

EFFECTOS DEL CAMBIO CLIMÁTICO EN LA INFRAESTRUCTURA AEROPORTUARIA Y PROMOVER RESILIENCIA A EVENTOS CLIMATOLÓGICOS EXTREMOS



ENGELAMIENTO

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

Objetivos del taller

Mostrar casos reales a expertos aeronáuticos de Panamá y extraer criterios aplicables a operaciones con alto volumen de tránsito aéreo.

Contexto: aunque el fenómeno no sea frecuente localmente, vuelos que salen de Tocumen pueden encontrar engelamiento en rutas o destinos internacionales.



Tocumen → rutas/destinos con riesgo

Al finalizar, los participantes podrán:

1

Reconocer la amenaza

Identificar condiciones meteorológicas y señales operativas de engelamiento en ruta, ascenso, descenso u órbita.

2

Conectar meteorología y operación

Traducir reportes, ATIS, coordinación ATC/operaciones y decisiones de cabina en acciones preventivas.

3

Aplicar lecciones a Tocumen

Valorar el alto tráfico, las conexiones internacionales y los destinos donde el fenómeno sí puede presentarse.

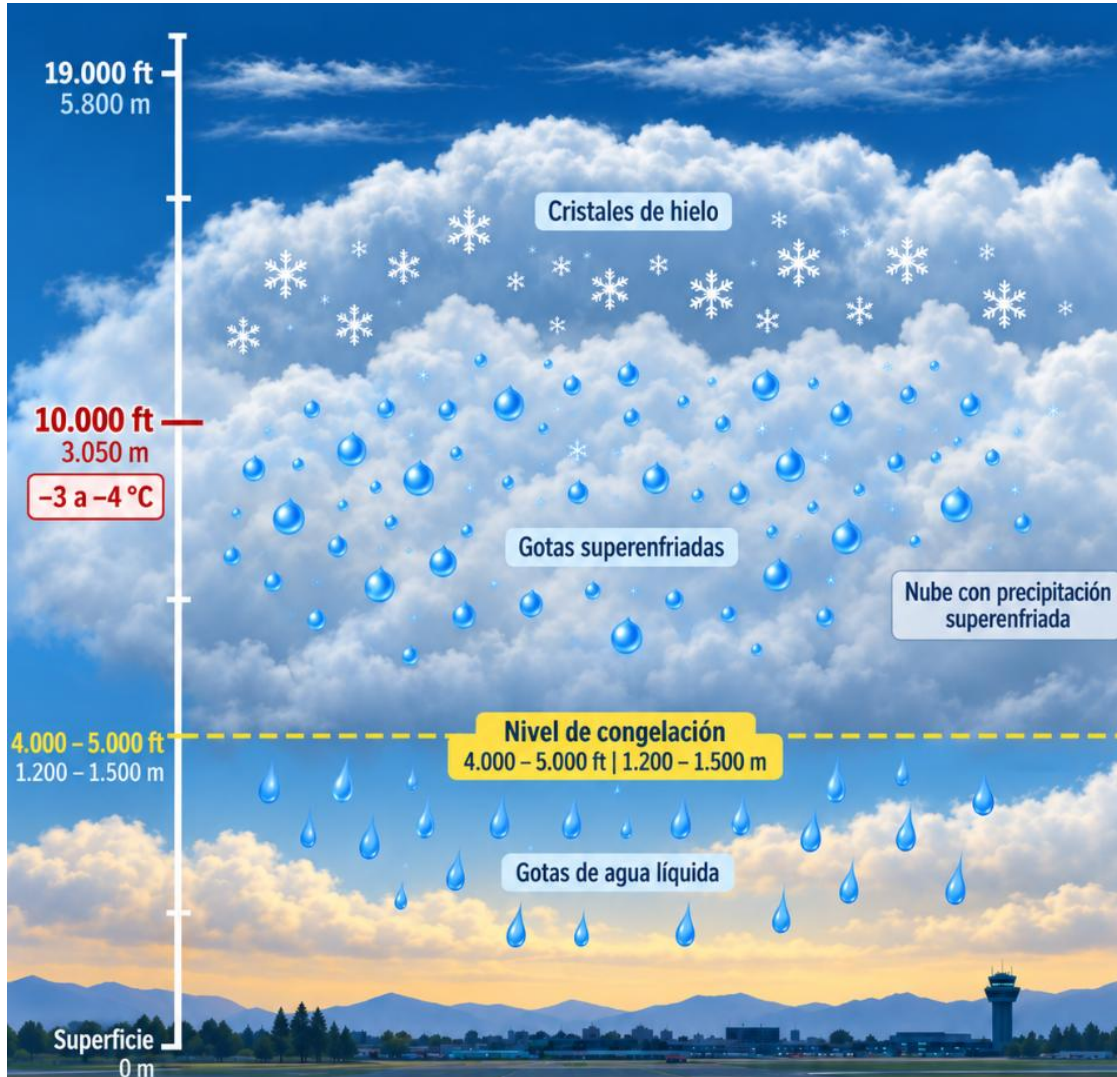


Vuelo regional hacia un aeropuerto congestionado

CASO 01



CONDICIONES METEOROLOGICAS



Época del año: finales de otoño.

Región: norte de Indiana, Estados Unidos.

Altitud crítica: ~10.000 ft.

Temperatura: cercana a congelación,
~ -3 a -4 °C.

Fenómeno principal: freezing drizzle (según reportes PIREPs).

No era una tormenta intensa; era una capa de nube y precipitación superenfriada en la que el avión permaneció demasiado tiempo.”

todavía invierno. Octubre corresponde al **otoño boreal**, pero en esa región ya son frecuentes las irrupciones de aire frío y los sistemas frontales capaces de producir capas extensas de nube con



CRONOLOGÍA DEL EVENTO



Hora local	Evento importante	Lectura operacional para el taller
14:55	Despega de Indianápolis con destino a Chicago O'Hare. Vuelo previsto de unos 45 minutos.	Operación inicialmente normal.
≈15:13	Comienza descenso desde FL160 hacia 10.000 ft. En la zona existían reportes de pilotos indicando condiciones de engelamiento.	Primer punto de decisión: ¿qué información debería llegar a operaciones/despacho/tripulación?
Después de 15:13	ATC instruye a la aeronave a mantenerse en espera a 10.000 ft debido a demoras hacia Chicago.	Aumenta el tiempo de exposición al ambiente de engelamiento.
15:33	Se extienden flaps a 15°. La aeronave continúa en espera.	La configuración de vuelo cambia mientras persiste la exposición.
15:41:07	El FDR registra activación del sistema de deshielo de la estructura.	Evidencia clara de que la aeronave está encontrando condiciones que requieren protección contra hielo.
15:41–15:56	Continúa la espera dentro de condiciones de engelamiento. Se produce acumulación asociada a freezing drizzle/SLD.	Para tu público, esta es la fase crítica: “¿seguimos esperando o buscamos otra solución operacional?”



CRONOLOGÍA DEL EVENTO



Hora local	Evento importante	Lectura operacional para el taller
15:56:16	ATC autoriza descenso a 8.000 ft.	Se abandona finalmente la espera.
15:57:33	Descendiendo por aproximadamente 9.130 ft, comienza una deflexión no comandada de los alerones. El piloto automático se desconecta y la aeronave inicia un fuerte alabeo a la derecha.	La amenaza deja de ser preventiva y pasa a una emergencia de control de vuelo.
15:57:38	Nueva excursión de alabeo; la tasa supera aproximadamente 50°/s.	La recuperación se vuelve extremadamente difícil.
15:57:45	La aeronave completa aproximadamente una vuelta completa alrededor del eje longitudinal.	Pérdida de control establecida.
15:57:48	Desciende pasando aproximadamente 6.000 ft, velocidad >260 kt, morro unos 60° abajo.	Muy poco margen para recuperación.
15:57:51	Pasa unos 4.900 ft, velocidad >300 kt.	Situación prácticamente irrecuperable.
≈15:59	Impacta contra el terreno cerca de Roselawn. Fallecen las 68 personas a bordo.	Consecuencia final.



Vuelo regional hacia un aeropuerto congestionado

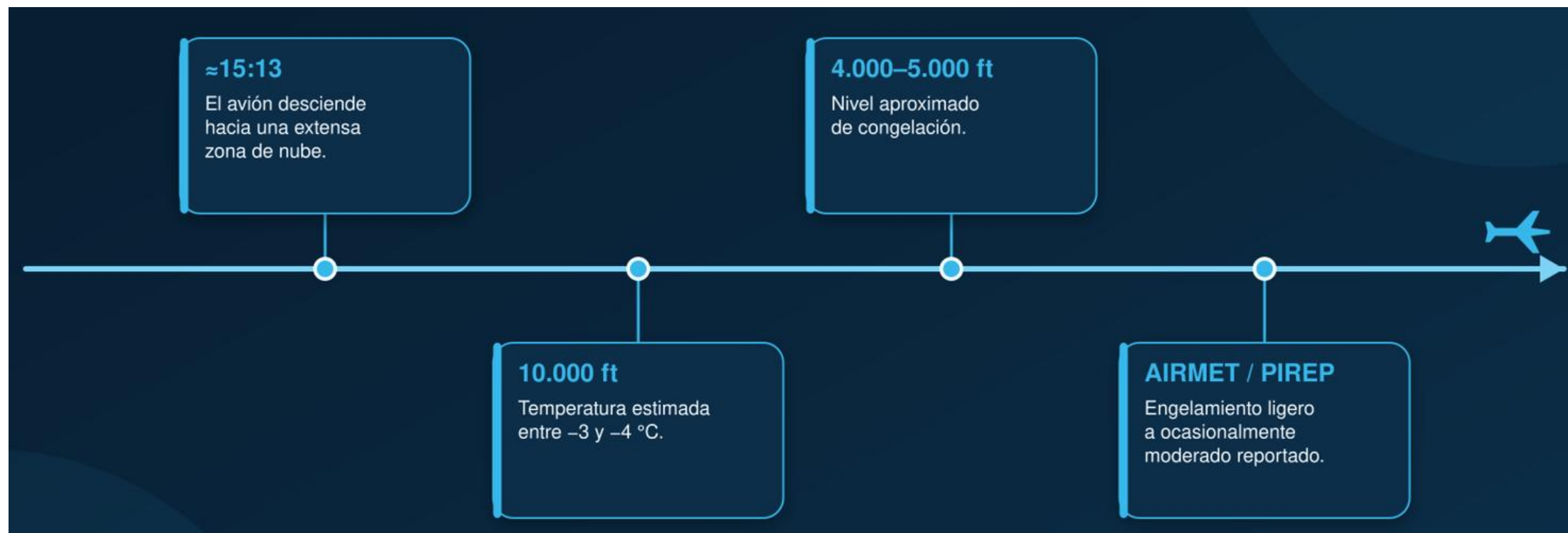
CASO 01 - CRONOLOGÍA



1 OPERACIÓN NORMAL



2 APARECE AMENAZA



Qué riesgo están evaluando?

nubes + Temp < 0 °C + Demora del vuelo = EXPOSICIÓN

3

VUELO ENTRA EN ESPERA



El riesgo no solamente depende de la
Intensidad del fenómeno.

También depende de cuanto tiempo
permanezca expuesto

4

LAS SEÑALES EMPIEZAN A ACUMULARSE

15:41:07

Alerta y activación
del deshielo
estructural nivel III.

15:48:41

La tripulación indica:
“estoy viendo algo
de hielo ahora”.

15:42:38

Comienza el tercer
circuito de orbita.

15:55:42

Primer oficial:
“todavía tenemos
hielo”.



4

LAS SEÑALES EMPIEZAN A ACUMULARSE

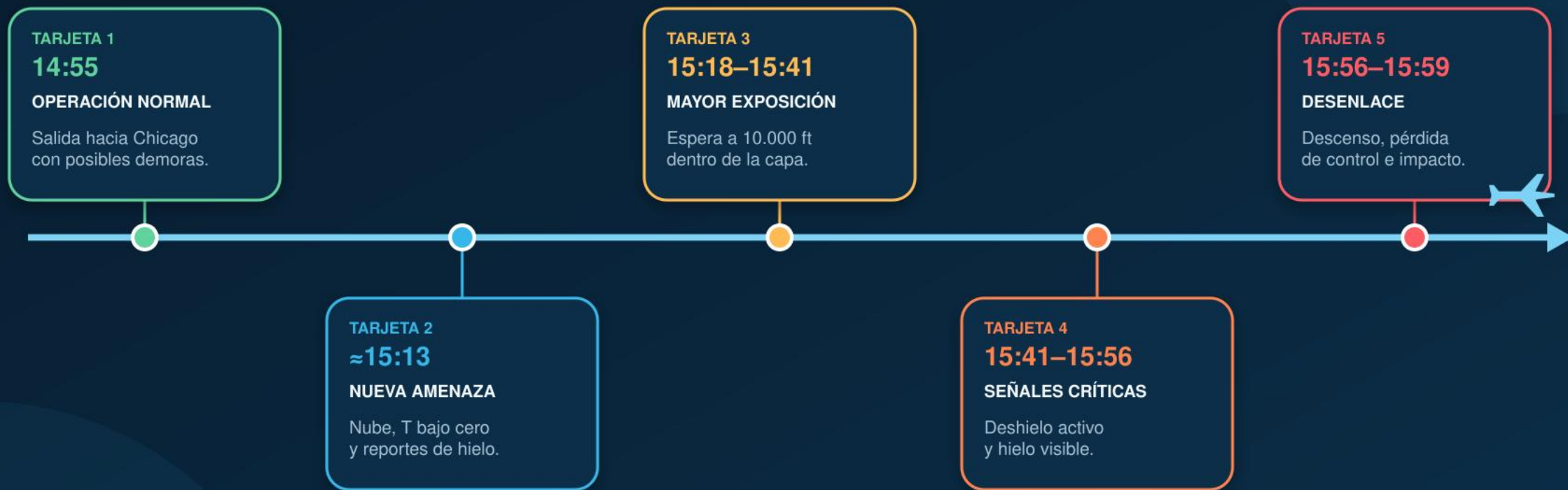
- A.** Continuar la espera porque el sistema anti-ice/de-ice está funcionando.
- B.** Solicitar prioridad para abandonar la capa.
- C.** Mantener el vuelo pero aumentar el seguimiento.
- D.** Iniciar evaluación inmediata de desvío/alternado.

El hecho de que el sistema de deshielo esté funcionando no significa que la situación esté bajo control indefinidamente.

5

DESENLAACE FINAL



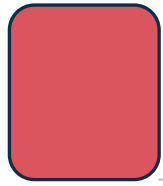


En cada tarjeta: recibir información → evaluar riesgo → decidir → comunicar

ruta de vuelo



290 KM (180 MILLAS)



CASO 01 - American Eagle flight 4184

Monroe, Michigan — 9 de enero de 1997



FECHA

**Fallecen las 68
personas a
bordo!!**

CONCLUSIÓN

La resiliencia operacional no comienza cuando la aeronave pierde el control.

Comienza cuando una organización reconoce que:

**amenaza +
exposición creciente +
señales repetidas** **=** **necesidad de revisar el plan.**

BIBLIOGRAFÍA

National Transportation Safety Board. (1996). In-flight icing encounter and loss of control: Simmons Airlines, d.b.a. American Eagle Flight 4184, Avions de Transport Regional (ATR), Model 72-212, N401AM, Roselawn, Indiana, October 31, 1994 (Aircraft Accident Report NTSB/AAR-96/01).

Federal Aviation Administration. (s. f.). Avions de Transport Regional 72-212: Simmons Airlines American Eagle Flight 4184, N401AM. Lessons Learned. Recuperado el 15 de septiembre de 2026

Ranaudo, R. J. (2017, 19 de octubre). Hazardous ice. AeroSafety World, Flight Safety Foundation.

Horne, T. A. (2015, 5 de marzo). WX Watch: Lessons from Roselawn—New icing rules from a landmark accident. AOPA Pilot.

Ratvasky, T. P., Barnhart, B. P., & Lee, S. (2010). Current methods modeling and simulating icing effects on aircraft performance, stability and control. National Aeronautics and Space Administration.



Una salida en condiciones invernales

CASO 02





Bettmann. (1982, January 13). Rescue workers wait on the snow-covered bank of the Potomac River to aid survivors of Air Florida Flight 90 [Photograph]

Variable	Condición cercana al accidente
Hora de observación	15:58 EST
Temperatura	24 °F ≈ -4,4 °C
Punto de rocío	24 °F ≈ -4,4 °C
Precipitación	Nieve moderada
Visibilidad	½ milla ≈ 800 m
Techo	200 ft, cielo oscurecido
Viento	010° / 11 kt
RVR pista 36	2.800 ft, variable hasta 3.500 ft a las 15:58 (850–1.070 m)
RVR pista 36 a las 16:00	aproximadamente 2.100 ft (640 m)

ruta de vuelo

AIR FLORIDA 90 — UBICACIÓN Y RECORRIDO INICIAL

Washington National Airport — 13 de enero de 1982



El avión despegó, pero recorrió una distancia muy corta antes de impactar.



CRONOLOGÍA DEL EVENTO



Momento	Evento	Punto operacional
Antes de salida	Aeropuerto afectado por nieve moderada/fuerte y temperaturas bajo cero.	Condiciones adversas conocidas.
Espera prolongada	El vuelo acumula aproximadamente 1 h 45 min de retraso.	Presión operacional y posible deterioro de las condiciones de la aeronave.
Antes del pushback	La aeronave recibe tratamiento de deshielo.	¿Cuánto tiempo sigue siendo válido ese tratamiento?
Después del deshielo	Continúa la exposición a nieve y temperaturas bajo cero mientras espera salida.	El riesgo vuelve a aumentar.
Rodaje	La aeronave permanece detrás de otras aeronaves durante condiciones invernales.	Posible contaminación adicional.



CRONOLOGÍA DEL EVENTO



Momento	Evento	Punto operacional
Antes del despegue	Persisten nieve/hielo sobre partes de la aeronave.	Última barrera antes de entrar en pista.
15:59:24	Torre autoriza el despegue de la pista 36.	Último punto donde todavía puede abortarse operacionalmente antes del inicio de la carrera.
≈16:00:10	Durante la carrera comienza a registrarse velocidad significativa. La performance es anormal.	Aparecen indicios de problema.
16:00:31	Se realiza la llamada V1.	A partir de aquí las opciones disminuyen drásticamente.
Segundos después	Despegue con rendimiento muy inferior al esperado.	Dificultad para ganar altura.
≈16:01	El Boeing 737 golpea el puente de la calle 14 y cae al río Potomac.	Accidente.



Una salida en condiciones invernales

CASO 02 - CRONOLOGÍA



1

CONDICIONES INICIALES

Antes de la salida

Nieve moderada a fuerte

Washington National opera bajo condiciones invernales severas, con temperaturas bajo cero y acumulación de nieve.

Lectura para el grupo

La situación todavía puede parecer rutinaria, pero el riesgo ya comenzó a construirse.

Retraso en aumento

La operación empieza a verse afectada y el vuelo comienza a acumular demora.



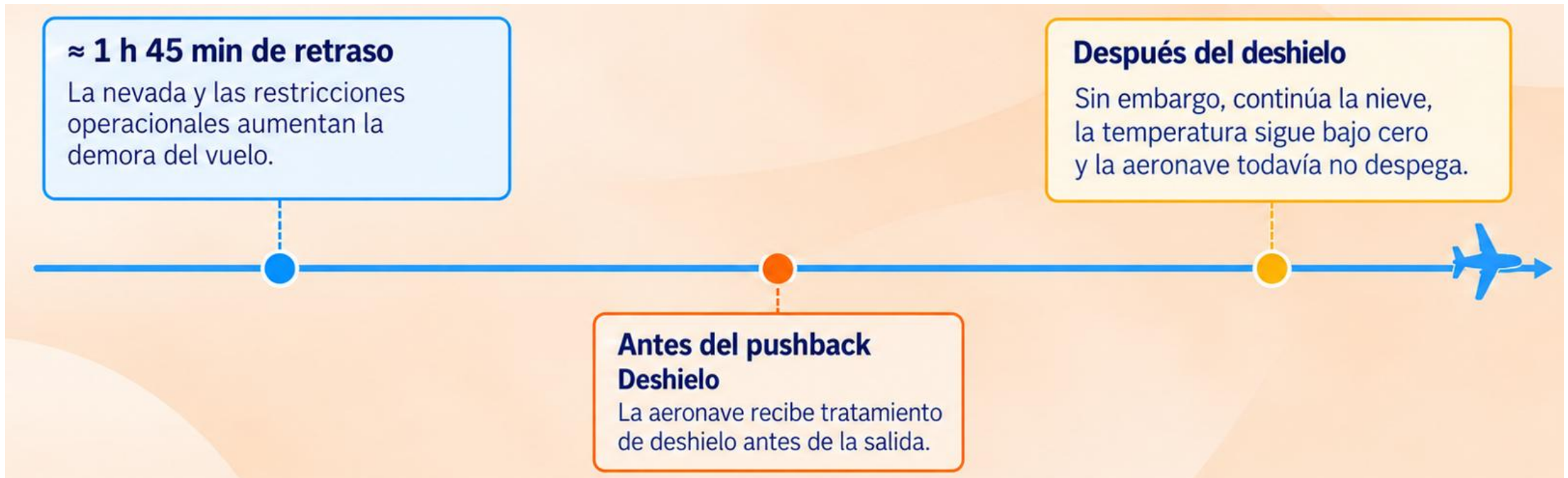
1

CONDICIONES INICIALES

¿Qué condiciones creen que harían que este caso deje de ser considerado como vuelo rutinario?

El Peligro aparece recién con la presencia de hielo en el avión?

2 RETRASO + DESHIELO

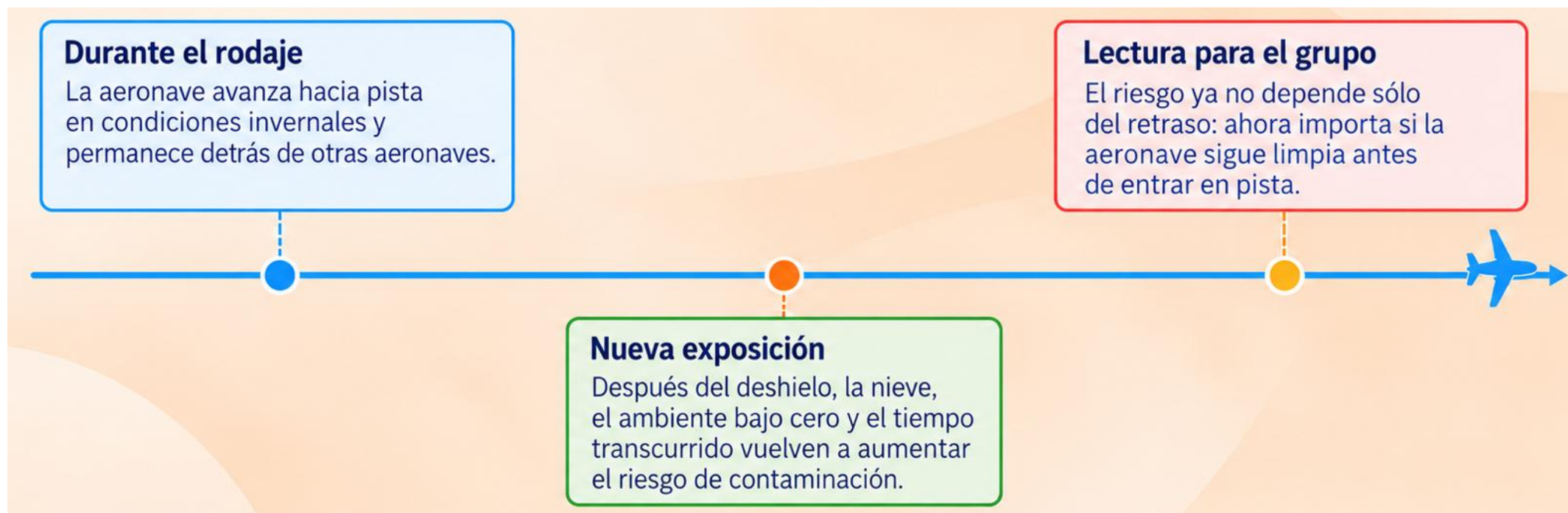


Continúa el riesgo?

Deshielo ≠ Protección indefinida

3

RODAJE Y NUEVA EXPOSICIÓN



El riesgo ya no depende exclusivamente del retraso. Depende de si la aeronave sigue limpia antes de entrar a rodaje.

3

RODAJE Y NUEVA EXPOSICIÓN

¿Qué pesa más ahora?

Retraso acumulado

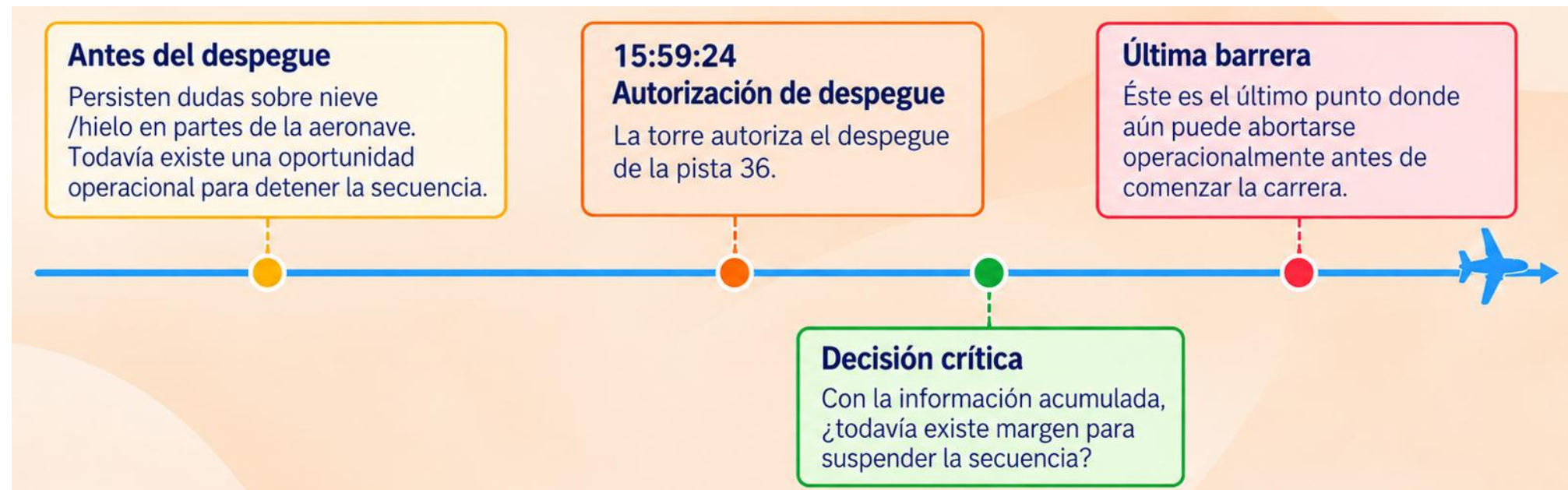
Incertidumbre en una nueva
contaminación

Un retraso de 1:45 min es un Problema Operacional.

Una aeronave contaminada es un Problema de Seguridad

4

ÚLTIMA BARRERA



nieve + Temp < 0 °C + retraso + Deshielo previo + nueva exposición + Rodaje muy prolongado

5

APARECEN LAS SEÑALES FINALES

≈ 16:00:10

Rendimiento anormal

Durante la carrera se observa una performance inferior a la esperada.

16:00:31

Llamada V1

A partir de aquí las opciones disminuyen drásticamente.

Segundos después

La aeronave despega con muy bajo rendimiento y dificultad para ganar altura.

≈ 16:01

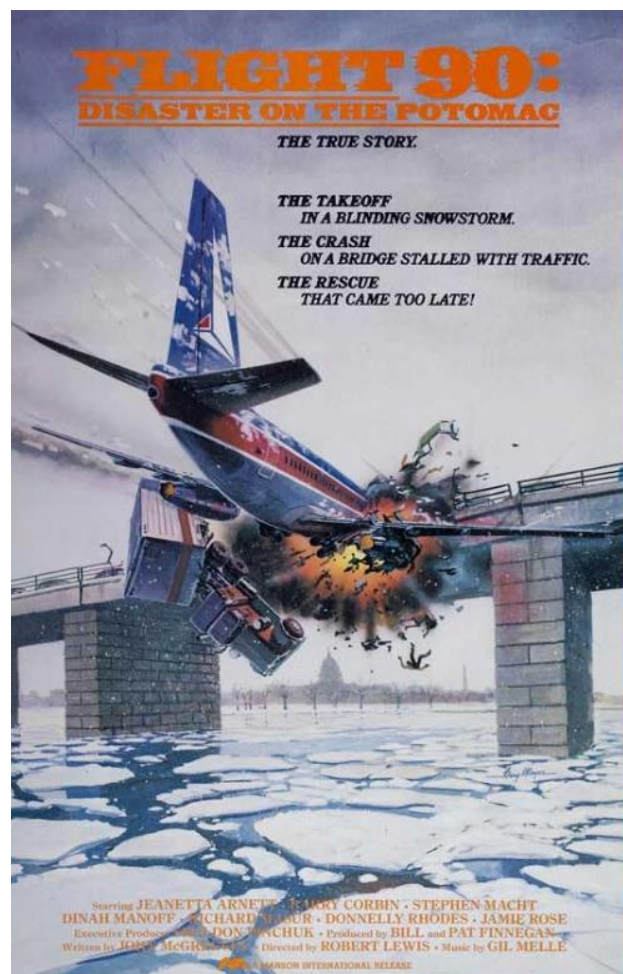
Accidente

El Boeing 737 golpea el puente de la calle 14 y cae al río Potomac.



CASO 02 - Air Florida 90 — Boeing 737-222

Washington National Airport — 13 de enero de 1982



CONCLUSIÓN

La resiliencia operacional no comienza cuando aparecen problemas durante el despegue.

Comienza cuando una organización reconoce que:

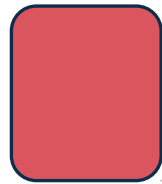
**nieve continua +
tiempo desde el deshielo +
señales de
recontaminación**



**necesidad de detenerse y
reevaluar antes de despegar.**

La seguridad se decide antes del despegue.

Deshelar no basta: hay que garantizar que la aeronave siga limpia al despegar.



BIBLIOGRAFÍA

National Transportation Safety Board. (1982). Air Florida, Inc., Boeing 737-222, N62AF, collision with 14th Street Bridge, near Washington National Airport, Washington, D.C., January 13, 1982 (Aircraft Accident Report NTSB-AAR-82-08).

National Transportation Safety Board. (1982). Air Florida, Inc., Boeing 737-222, N62AF, collision with 14th Street Bridge (Investigation DCA82AA011).

Federal Aviation Administration. (n.d.). Air Florida Flight 90, N62AF: Boeing 737-200. Lessons Learned from Transport Airplane Accidents

Stoklosa, J. H. (1983). The Air Florida and Pan American accidents—A further look. SAE Technical Paper 831413. <https://doi.org/10.4271/831413>.

¡Muchas gracias!



Alejandro Coronel Abadie

Correo: alejandro.coronel@meteorologia.gov.py

Taller de Engelamiento Aeronáutico | Panamá 2026