



UNIVERSIDAD DE COSTA RICA



Dr. Jorge A. Amador, investigador del Centro de Investigaciones Geofísicas (Cigefi) y profesor de la Escuela de Física de la UCR.

A propósito de la noticia de un avión que viajaba de Londres a Singapur y se vio envuelto en una fuerte turbulencia

Voz experta: Turbulencia de aire claro (TAC) y su impacto en la aviación comercial

¿Puede una turbulencia de aire claro (TAC) causar accidentes aéreos?

23 JUL 2024 Ciencia y Tecnología

Accidente aéreo causado por una TAC

El pasado 20 de mayo, medios de comunicación internacionales dieron la [noticia](#) de un accidente ocurrido en un avión de una empresa asiática en un vuelo de Londres a Singapur. El avión fue sorprendido por una turbulencia de aire claro extrema, que dejó un muerto y varias decenas de heridos, cuando volaba sobre el Océano Índico, a una altitud de unos 13 km aproximadamente.

Algunos estudios recientes han planteado el problema de lo que se puede esperar de estos eventos atmosféricos en el futuro ante las actuales condiciones de calentamiento global de la Tierra. ¿Pero que se conoce sobre esto en el pasado cercano? ¿Existe evidencia que permita analizar este problema con los datos existentes? ¿Hay suficientes elementos, como datos recopilados a bordo de aviones, instrumental externo e información de modelos numéricos atmosféricos (representaciones físicas y dinámicas de la atmósfera), para llegar a alguna conclusión razonable sobre la frecuencia temporal y la altitud favorable para que estos eventos se generen en el futuro?

¿Qué se entiende por turbulencia?

Una aproximación aceptable al concepto de turbulencia (¡no su definición!), es que este proceso físico impredecible está asociado al movimiento irregular de las partículas de un medio continuo (fluidos, gases), estado que a su vez es causado, por variaciones muy rápidas en las tres componentes de la velocidad del medio. La turbulencia puede ser ligera, moderada, severa o extrema. Para definir estas categorías se usan ciertos índices que dan una idea del movimiento del medio basados en la comparación entre la aceleración de la gravedad (g) en el sistema Tierra (circa 10 m s^{-2}) y la aceleración que produce los movimientos caóticos en las propiedades del medio continuo. Así, la turbulencia se dice que es ligera, moderada, severa o extrema cuando las aceleraciones en el medio, que generan los movimientos irregulares, son ($\pm 0.2 g$), ($\pm 0.5 g$), ($\pm 1.0 g$) y ($\pm 2.0 g$), aproximadamente.

A menudo se observan estos procesos turbulentos en forma de ráfagas y remolinos pequeños en la atmósfera o en las olas del mar cuando rompen al acercarse a la playa. Los lugares terrestres donde ocurren algunas de esas categorías de turbulencia es variada, pero muchas de ellas están asociadas a tormentas atmosféricas, como las presentes en las nubes de gran desarrollo vertical y convección profunda. Este último concepto es simplemente el que observamos al calentar agua en una olla; una vez que el agua comienza a hervir, se desprenden del fondo algunas burbujas que transportan calor a la superficie de agua. Ese es uno de los elementos constituyentes del proceso de convección, análogo al que se produce en las nubes.

La turbulencia también se observa en corrientes en chorro en niveles bajos y altos de la atmósfera, en frentes fríos y cálidos, cerca del suelo por fricción y en las denominadas ondas de montaña, entre otros sistemas.

Las ondas de montaña se presentan cuando el flujo de aire que pasa sobre las montañas crea remolinos o movimiento ondulatorio con características turbulentas que pueden extenderse por 100 o más kilómetros corriente abajo. Estos procesos turbulentos los experimentan, muchas veces, los aviones cuando pasan por encima de montañas relativamente altas en situaciones de un flujo atmosférico, en general, moderado o fuerte. No solo en la Tierra se presenta este fenómeno; se observa en el Sol y en varios de los planetas del Sistema Solar, como es el caso del fluido que compone la Mancha Roja en Júpiter.

Turbulencia de aire claro

Una de estas manifestaciones irregulares, la turbulencia de aire claro (TAC) es, sin embargo, no observable como el de los casos anteriores. De acuerdo a los informes técnicos emitidos, la TAC fue mencionada como la responsable de la situación de movimiento extremo que sacudió al avión, en su trayecto desde Londres a un país asiático. La TAC se percibe en regiones sin nubes y a altitudes entre 6 y 15 km *circa*, la cual es invisible para los pilotos o para el instrumental a bordo de aviones, como los relacionados con sensores remotos o radares.

Los vientos asociados a la TAC cambian de dirección y velocidad rápidamente, de forma que ni los modelos atmosféricos numéricos actuales, logran predecir esas condiciones, pues tienen nada o poca teoría turbulenta incorporada y sus resoluciones espaciales además son mucho mayores si se comparan con las escalas en las que se producen los movimientos desiguales.

Imagen de un estado turbulento generado en el tanque de rotación del CIGEFI. Créditos: Jorge A. Amador A., José Rubén Madrigal C. y Erick R. Rivera F.

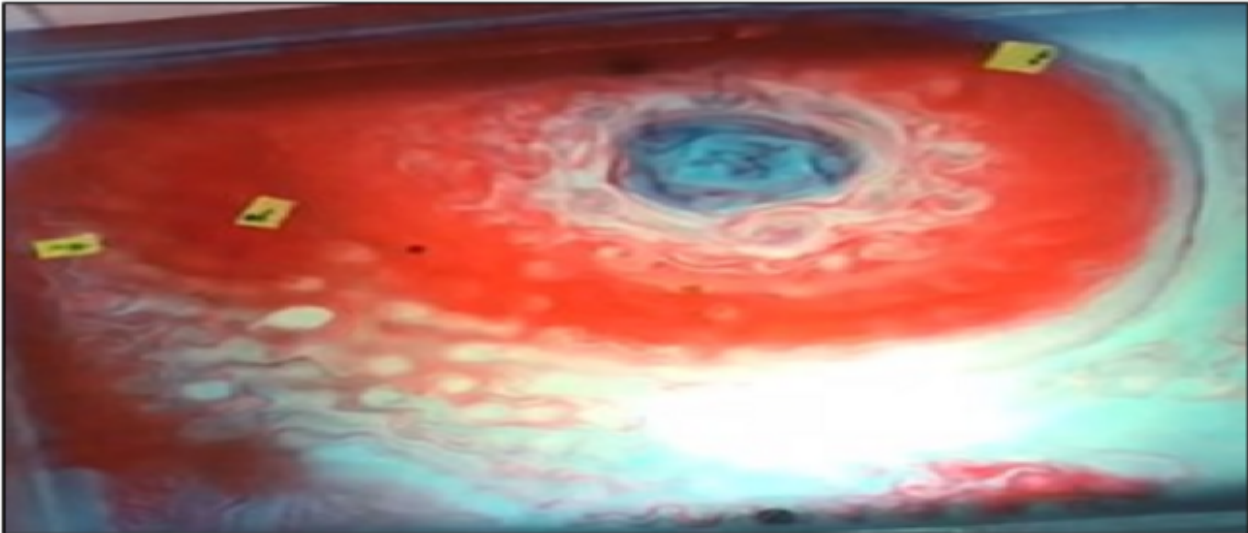


Imagen de un estado turbulento generado en el tanque de rotación del CIGEFI. Créditos: Jorge A. Amador A., José Rubén Madrigal C. y Erick R. Rivera F.

Comportamiento de la TAC en el pasado reciente

Algunos estudios como el de Prosser et al. (2023), de la [Universidad de Reading en Inglaterra](#), usan datos de reanálisis de una base denominada ERA5 (que no son observaciones directas, sino datos dinámicamente inicializados), que contiene mejores representaciones físicas de la atmósfera y una ventajosa resolución vertical mejor que las de modelos anteriores. En la investigación liderada por Prosser, se usan 21 criterios diagnósticos (¡una muy buena cantidad de índices!), para estudiar las tendencias de la TAC a nivel global para 1979-2020.

Los cálculos se hicieron para niveles cercanos a los 12 km de altitud, con una resolución espacial horizontal de unos 20-25 km, cada 3 horas. Los autores afirman que encontraron evidencia clara de incrementos en la TAC en latitudes medias a las alturas de crucero de los aviones comerciales para el periodo analizado, pero reconocen que trabajos futuros deberían estudiar las limitaciones de su estudio. En este sentido, a pesar de que la investigación haya especificado algunas condiciones razonables, (otras no tanto como el escoger el año 2000 como referencia subjetiva), para determinar la existencia de turbulencia, no puede interpretarse que en realidad esa tendencia sea precisa.

Los datos de ERA5 utilizados, aunque útiles para estudios globales y regionales, tienen aún importantes imperfecciones e incertidumbres asociadas a la magnitud y localización de los máximos de viento, las cortantes verticales en función del tiempo y la temperatura en los niveles seleccionados para la investigación, lo que incrementa las discrepancias en el cálculo de variables derivadas como la vorticidad relativa y las cortantes horizontales del viento, determinantes para calcular los índices de turbulencia usados. Este trabajo, advierte, sin embargo, de un problema al que se le debe prestar atención mediante una mayor cantidad de estudios de investigación, lo que lo convierte junto a otros trabajos anteriores en importantes contribuciones y alertas a la seguridad aérea.

Un aspecto poco discutido hasta ahora es la percepción social de la turbulencia en los aviones, como factor de riesgo, incertidumbre y en no menos ocasiones, como miedo para realizar vuelos de cualquier duración. El avance tecnológico de las últimas décadas ha

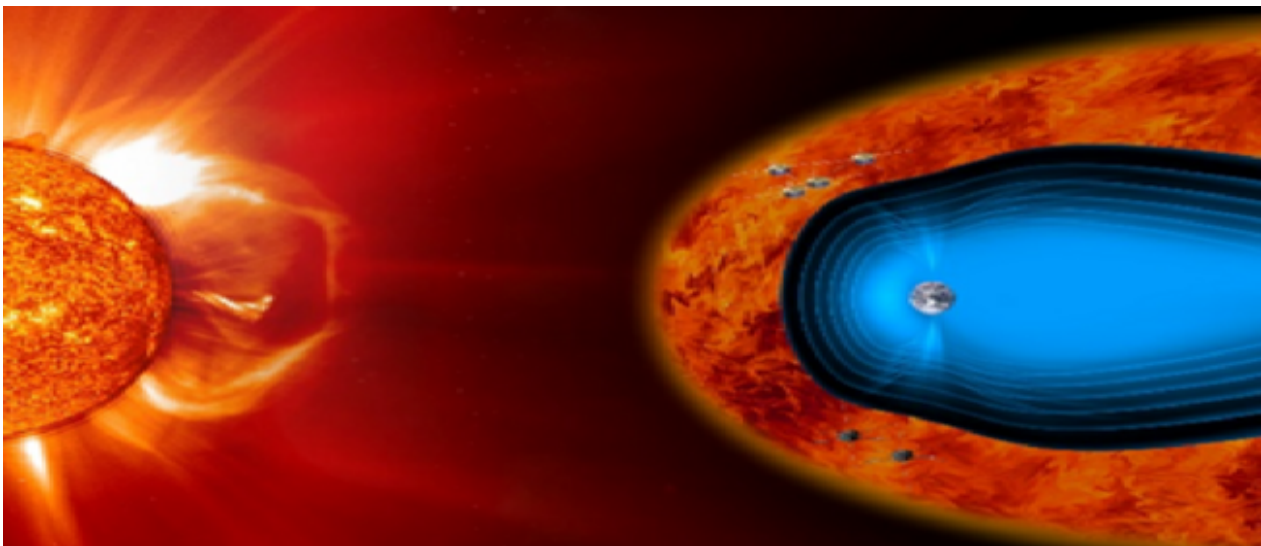
hecho posible que el número de aviones en el aire en un momento dado se haya incrementado sustancialmente, de manera que es propio de las compañías aéreas comunicar esos eventos y que se perciba socialmente que se esté dando una mayor frecuencia de ellos en el tiempo.

La TAC y el calentamiento global terrestre

La pregunta de si el actual calentamiento global del sistema Tierra puede alterar el comportamiento de los procesos turbulentos (cambios en frecuencia temporal y altitud, por ejemplo), ha sido incorporada en varias investigaciones a nivel global. Se considera que el calentamiento global es el resultado de las tendencias positivas de concentraciones de gases de efecto invernadero debido a forzantes naturales o a la actividad humana en los últimos 100 años, aproximadamente.

Los modelos atmosféricos usados para proyecciones futuras del clima son muy útiles, más no perfectos. Algunos de ellos usan criterios para determinar turbulencia en un medio (además de los índices anteriores), como el del número de Richardson, que mide la estabilidad térmica de la atmósfera con respecto a la cortante del viento, es decir con respecto a la variación del viento con la altura en una región dada.

El trabajo de Williams (2017) es sugerente de un incremento en la cortante vertical del viento ante el calentamiento global, propuesta que no ha sido totalmente aclarada ante la comunidad científica internacional. La mayor parte de los modelos usados para escenarios de cambio climático para el siglo XXI, tienen dificultades para representar adecuadamente procesos físicos de escalas menores a la resolución de los modelos, de manera que esa propuesta tendría que ser confirmada mediante experimentos específicos para ese fin, algo de lo que este autor no ha encontrado evidencia clara a la fecha.



Cluster mide la turbulencia en el entorno magnético de la Tierra. Créditos: ESA/Space in Member States/España.

La turbulencia a más cercano plazo

Estudios de la Administración Nacional de Aeronáutica y el Espacio ([NASA](#) por sus siglas en inglés) detallan nuevas investigaciones que permitirían, a horizontes temporales del

orden del día o menos, mejorar las probabilidades de detectar la ocurrencia de una turbulencia, conocimiento que podría ser usado por la aviación comercial como información de primera mano para evitar las zonas de riesgo turbulento.

De acuerdo con esos trabajos de la NASA se han desarrollado micrófonos, con características especiales, que son sensibles a frecuencias de infrasonido (0.001 a 20 Hertz, aproximadamente), los cuales podrían recoger información sobre turbulencia, hasta a 450 km de distancia de la fuente, abriendo nuevas fuentes de investigación para una potencial mitigación del problema.

Curiosamente, a pesar de la ocurrencia de turbulencias severas o extremas que han afectado a aviones comerciales, se ha [informado](#) que las lesiones graves por turbulencia son relativamente raras. A pesar de todo esto, es necesario que tanto las tripulaciones como los pasajeros de un avión estén preparados para afrontar estos eventos en caso de que no se puedan evitar.

¿Se entiende en realidad lo que es la turbulencia?

Aunque hay varias versiones y su origen exacto no está del todo claro, se cuenta de una anécdota famosa atribuida al físico alemán Werner Heisenberg y al matemático británico John von Neumann. La historia resalta la complejidad de dos fenómenos físicos: la relatividad y la turbulencia. Según la anécdota, uno de ellos dice: "Cuando conozca a Dios, le voy a hacer dos preguntas: ¿Por qué la relatividad es tan compleja? y ¿Cómo se explica la turbulencia?" A lo que Dios respondería: "Para la primera pregunta tengo una respuesta."

Citas de artículos

Williams, P. D. (2017). Increased light, moderate, and severe clear-air turbulence in response to climate change. *Advances in atmospheric sciences*, 34(5), 576-586.

Prosser, M. C., Williams, P. D., Marlton, G. J., & Harrison, R. G. (2023). Evidence for large increases in clear-air turbulence over the past four decades. *Geophysical Research Letters*, 50, e2023GL103814. <https://doi.org/10.1029/2023GL103814>

¿Desea enviar sus artículos a este espacio?



Los artículos de opinión de *Voz experta UCR* tocan temas de coyuntura en textos de 6 000 a 8 000 caracteres con espacios. La persona autora debe estar activa en su respectiva unidad académica, facilitar su correo institucional y una línea de descripción de sus atestados. Los textos deben dirigirse al correo de la persona de la Sección de Prensa a cargo de cada unidad. En el siguiente enlace, puede consultar los correos electrónicos del personal en periodismo: <https://odi.ucr.ac.cr/prensa.html>

[Jorge Amador Astúa](#)

Investigador del Cigefi y profesor de la Escuela de Física,
UCR

jorge.amador@ucr.ac.cr

Etiquetas: [#vozexperta](#), [voz experta ucr](#), [voz experta](#), [turbulencia](#), [avion](#), [aviacion](#).