CENTRO DE ESTUDIOS ESTRATÉGICOS Y AEROESPACIALES

Artículo Nº 20 /2024

LA TURBULENCIA EN AIRE CLARO (CAT), UNA PESADILLA

Por Victor Villalobos Collao. Director de Asuntos Aeronáuticos.
28 de agosto de 2024. 10 Min. Lectura.

Imagen: Pongsakornr Rodphai/Folleto/Reuters

Introducción.

El 20 de mayo de 2024, un avión Boeing 777- 300ER, vuelo SQ321 de Singapore Airlines (SIA), que operaba desde Londres a Singapur, encontró turbulencias extremas repentinas sobre la cuenca Irrawaddy a 37.000 pies (11.300 metros). El piloto declaró una emergencia médica y desvió el avión a Bangkok", el avión descendió bruscamente desde unos 11.300 metros a 9.500 metros en solo cinco minutos, para después estabilizarse y aterrizar en Tailandia. A la aeronave "le faltaban dos o tres horas para llegar a su destino", según han explicado las autoridades aeroportuarias. En este vuelo resultó 1 pasajero fallecido y 100 pasajeros lesionados.

Fig 1: interior del vuelo SQ321 de Singapore Airline.

El contenido de esta publicación es de responsabilidad de sus autores y no necesariamente representa el pensamiento de la FACH

El 26 mayo 2024, otro evento involucró a un Boeing 787-9 Dreamliner, quien experimentó turbulencias mientras volaba sobre Turquía, según informó el operador del aeropuerto de Dublín. Doce personas resultaron heridas debido a las turbulencias en un vuelo que operaba la ruta de Doha a Dublín, República de Irlanda.
Al aterrizar, poco antes de las 13:00 hora local, el vuelo QR017 de Qatar Airways fue recibido por los servicios de emergencia del Aeropuerto. Las autoridades reportaron seis pasajeros y seis miembros de la tripulación heridos.

El 1 de julio del 2024, un avión Boeing 787-9 Dreamliner del vuelo Air Europa UX045 con 325 pasajeros a bordo, realizó un aterrizaje de emergencia en la ciudad costera de Natal, Brasil, tras experimentar turbulencias a cuatro horas después de su salida desde Madrid, según los datos del vuelo.
Algunos pasajeros se golpearon la cabeza durante las turbulencias y sufrieron lesiones en la cabeza, el cuello y el pecho, según las autoridades de salud brasileñas. Treinta y seis pasajeros recibieron tratamiento y 23 fueron trasladados a un hospital, de acuerdo a funcionarios de salud y aeroportuarios.

Un acontecimiento adverso ligado a turbulencias en el aire es muy difícil de encontrar. Cada día hay alrededor de 100.000 vuelos, con 6 millones de pasajeros transportados y rara vez hay inconvenientes. Las aeronaves son ingenios seguros, con un porcentaje muy pequeño de un daño estructural en caso de encontrar turbulencia en su ruta.
Las turbulencias difícilmente representan un peligro para la seguridad aérea. Sin embargo, un estudio de la Universidad de Reading en el Reino Unido, publicado en 2023, demostró que la duración anual total de las turbulencias severas aumentó en un 55% en los últimos 40 años, y que estos episodios podrían triplicarse a finales de siglo.

Diferentes tipos de turbulencias.

- De acuerdo a su intensidad.

  Para clarificar las diferentes turbulencias, se utilizan 4 categorías, que son las siguientes:

  - **Turbulencia ligera.**
    Los objetos sin asegurar a bordo se desplazan levemente. Los servicios de comida pueden ser servidos con cierta dificultad, pero sin problemas. Pequeños cambios en la altitud y actitud de vuelo.

  - **Turbulencia moderada.**
    Comienza a apreciarse una tensión en los cinturones. Los objetos sin asegurar son desplazados de su lugar. Los servicios de abordo como el catering se hacen muy dificultosos. Caminar por el pasillo central y llegar al baño puede ser complicado. Cambios importantes en la altitud y actitud de vuelo.

El contenido de esta publicación es de responsabilidad de sus autores y no necesariamente representa el pensamiento de la FACH

- **Turbulencia fuerte/severa.**
  Se observan tensiones fuertes en los cinturones de seguridad. Sensación de náuseas. Los objetos sin asegurar pueden dispararse con mucha velocidad. Aeronave fuera de control por algunos segundos.

- **Turbulencia extrema.**
  La aeronave experimenta movimientos de ascensos y descensos violentos. La aeronave es prácticamente incontrolable con posible daño estructural. Equipaje de mano es arrojado afuera de sus recipientes contenedores. Muy peligroso para cualquier persona sin cinturón de seguridad.

En general, la turbulencia ligera/moderada se aprecia en el 90% de los casos de turbulencia, siendo pocos los casos de turbulencia severa/extrema observados en relación al número total de vuelos.

- De acuerdo a su generación.

  La turbulencia también se clasifica según el mecanismo que la genera:

  - **Turbulencia mecánica.**
    Es aquella que es generada por la obstrucción del viento con obstáculos en el entorno. Este tipo de turbulencia es frecuente cuando la aeronave está despegando/aterrizando.

Fig 2: Esquema turbulencia mecánica.

El contenido de esta publicación es de responsabilidad de sus autores y no necesariamente representa el pensamiento de la FACH

- **Turbulencia térmica.**
  Es aquella relacionada con el ascenso de burbujas de aire cálido o "térmicas" en suelo con poca vegetación durante el mediodía/tarde.

Fig 3: Esquema Turbulencia térmica.

- **Turbulencia orográfica.**
  Es aquella generada por la intercepción de fuertes vientos con un sistema orográfico o Cordillera. Por lo general se experimenta este tipo de turbulencia cuando la aeronave vuela cerca del tope de las montañas.

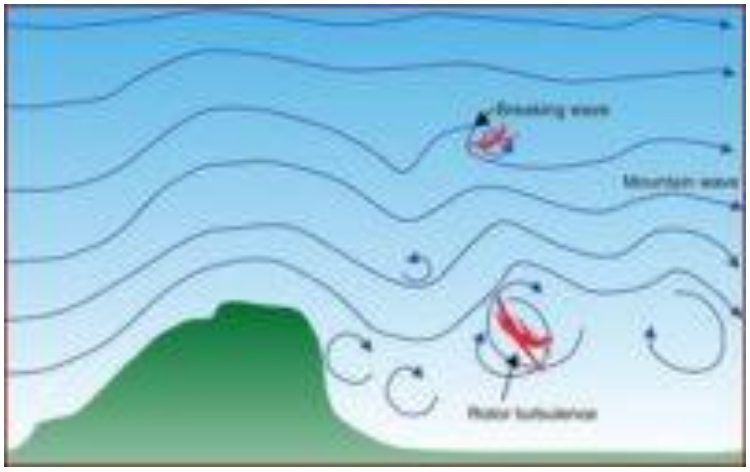

Fig 4: Turbulencia orográfica.

El contenido de esta publicación es de responsabilidad de sus autores y no necesariamente representa el pensamiento de la FACH

- **Turbulencia convectiva.**
  Es aquella generada por los corrientes de ascenso/descenso en las nubes cumulonimbus. La experiencia de este tipo de turbulencia se da cuando la aeronave se sumerge literalmente en una nube de tormenta.

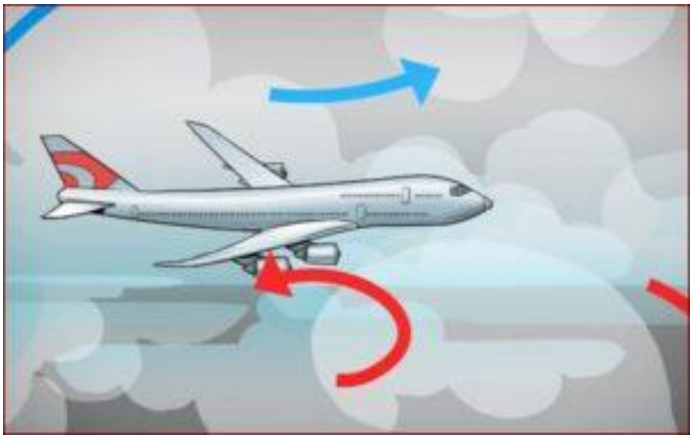

Fig 5: Turbulencia convectiva.

- **Turbulencia en aire claro (CAT).**
  Es la turbulencia más común y más difícil de detectar. Se produce cuando dos corrientes de aire de distinta densidad se inestabilizan como "olas en el mar". Se asocia con vientos muy fuertes de la corriente en chorro a 10 kms. de altura aproximadamente. Cuando hay humedad suficiente, se pueden apreciar como nubes.

Fig 6: Cirrus de Kelvin Helmhotz asociadas a turbulencia en aire claro.

El contenido de esta publicación es de responsabilidad de sus autores y no necesariamente representa el pensamiento de la FACH

La Turbulencia de aire claro.

Descripción y Causas.

Las turbulencias de aire claro (CAT, Clear Air Turbulence) están asociadas a una fuerte cizalladura vertical del viento en un entorno estáticamente estable. Se producen en ausencia de nubes y son causadas por masas de aire que se mueven a distintas velocidades (OMM, 1977).

A una altitud de crucero de 12 mil metros, estas turbulencias son influenciadas por las corrientes en chorro (Jet Streams) de latitudes medias, las cuales se sostienen por la diferencia de temperatura entre los polos y los trópicos, que son más cálidos.

Estas turbulencias pueden ser ocasionadas por cambios en la velocidad del viento dentro de la corriente en chorro, diferencias en la temperatura del aire y cambios en la presión atmosférica.

A diferencia de las turbulencias asociadas a tormentas, las CAT son difíciles de predecir ya que no pueden ser detectadas por el radar meteorológico convencional.

Impacto de la Turbulencia en aire claro a la aviación.

La turbulencia en aire claro puede afectar la aviación de varias maneras:

- **Movimientos bruscos.**
  Al encontrar turbulencia en aire claro, esta podrá causar movimientos bruscos e inadvertidos en la aeronave, como cambios de velocidad y altitud, causando el malestar de los pasajeros e incluso para algunos síntomas de pánico. Lo anterior, requiere de una supervisión más constante de la tripulación.

- **Mantención de la ruta.**
  Debido a la turbulencia, las aeronaves tendrán dificultades en la mantención de la ruta planificada. La tripulación debe realizar correcciones permanentemente para mantener el control de la aeronave.

- **Presión estructural.**
  La turbulencia en aire claro aplica diferentes fuerzas a la estructura del avión. De acuerdo al tiempo de exposición del avión a este fenómeno, esta puede afectar a la fatiga de material.

Turbulencia de Aire Claro y el Cambio Climático.

La diferencia térmica entre los polos y el ecuador está relacionada con el aumento en la frecuencia e intensidad de las turbulencias de aire claro, producto del cambio climático.

El aumento de gases de efecto invernadero ha provocado que esta diferencia de temperatura cambie de manera compleja. Según los modelos climáticos, observaciones satelitales y la teoría

El contenido de esta publicación es de responsabilidad de sus autores y no necesariamente representa el pensamiento de la FACH

física, esta diferencia térmica está disminuyendo a nivel del suelo debido al calentamiento polar amplificado asociado con el derretimiento del hielo marino. Sin embargo, está aumentando en los niveles de vuelo de crucero debido al enfriamiento de la estratosfera inferior. Esto provoca cambios en los patrones de viento predominantes de la corriente en chorro, lo que puede modificar el vuelo óptimo, las rutas, los tiempos de viaje y el consumo de combustible. Además, el aumento de la cizalladura dentro de las corrientes en chorro a niveles de velocidad de crucero puede reducir la estabilidad de la atmósfera y aumentar la probabilidad de que se originen turbulencias de aire claro (Puempel y Williams, 2016).

Proyecciones Futuras y Datos Recientes.

Varios estudios han simulado cómo podrían evolucionar las turbulencias de aire claro en un futuro cercano, dado su impacto significativo en la aviación y el clima. A través de simulaciones de modelos climáticos, se ha evaluado el impacto que el cambio climático podría tener en las turbulencias de aire claro a nivel global para el período 2050-2080 (Fig.7)

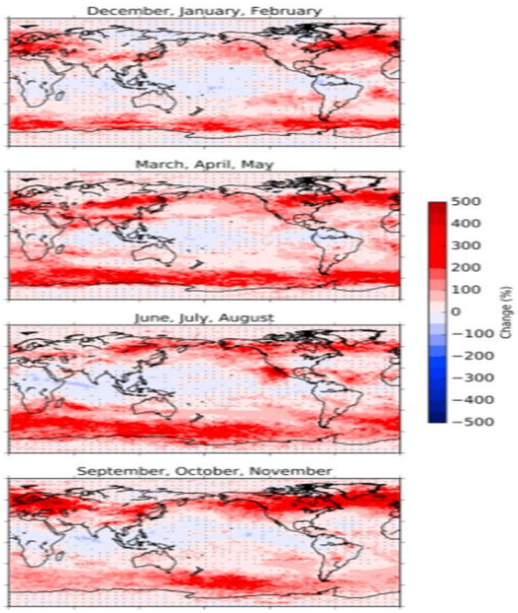

Fig 7: mapas del cambio porcentual en la cantidad de turbulencia en aire claro en 200 hpa, por cada estación del año, moderadas desde la época preindustrial hasta el periodo 2050-2080 bajo el escenario de cambio climático (RCP8.5).

Se proyecta un incremento en la frecuencia de estas turbulencias, especialmente en las latitudes medias de ambos hemisferios. Regiones como América del Norte, el Pacífico Norte y Europa son identificadas como áreas donde aumentará la frecuencia de CAT severas. Aunque en general, no se observa una estacionalidad definida en estos cambios, en algunas regiones la estacionalidad es más evidente como en los meses de otoño e invierno del hemisferio sur, en que se observa un incremento en la intensidad y en el área de cambio porcentual, indicando mayor presencia de turbulencias durante ese período.

El contenido de esta publicación es de responsabilidad de sus autores y no necesariamente representa el pensamiento de la FACH

En el hemisferio sur, los cambios más notables ocurren entre los 45° y 75° de latitud sur y sin mayores cambios zonalmente, mientras que, en el hemisferio norte, se presentan en la misma latitud, mostrando una mayor variabilidad zonal asociada probablemente a la mayor presencia de tierra en este hemisferio. (Luke.S et all, 2017). Un estudio realizado por la Universidad de Reading indicó que, en una ruta del Atlántico Norte, una de las zonas más transitadas del mundo, la duración anual de las turbulencias severas aumentó en un 55% desde 1979. En aquel momento se registraron 17,4 horas anuales, mientras que en 2020 fueron 27,4 horas.

En el caso de las turbulencias moderadas y ligeras, el aumento fue del 37% y 17%, respectivamente. Actualmente, se informa que aproximadamente 65.000 vuelos en EE.UU. experimentan turbulencias moderadas cada año, y 5.500 enfrentan turbulencias severas. La Junta Nacional de Seguridad en el Transporte de EE.UU. (NTSB) señala que las lesiones por turbulencias no siempre son anticipadas. Entre 2009 y 2018, aproximadamente el 28% de los incidentes relacionados con turbulencias no fueron advertidos previamente a la tripulación, según un estudio de la NTSB. Además, los costos provocados por estos eventos ascienden a unos 500 millones de dólares (465 millones de euros) anuales, considerando daños, retrasos e inconvenientes, datos proporcionados por el Centro Nacional de Investigación Atmosférica.

Conclusiones.

La turbulencia de aire claro ha sido siempre un desafío para las tripulaciones de vuelo y, en consecuencia, para la seguridad operacional. Los continuos cambios y avances tecnológicos, junto a una mejor capacitación, han permitido enfrentar de mejor manera este fenómeno meteorológico. La seguridad aérea, aunque desafiante en este contexto, sigue siendo una prioridad para la industria, que está adaptando sus prácticas para enfrentar las tormentas climáticas venideras. Mantener los estándares de seguridad actualizados y promover el uso de tecnologías avanzadas para la predicción y el manejo de circunstancias adversas son pasos cruciales en este proceso de adaptación.

La turbulencia en aire claro es un desafío significativo para la seguridad aérea y la comodidad de los pasajeros. Según la Administración Federal de Aviación (FAA), es la principal causa de lesiones a bordo, afectando tanto a pasajeros como a asistentes de vuelo. Este tipo de turbulencias es resultado del aumento previsto en la frecuencia e intensidad como consecuencia del cambio climático, por lo cual es fundamental que las aerolíneas se adapten a un entorno climático cambiante para mejorar la experiencia y seguridad de vuelo para los pasajeros.

Referencias.

OMM, 1977: Forecasting techniques of clear-air turbulence including that associated with mountain waves. Nota Técnica 155

Puempel H, Williams Paul, 2016: The impacts of climate Change on aviation: scientific challenges and adaptation pathways. ICAO environmental report, Climate Change Adaptation and Resilience

El contenido de esta publicación es de responsabilidad de sus autores y no necesariamente representa el pensamiento de la FACH

Luke N. Storer, Paul D. Williams, and Manoj M. Joshi, 2017: Global Response of Clear-Air Turbulence to Climate Change. Geophysical Research Letters.

Infobae. Artículo Internet.

CNN. Artículo Internet.

El País. Artículo Internet.

Dirección Meteorológica de Chile.

El contenido de esta publicación es de responsabilidad de sus autores y no necesariamente representa el pensamiento de la FACH