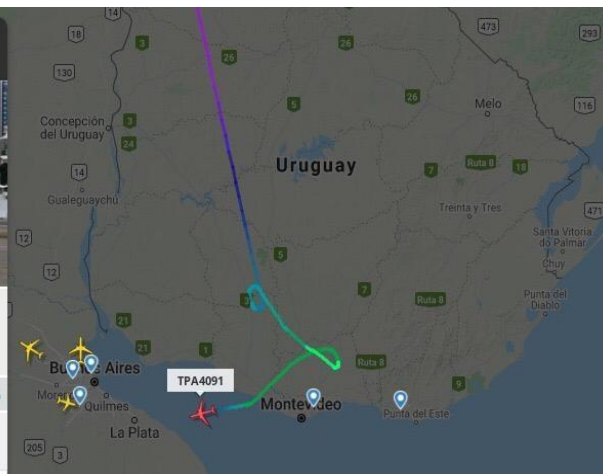
QT4091 / TPA4091  
Avianca Cargo

© Carlos Alberto Rubio Herrera

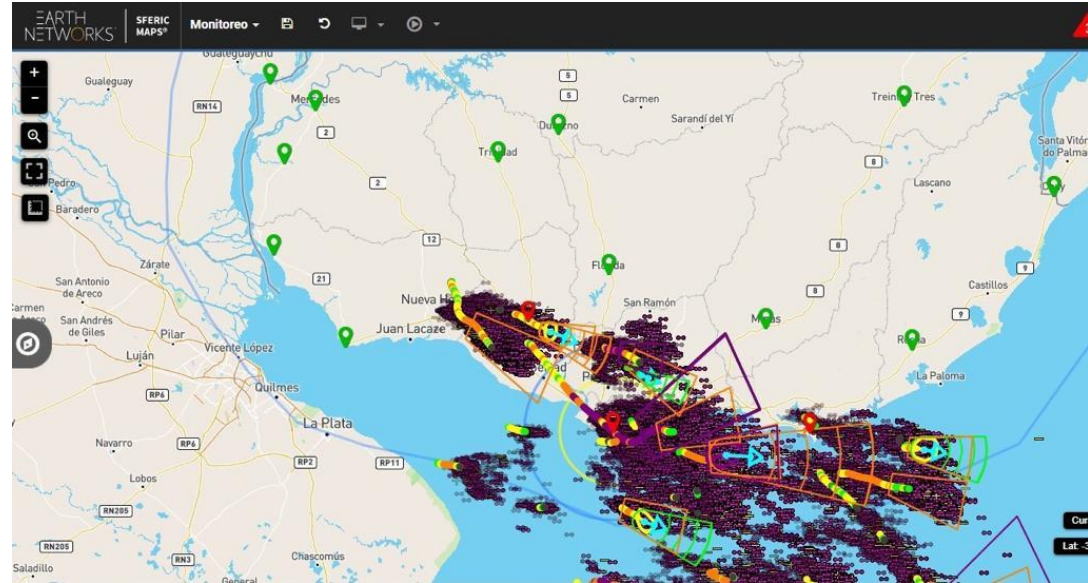
**BOG** ✈️ **MVD**  
BOGOTA -05 (UTC -05:00) MONTEVIDEO -03 (UTC -03:00)

ACTUAL 17:33 ESTIMATED 01:45

4,726 km, 06:05 ago 107 km, in 00:06

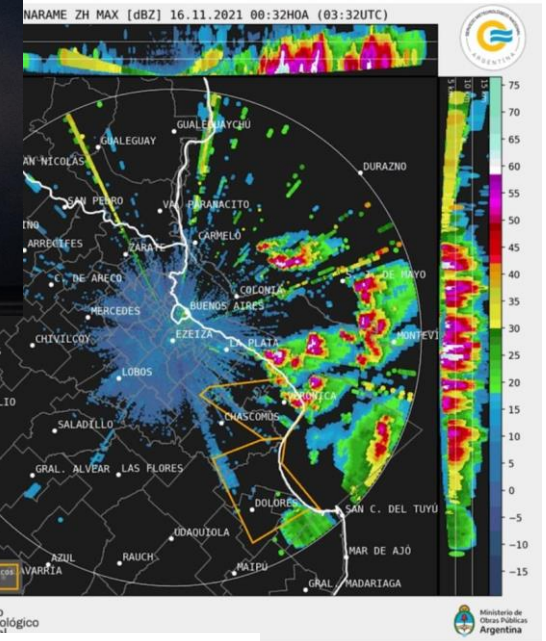


# MODELOS NUMÉRICOS DE PREDICCIÓN DISPONIBLES PARA LA EMISIÓN DE SIGMET PRONOSTICADOS



Tiempo severo en el Área Metropolitana de Montevideo

15 al 16/nov./2021



QT4091 / TPA4091  
Avianca Cargo

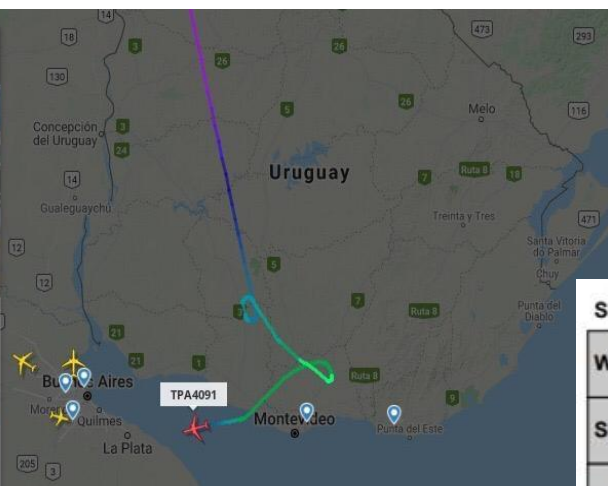


© Carlos Alberto Rubio Herrera

**BOG** ✈️ **MVD**  
BOGOTA -05 (UTC -05:00) MONTEVIDEO -03 (UTC -03:00)

ACTUAL 17:33 ESTIMATED 01:45

4,726 km, 06:05 ago 107 km, in 00:06

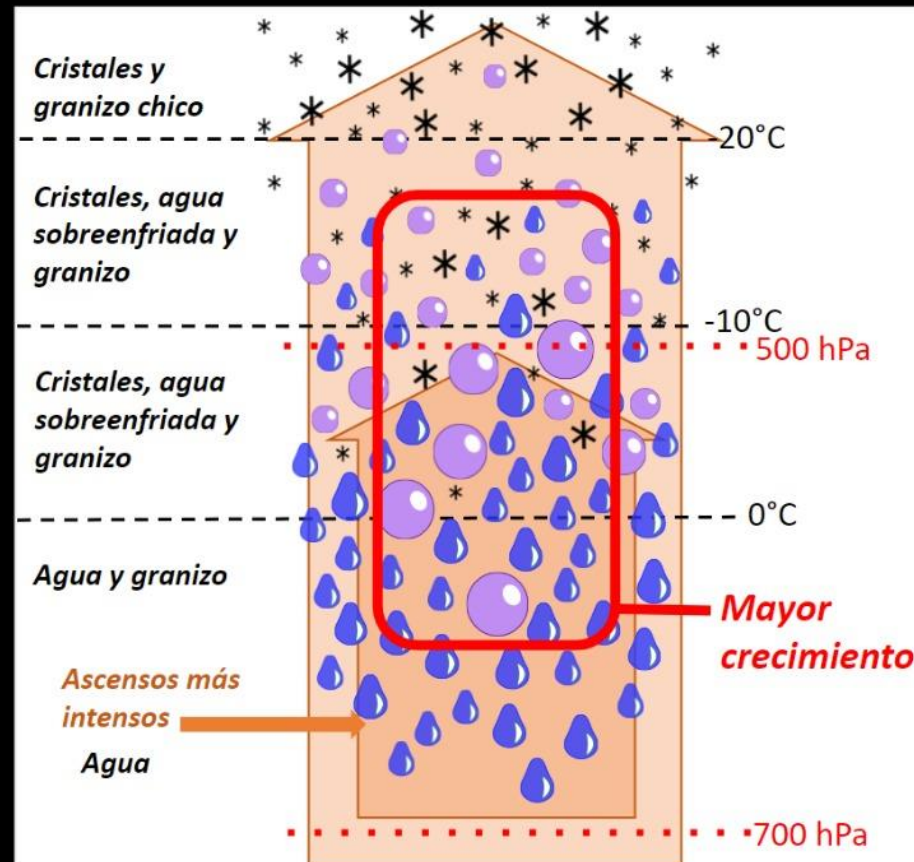


### Sigmat por Tormentas

<b>WSUY31 SUMU</b>	160330		
<b>SUEO SIGMET</b>	2	<b>VALID</b>	160330/160530
<b>SUEO MONTEVIDEO FIR</b>	EMBD TS GR OBS WI S3247 W05815 - S3305 W05315 - S3513 W05248 - S3533 W05527 - S3422 W05801 - S3349 W05829 - S3247 W05815 TOP FL390 MOV E 10KT INTSF=		

## Condiciones básicas para granizo

- Corriente ascendente intensa dentro y por debajo de la capa de crecimiento del granizo
  - Mantiene la piedra flotando y creciendo por mayor tiempo antes de que pueda caer a la superficie.
  - Capa de formación: Capa de temperaturas de 0 a  $-20^{\circ}\text{C}$ , usualmente cerca a los 600–450 hPa.
  - Capa de corriente intensa: Usualmente 700–500 hPa
- Reducción del tiempo para que la piedra se derrita antes de llegar al suelo
  - Piedra muy grande.
  - Isoterma  $0^{\circ}\text{C}$  baja.



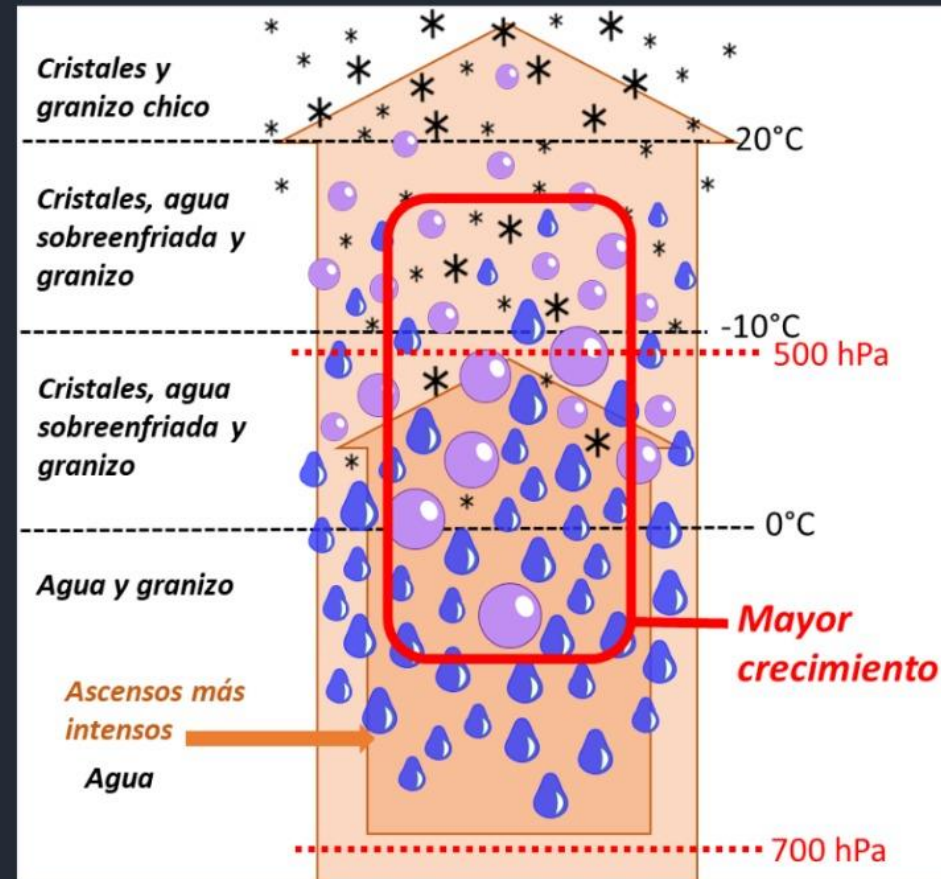
## ¿Qué favorece ascensos violentos en esta capa?

### • Inestabilidad:

- ❖  $\Delta T_{700-500}$  grande: muy inestable y favorece ascensos intensos en la capa de formación de granizo específicamente.
  - ❖  $T_{700} - T_{500} > 16^{\circ}\text{C} \rightarrow$  Granizo
  - ❖  $T_{700} - T_{500} > 20^{\circ}\text{C} \rightarrow$  Granizo grande
- ❖ Índice Lifted muy negativo
  - ❖  $LI < -3^{\circ}\text{C} \rightarrow$  Ascensos intensos en la columna
  - ❖  $LI < -6^{\circ}\text{C} \rightarrow$  Ascensos muy intensos en la columna y granizo más grande

### • Ascensos dinámicos

- ❖  $\Omega < -0.1 \text{ hPa/s}$  (-100 hPa/15 min)  $\rightarrow$  Intensos
- ❖  $\Omega < -0.2 \text{ hPa/s}$  (-200 hPa/15 min)  $\rightarrow$  Muy Intensos

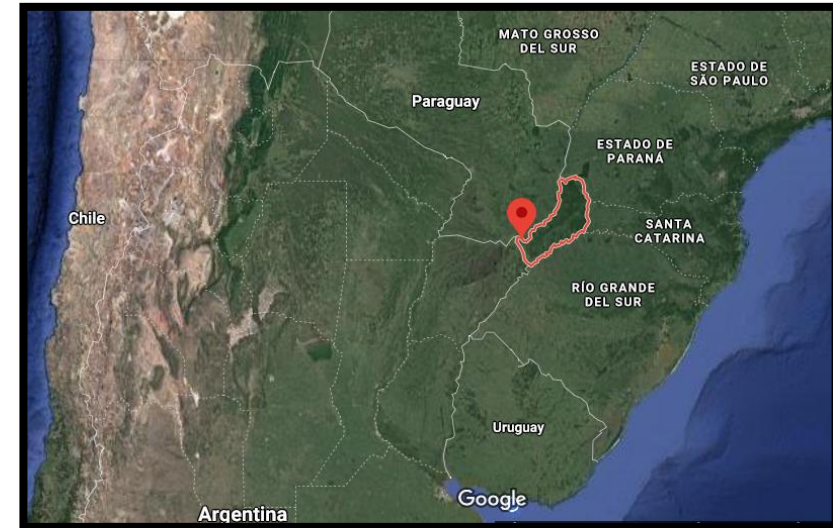


# MODELOS NUMÉRICOS DE PREDICCIÓN DISPONIBLES PARA LA EMISIÓN DE SIGMET PRONOSTICADOS

**Daños en aeronave en vuelo en la zona de Misiones-Argentina.  
31 de octubre de 2018.**



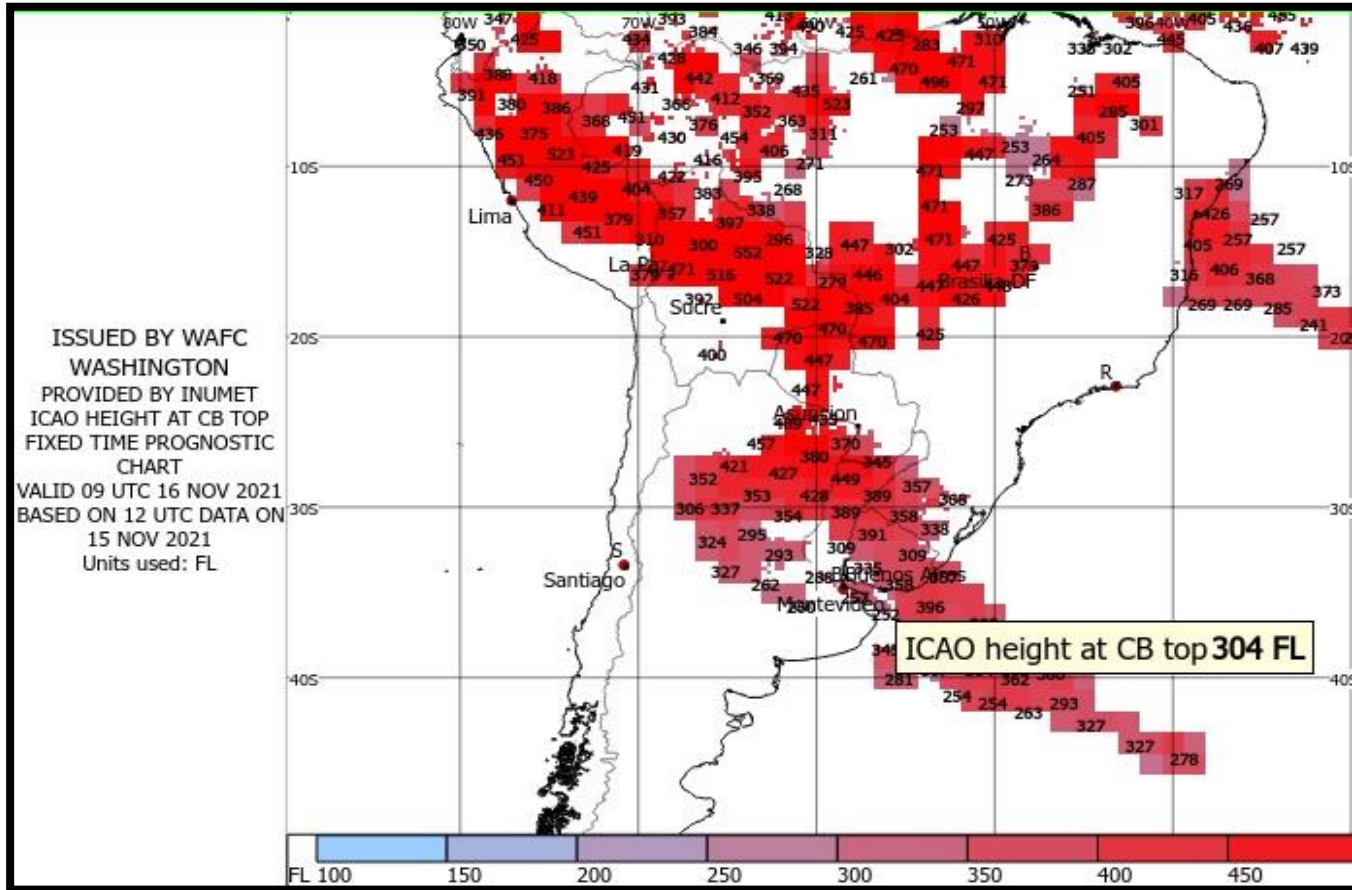
Daños en la aeronave. Fuente: Prensa.



# MODELOS NUMÉRICOS DE PREDICCIÓN DISPONIBLES

## PARA LA EMISIÓN DE SIGMET PRONOSTICADOS

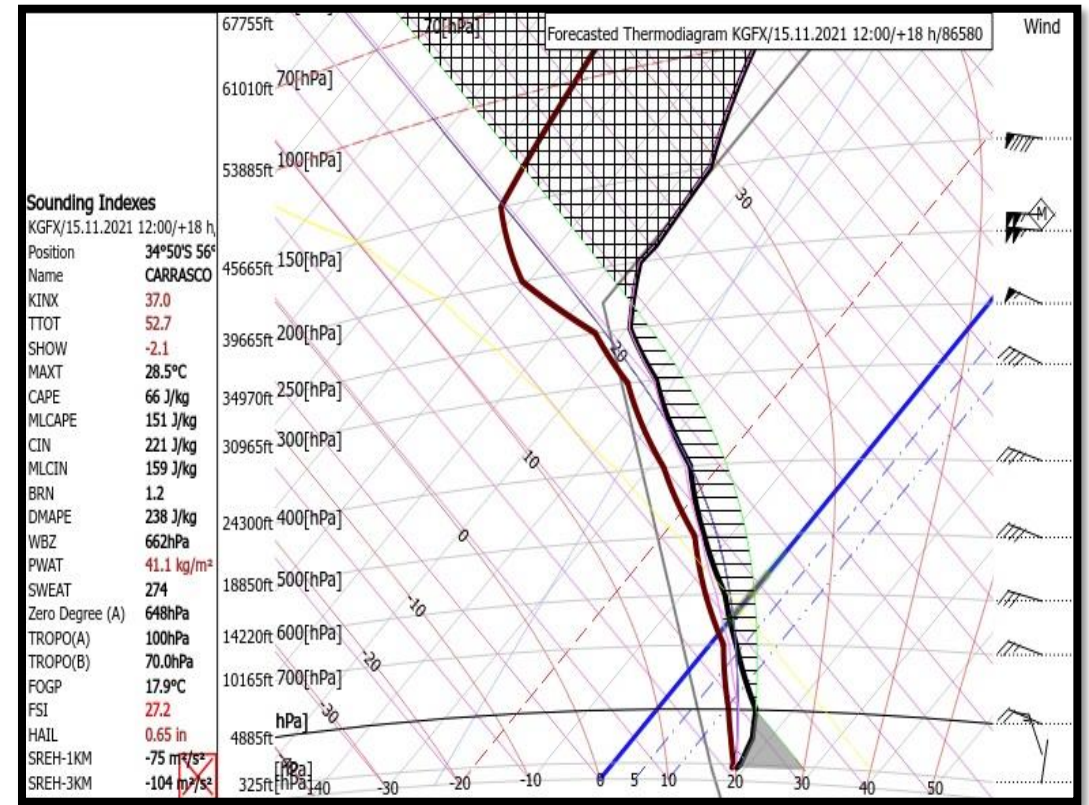
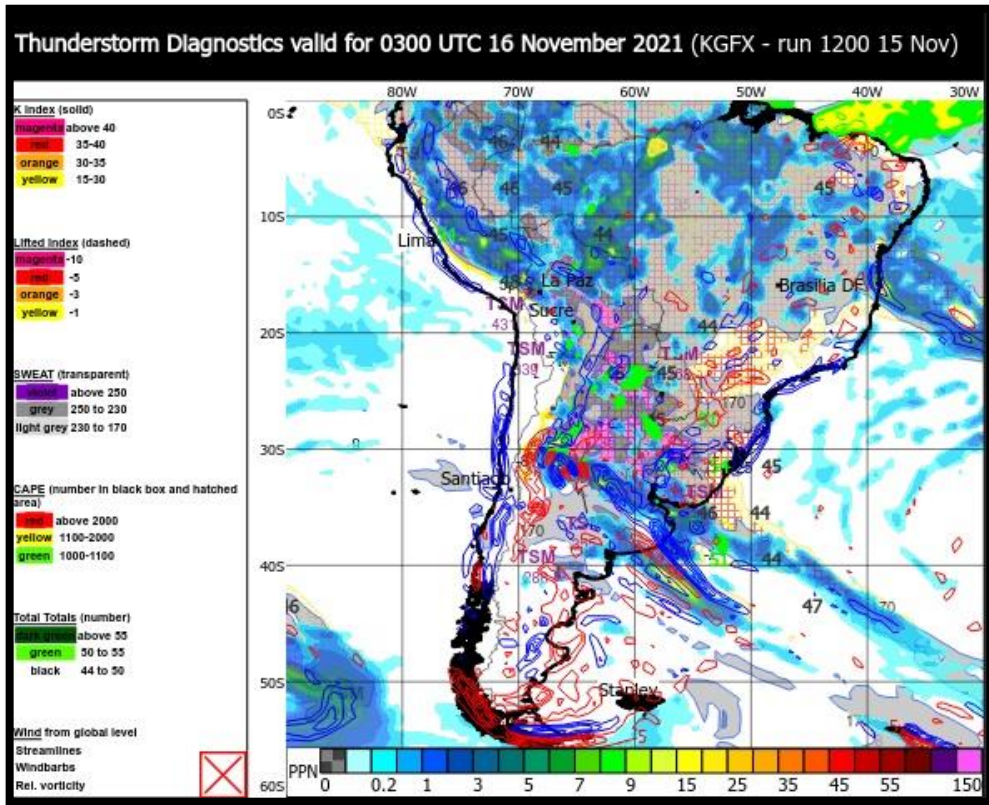
### PRODUCTOS WAFS UTILIZADOS EN LA OVM-OMA-SUMU



# MODELOS NUMÉRICOS DE PREDICCIÓN DISPONIBLES

## PARA LA EMISIÓN DE SIGMET PRONOSTICADOS

### PRODUCTOS UTILIZADOS EN LA OVM-OMA-SUMU



# MODELOS NUMÉRICOS DE PREDICCIÓN DISPONIBLES PARA LA EMISIÓN DE SIGMET PRONOSTICADOS







## Turbulencia aeronáutica

- Es parte del espectro de la turbulencia atmosférica que puede afectar al comportamiento de la aeronave (por tanto, aquella que podemos apreciar). Para la expedición de SIGMET solo consideramos si tiene intensidad **fuerte**.
- Depende del tamaño de la aeronave, ya que los remolinos que más le afectan son los de un tamaño similar al de la aeronave, de la velocidad del avión y del tipo de aeronave.

## ¿Qué debo analizar para pronosticar TURBULENCIA?

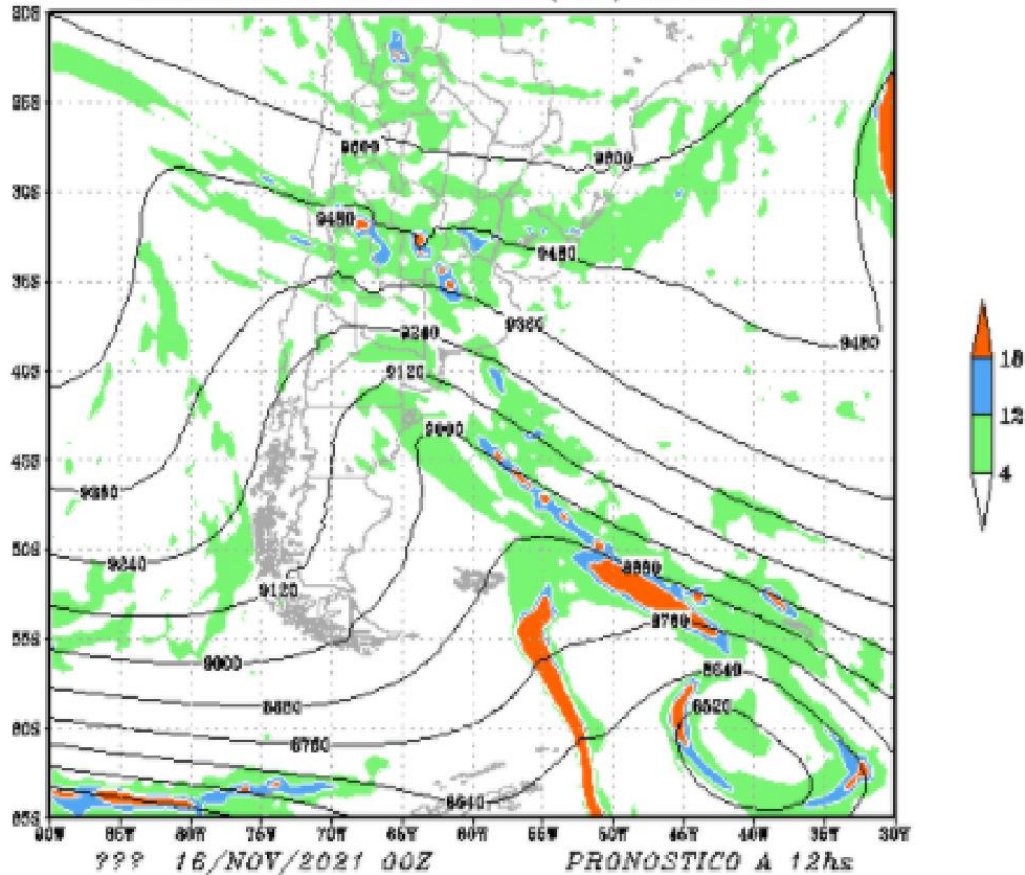
- Mecánica o convectiva
- Orográfica o de aire claro (CAT) por efectos sinópticos o convectivos
- Analizar la información de imágenes satelitales.
- Analizar la información de radiosondeos / datos AMDAR en caso de haberlos.
- Analizar los índices de turbulencia obtenidos a partir de modelos numéricos.
- Analizar los mapas SIGWIX de los centros WAFS.
- En caso de CAT, se sugiere contar con un árbol de decisión (ejemplo Árbol de decisión de la OVM- EZEIZA)

## los índices más utilizados en pronóstico numérico de CAT

Nombre	Ecuación	Procesos físicos investigados	Umbrales utilizados para inferir CAT MOG
 <b>Índice Dutton o Empirical Index (EI)</b> (Dutton, 1980)	$EI = 1.25 \times Sh + 0.25 \times Sv^2 + 10.5$	Diagnostica TAC a partir de una regresión estadística tipo stepwise de PIREPs del Atlántico Norte, basado en la cortante vertical y cortante horizontal	<b>22</b> ( <i>Turbulence Algorithm Intercomparison: 1998-99 Initial Results</i> , Brown y otros 1999)
 <b>Índice Brown (Br)</b> (Brown, 1973)	$Br = \sqrt{0.3 \cdot \eta^2 + DST^2 + DSH^2}$	Diagnostica CAT a partir de vorticidad absoluta, deformación por estiramiento y deformación por cortante	<b>0.09</b> ( <i>Turbulence Algorithm Intercomparison: 1998-99 Initial Results</i> , Brown y otros 1999)
 <b>Índice de Turbulencia de Ellrod 1 (ETI1)</b> (Ellrod, 1985)	$ETI1 = CVV \times DEF$	Diagnostica CAT considerando que su origen únicamente por procesos frontogénéticos, a partir del producto de la deformación con la cortante vertical	<b><math>6 \cdot 10^{-7} s^{-1}</math></b> con el modelo RUC-20km. (Comunicación personal con Robert Sharman -UCAR-)
 <b>Índice de Turbulencia de Ellrod 2 (ETI2)</b> (Ellrod y Knapp 1992)	$ETI2 = CVV \times [DEF + CVG]$	Análogo al ETI1 pero suma la convergencia para disminuir la tasa de falsas alarmas	<b><math>6 \cdot 10^{-7} s^{-1}</math></b> con el modelo RUC-20km. (Comunicación personal con Robert Sharman -UCAR-)

# MODELOS NUMÉRICOS DE PREDICCIÓN DISPONIBLES PARA LA EMISIÓN DE SIGMET PRONOSTICADOS

Turbulencia en aire claro (CAT) en FL 300



## Indice Ellrod para detectar Turbulencia en Aire Claro

El presente producto es confeccionado en forma experimental por la División Vigilancia Meteorológica por Sensores Remotos del SMN utilizando imágenes trihorarias del satélite GOES 12 en las horas de máximo enfriamiento con ausencia de radiación solar, normalmente a las 06 y 09 UTC.

TURBULENCIA LEVE	$4 < IE < 12$
TURBULENCIA MODERADA	$12 < IE < 18$
TURBULENCIA SEVERA	$18 < IE < 24$

Debido a que se contó con muy escasa información en nuestra región, este producto tiene **carácter de experimental**.

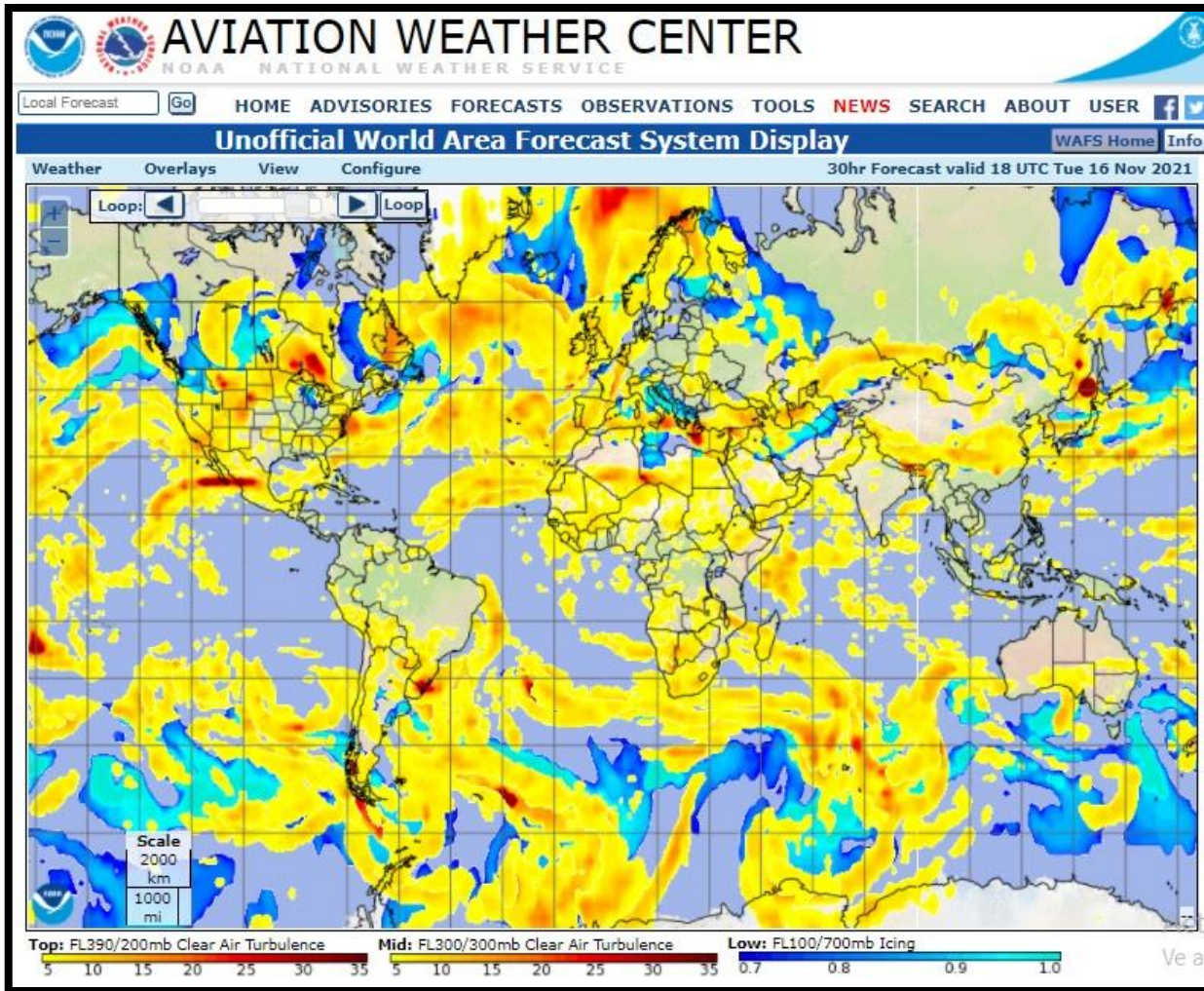
El índice Ellrod se basa en las siguientes características del campo de viento:

- Deformación por cortante (DSH)
- Convergencia (CVG)
- Deformación por estiramiento (DST)
- Cortante (VWS)

Estos cuatro factores reflejan implícitamente el efecto del gradiente de viento tanto en la dirección horizontal como en la vertical, como así también el gradiente de temperatura.

Este índice no tiene en cuenta la turbulencia generada por la orografía.

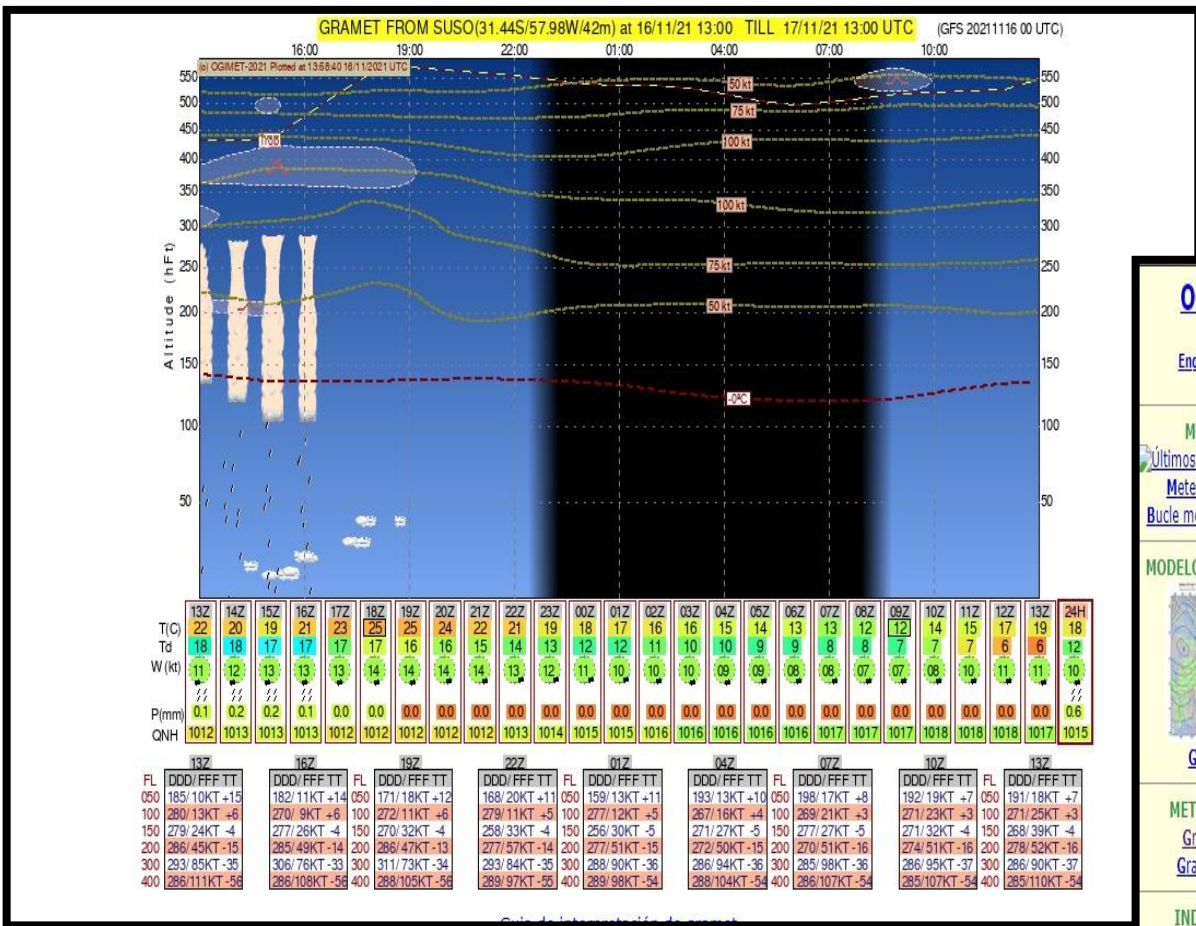
# MODELOS NUMÉRICOS DE PREDICCIÓN DISPONIBLES PARA LA EMISIÓN DE SIGMET PRONOSTICADOS



Experimental World Area Forecast System (WAFS) Grids  
En este sitio pueden encontrar condiciones de turbulencia  
para diferentes FL.

Fuente: <https://www.aviationweather.gov/wafs>

# MODELOS NUMÉRICOS DE PREDICCIÓN DISPONIBLES PARA LA EMISIÓN DE SIGMET PRONOSTICADOS



## GRAMET AÉREO- GFS- VÍA OGIMET

[https://www.ogimet.com/gramet\\_aero.phtml](https://www.ogimet.com/gramet_aero.phtml)

**OGIMET**

[English version](#)

**METEOSAT**

[Últimos meteosat / metar](#)

[Meteosat-9/metar](#)

[Bucle meteosat-9 VIS-IR](#)

**MODELOS NUMÉRICOS**

[GFS 7 días](#)

**METEGRAMAS**

[Gramet aero](#)

[Gramet meteo](#)

**INDICATIVOS**

[Consulta Indicativos](#)

### Selección de Gramet de contenido aeronáutico

LUGAR o LUGARES (OACI)  (1) ➔ INGRESO CODIGO DEL AERÓROMO

INICIO: 16/11/2021 13 UTC +  H (2)

FINAL: 16/11/2021 13 UTC +  H (2)

NIVEL DE VUELO  (3)

(1) El lugar o lugares de la ruta elegida se introducen en forma secuencial y separados por una '\_'. Por ejemplo, una ruta LEZL -> LEMD -> LFPO debe introducirse **LEZL\_LEMD\_LFPO**. Si solamente se elige un punto, se presenta el meteograma del punto elegido a partir de la fecha/hora inicial seleccionada. Como mínimo se muestran 24 horas desde el inicio y puede aumentarse con la selección de la fecha/hora final.

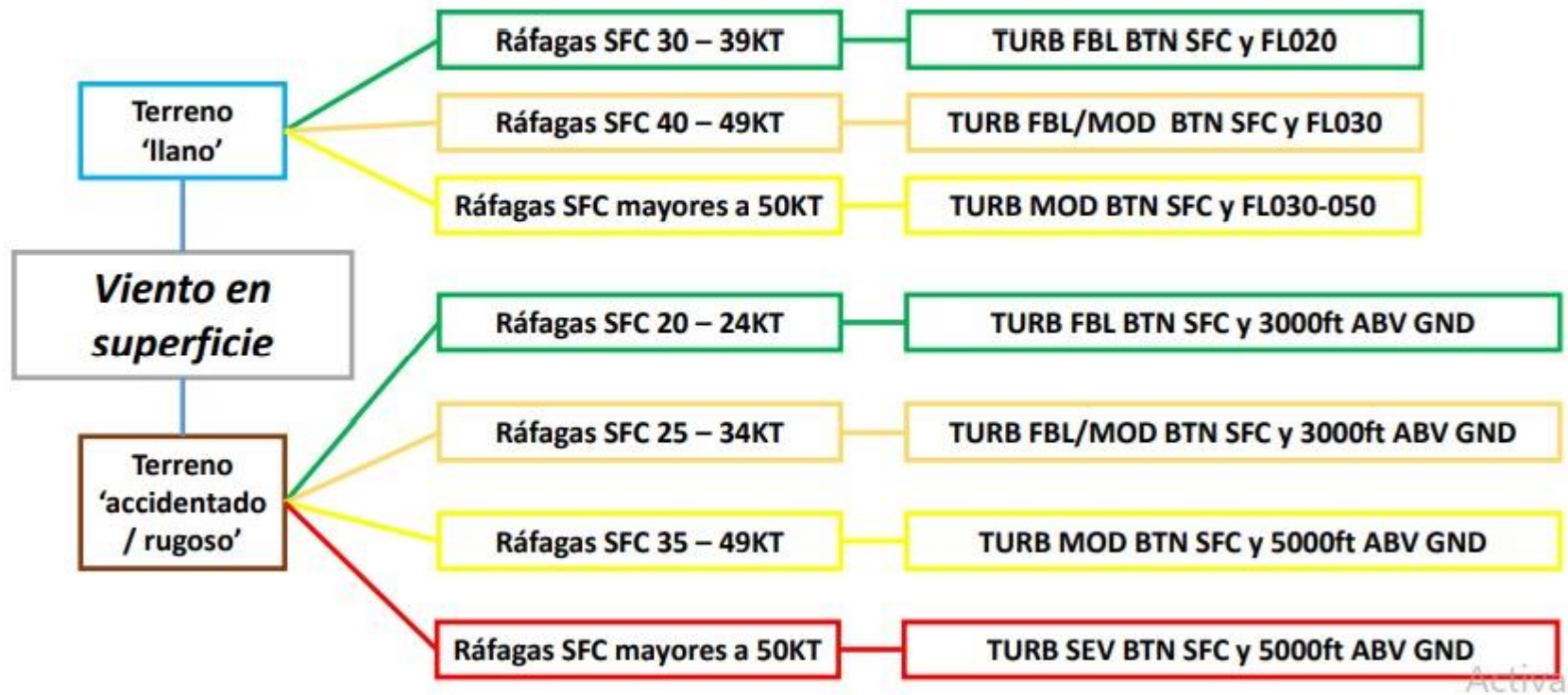
Si se eligen varios puntos, lo que se muestra es el corte de ruta siguiendo los puntos elegidos. Se supone que la coordenada tiempo avanza desde el origen hasta el destino con los valores inicial y final elegidos.

(2) La fecha que se muestra es la de referencia (actual), puede seleccionarse el número de horas desde esa referencia, tanto para el inicio como el final. Valores negativos indican antes de la referencia, los positivos horas después de la referencia.

(3) Gramet hace una descripción detallada del nivel de vuelo elegido. Se indica en la forma habitual de hectopiés (sin FL).

# MODELOS NUMÉRICOS DE PREDICCIÓN DISPONIBLES PARA LA EMISIÓN DE SIGMET PRONOSTICADOS

Turbulencia Mecánica: estimada a partir del viento en superficie

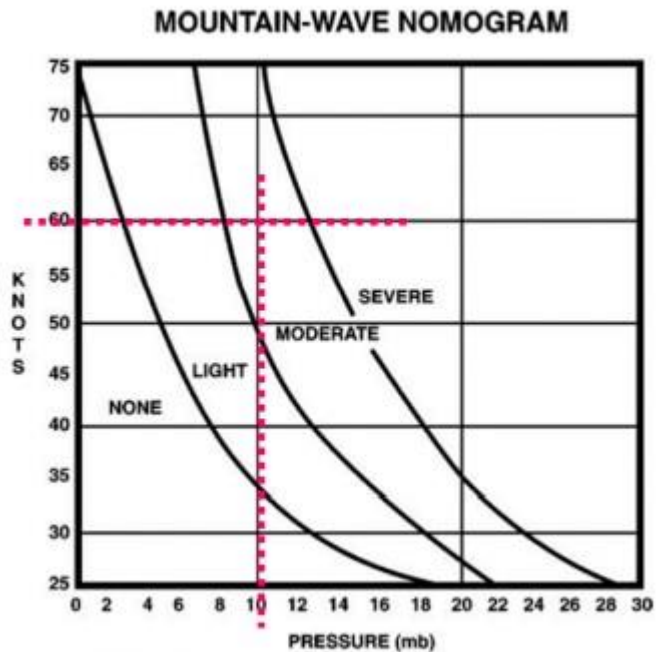


Activar

Fuente: Curso regional de técnicas para el pronóstico de turbulencia. Año 2020. Servicio Meteorológico Argentino.  
Autor: Nicolás Rivaben

# MODELOS NUMÉRICOS DE PREDICCIÓN DISPONIBLES PARA LA EMISIÓN DE SIGMET PRONOSTICADOS

## Turbulencia Relacionada con ondas de Montaña



Activa

- Nomograma utilizado por la NOAA para pronóstico de onda de montaña en las Rocallosas.
- Muy importante: análisis de imágenes satelitales para identificar patrones de onda de montaña

Fuente: Curso regional de técnicas para el pronóstico de turbulencia. Año 2020. Servicio Meteorológico Argentino.

Autor: Nicolás Rivaben

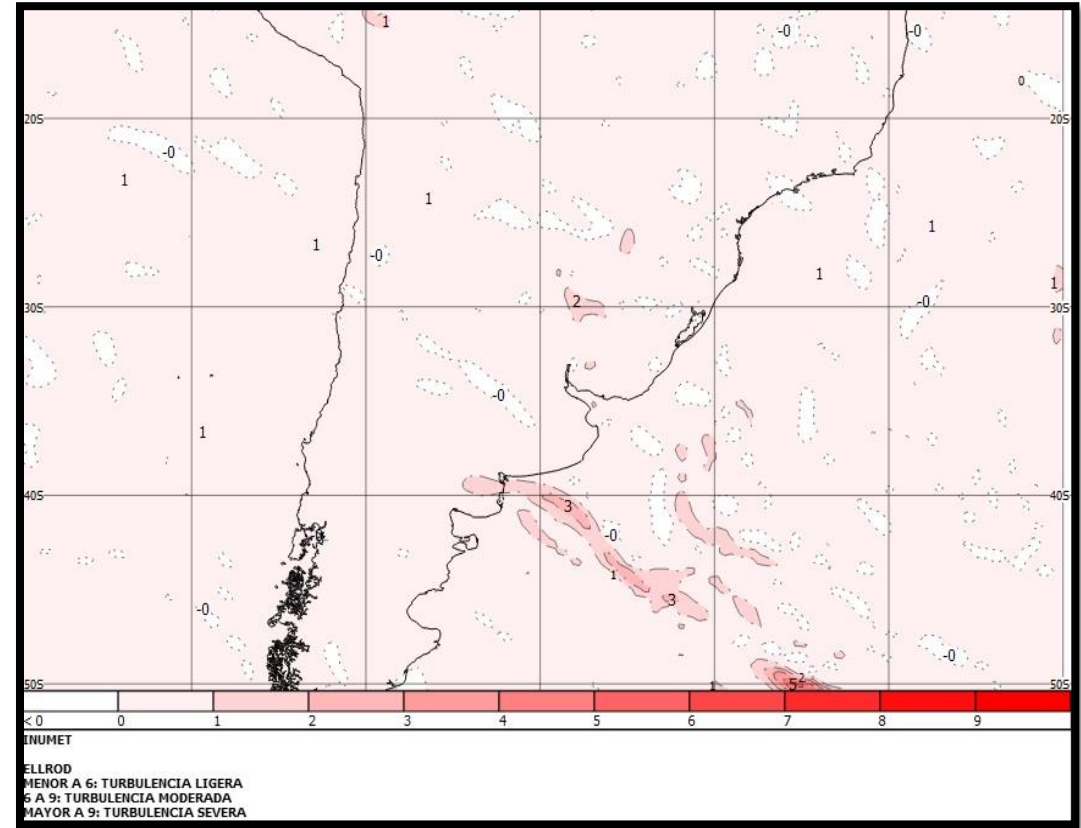
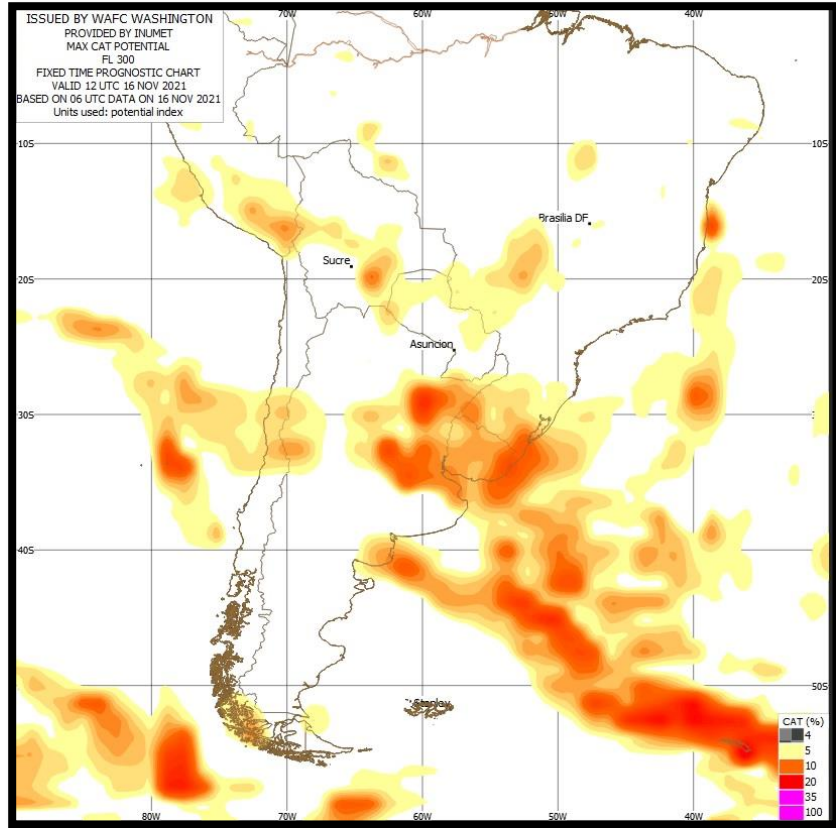
## A tener en cuenta para la expedición de SIGMET POR SEV TURB PRONOSTICADOS

- Siempre evaluar las condiciones iniciales del modelo numérico que esté utilizando.
- Comparar con datos de imágenes satelitales.
- Datos de sondeos si hay disponibles.
- Datos AMDAR, si hay disponibles.
- Información AIREP, si hay disponible.
- Mantener la vigilancia continua en la FIR.



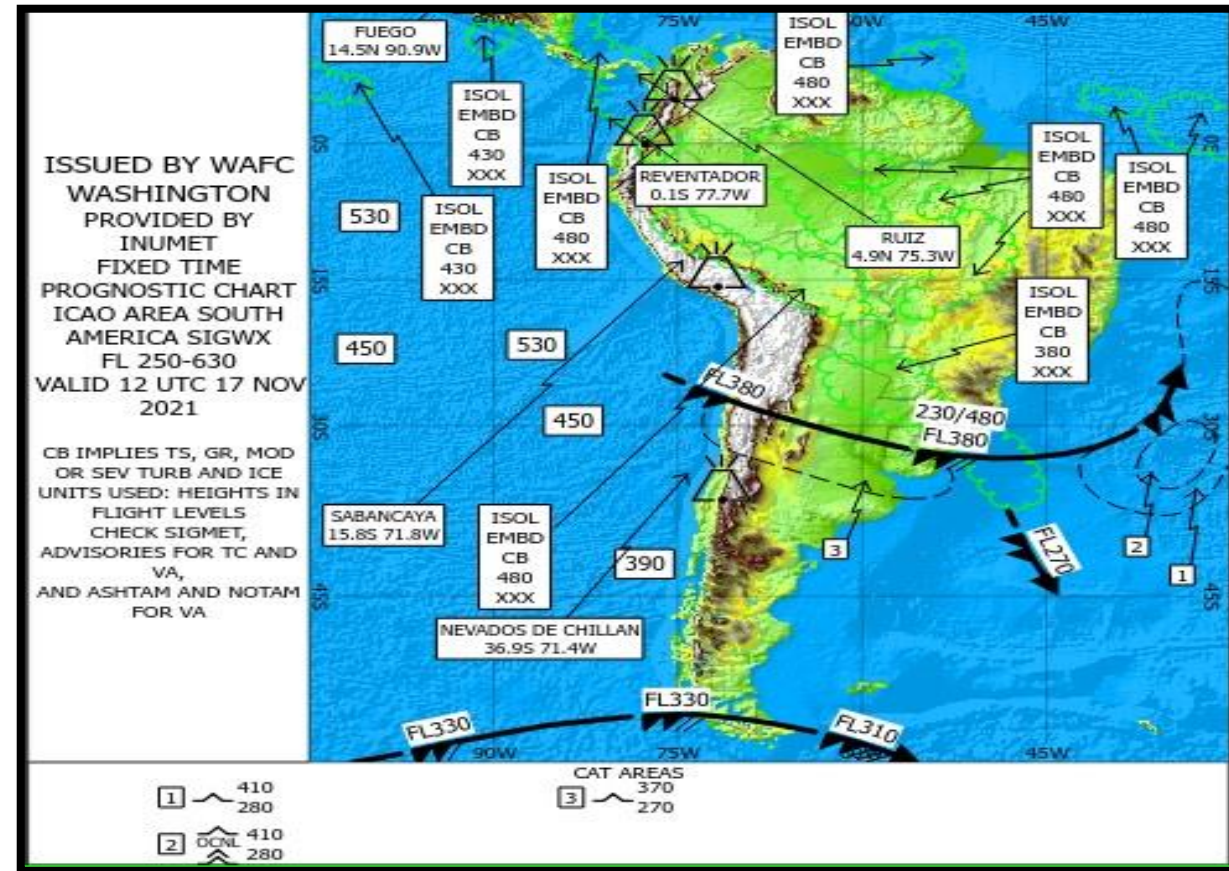
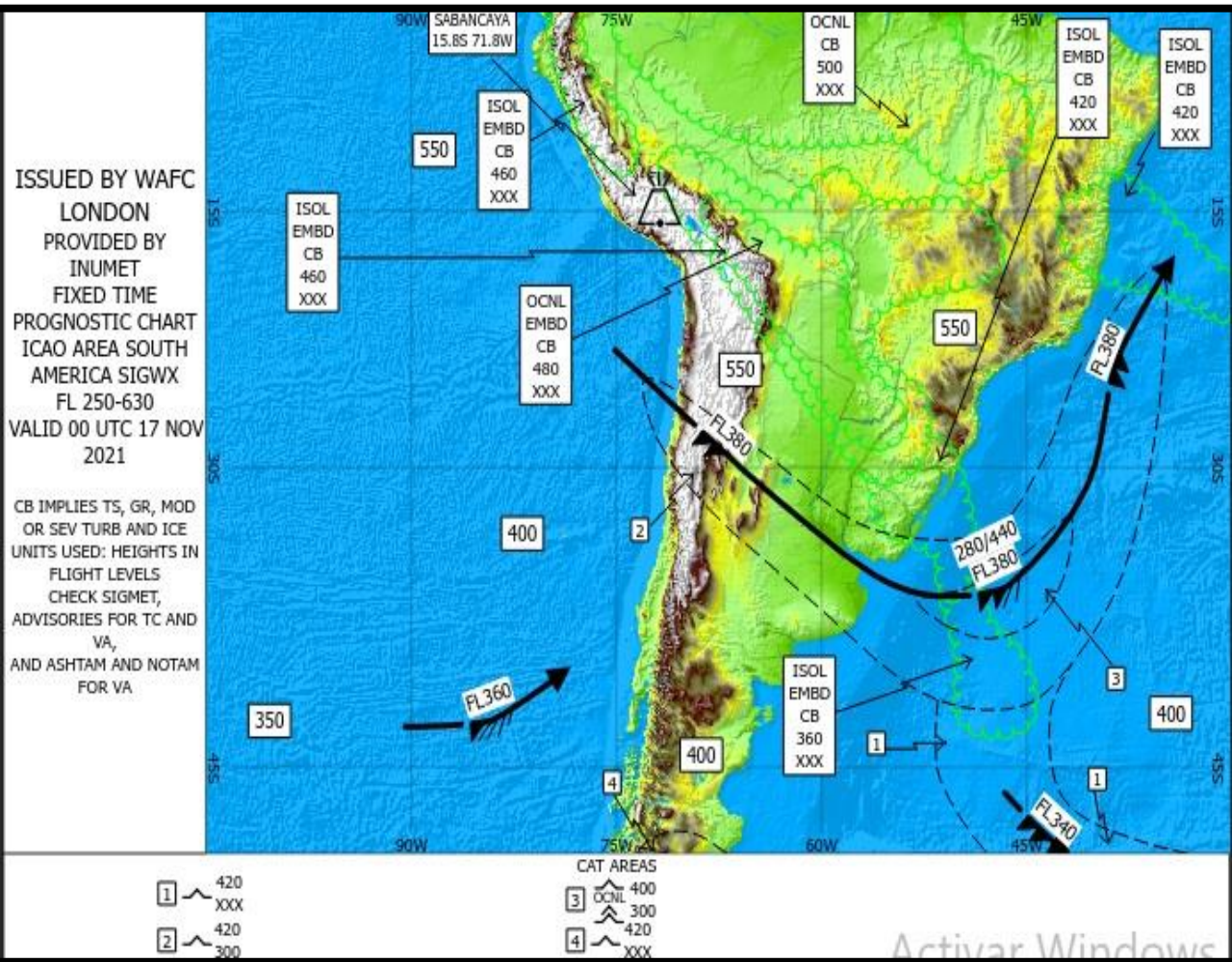
# MODELOS NUMÉRICOS DE PREDICCIÓN DISPONIBLES PARA LA EMISIÓN DE SIGMET PRONOSTICADOS

## PRODUCTOS UTILIZADOS EN LA OVM-OMA-SUMU



# MODELOS NUMÉRICOS DE PREDICCIÓN DISPONIBLES PARA LA EMISIÓN DE SIGMET PRONOSTICADOS

## Productos WAFS-London y Washington utilizados en la OVM-OMA-SUMU



MODELOS NUMÉRICOS DE PREDICCIÓN DISPONIBLES  
PARA LA EMISIÓN DE SIGMET PRONOSTICADOS

A laptop screen displaying a blue sky with white clouds. The word "ENGELAMIENTO" is written in large, bold, black capital letters across the center of the screen.

**ENGELAMIENTO**

## Engelamiento

El engelamiento sobre una aeronave se define como el depósito de hielo sobre la misma que se produce cuando el agua líquida subfundida se congela al impactar con la aeronave.

Puede producirse dentro de nubes, dentro de bruma o niebla, y en el seno de la precipitación (lluvia engelante).

## EFFECTOS SOBRE LAS AERONAVES

El hielo se adhiere principalmente a los elementos expuestos al viento relativo, y a aquellas partes que sobresalen del avión, pudiendo dar lugar a:

- Alteraciones en las propiedades aerodinámicas de la aeronave en vuelo (fuerza de ascenso y rozamiento).
- Reducción de la visibilidad.
- Interferencias en las ondas de radio.
- Errores en los instrumentos.
- Aumento del peso de la aeronave.
- Pérdida de potencia de los sistemas de propulsión. Se reduce su eficiencia y pueden llegar a pararse o ser destruido a causa de trozos de hielo.
- Vibraciones que provocan fatiga estructural.

## ¿Qué debo analizar para pronosticar ENGELAMIENTO?

Los factores meteorológicos que van a determinar el tipo de engelamiento y la intensidad de este son:

- Temperatura del aire
- Contenido en agua líquida de la nube (LWC)
- Tamaño de las gotas de agua líquida sobreenfriada
- Convección
- Sistemas frontales
- Turbulencia
- Montañas

# MODELOS NUMÉRICOS DE PREDICCIÓN DISPONIBLES PARA LA EMISIÓN DE SIGMET PRONOSTICADOS

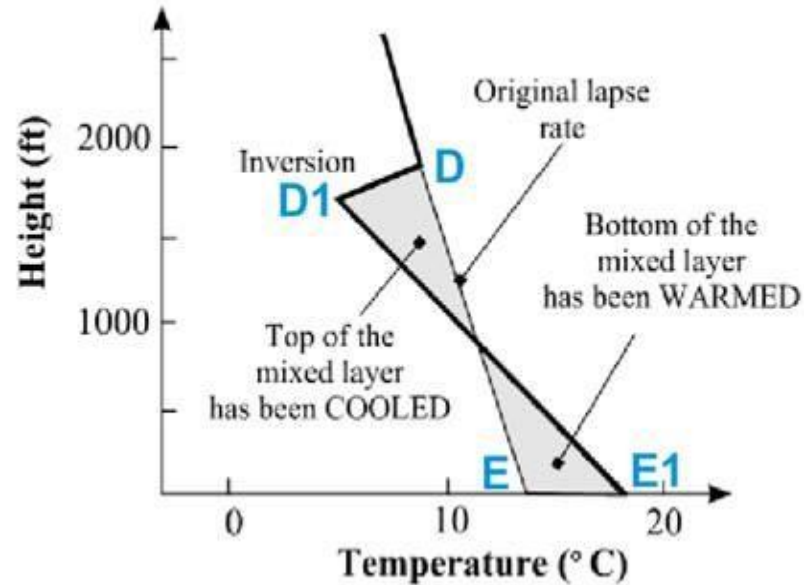
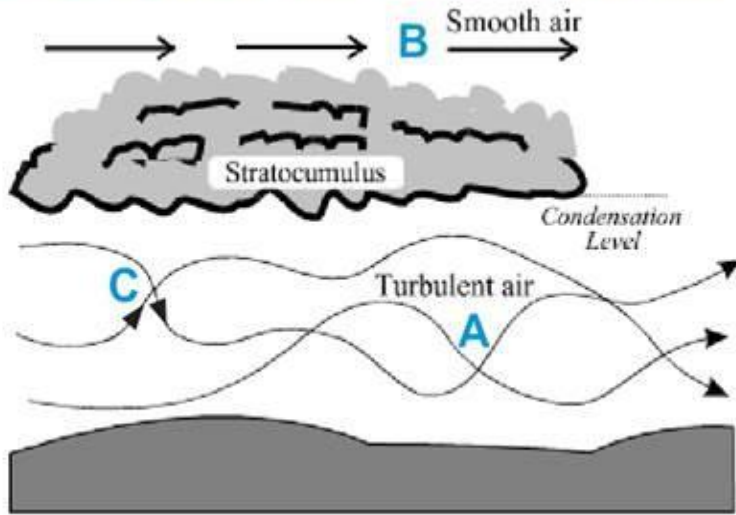
El engelamiento severo va asociado a las nubes cumulonimbus, pero los movimientos verticales en nubosidad de tipo frontal y orográfico también puede conducir a engelamiento severo.

**Table- 3. Probability and intensity of icing with different cloud types**

Cloud type	Probability of icing	Intensity of icing	Likely Icing Type	Water content gm-3
CB	High	SEV	All	0.2– 4.0
CU	MOD/High	MOD/SEV	Clear	0.2-0.6
NS	High	SEV	All	0.2-4.0
SC, AC	MOD	Rarely more than MOD*	Mixed	0.1– 0.5
AS	Low	MOD/light	Rime	0.1– 0.3
ST	Low	Light	Rime	0.1– 0.5

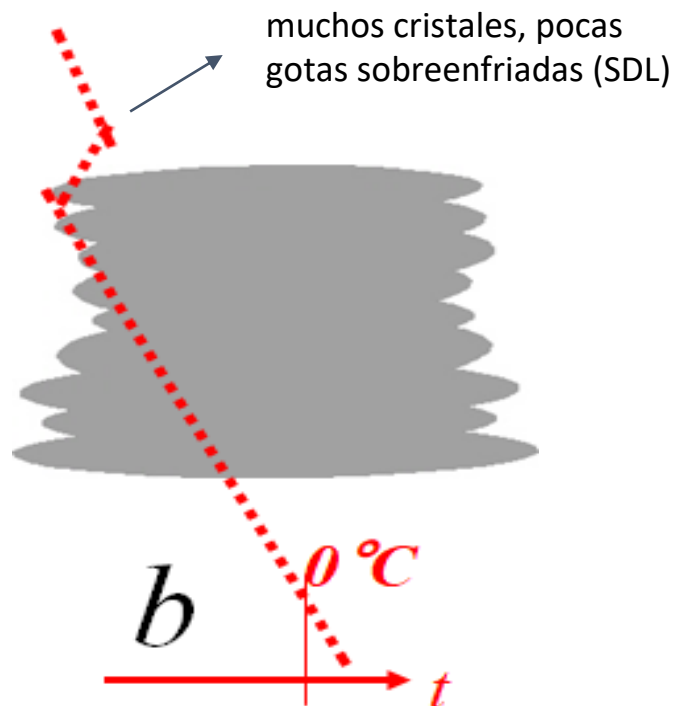
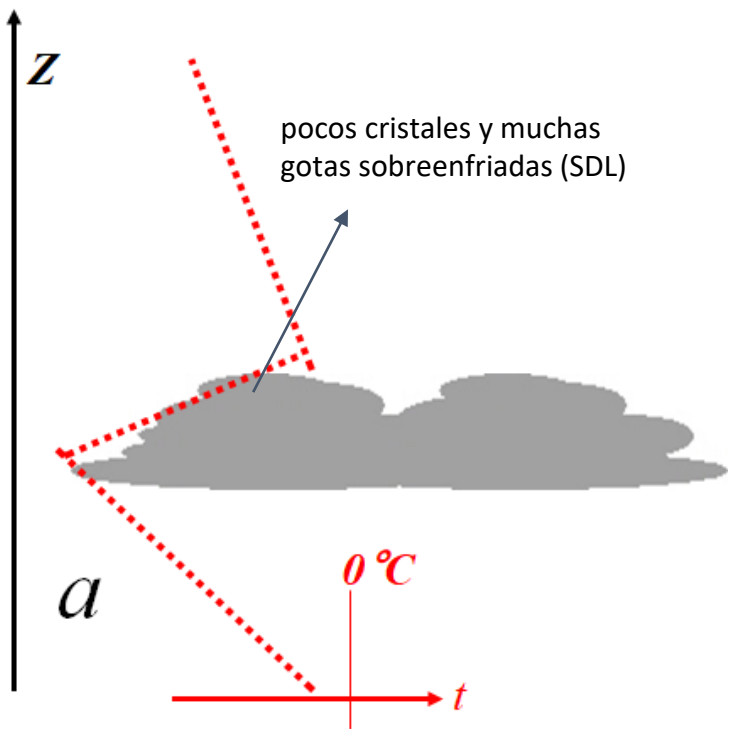
## Formación de Inversión por Turbulencia en la capa baja

### TURBULENCE INVERSION:



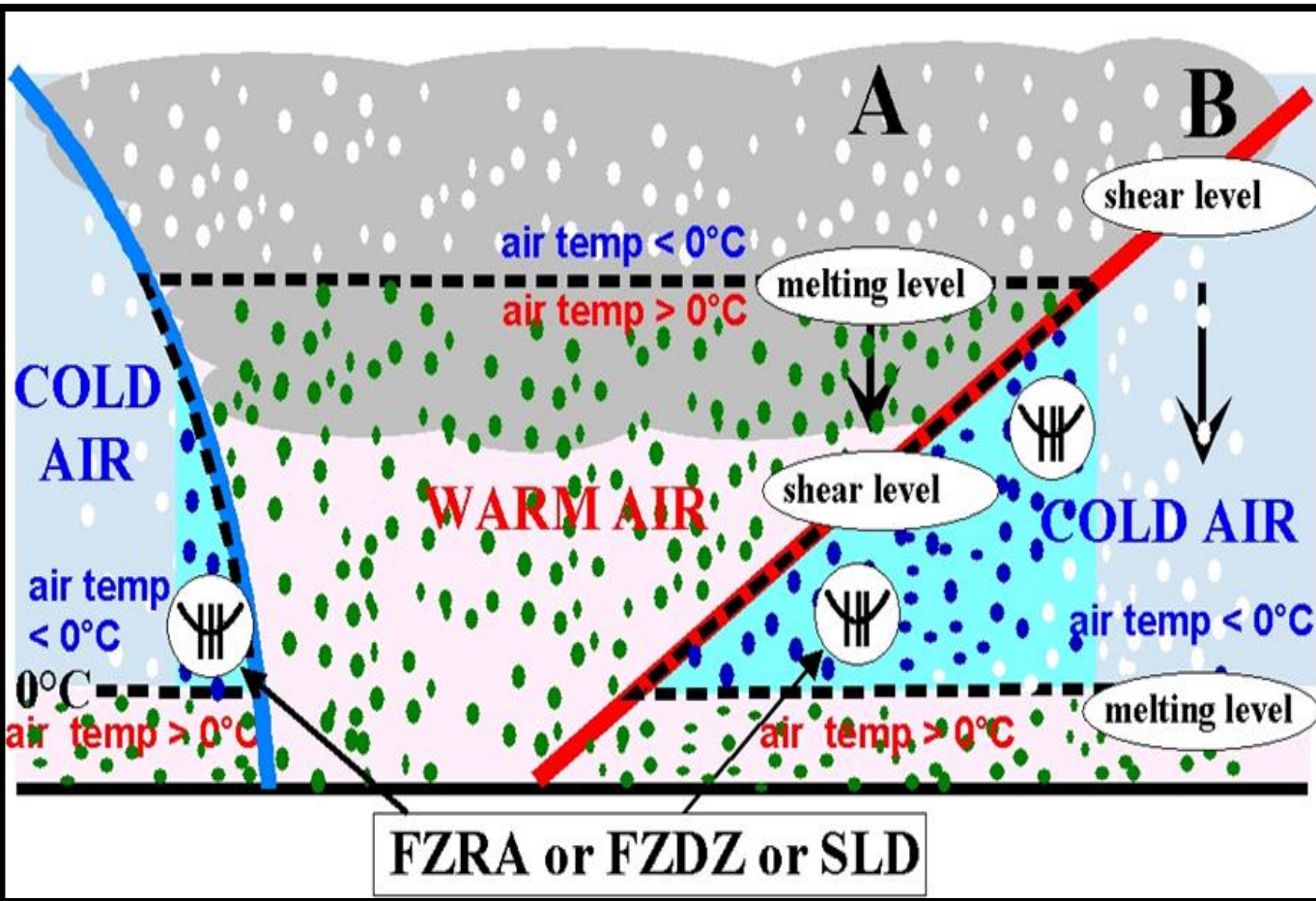
El transporte turbulento hace que el aire se caliente junto al suelo y se enfríe en el tope de la capa turbulenta, formándose la inversión y la capa de Sc.

# MODELOS NUMÉRICOS DE PREDICCIÓN DISPONIBLES PARA LA EMISIÓN DE SIGMET PRONOSTICADOS



**Formación de fuerte  
englamamiento potencial en el tope  
de una capa de Sc**

*El transporte vertical turbulento continuo de vapor de agua desde niveles bajos hasta niveles donde la temperatura favorece la condensación en SLD y donde la inversión bloquea el ascenso acumulando gran cantidad de SLD.*



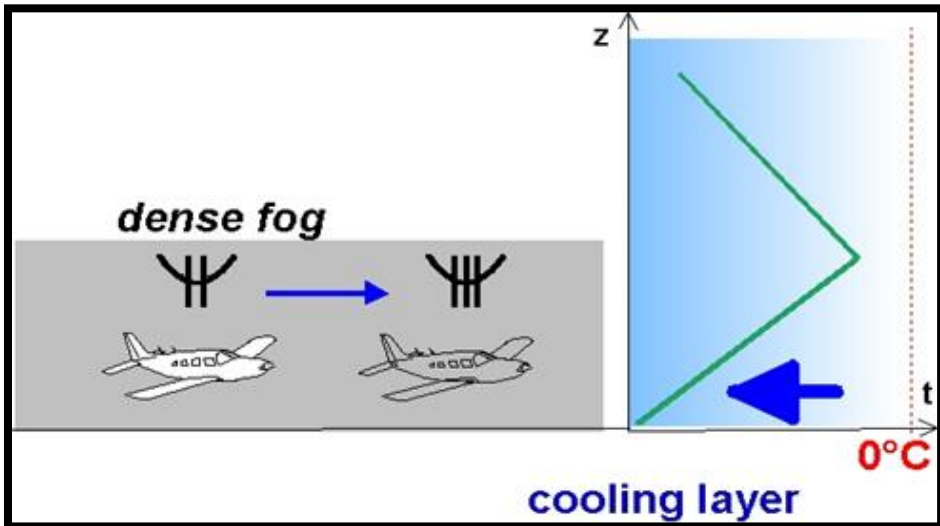
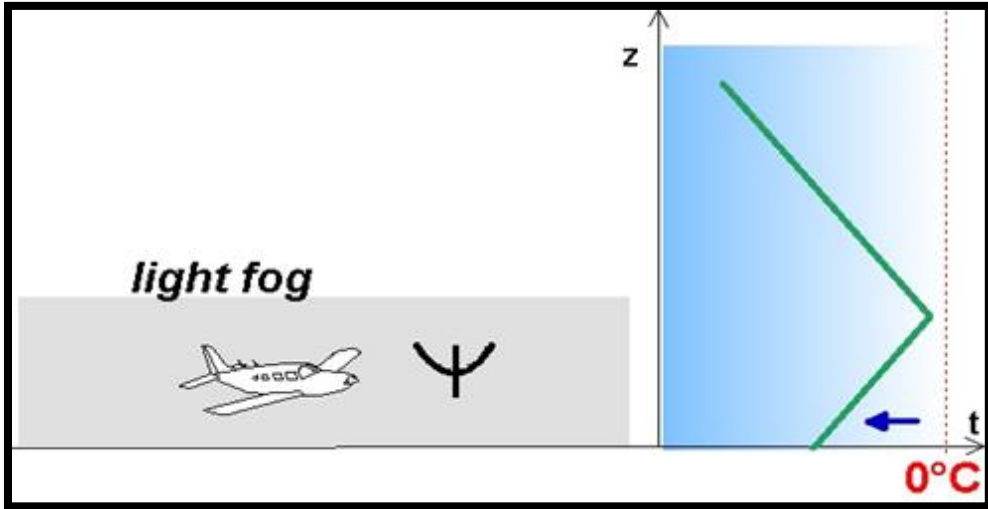
## SISTEMAS FRONTALES

Las áreas con fuerte potencial de engelamiento son habitualmente muy extensas por delante del frente cálido, en el núcleo de las oclusiones y en las proximidades de frentes fríos.

# MODELOS NUMÉRICOS DE PREDICCIÓN DISPONIBLES PARA LA EMISIÓN DE SIGMET PRONOSTICADOS

## NIEBLA ENGELANTE

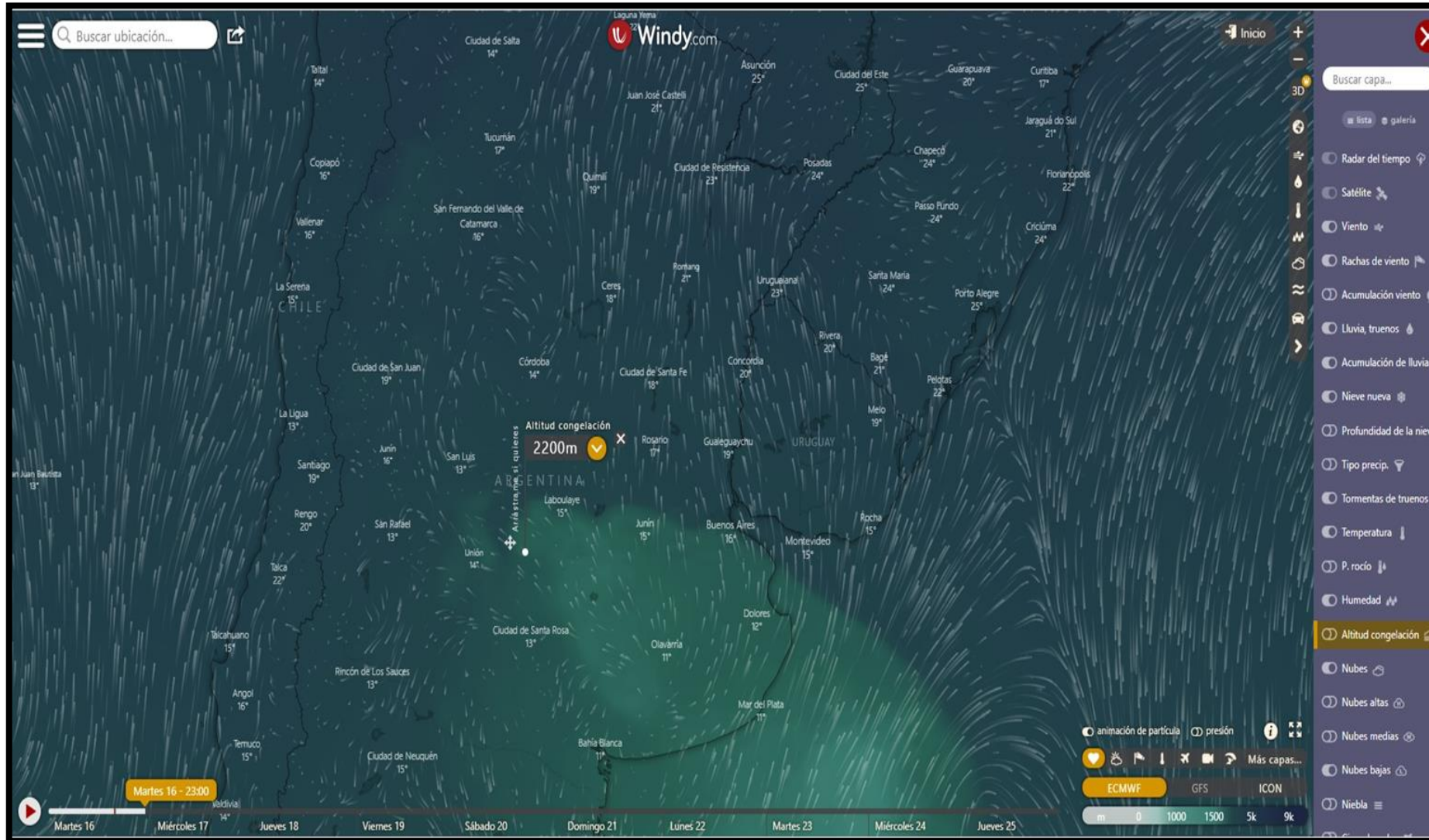
Si se espera un rápido enfriamiento de la capa de niebla, podemos esperar un empeoramiento de las condiciones de engelamiento por el aumento de LWC.



## A tener en cuenta para la expedición de SIGMET POR SEV ENGE Pronosticados

- Siempre evaluar las condiciones iniciales del modelo numérico que esté utilizando.
- Comparar con datos de imágenes satelitales.
- Aeronotificaciones (AIREP).
- Imágenes de satélite.
- Imágenes de radar.
- Producto Detección Englamiento.
- Sondeos observados.
- Altura de la iso0.
- Tipo de nubosidad pronosticada.

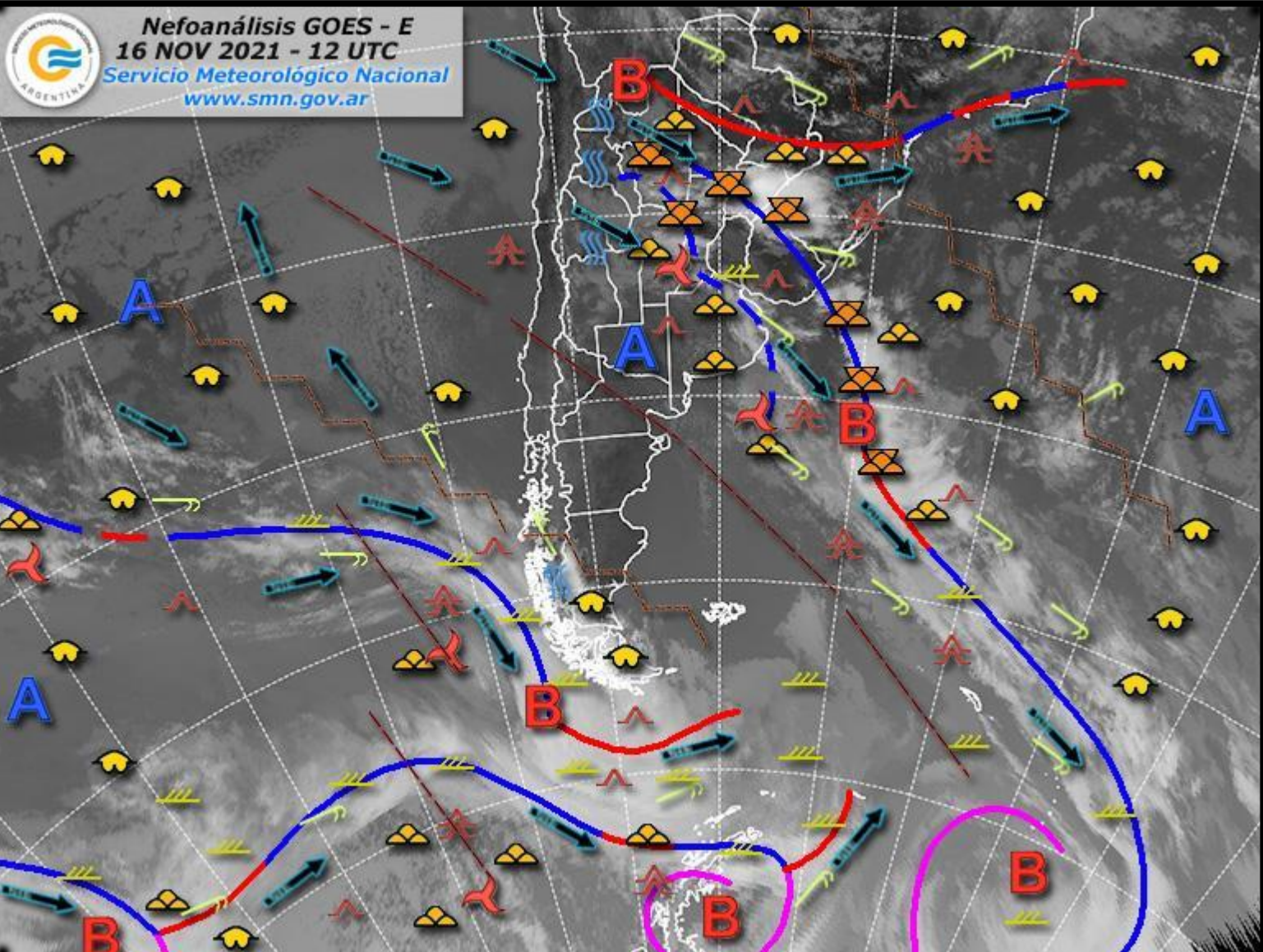
# MODELOS NUMÉRICOS DE PREDICCIÓN DISPONIBLES PARA LA EMISIÓN DE SIGMET PRONOSTICADOS








Altitud de congelación:  
GFS, ECMWF, ICON vía  
Windy

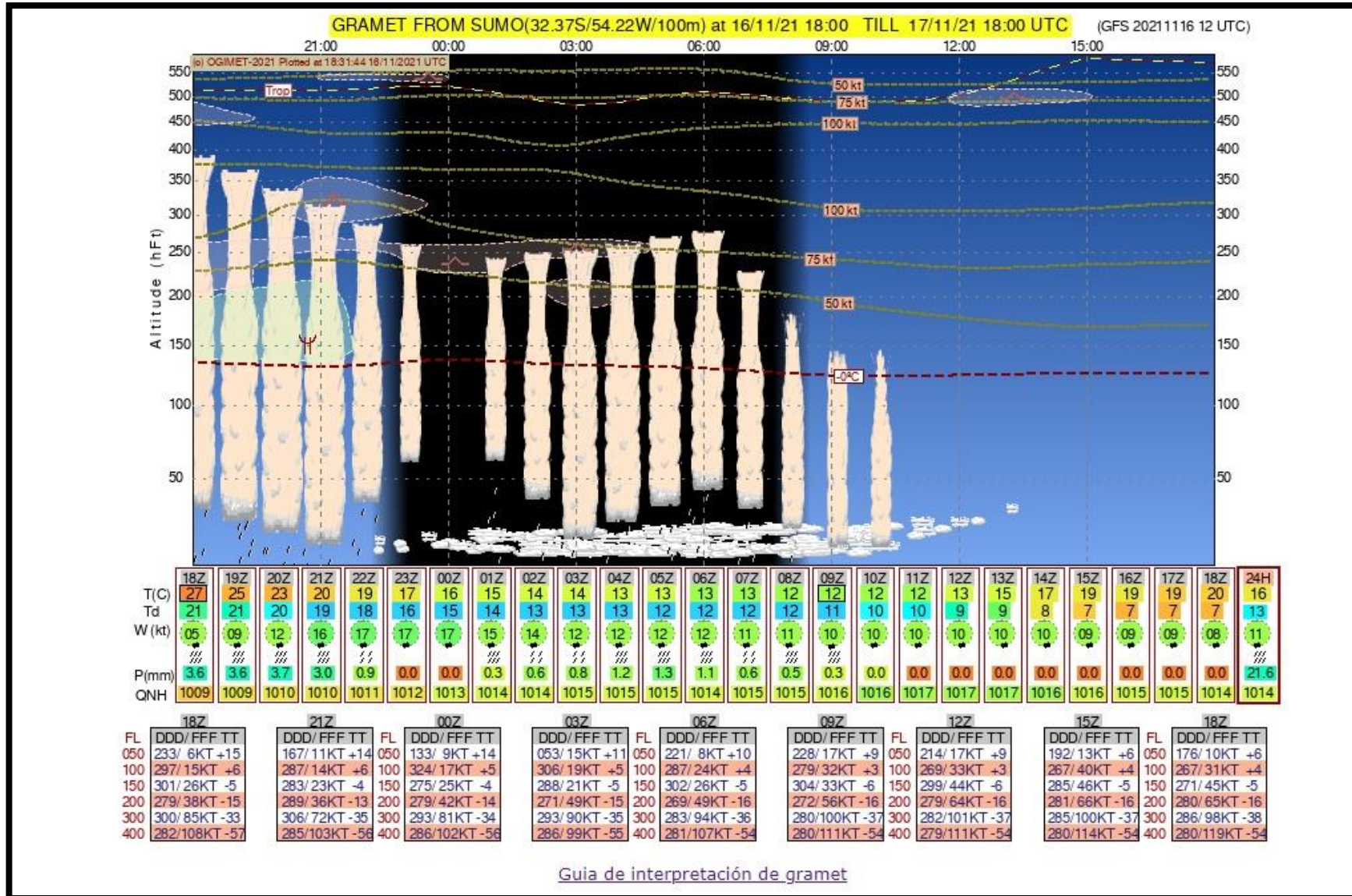
<https://www.windy.com/es/-Altitud-congelaci%C3%B3n-deg0?deg0,-32.639,-58.535,6,m:cGBaenG>

# MODELOS NUMÉRICOS DE PREDICCIÓN DISPONIBLES PARA LA EMISIÓN DE SIGMET PRONOSTICADOS



- |   |  |   |                            |
|---|--|---|----------------------------|
| <b>A</b>  | Alta Presión                           | -----   | Eje de Vaguada en Altura   |
| <b>B</b>  | Baja Presión                           | ~~~~~   | Eje de Cuña en Superficie  |
|  | Vórtice                                | ~~~~~   | Eje de Cuña en altura      |
|  | Estratos (St)                          |    | Corriente en Chorro (JTST) |
|  | Cúmulos                                |    | Vientos en 500 hPa         |
|  | Estratocúmulos                         |    | Vientos en 300/200 hPa     |
|  | Torrecúmulos/<br>Cumulonimbus (Tcu/Cb) |    | Onda de Montaña            |
|  | Cirros (Ci)                            |    | Turbulencia                |
| -----   | Eje de Vaguada en Superficie           |  | Turbulencia Fuerte         |

# MODELOS NUMÉRICOS DE PREDICCIÓN DISPONIBLES PARA LA EMISIÓN DE SIGMET PRONOSTICADOS

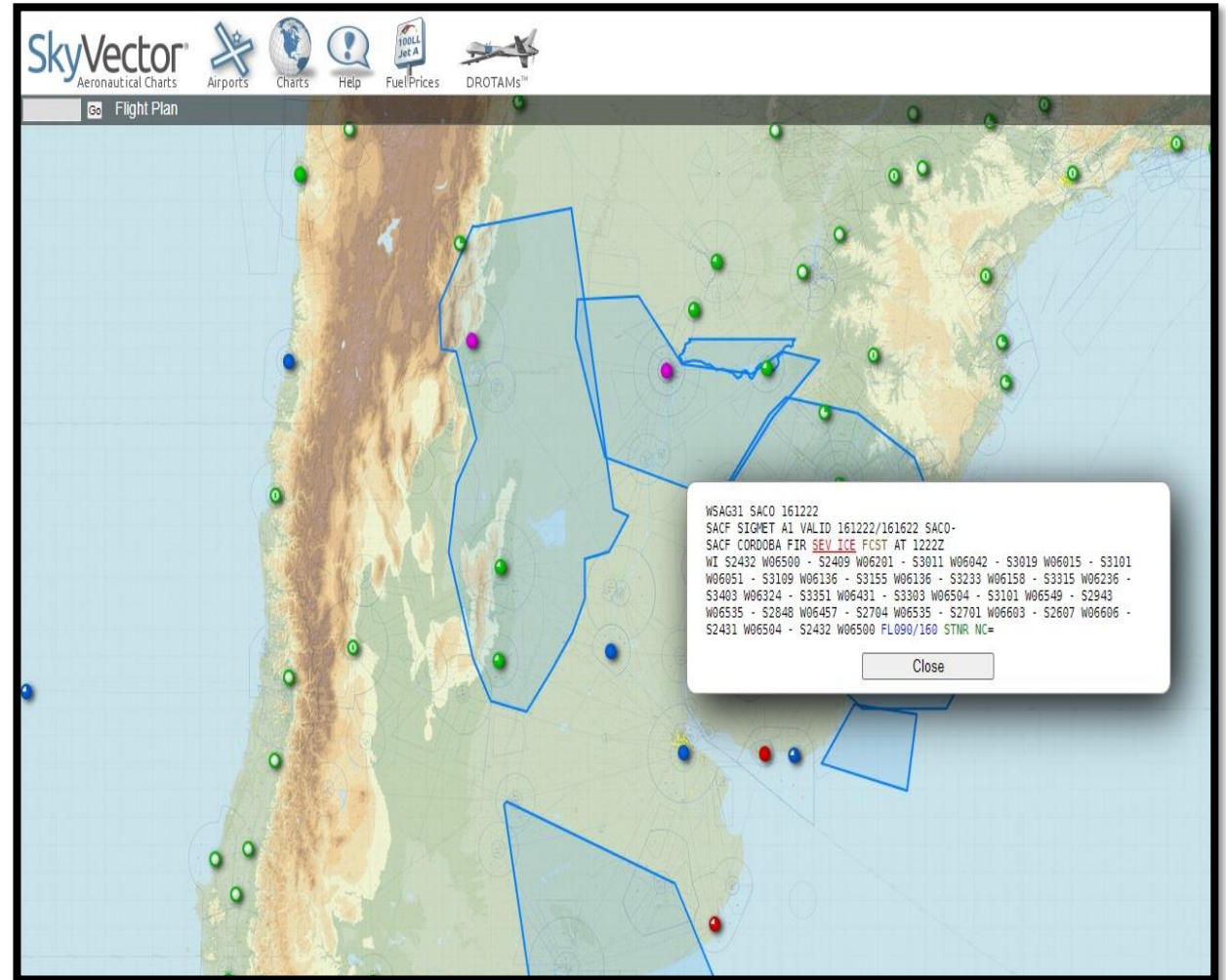
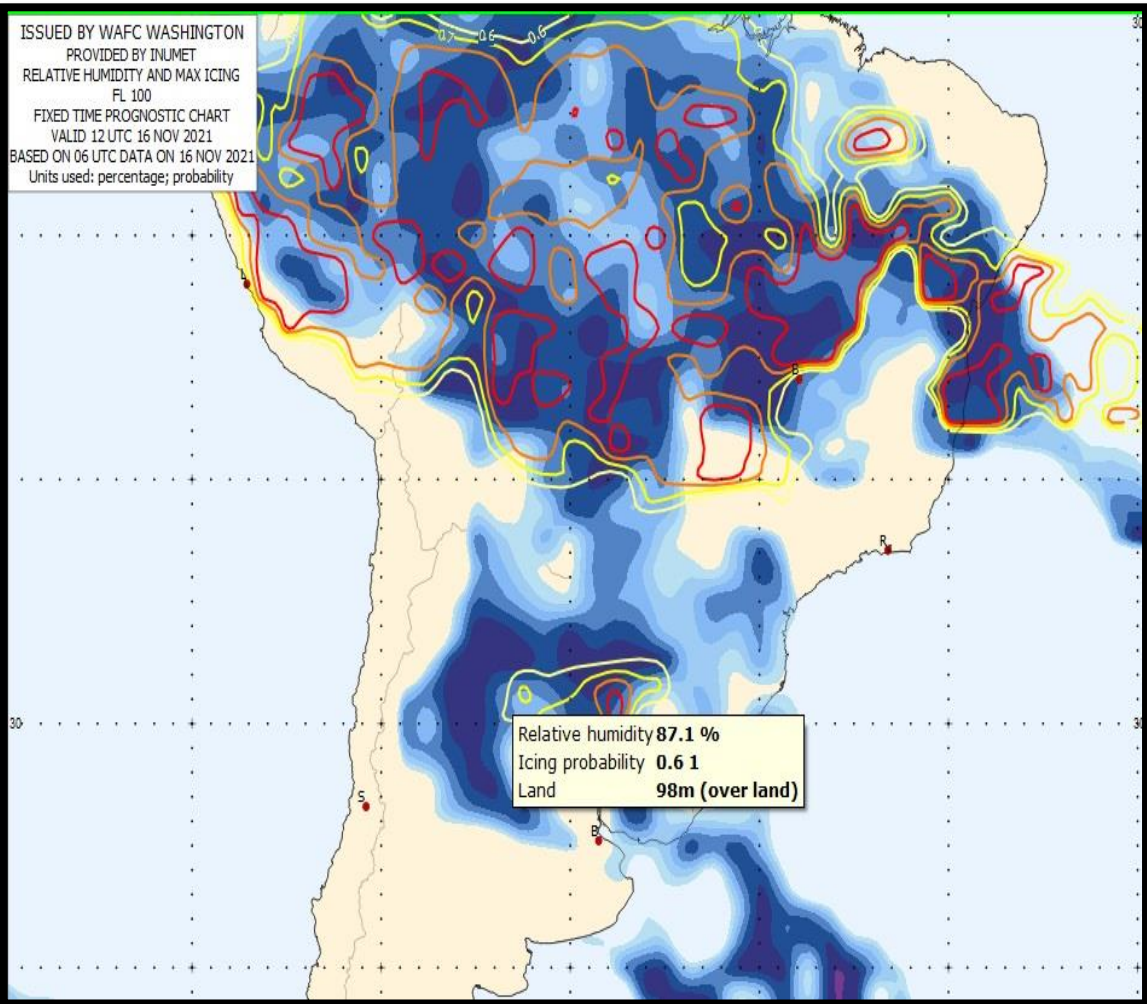


Guía de interpretación de gramet

GRAMET AÉREO- GFS- VÍA OGIMET

[https://www.ogimet.com/gramet\\_aero.phtml](https://www.ogimet.com/gramet_aero.phtml)

# MODELOS NUMÉRICOS DE PREDICCIÓN DISPONIBLES PARA LA EMISIÓN DE SIGMET PRONOSTICADOS



# MODELOS NUMÉRICOS DE PREDICCIÓN DISPONIBLES PARA LA EMISIÓN DE SIGMET PRONOSTICADOS

## **Para tener en cuenta:**

Los SIGMET pronosticados (FCST) son fundamentales para dar aviso acerca de condiciones meteorológicas adversas para las aeronaves en ruta, así como también para la planificación de vuelos, y está directamente relacionada con la seguridad operacional.

Siempre que se tengan las herramientas suficientes, y analizando el grado de confiabilidad de los modelos numéricos de predicción, es conveniente que ante determinadas condiciones emitir SIGMET FCST.

MUCHAS  
GRACIAS



Natali Bentancor  
[n.bentancor@inumet.gub.uy](mailto:n.bentancor@inumet.gub.uy)

Néstor Santayana  
[n.santayana@inumet.gub.uy](mailto:n.santayana@inumet.gub.uy)