Representación artística de la turbulencia atmosférica. Cuadro "Noche estrellada" de Vincent Van Gogh, pintado por el genial artista a mediados de 1889.

Turbulencias

Texto: **José Miguel Viñas** • Fotos: **Autor, salvo indicado**

El aire está lejos de ser un fluído estable. Las turbulencias son, quizá, las manifestaciones más comunes de esa inestabilidad que siempre están presentes en todos los vuelos.

Cualquier piloto ha experimentado –me atrevo a afirmar que en bastantes ocasiones y con más de un susto– el zarandeo –a veces brusco– al que se ve sometida su aeronave al surcar los cielos. La condición de medio fluido del aire hace que siempre tenga un cierto grado de turbulencia. Desde bucles y estructuras sinuosas en estructuras nubosas de centenares de kilómetros de longitud, hasta la evolución que adopta el humo de un cigarrillo, pasando por multitud de estados turbulentos intermedios, en los que los remolinos de aire aparecen en todas las escalas espacio-temporales. Cuando el tamaño de uno de esos bucles o remolinos es similar al del avión en vuelo, la turbulencia pasa a convertirse en un fenómeno adverso que, en situaciones extremas, puede poner en riesgo la seguridad aérea.

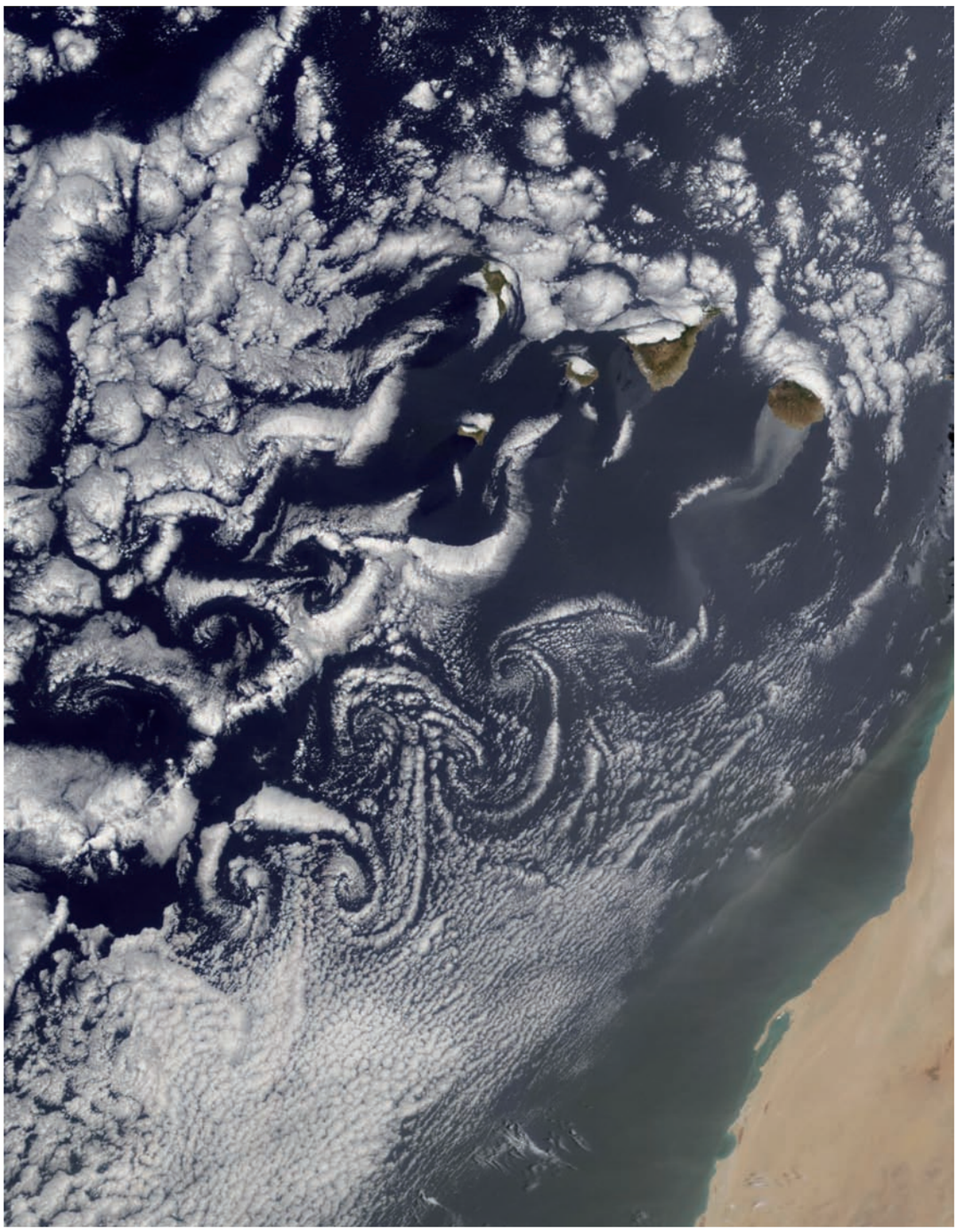
Desde el punto de vista hidrodinámico, el movimiento de un fluido –en nuestro caso el aire– puede ser *laminar* o *turbulento*. En el primer caso, la velocidad de las partículas fluidas (principalmente moléculas de nitrógeno y oxígeno en el caso de la atmósfera) no es demasiado grande, de manera que podemos considerar el recorrido de las partículas ordenado y rectilíneo. En rigor, se trata de un comportamiento ideal, ya que, tal y como apuntábamos al principio, el aire siempre es turbulento, incluso en entornos de gran estabilidad atmosférica, si bien esa turbulencia es de pequeña escala, y como tal es despreciable en Aeronáutica. El *régimen turbulento* aparece al aumentar la velocidad del fluido y superarse un umbral bajo determinadas circunstancias. En tales casos, el recorrido de las moléculas se desordena y aparecen remolinos, desplazándose el aire a velocidades cambiantes y en direcciones aparentemente aleatorias.

La turbulencia atmosférica está íntimamente relacionada con la cizalladura, que podemos definir como los cambios bruscos que tienen lugar en el viento al desplazarnos en una determinada dirección. Tanto la turbulencia como la cizalladura del viento dan lugar en ocasiones a situaciones peligrosas en vuelo, que debemos de tratar de evitar. La turbulencia es considerada el factor de riesgo más importante en Meteorología Aeronáutica, si bien la mayor causa de siniestralidad aérea es el engelamiento (acumulación de hielo en el fuselaje de las aeronaves). En los EEUU, durante el período 1982-1984 del total de accidentes debidos a causas meteorológicas, el 8% fueron por culpa de la turbulencia.

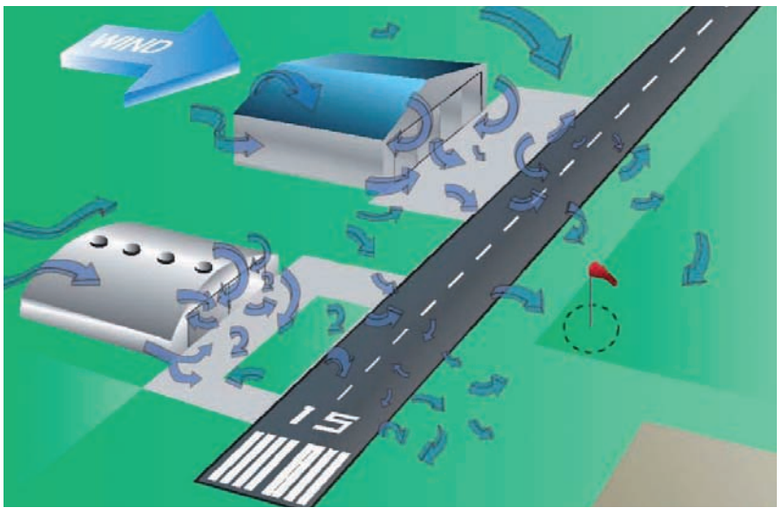
A la hora de definir la turbulencia que en un momento dado puede afectar a un avión en vuelo, Peter F. Lester (autor del libro "Aviation Weather", que reseñamos en el anterior número de la revista), tomando como referencia las descripciones del fenómeno por parte de las tripulaciones de las aeronaves, la definió como "sacudidas en el aire", lo que incluiría tanto movimientos turbulentos como circulaciones organizadas en el aire de pequeña escala.

Los remolinos turbulentos pueden aparecer tanto en el plano vertical como en el horizontal, lo que dar lugar a cambios tanto en el rumbo como en la sustentación de la aeronave. Los remolinos de menor tamaño (similar al del avión o helicóptero) dan lugar a rachas de aire que provocan sacudidas que zarandean el avión, lo que se traduce en las características vibraciones o meneos. Cuando dichas ráfagas inciden sobre la parte delantera o trasera de la aeronave se ve afectada su sustentación, mientras que si los remolinos afectan a alguna de las alas, provocan en ella un factor de carga adicional (desequilibrante), lo que da como resultado una guiñada o cambio de rumbo.

Si lo que tenemos son grandes remolinos en el plano vertical (podemos tomar como símil una noria), de escala bastante mayor que la aeronave, entonces nos veremos sometidos a ascendencias y descendencias que provocan algo parecido a ir en coche por una carretera llena de baches. Únicamente en casos extremos (con grandes aceleraciones verticales), dicho traqueteo puede causar problemas al sobrepasarse los límites de seguridad. Afortunadamente, dichos límites son bastante altos y, aparte, las zonas donde en un momento dado hay turbulencia moderada o severa están bien previstas, por lo que el piloto



Arriba Espectaculares vórtices de Von Karman a sotavento de las islas Canarias. La interacción del régimen de vientos alisios, dominantes en el archipiélago canario, con las propias islas, que actúan como grandes obstáculos, provoca un régimen turbulento en el flujo de aire, visible desde el espacio gracias a la presencia de nubes. Imagen tomada el 24 de mayo de 2002 por el sensor MODIS del satélite Terra de la NASA. CRÉDITO: Jacques Descloitres, MODIS Land Rapad Response Team, NASA/GSFC.



Arriba Remolinos en el aire al paso de un avión comercial. Las estelas turbulentas generadas por las puntas de las alas de los aviones se van agrandando y van cubriendo varios niveles de vuelo al paso de las aeronaves, teniendo que ser evitados dichos niveles por las pequeñas aeronaves que vienen por detrás.

Derecha Bucles turbulentos sobre la pista de un aeropuerto provocados por el viento al incidir sobre los hangares situados a pie de pista.

sabe de antemano en qué lugares no debe meterse o exponerse más de la cuenta.

A la hora de clasificar la turbulencia atmosférica podemos atender a diferentes criterios. Si pensamos en las causas que dan lugar a dicha turbulencia, tenemos los siguientes tipos: 1) Turbulencia térmica, 2) Turbulencia mecánica, 3) debida a la cizalladura, 4) provocada por ondas de gravedad (la más común es la que aparece en las ondas de montaña, a las que dedicaremos un artículo más adelante en la revista), y 5) Estelas turbulentas (generadas por los propios aviones en vuelo). Comentaremos a continuación algunos detalles sobre los dos tipos principales (mecánica y térmica):

Turbulencia mecánica

En este caso, los remolinos aparecen como consecuencia del rozamiento del aire con la superficie terrestre. Cuando más irregular sea ésta (mayor rugosidad) y mayor la velocidad del viento, tendremos un mayor grado de turbulencia. Las zonas montañosas son áreas de vuelo donde habitualmente encontramos este tipo de turbulencia de bajos niveles (LLT – *Low Level Turbulence*). Dependiendo de la entidad que tengan los obstáculos sobre el terreno, los remolinos turbulentos alcanzarán una mayor o menor altura, conformando lo que se conoce como "Capa Límite Planetaria" (CLP). En terrenos llanos o poco accidentados, la CLP se eleva hasta unos 2.000 pies (unos 600 m), siendo únicamente en ese tramo inicial de atmósfera donde se nota el efecto de la fricción del aire con la superficie terrestre. Si estamos en el entorno de una gran cordillera (tipo Pirineos o Alpes), entonces los remolinos pueden propagarse hasta cotas más altas, superando la CLP los 1.000 m de espesor. La presencia de un pequeño obstáculo perpendicular a la dirección de viento dominante también es generadora de bucles turbulentos. Los hangares y las terminales de los aeropuertos actúan a veces como tales obstáculos, dando lugar a remolinos sobre las pistas, lo que puede incidir negativamente en las operaciones de aterrizaje y despegue de las pequeñas aeronaves, al ser estas las más vulnerables.

Turbulencia térmica

El calentamiento del suelo es el principal generador de este tipo de turbulencia que, justamente ahora, en plena canícula, es especialmente intensa. Tiene su origen en el fenómeno de la convección, que es el mecanismo natural de transmisión de calor –de abajo hacia arriba– en la atmósfera, gracias a la presencia de térmicas, que no son otra cosa que burbujas de aire caliente que ascienden desde las inmediaciones del suelo hasta diferentes niveles troposféricos, dando lugar en algunos casos a la formación de cúmulos y cumulonimbos (nubes de tormenta). Volar en verano en cotas bajas con cúmulos a nuestro alrededor implica tener una travesía algo movida, debido a los continuos ascensos y descensos a los que nos vemos sometidos como consecuencia de las térmicas. En el caso de la llamada "convección seca"; es decir, aquella que puede dar lugar a nubes cumuliformes, pero no a tormentas ni a precipitaciones, la turbulencia resultante no suele ser peligrosa, si bien en algunos casos pueden producirse bruscos descensos de aire llamados microrreventones (*microbursts*) que al impactar violentamente contra el suelo y expandirse en todas las direcciones generan peligrosas ráfagas laterales de viento.

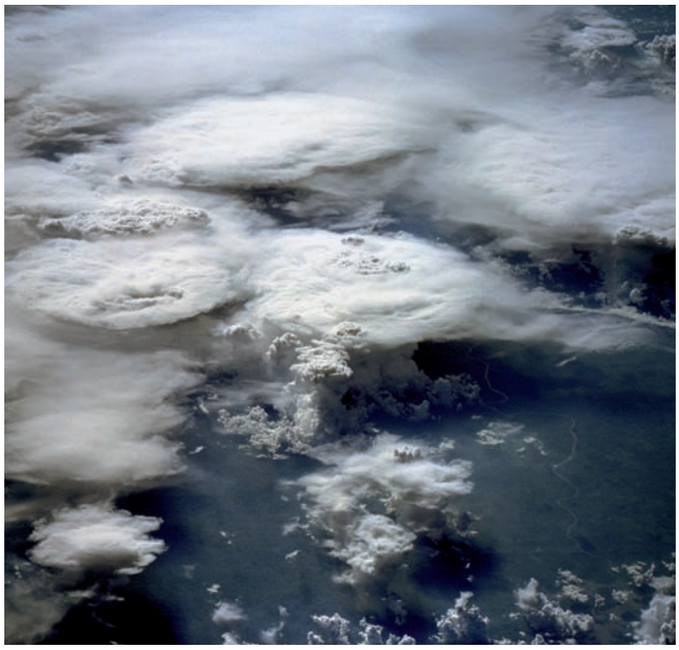
Los reventones más peligrosos son los que tienen lugar a veces en la base de los cumulonimbos y hay que prestar especial atención a ellos cuando acontecen las inmediaciones de un aeródromo o aeropuerto, ya que la incidencia del brusco desplome de aire en un despegue o aterrizaje puede resultar fatal. Su pequeña escala espacial (en el caso de los microrreventones, menos de 4 kilómetros de diámetro) y temporal (escasos minutos) dificulta su detección y el aviso al piloto por parte de la torre de control. Para detectar la incidencia de este tipo de ráfagas violentas y otras como las que producen los frentes de racha (zona de avance del aire frío del interior de la tormenta, que impactó contra el suelo) o las líneas de turbonada (alineación de tormentas), los principales aeropuertos cuentan en distintos puntos de su perímetro de un conjunto de anemómetros que miden el viento simultáneamente. Este tipo de

redes de observación permite detectar a tiempo las cizalladuras del viento peligrosas –generadoras de remolinos turbulentos–, abortándose a tiempo en el aeropuerto las operaciones aéreas que pudieran verse afectadas.

En verano también se forman a veces, a ras de suelo, torbellinos que levantan una gran cantidad de polvo y que, ocasionalmente, alcanzan varios centenares de metros, reduciendo la visibilidad en un perímetro de varias decenas de metros y generando a su alrededor turbulencia. Se trata de las conocidas tolvaneras o diablos de polvo (*dust devils*).

Son muchas otras las circunstancias y los fenómenos atmosféricos generadores de turbulencias. Desde la que acontece en aire claro (CAT), que se genera en las inmediaciones de las corrientes en chorro, hasta el grado de agitación extremo que se experimenta en el interior de una tormenta. Todo ello será en su momento abordado con detalle en futuros números de Avión & Piloto.

Para dar por concluido este artículo, necesariamente introductorio, ofreceré unos datos numéricos que permiten clasificar la turbulencia en función de su intensidad. En la parte más baja de la escala tenemos la *turbulencia ligera o leve*, capaz de provocar variaciones en el viento medio de entre 5 y 15 nudos y aceleraciones verticales de entre 0,2 y 0,5 g. Si dichas aceleraciones oscilan entre 0,5 y 1g y el viento puede variar entre 15 y 25 nudos con respecto al valor medio, entonces tenemos *turbulencia moderada*. Para incrementos en la velocidad del viento mayores de 25 nudos y aceleraciones verticales de entre 1 y 2 g, tendríamos *turbulencia fuerte o severa*. Un caso particular de la misma sería la *turbulencia extrema*, con aceleraciones mayores de 2 g. En las cartas meteorológicas aeronáuticas se pronostican las zonas de turbulencia moderada o fuerte. La principal recomendación que debe seguir un piloto que penetra en una zona atmosférica con alguno de esos grados de turbulencia, es reducir su velocidad de crucero y, en el caso de que estuviera a punto de aterrizar, aumentar su velocidad de aproximación. Las zonas de turbulencia severa son prohibidas para el vuelo y de entrar en ellas hay que salir de allí lo antes posible, mientras que las de turbulencia moderada, aunque un avión comercial está preparado para volar en ellas, deben evitarse en la medida de lo posible, reduciendo al máximo el tiempo de permanencia en las mismas. ■



Arriba La turbulencia moderada o fuerte es uno de los rasgos que caracterizan a las tormentas. CRÉDITO: NASA.

Para aclarar cualquier duda meteorológica que tengas y si quieres ver también publicadas en la revista tus fotografías de los cielos y de los fenómenos meteorológicos captados en tus travesías, puedes ponerte en contacto con nosotros a través del correo electrónico:

info@divulgameteo.es