

Tormentas severas sobre aeropuertos. “*Lecciones no aprendidas*”.

*Por Raul Rodano*¹



¹ El autor es meteorólogo, ex jefe de meteorología de Aerolíneas Argentinas.

Índice

1-Efectos de tormentas severas sobre operaciones en tierra

2-Sistemas Convectivos de Mesoescala (MCS)

3-Detección y previsión de MCS. Emisión de alertas.

4-Dos casos de análisis (#1 y #2)

5-Conclusiones y recomendaciones.

1- Efectos de tormentas severas sobre operaciones en tierra.

Los efectos de actividad convectiva severa sobre el terreno, principalmente en forma de tornados o microburst, ocasionan daños catastróficos en instalaciones e infraestructuras.

El viento destructivo generalmente comienza a partir de 50 nudos o 93 km/h.

En este umbral, es lo suficientemente fuerte como para romper ramas grandes de árboles, arrancar de raíz árboles poco profundos, derribar líneas eléctricas y causar daños estructurales menores en techos y ventanas.

Particularmente en aeropuertos producen:

- Desplazamientos de aeronaves estacionadas
- Desplazamientos de vehículos y objetos en área de rampa
- Destrucción de Infraestructuras
- Inundación de los sistemas de drenaje
- Inundaciones pueden dificultar el acceso por medios terrestres
- Demoras y cancelaciones afectando costos operacionales

2- Sistemas Convectivos de Mesoescala (MCS)

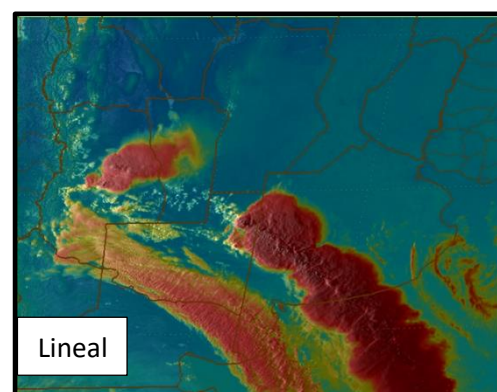
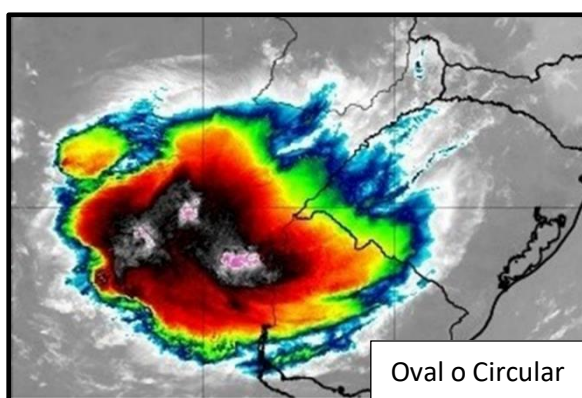
La actividad de tormentas severas en nuestro territorio está principalmente asociada a configuraciones complejas de células de tormenta.

A estas agrupaciones de nubes convectivas en distintas etapas de desarrollo se las denomina **Sistemas Convectivos de Mesoescala** (MCS por siglas en inglés).

Características:

- Un complejo de tormentas eléctricas organizadas en forma compacta
- Persistencia de varias horas o más.
- Pueden tener forma oval o lineal
- Mayor frecuencia durante primavera / verano
- Máxima actividad durante la tarde / noche

Tipos de MCS:



Sus Principales riesgos son:

- Inundaciones repentinas (flash flooding)

- Viento destructivo organizado en línea (derechos²), más de 60 kt
- Abarcan franjas de destrucción de decenas a cientos de km. de ancho
- Turbulencias severas por sucesivas descendentes (microburst³)
- Duración: muchas horas y grandes desplazamientos.
- Producen destrucción por viento sostenido y ráfagas superiores a 90 nudos (características de huracán)

MICROBURST:



- Una descendente violenta impactando contra el suelo y expandiéndose horizontalmente hasta 4 km o menos.

- A pesar de su pequeña escala horizontal, un microburst intenso puede inducir vientos destructivos mayores de 80kt

*Extraído de Forecasting
Microbursts & Downbursts
by Fernando Caracena
NOAA/Forecast Systems
Laboratory*

*Secuencia de la expansión
de un frente de ráfaga
originado por un microburst.
La descendente fría
impactando contra el suelo
se derrama horizontalmente,
su colisión con el aire cálido*

² Derecho's o Straight Line Winds: Violento viento en superficie, no rotativo, extendidos en línea por cientos de kilómetros.

³ Microburst: descendente violenta desde una tormenta, de corta vida y muy localizada

El ciclo de vida de un microburst desde su inicio desde la base de nube hasta su disipación tiene una duración promedio de 15 minutos.

Diferentes patrones de destrucción entre microburst (izq.) y tornados (der.)



Overshooting Top`s

Se considera Overshooting Top's (OT's) al desarrollo de torres convectivas por encima de la estructura de yunque.

Esto puede ocurrir cuando las corrientes verticales ascendentes llegan a un nivel de inversión de la temperatura, en sistemas convectivos de mesoescala (MCS) este nivel suele ser la tropopausa.



Estas estructuras convectivas son producto de las ascendentes más intensas, asociadas a niveles de alta reflectividad radar (> 40 dbZ – rojo o magenta en el radar de abordo).

La presencia de OT's en imágenes satelitales determinan los núcleos de mayor actividad convectiva. Normalmente las ascendentes “estándar” de nubes de tormenta ascienden hasta la tropopausa⁴.

Algunas células que integran el MCS desarrollan ascendentes muy intensas que superan el límite natural de la tropopausa (OT's), penetrando en la baja estratosfera en torres convectivas muy inestables y de corta duración.

Estas estructuras convectivas son producto de las ascendentes más intensas, asociadas a niveles de alta reflectividad (*> 40 dbZ – rojo o magenta en el radar de bordo*).

3- Detección y previsión de MCS. Emisión de alertas.

Dada la importancia de los OT's como generadores de eventos violentos en superficie (microburst, tornados, granizo, etc.), resulta esencial para el pronóstico su detección temprana.

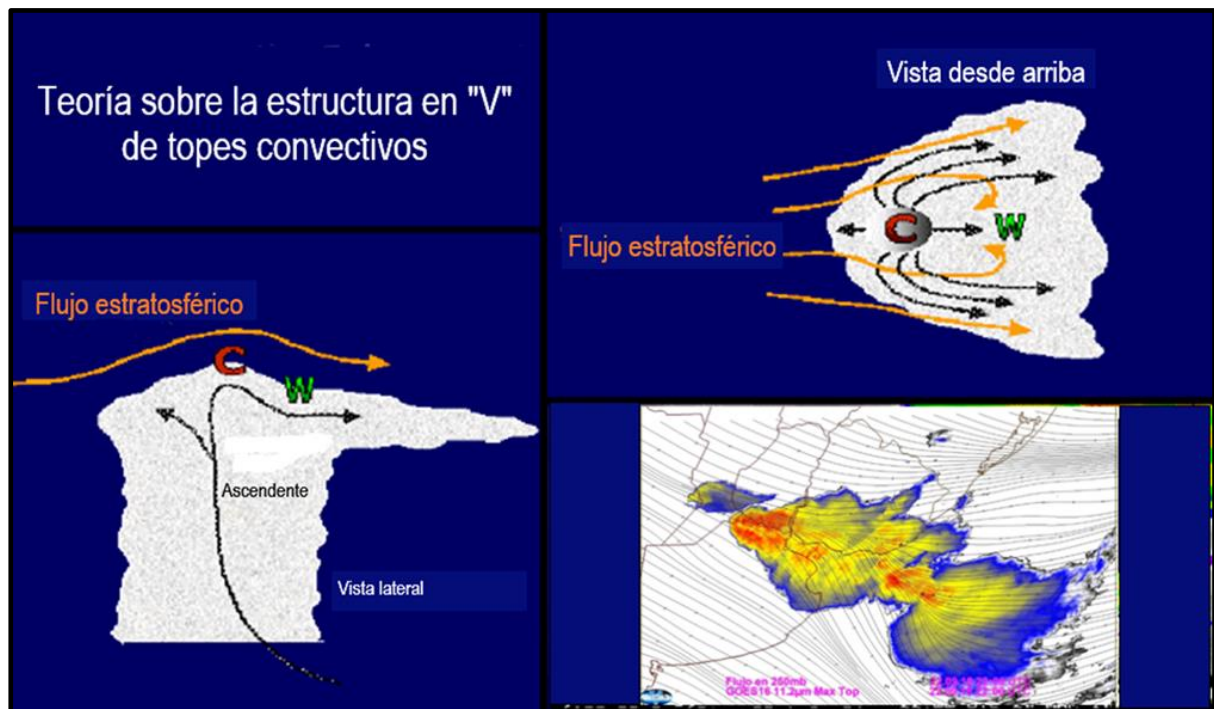
En promedio, la aparición de OT en imagen satelital y su manifestación en superficie insume un lapso de 30 minutos, anticipo esencial para la emisión de alertas.

El uso combinado de imagen satelital (canal infrarrojo 10.3 μm) junto con el modelo de predicción GFS 0.25 grados, permite determinar la presencia o disipación de OT a intervalos de 10 minutos, constituyendo una herramienta importante para el aviso a muy corto plazo de eventos destructivos.

⁴ Tropopausa: capa de transición que separa la troposfera de la estratosfera, donde la temperatura deja de disminuir con la altitud manteniéndose estable o en aumento.

Efectos de la modificación del flujo a nivel de los yunques convectivos

Interacción con Overshooting Top's



La presencia de torres convectivas por sobre el nivel de los yunques de cumulonimbos (Cb) actúan como sólidos respecto del viento en esos niveles, produciendo la deflexión del flujo según se ve en la figura, esto configura la clásica estructura en "V" o "V shape".

Esta perturbación violenta de la circulación genera "viento abajo" de los toques (a sotavento), turbulencias extremas en esos niveles.

Dado que los OT's se proyectan hacia arriba por impulso inercial, rápidamente colapsan iniciando descendentes muy intensas que en pocos minutos se manifiestan en superficie con fenómenos destructivos.

4-Dos casos de análisis (#1 y #2)

Caso en estudio #1

09 DIC 2014

Tormenta severa sobre Aeroparque J. Newbery (SABE)

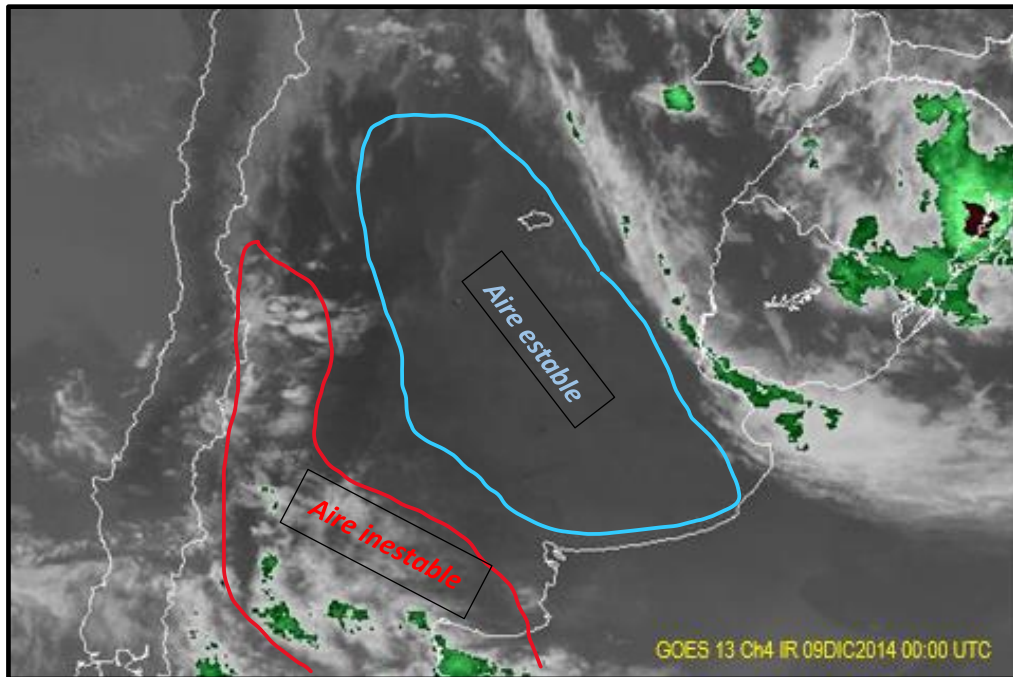
-Importancia de la detección temprana y evolución prevista a los fines de la Seguridad Operacional

En este estudio se presenta a modo de ejemplo el procedimiento seguido en su oportunidad por la Oficina de Meteorología del Centro de Control Operacional (MET CCO) de Aerolíneas Argentinas

De las consideraciones anteriores se desprende la importancia, a los fines operativos y de seguridad, de contar con metodologías eficaces para la predicción de fenómenos severos.

En este caso se utilizan métodos desarrollados en la Oficina de Meteorología del Centro de Control Operacional (MET CCO) de Aerolíneas Argentinas, utilizando las tecnologías disponibles utilizables en tiempo operativo.

El 9 de diciembre de 2014 presentaba un escenario típico de aire muy inestable sobre el norte del país, y si bien la zona central mantenía condiciones estables, se preveía el avance hacia el NE de sistemas convectivos que se estaban formando sobre norte

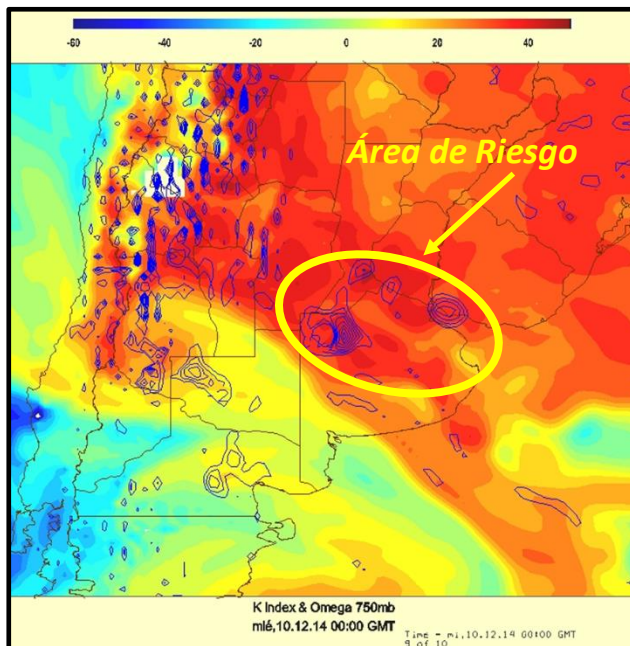


de Patagonia.

Imagen satelital GOES13 **24 horas** previas al evento

La proyección del modelo GFS 0.25 grados hacia las horas siguientes anticipaba la desestabilización de la zona central y el avance hacia el NE de la actividad convectiva en desarrollo en el norte de Patagonia.

Esta detección temprana del desarrollo de actividad severa en 24 horas permite anticipar un **Área de Riesgo** sobre el corredor ROS/AEP/ EZE, sobre la cual se inicia un monitoreo continuo de todos los datos disponibles.



Carta compuesta de índice K y corrientes ascendentes para el 10DIC2014 a las 00:00 UTC

Las zonas de índices superiores a 30 (hacia el rojo oscuro) coincidentes con zonas de movimientos verticales ascendentes (contornos azules) son favorables para el desarrollo de tormentas.

Se da aviso, de acuerdo a las normativas internas, a las 23:00 hora

local del 08DIC2014 (**T-25hs**), avisando la posibilidad de tormenta eléctrica y lluvia hacia fines de la tarde del día 09DIC2014 sobre EZE, AEP y ROS.

Hacia la mañana del día 09/12/14, como resultado del seguimiento cruzando datos satelitales con predicción del modelo, MET CCO emite aviso de alerta a las 14:30 UTC (**T-12hs**) según procedimiento establecido:

Elevada inestabilidad favorece a partir de las 15/16utc la ocurrencia de tormentas eléctricas, débiles y aisladas, acompañadas de chaparrones intermitentes, en el tma baires. Las condiciones presentarán un desmejoramiento progresivo a partir de dicho horario, y desde las 2100utc se estima que con el avance desde el sector sur, de un sistema frontal, se desarrollen tormentas eléctricas y lluvias generalizadas en la zona, que persistirán, con algún mejoramiento temporario,

hasta las 09:00utc del día de mañana 10dic14.

Se actualizará por este medio, en ocasión de cambios significativos a lo expuesto en el párrafo anterior.

G. Damiani / p. Stsaszkiw

METEOROLOGÍA CCO

GERENCIA CONTROL OPERACIONAL

Continuando con el proceso de monitoreo de la situación meteorológica según datos disponibles, los cuales mostraban un incremento en la severidad del fenómeno, más tarde se emite una actualización para el muy corto plazo (**T-1h**)

Fecha: 09/12/2014 20:18

Asunto: aviso de tormentas tma baires

Según lo informado oportunamente en el mensaje anterior. se espera que desde las 23:30utc se desarrollen tormentas eléctricas en el tma baires con chaparrones intensos, ráfagas de viento max. de aprox. 40/45kt. no se descarta la probabilidad de granizo.

Chiavetta A. / Damiani G. Meteorología CCO Gerencia Control Operacional

Verificación del pronóstico.

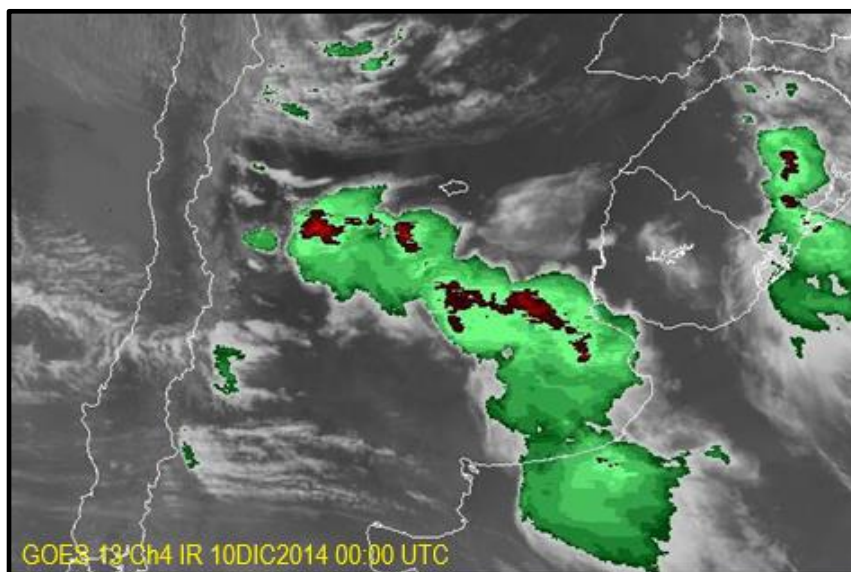
El 10DIC2014 a 00:00 UTC (**T-00hs**) irrumpe el sistema convectivo (MCS) sobre el TMA BAIREES con actividad severa, registrándose las siguientes condiciones:

Condiciones sobre AEP a las 00:35 UTC: viento WNW 36 nudos con ráfagas hasta 63 nudos, visibilidad 500m. Tormenta con lluvia fuerte.

Condiciones sobre EZE a las 00:25 UTC: viento WSW 33 nudos con ráfagas hasta 52 nudos, visibilidad 200m. Tormenta con lluvia moderada

El paso sobre el TMA Baires de un sistema de línea de inestabilidad, con presencia de “Bow Echo”, característica ésta que genera viento intenso con ráfagas destructivas, afectó las operaciones de salida y llegada de los siguientes vuelos:

- AU 2683 RGL/AEP ALT1 RES, ALT2 EZE: desviado a MVD
- AU 2425 MDZ/AEP ALT1 RES, ALT2 NQN: desviado a MVD
- AR 1399 MVD/AEP ALT1 MVD: desviado a MVD
- AR 1411 MDZ/AEP ALT1 RES, ALT2 COR: desviado a MVD
- AR 1377 CCS/EZE ALT1 MVD: desviado a MVD
- AR 1899 FTE/AEP ALT1 RES, ALT2 EZE: desviado a MVD
- AU 2590 AEP/COR ALT1 RES, ALT2 EZE: desviado a RES
- AR 1477 TUC/AEP ALT1 RES, ALT2 EZE: desviado a RES
- AR 1659 NQN/AEP ALT1 RES, ALT2 EZE: desviado a EZE
- AU 2759 PSS/AEP ALT1 RES, ALT2 EZE: desviado a ROS
- AR 1257 GIG/AEP ALT1 MVD, ALT2 EZE: desviado a MVD



Caso en estudio #2

17 DIC 2023

Tormenta severa sobre Aeroparque J. Newbery (SABE)

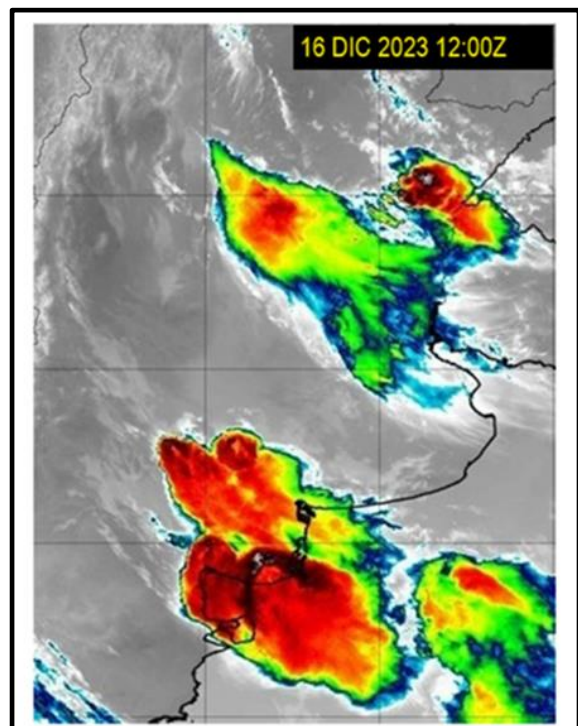
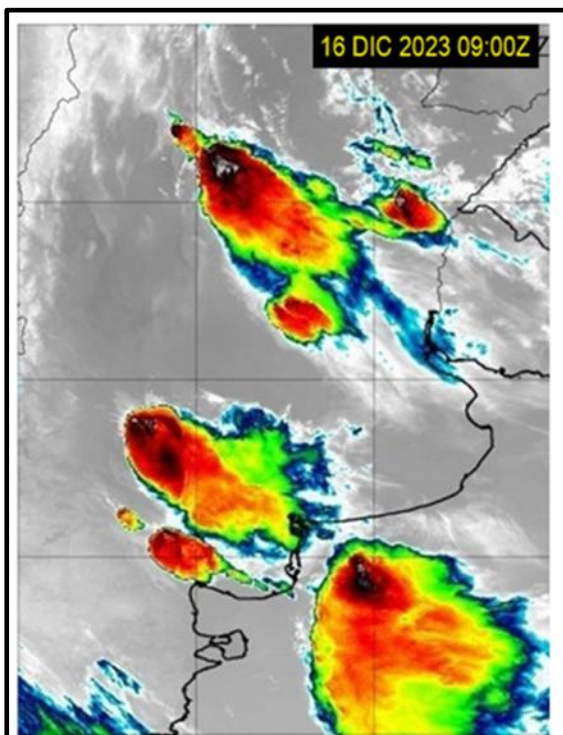
-Importancia de la detección temprana y evolución prevista a los fines de la Seguridad Operacional

Condiciones meteorológicas previas

16 de diciembre de 2023

Análisis escala sinóptica:

- *Alta inestabilidad en el centro y norte del país*
- *Distintos índices de inestabilidad (indicativos de la energía disponible) muestran valores adecuados para el desarrollo de sistemas convectivos severos*
- *Aproximación por el NW de BCA de un MCS de características severas*



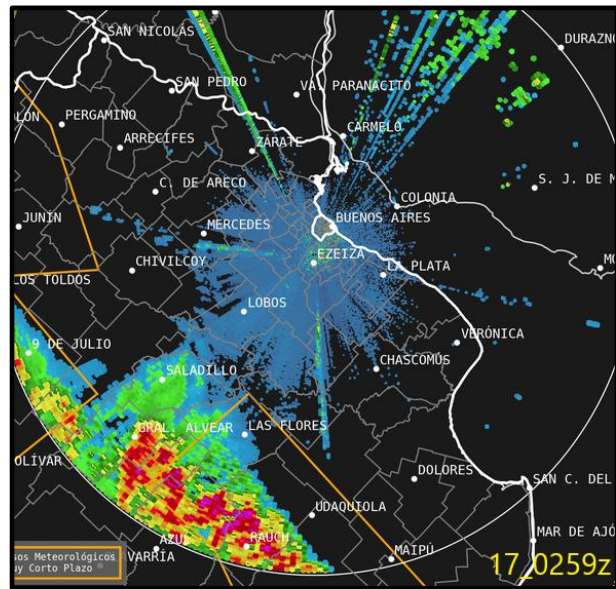
En la mañana del 16 DIC 2023 se desarrollan varios grupos de tormentas dispersas, pero con características severas, que producen actividad destructiva sobre la ciudad

de Bahía Blanca. A lo largo del día estas tormentas terminan conformando un sistema convectivo de mesoescala del tipo alineado, que avanza rápidamente durante la madrugada del 17 hacia el NE.

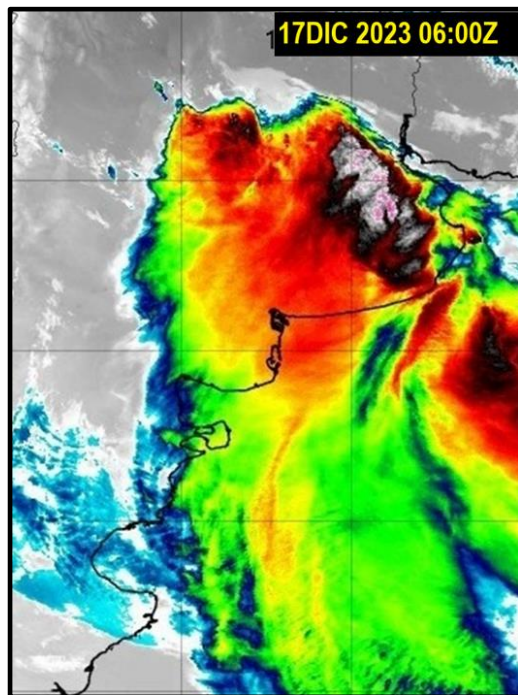
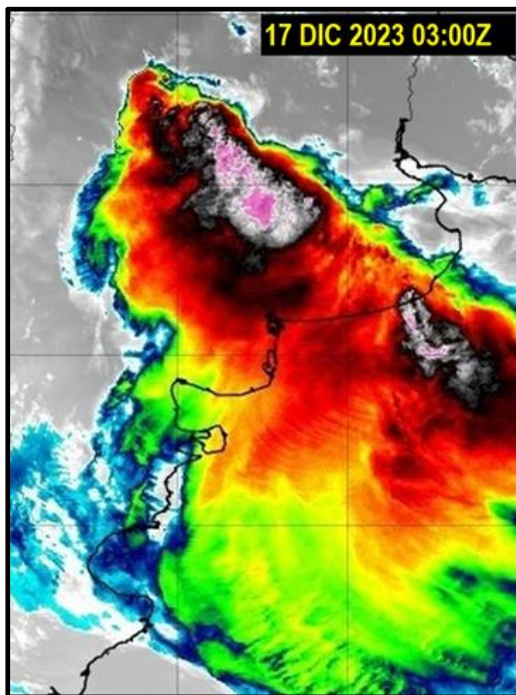
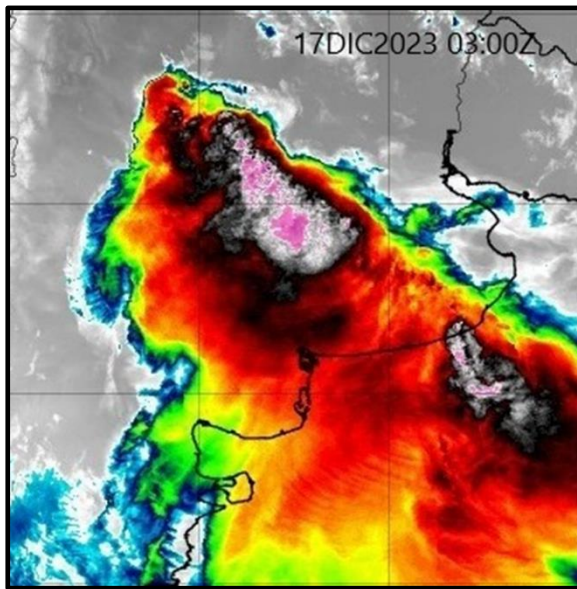
Condiciones previas al evento:

Un sistema convectivo del tipo línea se observa desde MDQ DOL NIN MJZ RCU hacia EZE/AEP a 40kt.

Dado los topes muy elevados observados en imagen de satélite (48000 ft), este complejo caracteriza como de intensidad severa, y según la estructura mostrada en radar EZE califica como productora del fenómeno "**DERECHO**" es decir generador de viento destructivo, lluvia muy intensa en sectores aislados, granizo de gran tamaño.



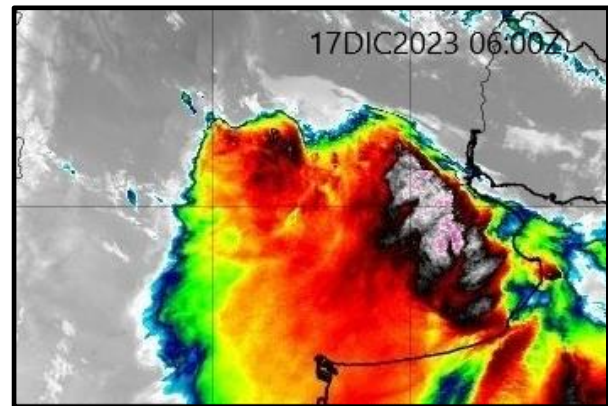
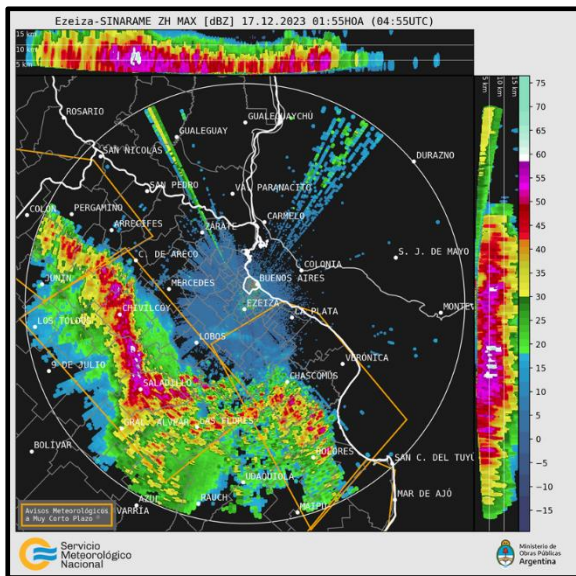
A 02:59Z el radar EZE ya muestra núcleos compactos de más de 50dbZ, síntomas indudables de actividad severa, con viento destructivo (mayor de 60kt). Esto ocurría **3 horas** antes del evento en AEP.



En
las

últimas horas de su ciclo de vida adopta la configuración de un “derecho” o “vientos en línea recta” (straight line winds).

A 04:55Z el sector más activo del sistema presenta la estructura arqueada propia de un “derecho”, avanzando en dirección hacia el TMA Baires con núcleos de 60dbZ (severidad extrema, viento superior a 70 kt- 135 km/h) a una hora del impacto sobre



AEP.

En la imagen GOES16 IR 10.3 μm se observa el MCS con “bow echo”⁵

aproximando al TMA BAIRES.

Los colores gris-blanco hacia el violeta señalan la presencia de OT's.

El paso del sistema sobre **EZE** se inicia a la 05:50Z (02:50 LT) con cambio de viento al SW alcanzando el máximo a 06:36z (03:36 LT) con viento SW17kt ráfagas 47kt

Sobre **AEP** el sistema pasa a 06:45z (03:45 LT) con máximo a 06:47z (03:47 LT) SW 35kt ráfagas 52kt

Sobre **FDO** pasa a 06:36z (03:36 LT) máxima intensidad a 06:40 z (03:40 LT) con SW 51kt ráfagas 71 kt

Velocidad terrestre del sistema 26 kt

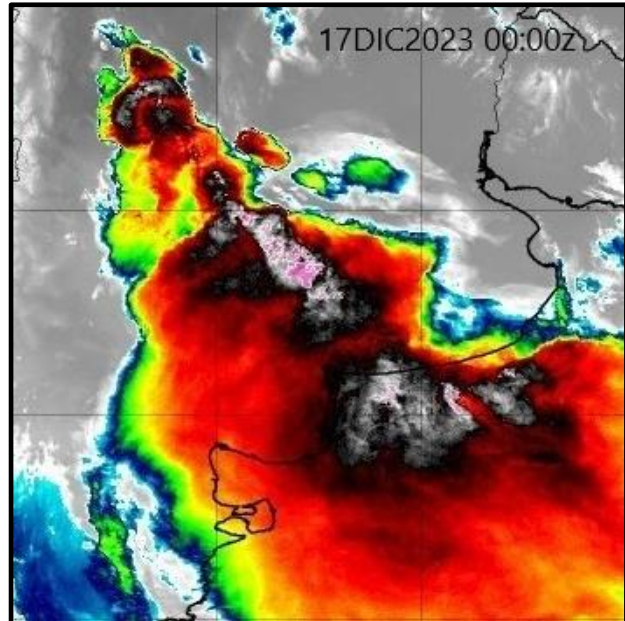
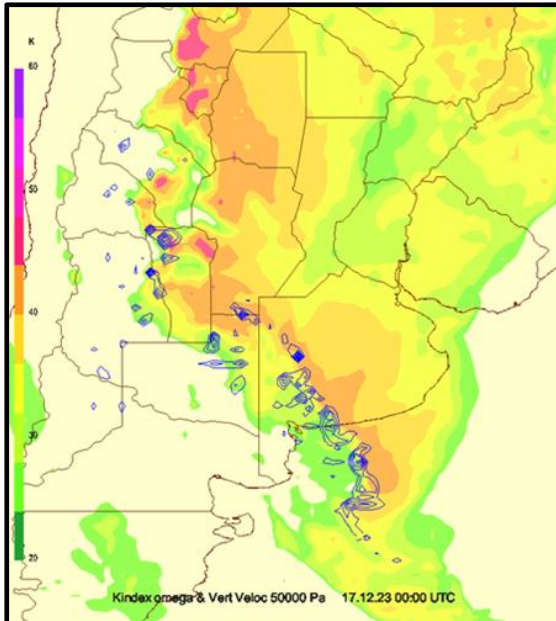
Metodología de predicción

En este tipo de escenarios es de suma importancia la definición del área a proteger, para lo cual, en este caso se evalúan con suficiente antelación diversas variables tales como:

- evolución en modelos numéricos (GFS 0.5),

⁵ Un bow echo es una señal de radar distintiva, con forma de arco, producida por una línea de tormentas severas.

- Análisis de datos de superficie y altura existentes,

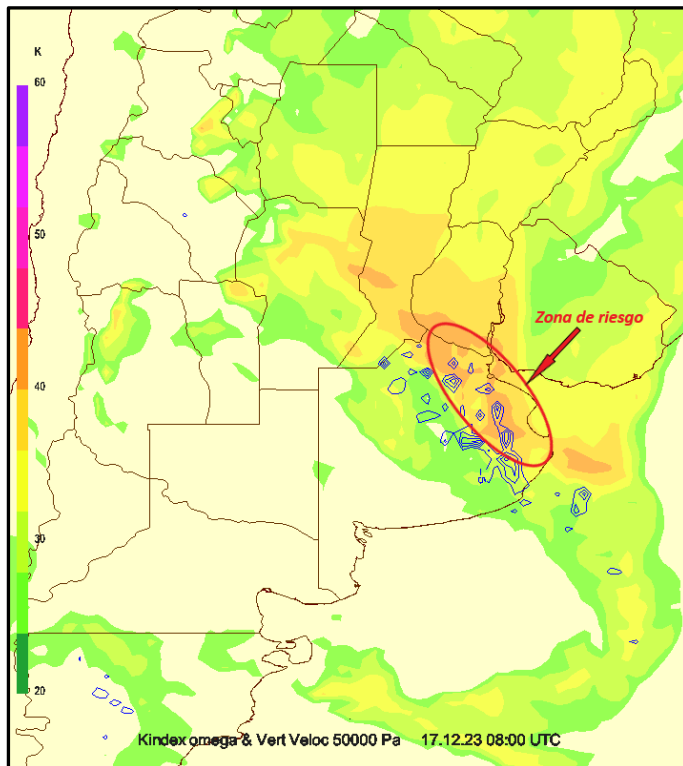


- imágenes de radar y satélite,
- todo con una antelación de al menos 12 horas previas al evento.

A T-12 hs. (17Dic2025) se verifica la concordancia entre el modelo GFS 0.25 y la situación real a esa hora, mediante datos de estaciones e imagen satelital

El modelo preveía índices K elevados superiores a 40 junto con ascendentes importantes, lo cual se verifica en la imagen satelital para esa hora

Siguiendo la evolución según modelo el sistema avanza hacia el NE aumentando su grado de inestabilidad.



La hora de llegada prevista al TMA BAIRES sería entre las 08 a 09 UTC.

Se delimita una zona de riesgo para esta franja horaria sobre el área protegida (EZE/AEP/FDO), emitiéndose los correspondientes avisos de alerta, con 6 horas de anticipación al evento.

Teniendo en cuenta que estos sistemas tienen en su ciclo de vida aceleraciones, variaciones de intensidad y cambios en las condiciones pronosticadas, debe iniciarse a partir de aquí un estricto seguimiento de su evolución.

Desfasaje (error) entre el modelo GFS0,25 y la imagen real.

Si bien el modelo GFS 0.25 mantuvo una buena correlación con la posición real del sistema hasta las 04:00 UTC, a partir de esta hora el MCS se acelera con respecto al modelo generando un error en la hora prevista de llegada al TMA BAIRES.

La hora anunciada de llegada era entre 08 y 09 UTC, mientras que la afectación en EZE AEP y FDO se produjo entre 06:30 y 06:45 UTC, aproximadamente 2 horas de adelanto.

Estos desfasajes obligan al ajuste continuo de la evolución del sistema, especialmente en el muy corto plazo.

Actualización del pronóstico (NOWCAST) por seguimiento radar y estaciones de superficie

En este caso se debió aplicar el siguiente procedimiento:

- Secuencia radar EZE (SINARAME) desde 17DIC2023 02:59Z hasta 06:33Z, determinándose la velocidad real de desplazamiento. Se recalcula la hora de llegada al TMA BAIRES
- Seguimiento de los niveles de reflectividad (dbZ) para estimar variaciones en la intensidad del sistema.
- La estructura de doble arco confirma se trata de un MCS lineal (DERECHO)
- Se debería emitir el Alerta correspondiente a todas las áreas responsables, e iniciar los protocolos de ***inminente actividad severa***

Daños ocasionados por el fenómeno

- La terminal presenta vidrios y blindex rotos debido a los fuertes vientos.
- En el área de Arribos Internacionales, parte del pasillo sufrió daños, aunque no afectan la operación.
- En la zona de Preembarque Doméstico, se registran daños en el techo de las puertas 10, 11 y 12, con dos puertas inhabilitadas.
- Varios hangares sufrieron la pérdida de techos.
- Se reportan daños generales en aeronaves estacionadas.
- En el área de estacionamiento, se observan daños en el techo del sexto piso.
- En las inmediaciones, se informa sobre árboles caídos sobre la avenida Costanera.
- La voladura de parte del techo del hangar de Aerolíneas Argentinas impacta sobre una de las estaciones AWOS, dejándola fuera de servicio.

Algunos testimonios:

Controlador:

"Hay lluvia intensa con fuertes vientos. Negrito no tengo radar. Tómenlo con calma. Llueve a mares, por ahora no hay piedras, no tengo más radar y el viento es poderoso, hay 40 nudos "

En Rampa:

“A las 20 vi los rayos y poco después de las 21 empezó el viento fuerte. Los carritos del catering y los tachos que siempre quedan en la pista empezaron a correrse, y abollaron parte del avión. El viento siguió tan fuerte que logró moverlo casi 90 grados. Me alejé del avión unos 5 metros para resguardarme en una pared. Duró entre 5 y 7 minutos. Después llegaron varios mecánicos y maleteros. El avión no pudo salir”.

5-Conclusiones y recomendaciones

Queda demostrado que en ambos casos estudiados es posible anticipar la ocurrencia del evento severo en tiempo útil para la aplicación de los correspondientes protocolos. También se demuestra que en los casos del 2014 y 2023 los mismos no fueron debidamente aplicados, cabe preguntarse porqué...

Posibles respuestas:

- Alertas poco precisas en cuanto a la intensidad del fenómeno o su hora de afectación
- Fallas en el sistema de respuesta ante el aviso de llegada
- Mecanismos confusos o intrincados de comunicación entre los diversos sectores (Rampa, CCO, Empresas, Mantenimiento y otros)
- Desconocimiento por parte de los involucrados de la potencia liberada durante el paso de un derecho, la escala de ráfagas destructivas va entre 50 nudos a 80 nudos o más (https://www.weather.gov/mlb/wind_threat)
- Los eventos del 09Dic2014 y el 17Dic2023 (9 años) no alcanzaron para que el SISTEMA tome conciencia de la verdadera magnitud de tales catástrofes

Resulta preocupante que, habiendo sufrido dos eventos de violencia y destrucción, el Sistema no reaccionó ni en tiempo ni en forma. Los resultados están a la vista.

Las excusas van desde “*son fenómenos impredecibles, Act of God, Acto de la Naturaleza, o Damnum Fatale (accidentes inevitables)*”, hasta “*La Meteorología no es una Ciencia Exacta*” o “*La tormenta llegó antes*” o el peor de todos “*Esto es por el cambio climático*”

En el **Caso #1** los avisos existieron y se cumplieron con aceptable exactitud, lo grave es que aparentemente no se les dio credibilidad o no se los tuvo en cuenta.

En el **Caso #2** queda demostrado que, si bien hubo un “error” en el modelo este pudo ser detectado y corregido a tiempo, actualizando la hora de llegada.

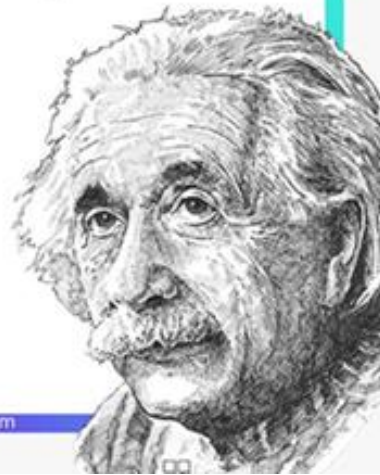
Con más de una hora y media de anticipación se podían aplicar los protocolos para minimizar los efectos destructivos

La Ciencia Meteorológica no es exacta, como no lo es cualquier otra Ciencia, pero la existencia de nuevas investigaciones y tecnologías de fácil acceso, acompañada de “*buenas prácticas*” permiten transformar los Actos de Dios en actos absolutamente predecibles.

La Naturaleza nos pondrá nuevamente a prueba, esperemos que el Sistema escuche al **MAESTRO**

***"Si buscas
resultados distintos
no hagas siempre
lo mismo."***

–Albert Einstein



mayneza.com

Buenos Aires, agosto de 2026