

HUMO

Y SU AFECTACIÓN A LA AERONÁUTICA



Efectos del cambio climático en la infraestructura aeroportuaria y promover resiliencia a eventos climatológicos extremos

Alejandro Coronel Abadie
Pronosticador aeronáutico
Lic. en Ciencias Atmosféricas

Universidad Tecnológica de Panamá (UTP) — Campus
Dr. Víctor Levi Sasso
Ciudad de Panamá, Panamá,
21 al 25 de septiembre de 2026



Objetivos

- Reconocer cómo el humo de incendios forestales y focos locales se transporta y acumula, y cómo puede reducir la visibilidad en aeródromos y aproximaciones.
- Interpretar observaciones y pronósticos para evaluar la exposición al humo, considerando la altura de la capa, el viento y las incertidumbres de su evolución local.

- Aplicar, mediante casos prácticos, una coordinación oportuna entre Operaciones, Plan de Vuelo, ATIS y Torre para actualizar información y evaluar demoras, rutas y aeródromos alternos.

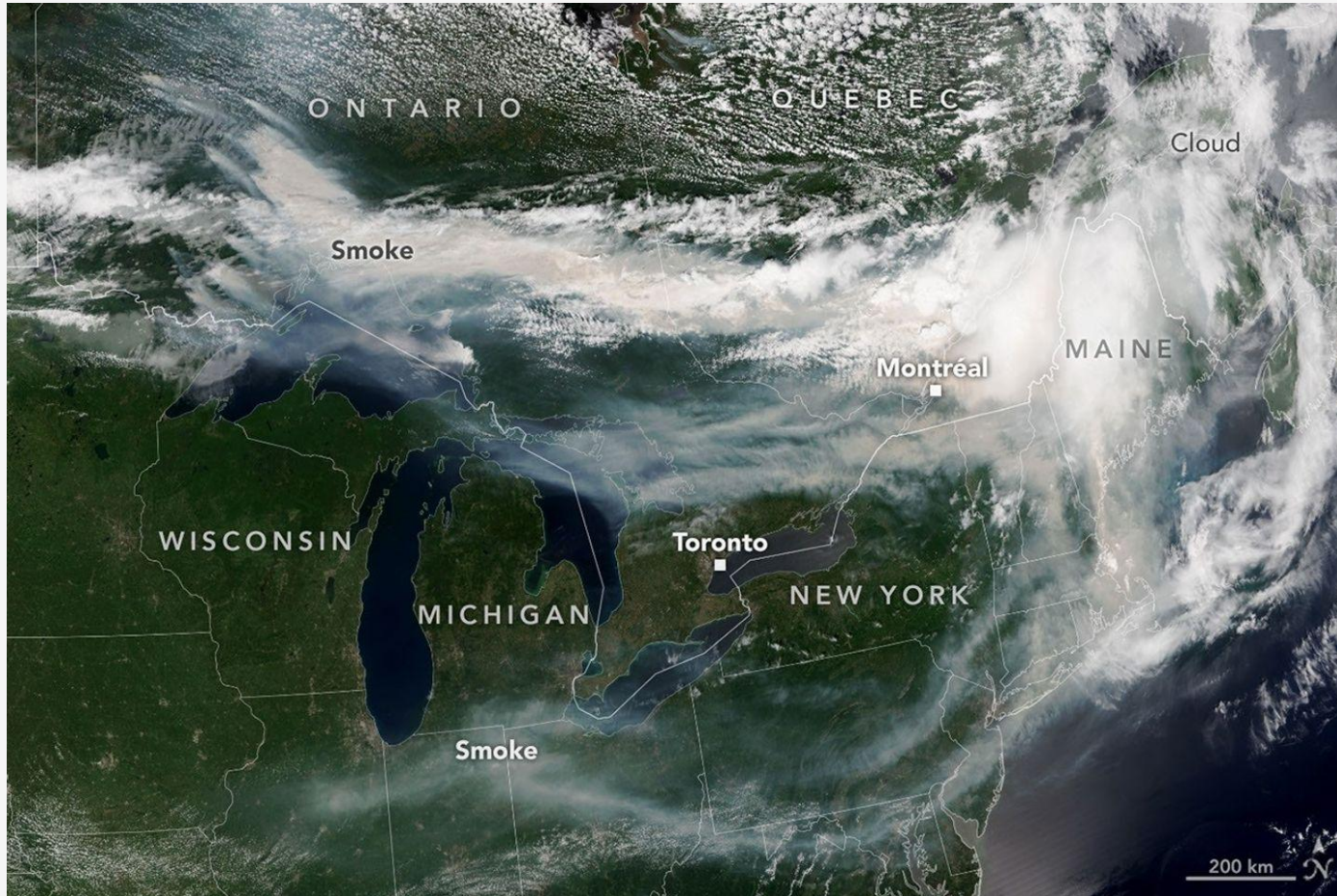


HUMO

ORIGEN



Humo Transportado de Grandes Incendios Forestales (Larga Distancia)



Contaminación transfronteriza a gran escala que viaja miles de kilómetros en las capas altas de la atmósfera. No proviene de quemas locales ni países fronterizos, sino de incendios forestales masivos en el hemisferio norte, arrastrados hacia el Caribe y Panamá por corrientes en chorro y vaguadas de gran altitud.

Grandes Incendios Regionales

Humo proveniente de países vecinos de Centroamérica y el norte de Sudamérica. Debido a la geografía angosta del istmo de Panamá, el humo es canalizado y concentrado por los vientos, creando capas de "humo en altitud" que forman techos falsos (BKN u OVC) sobre el espacio aéreo del aeropuerto.



Moderate-Resolution Imaging Spectroradiometer (MODIS) • 16 :55 UTC May 2, 2002



Sea-viewing Wide Field of View Sensor (SeaWiFS) • ~17:50 UTC May 2, 2002

Incendios Locales Alrededor del Aeropuerto

Humo generado a muy corta distancia de las terminales aéreas de la Ciudad de Panamá. Su impacto es inmediato sobre las pistas, reduciendo drásticamente la visibilidad horizontal a nivel del suelo y activando los códigos de oscurecimiento total o parcial en el METAR.



Agencia AFP. (14 de febrero de 2023). Cerro Patacón: Incendio levanta nube de humo tóxico. Eco TV Panamá.
<https://www.ecotvpanama.com/nacionales/cerro-patacon-incendio-levanta-nube-humo-toxico-n5846486>

Testa, M. (30 de marzo de 2024). Cerro Patacón: una nube de humo tóxico y un desastre ambiental en pausa en Panamá. El País.
<https://elpais.com/america-futura/2024-03-30/cerro-patacon-una-nube-de-humo-toxico-y-un-desastre-ambiental-en-pausa-en-panama.html>

HUMO

AFECTACIÓN A LA AERONAUTICA



<https://proceso.hn/advierten-que-debido-al-humo-y-bruma-aeropuerto-toncontin-podria-ser-cerrado/>



<https://proceso.hn/espesa-capa-de-humo-reduce-a-siete-kilometros-la-visibility-en-aeropuerto-toncontin/>

1 – Oscurecimiento Total por Humo

Ocurre cuando el humo a nivel del suelo es tan masivo y espeso que oculta por completo la bóveda celeste (8/8 octas). Al no poder verse el cielo, las normas prohíben reportar capas de nubes tradicionales. El techo del aeropuerto es legalmente reemplazado por la **Visibilidad Vertical (VV)**.

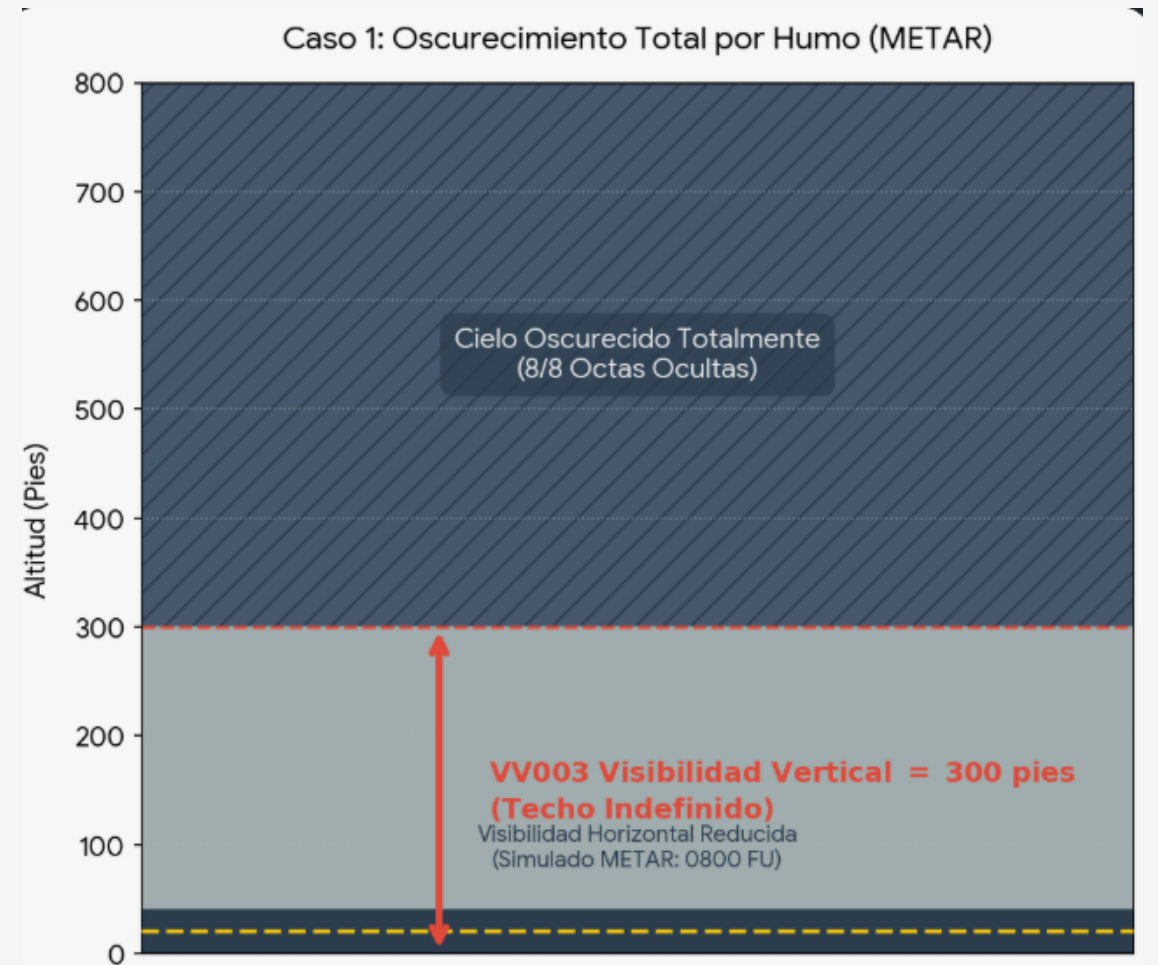
Ejemplo Aplicado (METAR)

METAR MPTO 121600Z 34005KT 0800 FU VV003 30/24 Q1009=

0800 FU: La visibilidad horizontal en pista cae críticamente a 800 metros debido a humo espeso.

VV003: Indica una **Visibilidad Vertical de 300 pies** (Techo Indefinido). Si la aproximación del aeropuerto exige un mínimo de 400 pies para aterrizar, el vuelo **no puede descender legalmente** y debe desviarse al alterno.

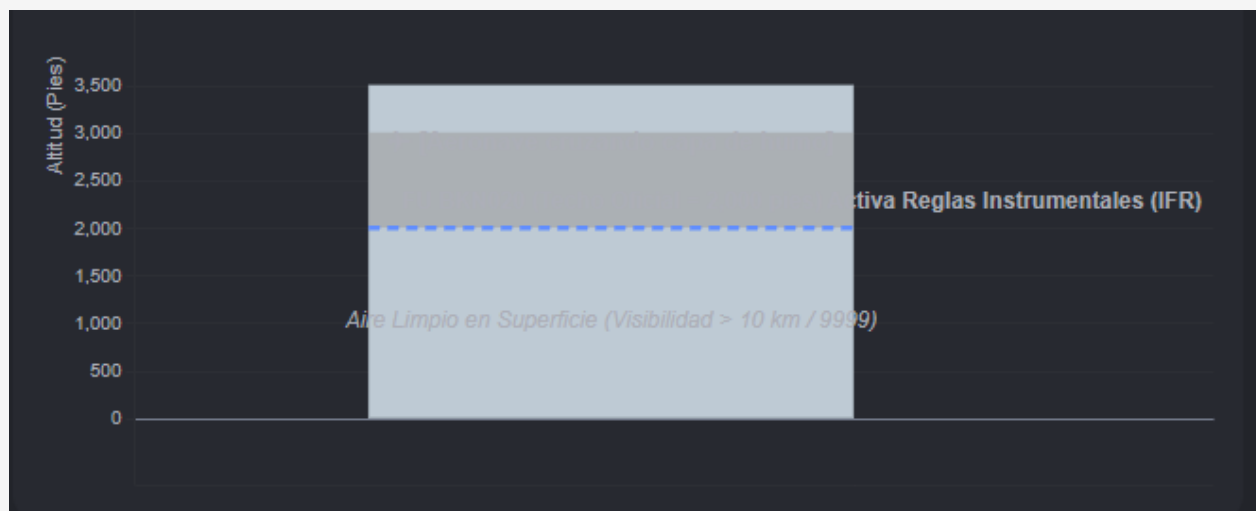
NOAA / NWS / FAA (2019). **Federal Meteorological Handbook No. 1 (FMH-1): Surface Weather Observations and Reports**. Capítulo 8 (Visual Elements: Obscured Sky & Indefinite Ceilings).



Este gráfico representa el humo denso cubriendo la pista desde el suelo hasta los 300 pies, provocando un "Techo Indefinido".

2 – Humo en Altitud (Techo Falso)

Este gráfico ilustra el aire perfectamente limpio en el suelo, pero con un banco de humo suspendido entre los 2,000 y 3,000 pies que actúa como el techo oficial de nubes.



Ejemplo Aplicado (METAR)

METAR MPTO 161800Z 35008KT 9999 FU BKN020 32/23 Q1008=

9999: Visibilidad en tierra excelente (10 km o más).

FU BKN020: Capa de humo fragmentada (*Broken*) a **2,000 pies**. Al ser el techo oficial, el aeropuerto pasa inmediatamente a **Reglas de Vuelo Instrumental (IFR)**, cancelando operaciones visuales pequeñas (VFR) y obligando a los aviones comerciales a entrar a ciegas en el banco de humo durante su descenso.

El humo se desplaza suspendido en una capa elevada (ej. a 2,000 pies) sin tocar el suelo. El aire en la pista está limpio, pero si la capa de humo en altitud cubre más de la mitad del cielo (categorías BKN u OVC), se convierte formalmente en el **Techo Oficial (Ceiling)** del aeropuerto.

3 – Cobertura Nubosa Parcial por Humo

Ocurre cuando una columna de humo cruza el aeropuerto a baja altura pero de forma dispersa, permitiendo que el observador o los sensores aún vean el cielo azul o nubes reales por encima. El humo en superficie se calcula en octas y se reporta como un oscurecimiento parcial a nivel del suelo.

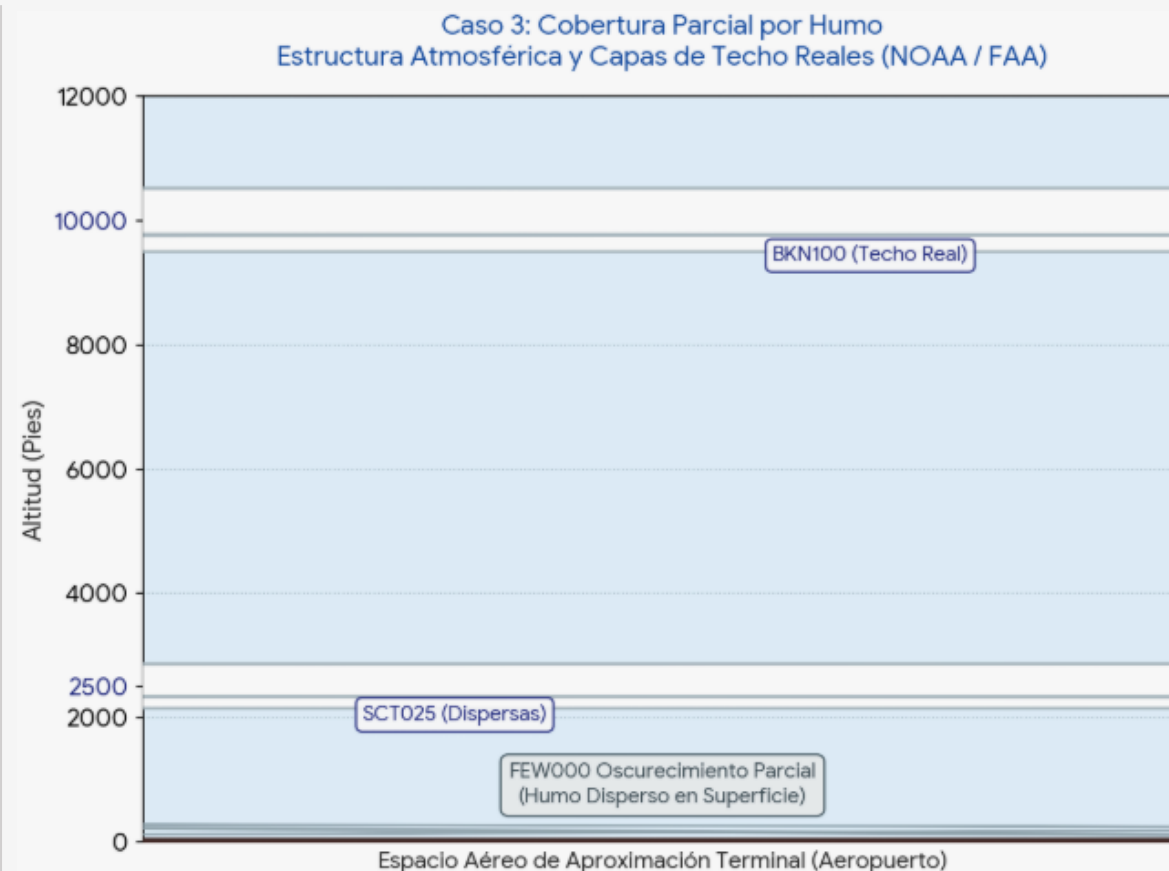
Ejemplo Aplicado (METAR)

METAR MPTO 121400Z 32007KT 4500 FU FEW000
SCT025 BKN100=

4500 FU: Visibilidad reducida moderadamente en la pista a 4,500 metros por humo.

FEW000: Código de la NOAA para oscurecimiento parcial. Indica humo a ras de suelo (menos de 50 pies) cubriendo una porción mínima del cielo.

SCT025 BKN100: Al ser parcial, permite registrar e informar las nubes reales superiores (dispersas a 2,500 pies y techo real a 10,000 pies).



National Weather Service - NWS (2021). JetStream - Online School for Weather: Weather In Aviation. Sección de códigos y calificadores de vecindad (VC).

4 – Tormentas de Polvo/Humo

Ocurre cuando el aire frío y denso que desciende con fuerza de una tormenta (*microbomba o desplome*) choca contra el suelo y se expande rápidamente de forma horizontal. Este frente de ráfagas actúa como una "topadora" que levanta del suelo toneladas de polvo, cenizas o humo (en zonas de incendios), creando una pared vertical masiva y turbulenta de hasta miles de pies de altura que avanza rápidamente hacia el aeropuerto.

Ejemplo Aplicado (METAR)

METAR MPTO 122115Z 18032G48KT 0400 +DS FU VV002...

18032G48KT: Los vientos cambian repentinamente de dirección e intensidad, soplando a 32 nudos con ráfagas de hasta 48 nudos (*Gusts*).

0400 +DS FU: La visibilidad horizontal en la pista se desploma instantáneamente a solo 400 metros debido a una tormenta de polvo severa (+DS - *Heavy Duststorm*) mezclada con humo (FU).

VV002: El frente de ráfagas levanta una densa pared vertical que provoca un oscurecimiento total e inmediato a ras de suelo, reduciendo la **Visibilidad Vertical a solo 200 pies**.



Federal Aviation Administration - FAA (2024). Aeronautical Information Manual (AIM). Sección 7-1-21: Thunderstorm Microbursts and Gust Fronts Hazards to Aviation.

4 – Tormentas de Polvo/Humo



NOAA / NWS (2019). Federal Meteorological Handbook No. 1 (FMH-1). Capítulo 8 y 9 (Códigos de fenómenos meteorológicos significativos en movimiento).

Peligro Operativo Extremo para el Piloto (FAA/NOAA):

Este caso combina tres peligros mortales en cuestión de minutos:

- **Obstruye la visibilidad en tierra y en vuelo,**
- **Crea un techo de nubes,**
- **Afecta la eficiencia de las operaciones de tráfico aéreo,**
- **Puede dañar las aeronaves,**
- **Representa un riesgo para la salud de las tripulaciones de vuelo,**
- **los pasajeros y el personal de tierra del aeródromo.**

HUMO

CASO ESTUDIO: ACCIDENTE



Garuda Indonesia 152 — Airbus A300-B4 **26 de septiembre de 1997 · Medan, Indonesia**

El vuelo realizaba la aproximación a Medan-Polonia en una región afectada por humo de incendios forestales.

¿Qué información meteorológica existía?

- *Pronóstico utilizado en la planificación: visibilidad de 1.000 m con humo.*
- *Visibilidad observada en el aeropuerto antes y alrededor del accidente: 400 – 500 m.*
- *Mínimo de visibilidad para la aproximación ILS a la pista 05 citado en el informe: 800 m.*



Fotograma correspondiente al 26 de septiembre de 1997, extraído de la animación de Mitchell (1998). Crédito: NASA/Goddard Space Flight Center, Scientific Visualization Studio.

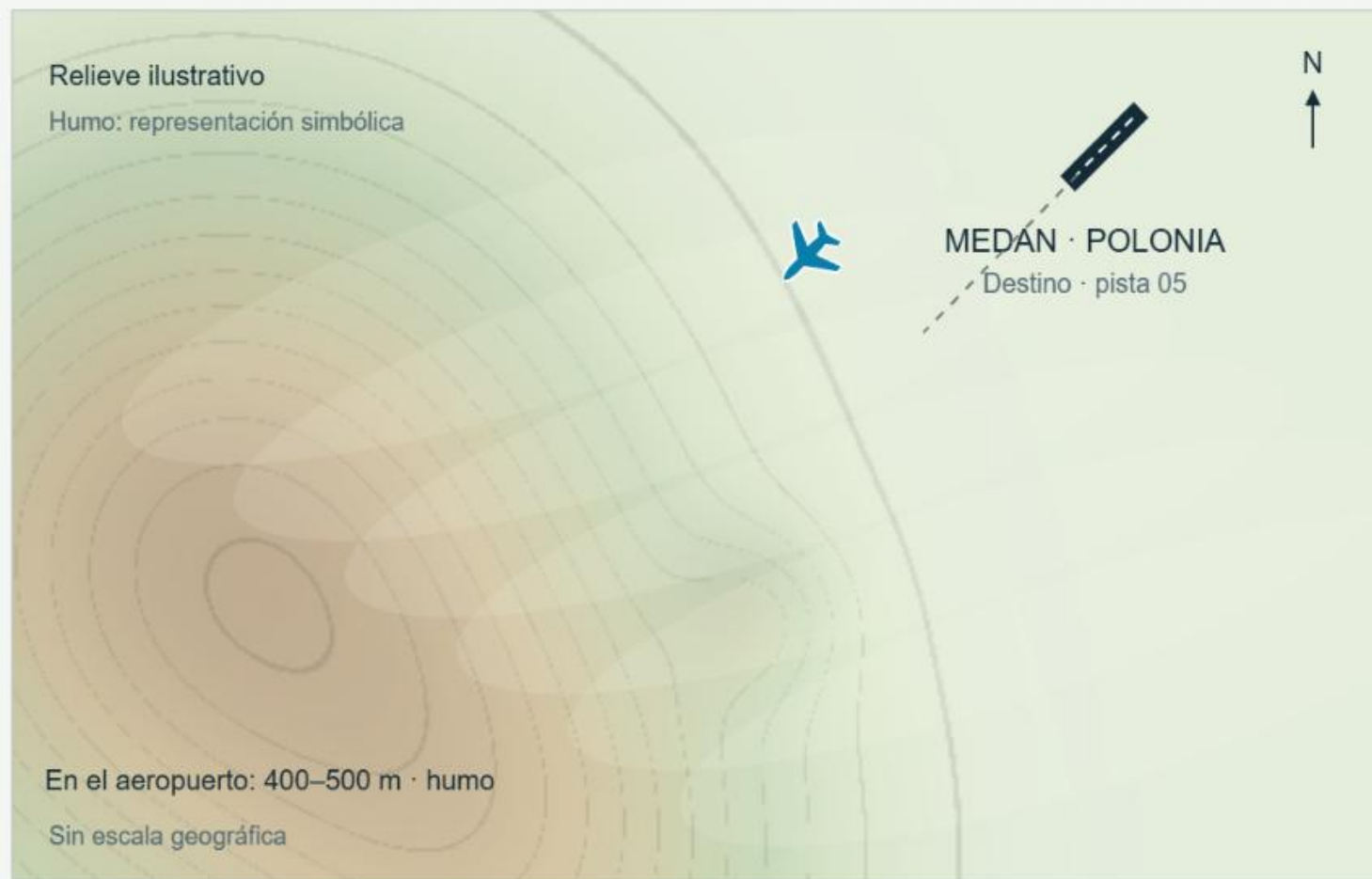
DESTINO BAJO HUMO

Aproximación a Medan · últimos 111 segundos

RECONSTRUCCIÓN DIDÁCTICA
26 SEP 1997 · hora local UTC+7

VISTA SUPERIOR

Aeropuerto, relieve y recorrido esquemáticos



PERFIL LATERAL

Terreno bajo la trayectoria

≈ 3000 ft

13:29:41



13:29:41 | Descenso autorizado

La aeronave se encuentra aproximadamente a **3.000 ft** durante la aproximación al aeropuerto de Medan–Polonia. El control de Aproximación (**APP**) autoriza el descenso a **2.000 ft**. El humo afecta la visibilidad en el aeropuerto.

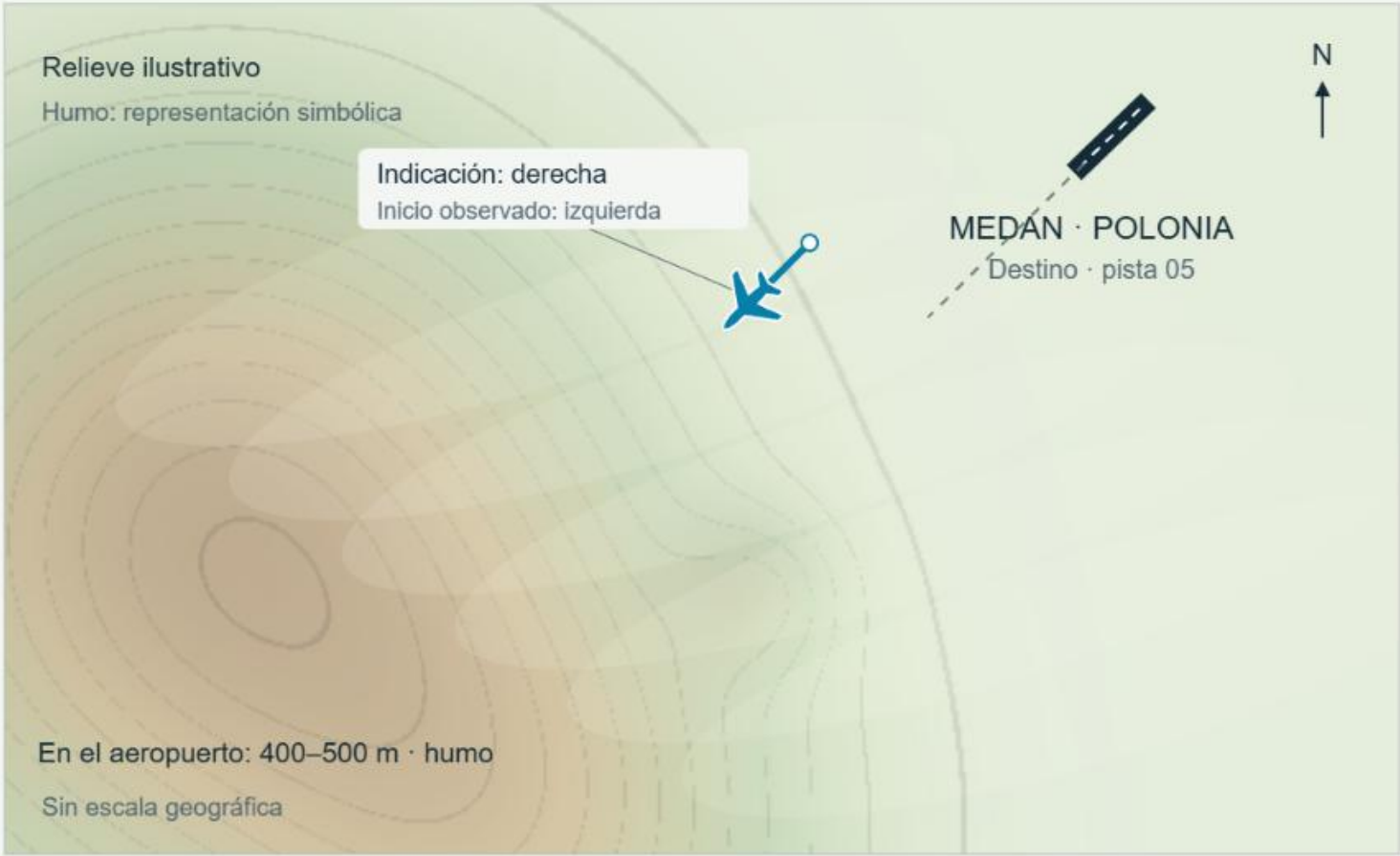
DESTINO BAJO HUMO

Aproximación a Medan · últimos 111 segundos

RECONSTRUCCIÓN DIDÁCTICA
26 SEP 1997 · hora local UTC+7

VISTA SUPERIOR

Aeropuerto, relieve y recorrido esquemáticos

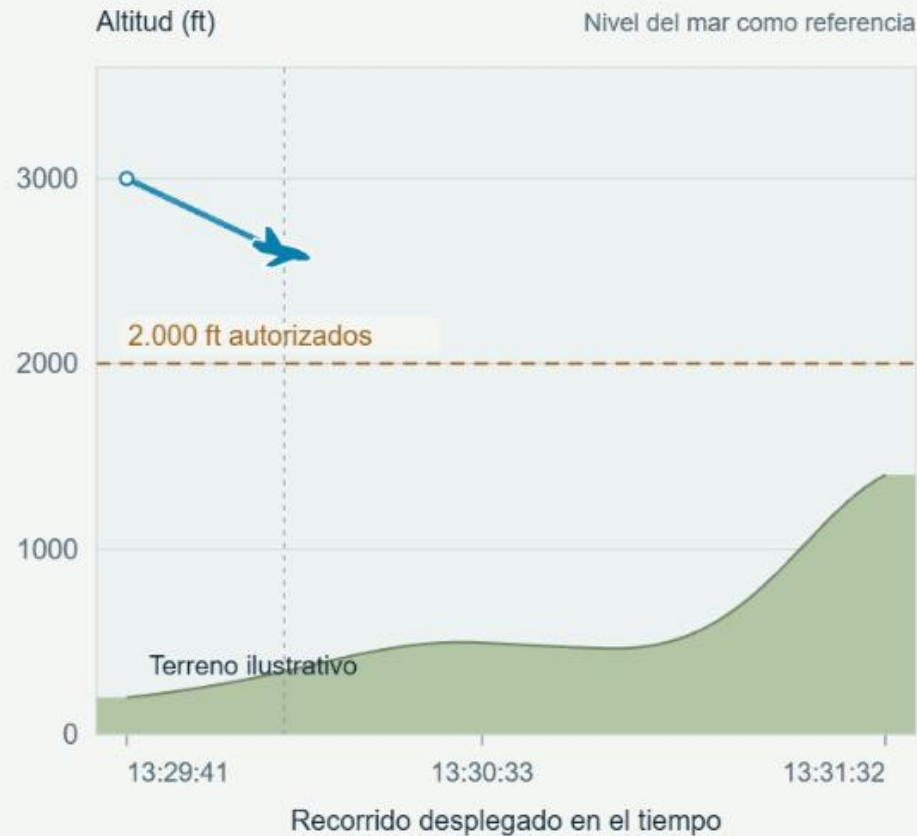


PERFIL LATERAL

Terreno bajo la trayectoria

≈ 2600 ft

13:30:04



13:30:04 | Diferencias entre la instrucción, la colación y el viraje

APP instruye un viraje a la **derecha hacia el rumbo 046°**. La tripulación colaciona —repite la instrucción recibida— derecha hacia **040°**. Sin embargo, el registrador de datos de vuelo muestra que el avión comienza a virar **hacia la izquierda**, pasando aproximadamente por **2.600 ft**.

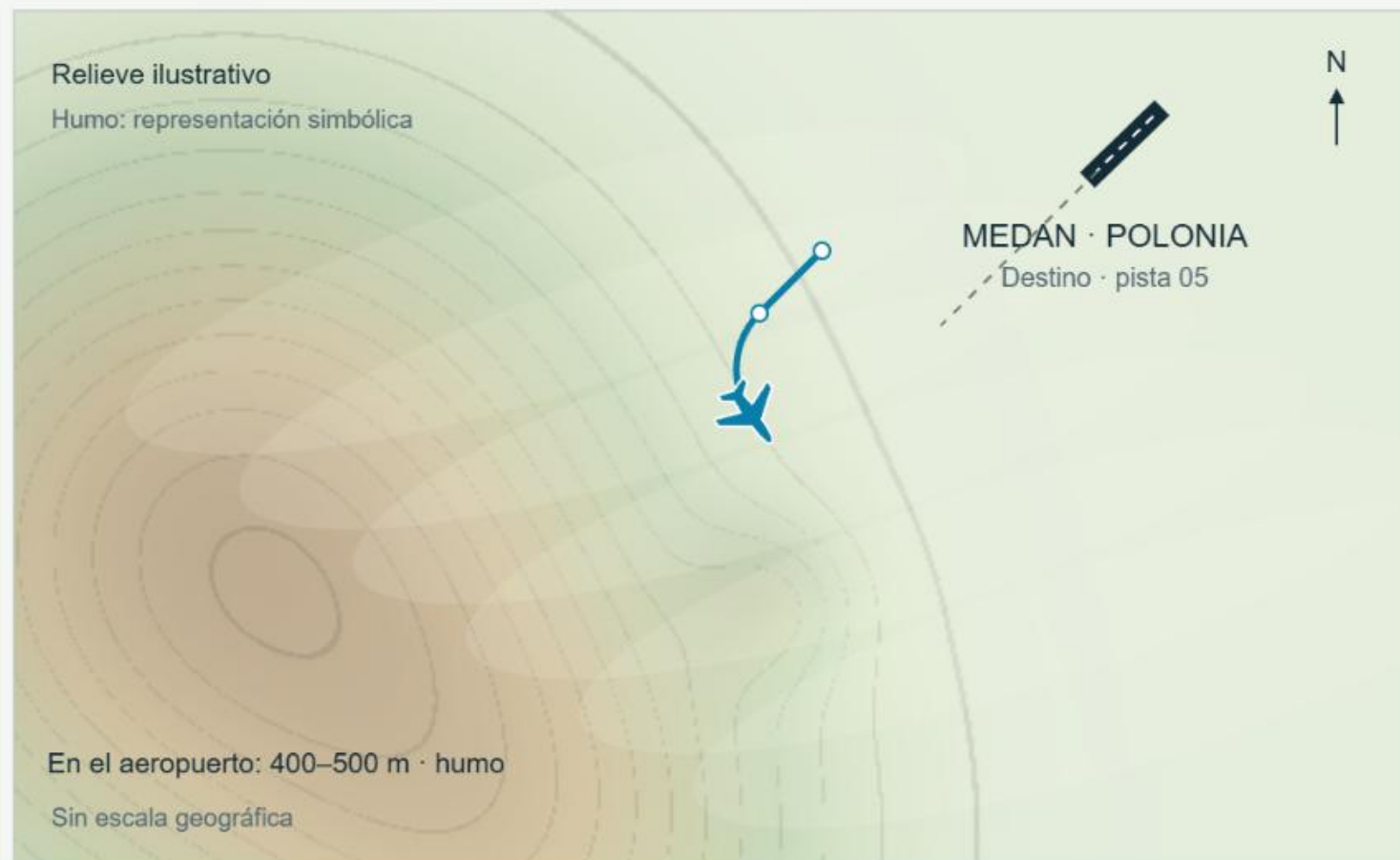
DESTINO BAJO HUMO

Aproximación a Medan · últimos 111 segundos

RECONSTRUCCIÓN DIDÁCTICA
26 SEP 1997 · hora local UTC+7

VISTA SUPERIOR

Aeropuerto, relieve y recorrido esquemáticos

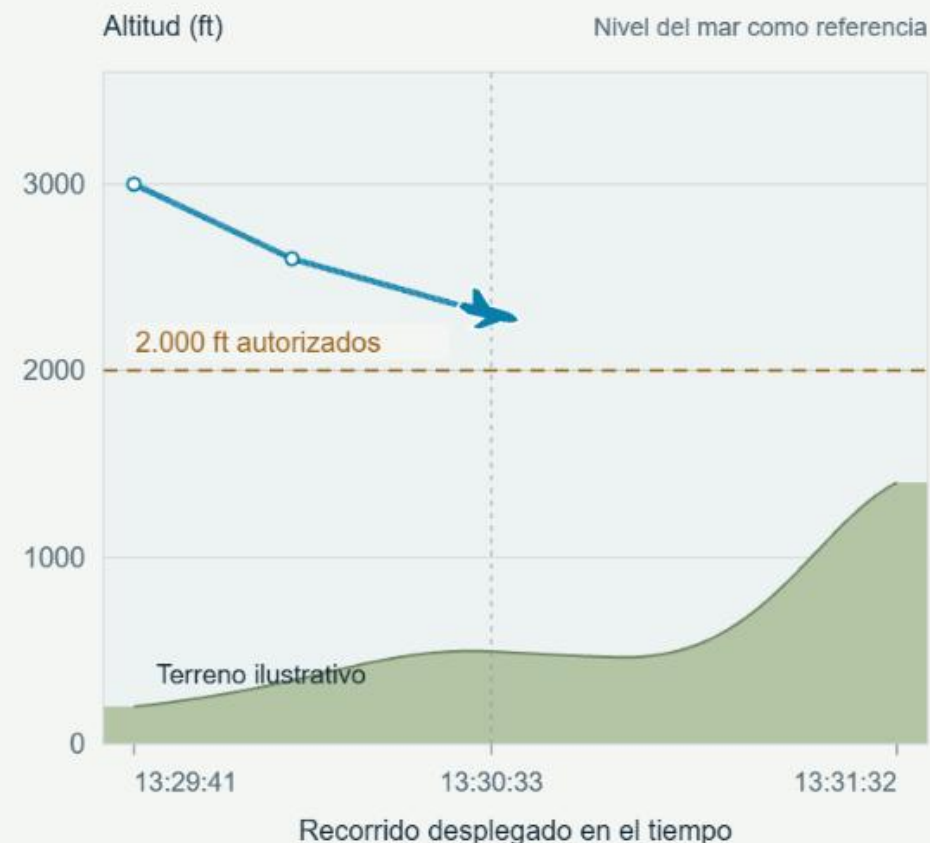


PERFIL LATERAL

Terreno bajo la trayectoria

≈ 2300 ft

13:30:33



13:30:33 | Se intenta aclarar el sentido del viraje

El copiloto recuerda que el viraje debe realizarse **hacia la derecha**. La altitud de presión registrada es aproximadamente **2.302 ft**. Mientras se intenta resolver la confusión, la aeronave continúa desplazándose y descendiendo.

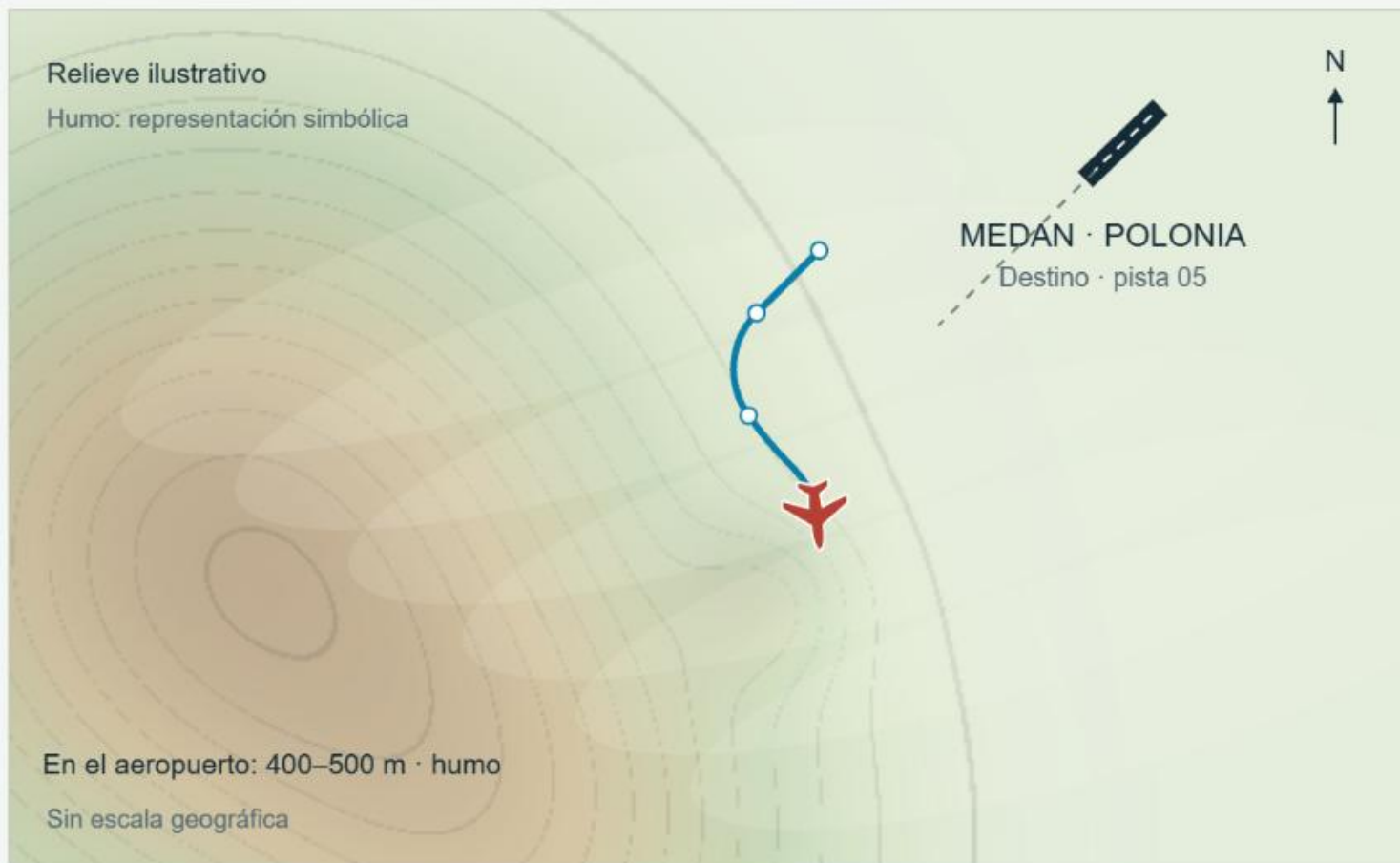
DESTINO BAJO HUMO

Aproximación a Medan · últimos 111 segundos

RECONSTRUCCIÓN DIDÁCTICA
26 SEP 1997 · hora local UTC+7

VISTA SUPERIOR

Aeropuerto, relieve y recorrido esquemáticos

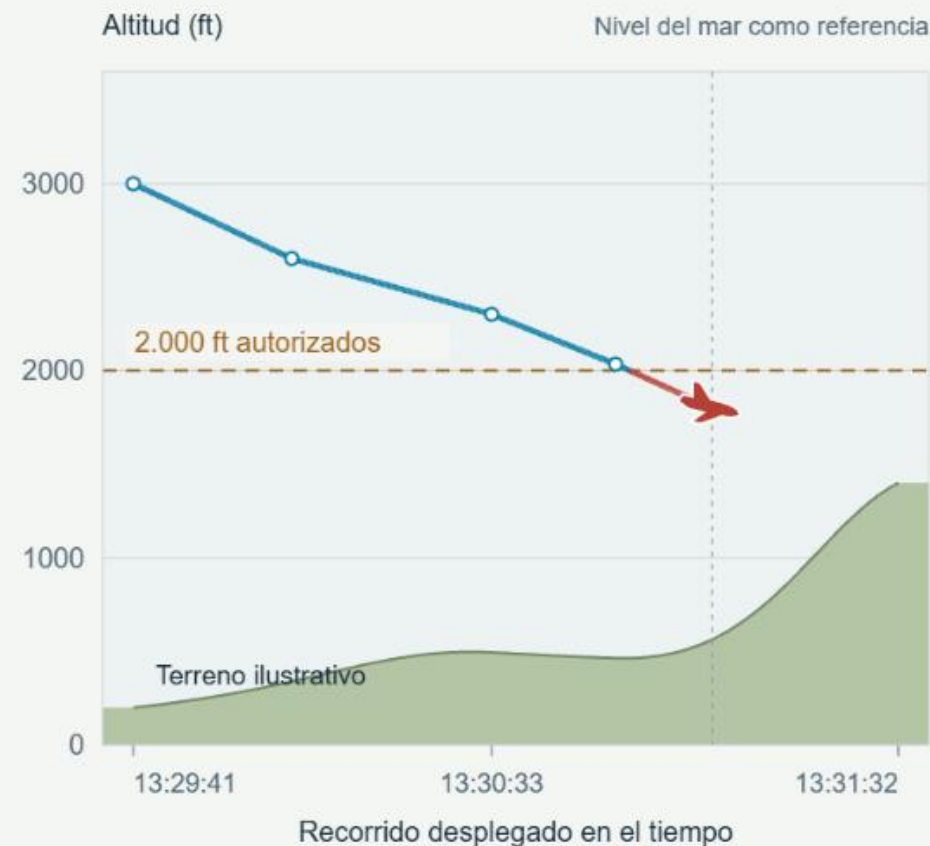


PERFIL LATERAL

Terreno bajo la trayectoria

≈ 1800 ft

13:31:05



13:31:05 | Descenso por debajo de la altitud asignada

La aeronave continúa descendiendo por debajo de los **2.000 ft autorizados** y se encuentra aproximadamente a **1.800 ft**. Persiste la confusión relacionada con el sentido del viraje.

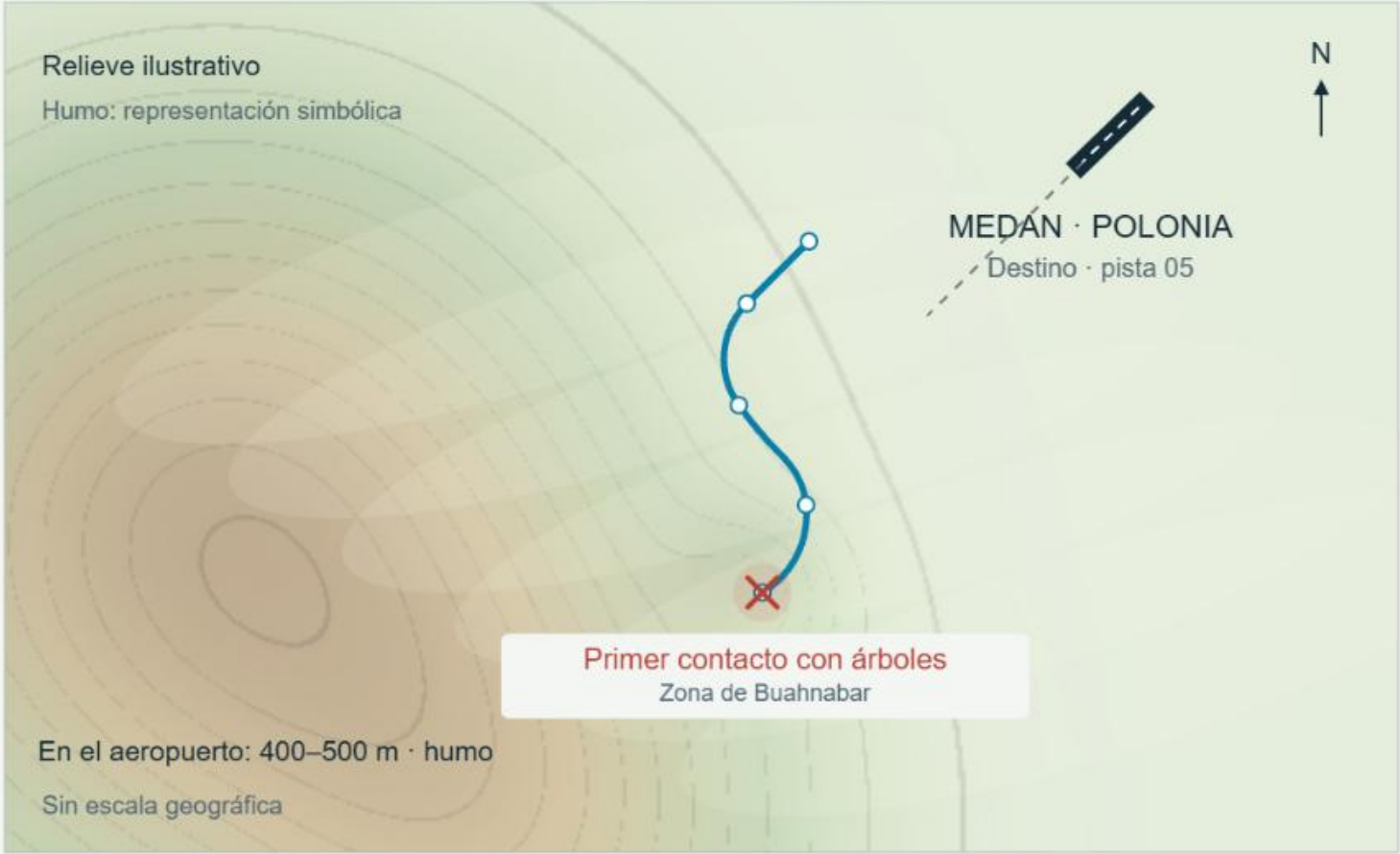
DESTINO BAJO HUMO

Aproximación a Medan · últimos 111 segundos

RECONSTRUCCIÓN DIDÁCTICA
26 SEP 1997 · hora local UTC+7

VISTA SUPERIOR

Aeropuerto, relieve y recorrido esquemáticos

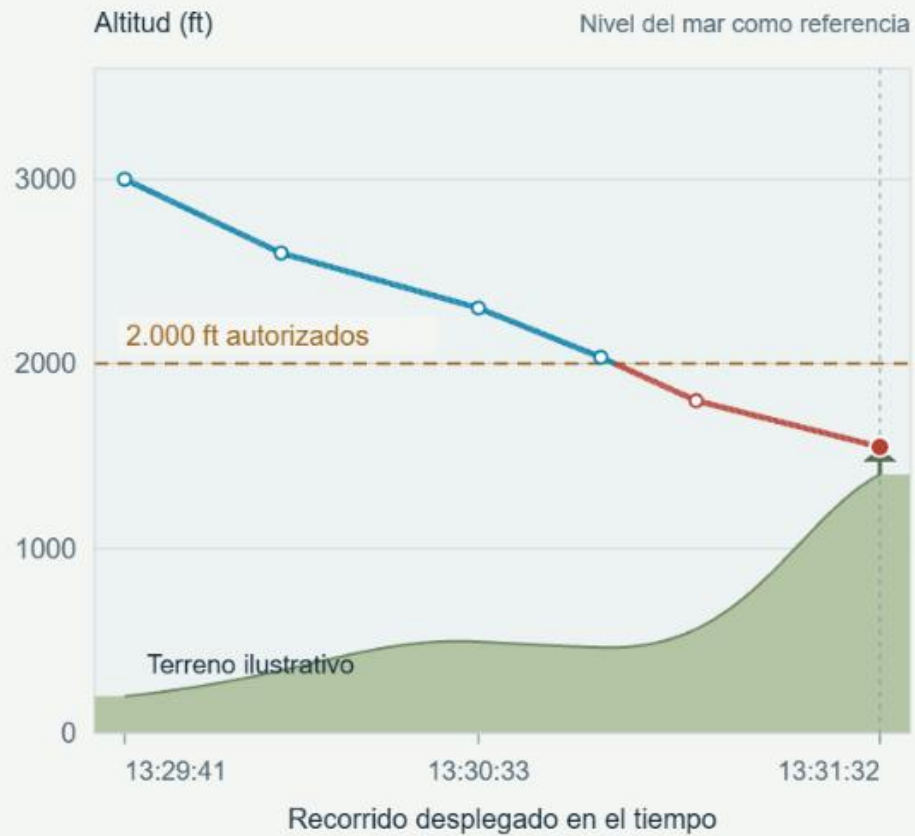


PERFIL LATERAL

Terreno bajo la trayectoria

≈ 1550 ft

13:31:32



13:31:32 | Primer impacto y análisis del desenlace

La aeronave entra en contacto con árboles a una altitud aproximada de **1.550 ft**. La investigación relacionó la confusión de virajes con una disminución de la conciencia de altitud y el descenso por debajo de la autorización. El humo constituía una condición adversa, pero no fue identificado como causa principal. [Informe final del NTSC](#).

Garuda Indonesia 152 — Airbus A300-B4



National Transportation Safety Committee. (2004). [*Final report: Garuda Indonesia Flight GA 152, Airbus A300-B4, PK-GAI, Buahnabar, Sumatera Utara, Indonesia, 26 September 1997*](#) (Informe N.º KNKT/97.29/04.06.016).



National Transportation Safety Committee (s. f.), reproducida en Bureau of Aircraft Accidents Archives.

HUMO

CASO ESTUDIO: FRENTE RÁFAGAS HABOOB

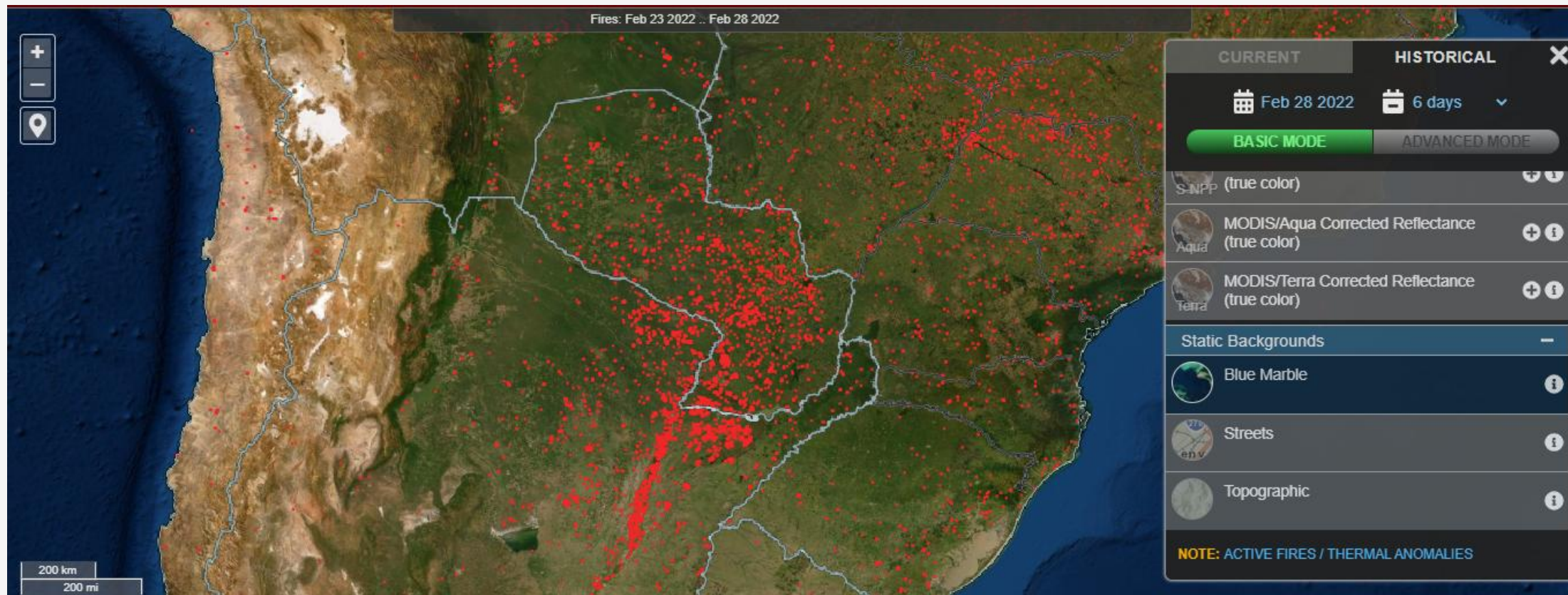
28/02/2022

Cintia Espínola



Días previos al evento de 28-02-2022

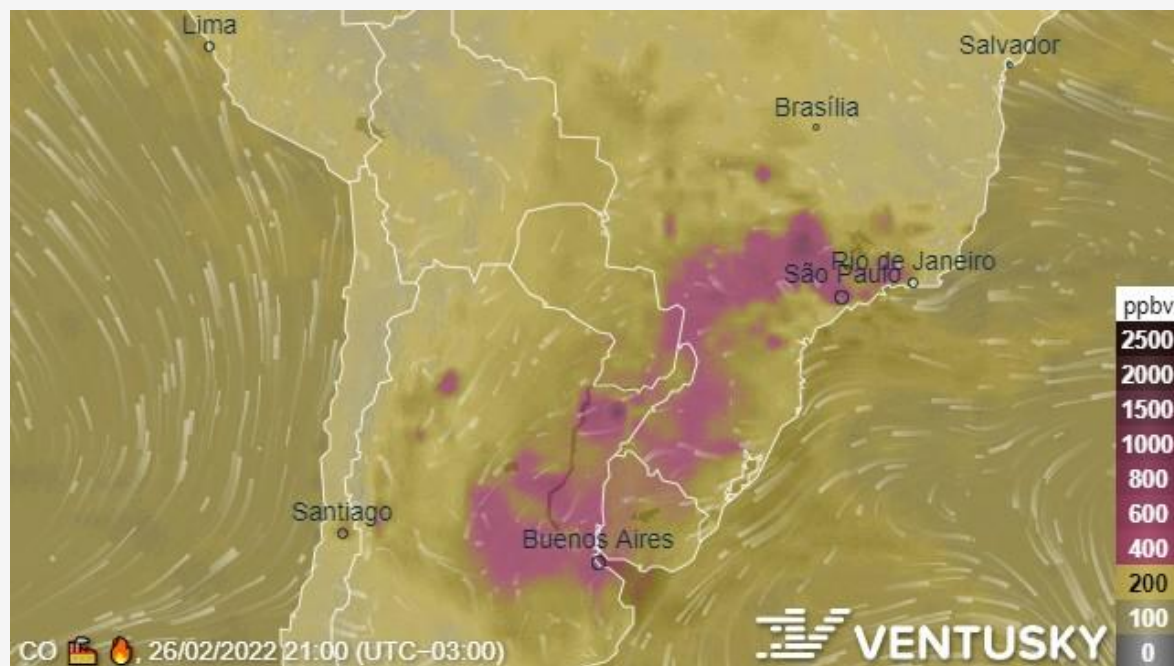
Situación de 6 días anteriores



<https://firms.modaps.eosdis.nasa.gov/>

Días previos al evento de 28-02-2022

En este producto observamos la zona de mayor contaminación por CO para el 27 de febrero del 2022 a las 21 UTC



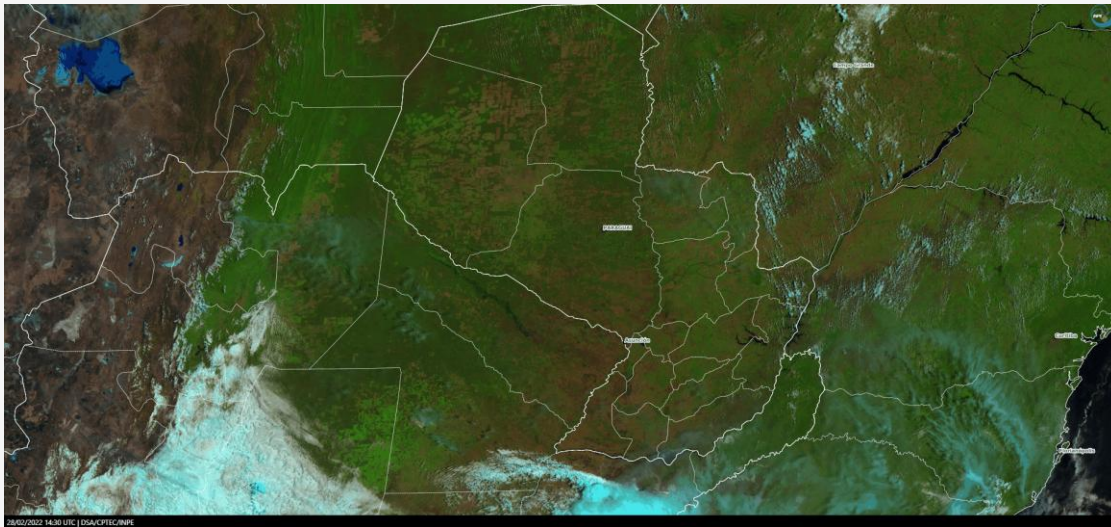
Fuente: <https://www.ventusky.com/?p=-25.3;-34.8;3&l=co&t=20220227/0000&m=silam>



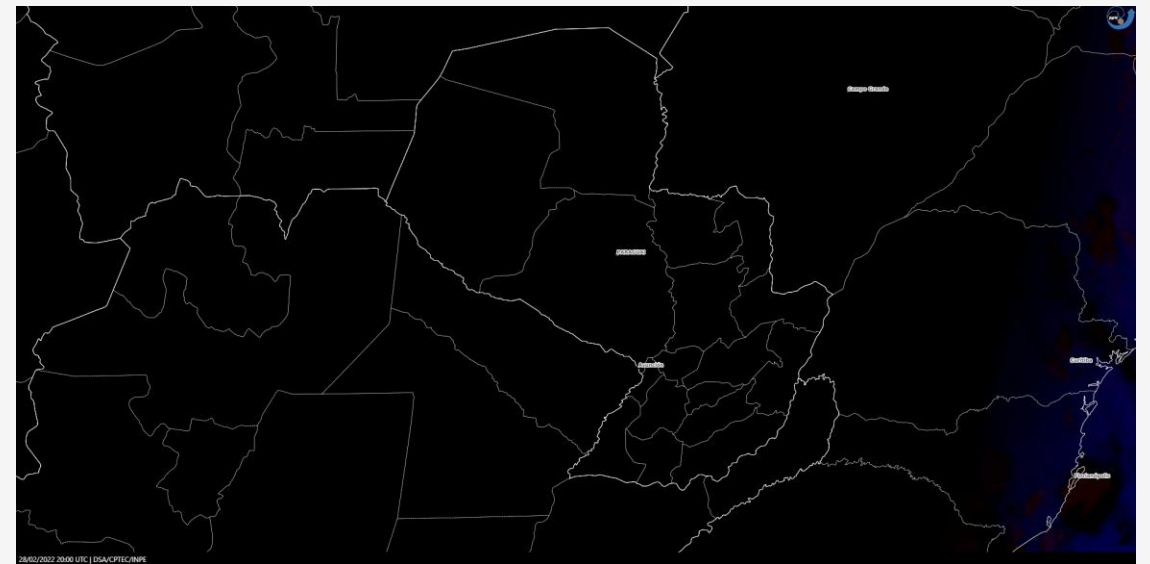
Fuente: NASA

Evento de 28-02-2022

Durante el día



Durante la noche



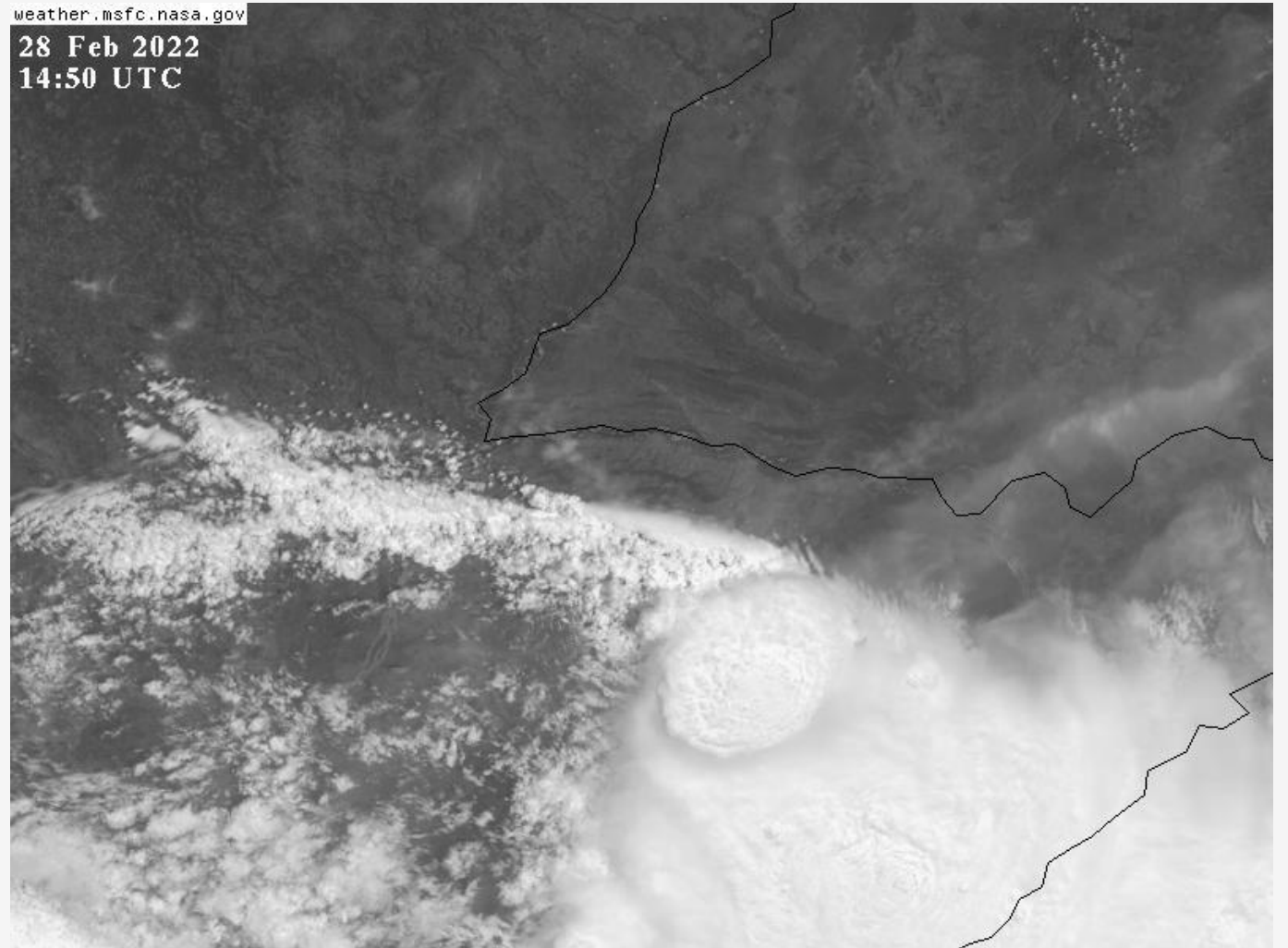
Evento de 28-02-2022

Cómo fue manifestándose

Vista mediante imágenes de satélites

weather.msfc.nasa.gov

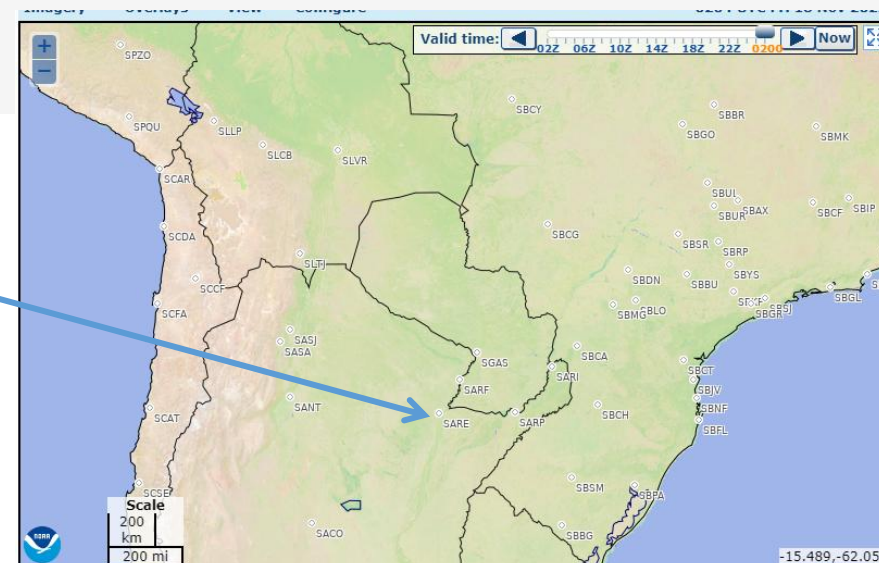
28 Feb 2022
14:50 UTC



Evento de 28-02-2022

Metar de SARE

SA 28/02/2022 14:00-> METAR SARE 281400Z 28009KT 240V330 9999 FEW050TCU 38/18 Q1006 RMK PP///=
SA 28/02/2022 15:00-> METAR SARE 281500Z 24011KT 210V270 9999 FEW045 FEW050TCU 38/19 Q1006 RMK PP///=
SP 28/02/2022 15:08-> **SPECI SARE 281508Z 18020KT 4000 FU FEW045 FEW050TCU 33/21 Q1007=**
SA 28/02/2022 15:33-> METAR SARE 281533Z 24011KT 210V270 4700 -RA OVC045 27/23 Q1007 RMK PP///=
SP 28/02/2022 15:33-> **SPECI COR SARE 281533Z 24011KT 210V270 4700 -RA OVC045 27/23 Q1007 RMK PP///=**
SP 28/02/2022 15:45-> **SPECI SARE 281545Z 16020KT 5000 TSRA OVC045 FEW050 27/23 Q1007=**
SA 28/02/2022 16:00-> METAR SARE 281600Z 15018KT 9999 -TSRA OVC045 FEW050CB 27/23 Q1008 RMK PP///=
SP 28/02/2022 16:47-> **SPECI SARE 281647Z 13021KT 2500 TS VCDS BKN045 FEW050CB 31/20 Q1008=**
SA 28/02/2022 17:00-> METAR SARE 281700Z 12020KT 1500 TS VCDS SCT045 FEW050CB 31/20 Q1007 RMK PP///=
SP 28/02/2022 17:15-> **SPECI SARE 281715Z 14020KT 9999 TS SCT045 FEW050CB 31/20 Q1007 REDS RMK PP///=**
SA 28/02/2022 18:00-> METAR SARE 281800Z 13016KT 9999 TS SCT045 FEW050CB 32/19 Q1007 RMK PP///=
SA 28/02/2022 19:00-> METAR SARE 281900Z 13017KT 9999 VCSH FEW050 BKN100 33/19 Q1006 RETS RMK CB OBS TO NE PP///=
SA 28/02/2022 20:00-> METAR SARE 282000Z 14019KT 9999 FEW035 FEW050CB SCT100 33/19 Q1007 RMK PP///=
SA 28/02/2022 21:00-> METAR SARE 282100Z 14017KT 9999 FEW035 SCT100 31/18 Q1008 RMK PP///=
SA 28/02/2022 22:00-> METAR SARE 282200Z 14017KT 9999 FEW018 SCT100 29/19 Q1009 RMK PP///=
SA 28/02/2022 23:00-> METAR SARE 282300Z 09007KT CAVOK 26/20 Q1010 RMK PP///=

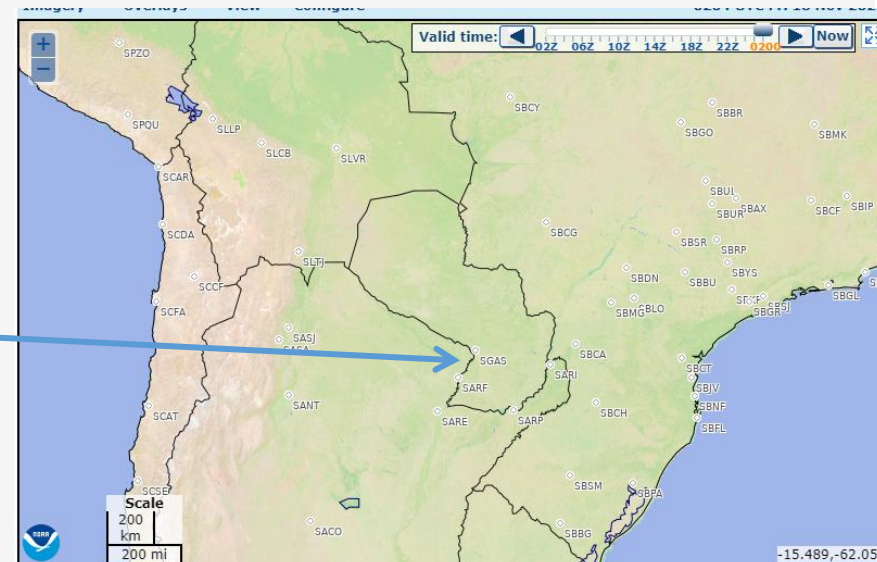


Evento de 28-02-2022

Datos de estaciones meteorológicas

Metar de SGAS

SA 28/02/2022 18:00-> METAR SGAS 281800Z 35012KT 9999 BKN033 39/22 Q1006=
SA 28/02/2022 19:00-> METAR SGAS 281900Z 35012KT 9999 BKN033 FEW040TCU 39/22 Q1005=
SP 28/02/2022 19:20-> SPECI SGAS 281920Z 35012KT 9999 TS BKN033 FEW040CB 38/22 Q1005=
SA 28/02/2022 20:00-> METAR SGAS 282000Z 28004KT 240V340 8000 -TSRA BKN027 FEW040CB 38/22 Q1005=
SP 28/02/2022 20:15-> SPECI SGAS 282015Z 19014G29KT 5000 TSRA BKN027 FEW040CB 32/23 Q1005=
SP 28/02/2022 20:35-> SPECI SGAS 282035Z 16019G32KT 2500 -TSRA FU BKN027 FEW040CB 30/21 Q1006=
SA 28/02/2022 21:00-> METAR SGAS 282100Z 18022KT 6000 TS FU BKN027 FEW040CB 27/23 Q1006 RERA=
SP 28/02/2022 21:25-> SPECI SGAS 282125Z 18012G22KT 9000 -TSRA BKN027 FEW040CB OVC070 27/23 Q1007=
SA 28/02/2022 22:00-> METAR SGAS 282200Z 17018KT 9999 -TSRA BKN027 FEW040CB OVC070 26/23 Q1008=
SP 28/02/2022 22:25-> SPECI SGAS 282225Z 27012G22KT 9000 -TSRA BKN020 FEW040CB OVC070 26/23 Q1010=
SA 28/02/2022 23:00-> METAR SGAS 282300Z 19018KT 7000 TSRA BKN020 FEW040CB OVC070 25/24 Q1009=
SA 01/03/2022 00:00-> METAR SGAS 010000Z 17017KT 7000 TSRA BKN020 FEW040CB OVC070 25/24 Q1009=
SA 01/03/2022 01:00-> METAR SGAS 010100Z 16012KT 9000 -TSRA BKN020 FEW040CB OVC080 25/23 Q1009=
SP 01/03/2022 01:20-> SPECI SGAS 010120Z 26012G24KT 9999 -TSRA BKN010 FEW040CB OVC050 25/24 Q1012=
SP 01/03/2022 01:40-> SPECI SGAS 010140Z 22018KT 5000 TSRA BKN015 SCT040CB OVC070 25/23 Q1012=
SA 01/03/2022 02:00-> METAR SGAS 010200Z 17019KT 8000 -TSRA BKN020 SCT040CB OVC070 25/23 Q1011=
SA 01/03/2022 03:00-> METAR SGAS 010300Z 16015KT 9999 -TSRA BKN020 FEW040CB OVC070 25/23 Q1011=



Evento de 28/02/2022 - Algunas imágenes capturadas



Coratei, al sur de
Paraguay



Evento de 28/02/2022 - Algunas imágenes capturadas



San Antonio –
Departamento Central



Nueva Italia –
Departamento Central



HUMO

Herramientas para prevenir

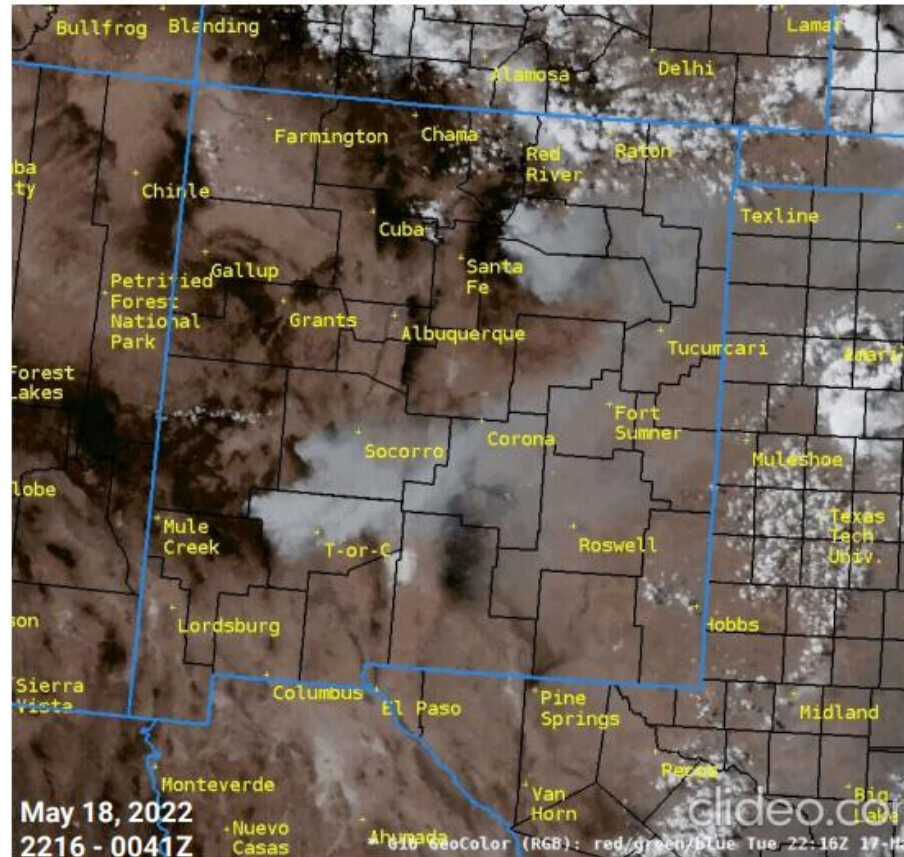


TAF Smoke Forecast

- Based on smoke model guidance and timing of previous day's smoke ceiling and visibility obstruction.
- NWS ABQ closely coordinates with US Forest Service on smoke impacts and timing.
- Sample:

TAF KTCC 101730Z 1018/11118 23015G25KT P6SM SKC
FM102000 23018G28KT P6SM SCT150
FM110200 24011KT 6SM FU BKN020
TEMPO 1103/1106 1SM FU OVC020
FM110700 VRB06KT 6SM FU SCT020
FM111200 VRB06KT P6SM SKC

AIM (Aeronautical Information Manual)





MUCHAS GRACIAS

Efectos del cambio climático en la infraestructura
aeroportuaria y promover resiliencia a eventos
climatológicos extremos

Alejandro Coronel Abadie

alejandro.coronel@meteorologia.gov.py

HUMO

Herramientas para prevenir



PANS-MET, Doc. 10157, apartado 4.1.2.3, establece que determinados fenómenos se pronostiquen cuando se esperan en el aeródromo.

Incluye además otros fenómenos del apartado 2.2.4.2.3 — donde aparece **humo, FU**— conforme a los acuerdos entre el proveedor meteorológico, la autoridad ATS y los explotadores.

Estos procedimientos son aplicables desde el **27 de noviembre de 2025**.