

LAS OFICINAS DE VIGILANCIA METEOROLÓGICA AERONÁUTICA DE LA AGENCIA ESTATAL DE METEOROLOGÍA

José Antonio Ruiz y Juan Pablo Simarro.
Delegación de AEMET en la Comunidad Valenciana

RESUMEN: La meteorología es una de las ciencias más conocidas por el público general gracias a la popularidad de los programas de «El tiempo», que se han convertido en complemento obligatorio a las noticias de cada telediario desde los inicios de la televisión. Pero quizás no es tan patente la contribución de la meteorología al funcionamiento de otros sectores y actividades del mundo desarrollado, en particular, de forma destacada a la navegación aérea. En esta reseña queremos recordar la estrecha relación entre aviación y meteorología, comentando la aportación de AEMET a la seguridad y regularidad de la navegación aérea y centrándonos específicamente en el trabajo realizado por las oficinas de vigilancia meteorológica para la aeronáutica.

1. RELACIONES ENTRE AVIACIÓN Y METEOROLOGÍA

El medio en que se desenvuelve la aviación es la atmósfera, cuyo estado y aspecto sufre cambios complejos, a menudo rápidos y difíciles de prever, cambios que pueden afectar gravemente a la seguridad del vuelo. Puesto que la atmósfera es el objeto de estudio de la meteorología no es de extrañar que sean los servicios meteorológicos nacionales de cada país los que se ocupen de proporcionar la información meteorológica adecuada a la navegación aérea dentro del territorio de su responsabilidad.

Un elemento meteorológico fundamental para la navegación aérea es la visibilidad, entendida esta como la mayor distancia a la cual es posible distinguir, con la visión humana normal, objetos de cierto tamaño, como casas, árboles, etc. La visibilidad puede variar enormemente según el estado de la atmósfera: dentro de las nubes no se ve prácticamente nada, es muy reducida cuando hay precipitación (especialmente chubascos fuertes, nieve o granizo), las tempestades de arena y las brumas densas pueden disminuirla hasta un kilómetro o menos (en este último caso las brumas pasan a denominarse nieblas en el lenguaje técnico).

La visibilidad es esencial pues un piloto debe ver lo suficientemente lejos para evitar colisiones con obstáculos u otros aviones que podrían encontrarse cerca de su trayectoria. Los aviones de línea comerciales y una parte de los aviones privados disponen del instrumental y la preparación necesarios para volar bajo las llamadas reglas de vuelo con instrumentos o IFR (acrónimo del inglés *Instrument Flight Rules*). Pueden volar dentro de las nubes y no les preocupan demasiado las condiciones meteorológicas que se puedan encontrar en ruta, pues gracias a una planificación de vuelo adecuada o gracias a su equipamiento (por ejemplo, radares de vuelo para localizar tormentas) pueden evitar los peligros meteorológicos. Esto explica la gran regularidad de los vuelos de las líneas aéreas comerciales. No obstante, sigue siendo fundamental para este tipo de vuelos la visibilidad, y otras condiciones meteorológicas, en los aeropuertos de salida y de llegada. Así, por ejemplo, en los aterrizajes con mal tiempo el piloto necesita saber de antemano a partir de qué altura puede ver suficientemente bien la pista sobre la que va a aterrizar.

Si no se dispone del instrumental o de la preparación necesaria para un vuelo IFR este se podría realizar, si el tiempo lo permite, bajo las llamadas reglas de vuelo visual VFR (del inglés *Visual Flight Rules*). Se trata de vuelos diurnos en los que se mantiene en todo momento contacto visual con puntos de referencia geográficos. Por tanto, se vuela fuera de las nubes, en general por debajo de estas a menos que grandes claros permitan sobrevolarlas sin perder contacto visual con las referencias del terreno. Las mínimas condiciones meteorológicas que permiten un vuelo visual están establecidas por cada país.

En un vuelo VFR es muy importante conocer cuáles serán las condiciones de visibilidad y de nubosidad en todo el recorrido a efectuar y no solo en los aeropuertos de salida y de llegada. Los vuelos VFR son frecuentemente difíciles o imposibles en zonas montañosas cuando hay nubosidad que oculta las montañas o en las cercanías de frentes meteorológicos. En cambio, el vuelo IFR es fácil en estos y otros muchos casos simplemente elevándose a suficiente altura para volar sobre las nubes o volando a media altura dentro de estas, pero por encima de las cimas montañosas. Por tanto, condiciones meteorológicas consideradas excelentes para un piloto de línea pueden ser muy malas para un piloto que vuela bajo las reglas VFR, el cual requerirá una información meteorológica adicional.

Aparte de la visibilidad insuficiente, a lo largo del trayecto se pueden presentar otros peligros meteorológicos a los aviadores. Cabe mencionar principalmente:

- *el engelamiento*, o formación de capas de hielo sobre partes del avión que pueden afectar a sus características aerodinámicas e impedir el vuelo con seguridad;
- *las tormentas*, en las que los rayos, granizo, turbulencia y engelamiento constituyen peligros formidables que es necesario evitar;
- *los techos bajos*, o capas continuas de nubes bajas, que obligan a volar peligrosamente cerca del suelo en los vuelos VFR.

Además, el vuelo se ve afectado frecuentemente en gran medida por el viento, que puede tener una influencia muy grande sobre la velocidad del avión y hacer que este se desvíe considerablemente de la ruta prevista. Otros peligros meteorológicos originados por el viento son los siguientes:

- *un fuerte gradiente vertical u horizontal del viento*, denominado «cizalladura», que en las cercanías del aeropuerto puede provocar accidentes al desviar el avión de su trayectoria de despegue o aterrizaje prevista;
- *las ondas de montaña y los rotores*, que se forman en ciertas condiciones al superar el viento una cadena montañosa;
- *la turbulencia en aire claro*, difícil de pronosticar, asociada generalmente a los chorros de viento en altura, pero que puede presentarse ocasionalmente a gran distancia de ellos.

Considerando todo esto es conveniente clasificar las ayudas que los servicios meteorológicos prestan a la aviación en tres tipos:

- la climatología;
- las observaciones;
- los pronósticos.

La climatología resume estadísticamente las observaciones regulares efectuadas durante un largo periodo de tiempo y tiene una aplicación concreta en el estudio de proyectos de aeropuertos y de rutas de líneas aéreas. Por ejemplo, conocer la frecuencia de nieblas, techos bajos, baja visibilidad, etc., determina si del aeropuerto se puede esperar una utilización suficientemente regular; por otra parte la dirección predominante de los vientos determina la orientación más adecuada de las pistas. Pero más importante si cabe es la información que la climatología proporciona al piloto sobre cuáles son las condiciones meteorológicas que se puede encontrar usualmente en la ruta y su relación con la geografía y la topografía del terreno.

Las observaciones son el resultado de multitud de medidas instrumentales y de observaciones visuales realizadas por personal experimentado, llevadas a cabo por los servicios meteorológicos de cada país a intervalos regulares de tiempo. A las observaciones mencionadas cabe añadir las realizadas desde satélites meteorológicos, desde radares meteorológicos y por globos-sonda, además de las realizadas desde aviones en vuelo comercial (o a veces en vuelos especiales con aviones equipados con instrumental meteorológico especializado). Toda esta multitud de datos se difunde en tiempo real por todo el mundo mediante mensajes cifrados en claves o códigos establecidos previamente. Sirven para conocer el estado presente de la atmósfera y se pueden resumir en mapas de tiempo presente. Además, las observaciones se utilizan como punto de partida para los modelos numéricos de previsión del tiempo.

Los pronósticos son necesarios para el aviador pues, aunque conozca el tiempo presente (por las observaciones mencionadas en el párrafo anterior), este podría cambiar significativamente durante la ruta constituyendo una amenaza para la seguridad del vuelo. Hay, por tanto, dos tipos de pronósticos: las previsiones de ruta y las de aeropuerto, ambas realizadas por los servicios meteorológicos nacionales.

Previamente a la realización del vuelo, con toda la información meteorológica pertinente (observaciones, pronósticos y la experiencia climatológica disponible) el piloto debe decidir por sí mismo si puede emprender el vuelo o no. Para ello debe tener en cuenta sus posibilidades y las de la aeronave, es decir, si dispone del equipo necesario para afrontar las posibles condiciones meteorológicas adversas durante la ruta y en el aeropuerto de llegada. De todo lo dicho queda claro que los pilotos experimentados, como los marinos, son conscientes del tiempo meteorológico prácticamente a diario.

2. LOS SERVICIOS METEOROLÓGICOS DE AEMET PARA LA AERONÁUTICA

Casi todas las unidades de la Agencia Estatal de Meteorología realizan tareas de apoyo a la navegación aérea, pero las más directamente implicadas son las siguientes:

Las Oficinas Meteorológicas de Aeropuerto (OMA). Cada aeropuerto tiene su propia OMA, en donde equipos automáticos de medida y personal especializado de AEMET (Cuerpo de Observadores de Meteorología) mantienen una vigilancia meteorológica continua sobre el aeródromo, con el fin de alertar a las autoridades del aeropuerto de las condiciones meteorológicas que podrían tener un efecto adverso sobre las aeronaves. A intervalos regulares (normalmente cada media hora) realizan medidas y observaciones meteorológicas que son el objeto de informes codificados (según la clave METAR). Además, si las condiciones meteorológicas cambian de forma importante emiten un informe METAR especial (llamado SPECI). Todos estos informes son inmediatamente transmitidos a todos los usuarios aeronáuticos del mundo que los requieran. La OMA se encarga también de proporcionar documentación e información meteorológica a las tripulaciones y autoridades del aeropuerto y de tránsito aéreo. En la actualidad, AEMET tiene 40 oficinas meteorológicas en aeropuertos y otras 8 en aeródromos militares abiertos al tráfico civil.

Las Oficinas de Vigilancia Meteorológica (OVM). Su función principal es mantener la vigilancia de las condiciones meteorológicas que afectan a las operaciones de vuelo en las regiones de información de vuelo (FIR) de España y dar apoyo a los servicios de tránsito aéreo. AEMET dispone actualmente de dos OVM, una dedicada al FIR de Canarias y la otra a los FIR de Madrid y Barcelona. Hablaremos con más detalle de ellas posteriormente.

Las Oficinas Meteorológicas Principales Aeronáuticas (OMPA). Son unidades operativas las 24 horas del día. Su responsabilidad es la predicción y vigilancia del tiempo en los aeródromos de su competencia, así como el apoyo a las tripulaciones de vuelo, cuando estas deseen completar la información meteorológica recibida en la oficina meteorológica del aeropuerto. Entre otras tareas, las OMPA preparan los pronósticos de las condiciones meteorológicas en el aeródromo, con un periodo de validez de 9 horas (TAF corto) o 24 horas o 30 horas (TAF largo) y los pronósticos de aterrizaje tipo tendencia (TREND). Asimismo emiten avisos de aeródromo cuando las condiciones meteorológicas supongan un riesgo (por ejemplo, cuando se prevean rachas de viento por encima de un umbral acordado con las autoridades del aeropuerto). Todos estos informes y avisos son difundidos en tiempo real a los usuarios aeronáuticos de todo el mundo. Actualmente AEMET cuenta con cinco OMPA, situadas en Las Palmas de Gran Canaria, Madrid, Santander, Sevilla y Valencia.

El Servicio de Aplicaciones Aeronáuticas (SAA). Tiene como misión planificar, organizar y dirigir el apoyo meteorológico que en todo momento precisen los usuarios aeronáuticos, para colaborar en la seguridad, eficiencia y economía de sus actividades. Entre sus actividades se encuentra la de diseñar los productos de meteorología aeronáutica para atender a los usuarios. El Autoservicio Meteorológico Aeronáutico (AMA) es un servicio que presta la Agencia Estatal de Meteorología a través de un portal de internet (<http://ama.aemet.es>) en el cual el usuario aeronáutico puede acceder a los informes y pronósticos actualizados, tanto de área como de aeródromos, que le informarán del tiempo existente y previsto para su vuelo. El SAA tiene su sede en Madrid.

En definitiva casi la mitad de la plantilla de AEMET realiza labores directamente relacionadas con la aeronáutica, cada año se elaboran más de 700 000 informes de aeródromo METAR/SPECI, 100 000 predicciones específicas para aeródromo, 3000 mapas aeronáuticos y 6000 pronósticos de área para vuelos a baja altura. Además desde el año 2004, en el que entró en vigor la iniciativa para la creación del Cielo Único Europeo, el personal de AEMET ha tenido que realizar un gran esfuerzo para adaptar y documentar los procedimientos de la organización a las nuevas normas emanadas de tal iniciativa. Cada año la Autoridad Nacional de Supervisión MET (ANSMET) realiza una campaña de auditorías en las que comprueba que se mantiene el cumplimiento de los requisitos de dicha normativa. No hay que olvidar, por otra parte, que AEMET también suministra la información meteorológica necesaria para la defensa nacional, por lo que varias de sus unidades mantienen personal en las bases aéreas y helipuertos del Ejército.

3. LAS OFICINAS DE VIGILANCIA METEOROLÓGICA (OVM) DE AEMET

Como se ha dicho, en AEMET hay dos Oficinas de Vigilancia Meteorológica: una en Las Palmas de Gran Canaria, que da servicio al FIR de Canarias, y otra en Valencia, encargada de los FIR de Barcelona y Madrid. Ambas permanecen operativas las 24 horas del día los 365 días del año.

El trabajo que se realiza en las OVM tiene dos vertientes. La primera y más importante, es la de vigilancia del tiempo adverso para la aviación en la zona adscrita. Cuando se observa tiempo adverso (o se pronostica este en las próximas cuatro horas) la OVM emite un parte meteorológico (llamado SIGMET o AIRMET, dependiendo del fenómeno meteorológico de que se trate y de su intensidad). Los SIGMET son mensajes codificados, de lectura relativamente sencilla, y universales

(todos los países usan el mismo código). Por ejemplo, el siguiente SIGMET, elaborado en la OVM de Valencia:

LECB SIGMET 2 VALID 011635/011830 LEMM-
LECB BARCELONA FIR/UIR EMBD TS OBS AT 1630Z NW OF LINE N4030
00000-N4220 E002 TOP FL390 MOV NE NC=

está indicando que en la zona aérea del FIR de Barcelona se han observado tormentas embebidas (EMBD TS) al noroeste de la línea que va desde el punto geográfico de coordenadas (40° 30' N, 00° E) al punto (42° 20' N, 02° E), con topes por encima del nivel de vuelo FL390, moviéndose hacia el nor-este (MOV NE). La segunda función de la OVM consiste en la elaboración de pronósticos a horas fijas preestablecidas, en los que se detalla el tiempo esperado en los niveles de vuelo por debajo de FL150.

Hacemos un inciso para explicar que el espacio aéreo está dividido en la vertical en los llama-dos niveles de vuelo. Estos se miden en hectopiés (o 100 pies, que equivalen a unos 30 metros). Así, el nivel de vuelo FL150 corresponde a una altitud sobre el nivel del mar de unos 4500 metros. En realidad, los aviones determinan el nivel de vuelo en el que están volando en cada momento a partir de la presión observada fuera del avión, de manera que los niveles de vuelo corresponden en la práctica a niveles de presión en vez de niveles de altitud. Lo importante es que los niveles de vuelo se determinan de la misma forma por todos los aviones, de manera que no hay equívocos en la separación vertical entre ellos.

Uno de los productos que se realizan en la OVM cada seis horas son los llamados mapas de tiempo significativo de bajo nivel (SIGWX SFC/150). Estos mapas tienen un periodo de validez de 6 horas y se elaboran unas horas antes de entrar en vigor. Contienen información importante para los que tengan que realizar un vuelo en niveles bajos, desde superficie hasta el nivel de vuelo FL150. Este mapa es particularmente útil para vuelos VFR. Además del fenómeno meteorológico previsto, se indica la base y el tope de la capa atmosférica afectada por este. Asociados a estos mapas se realizan unos boletines de texto, llamados GAMET, con un contenido similar.

El mapa significativo de las figuras 1a y 1b corresponde a la predicción que se hizo para el día 30 de enero de 2015, válida entre las 9 y las 15 horas UTC para la Península y Canarias respectiva-mente. La figura 2 muestra los símbolos y la mayoría de las abreviaturas que se utilizan en estos mapas (para más información, consúltese la cuarta referencia de la bibliografía). Hemos selecciona-do este ejemplo porque fue un día complicado para la aviación de baja cota en la Península, debido a la presencia de numerosos fenómenos meteorológicos adversos. La situación meteorológica se caracterizó por vientos fuertes en casi todos los niveles, principalmente de componente noroeste, con el paso de un frente cálido que produjo lluvia y nieve. Estos vientos se produjeron a consecuencia de la presencia de dos centros de presión: un anticiclón con presiones máximas de 1034 hPa centrado en las Azores y una borrasca con presiones mínimas de 976 hPa en el mar Adriático. Los vientos

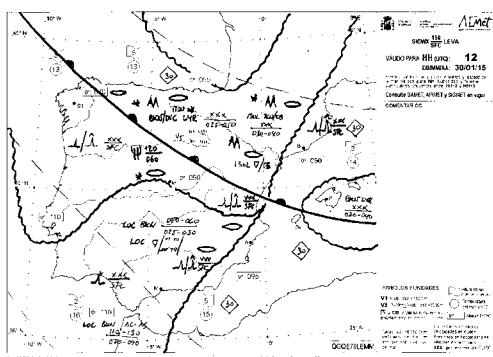


Figura 1a. Mapa de tiempo significativo de bajo nivel previsto para las 12 horas UTC del 30/1/2015 para la Península.

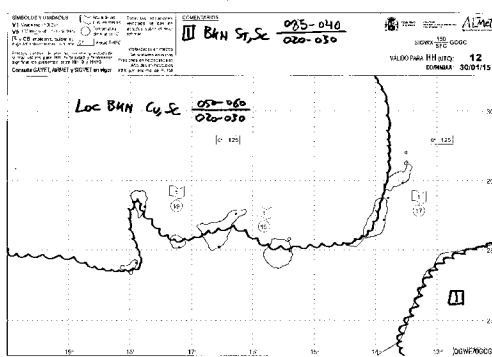


Figura 1b. Mapa de tiempo significativo de bajo nivel previsto para las 12 horas UTC del 30/1/2015 para Canarias.

fuerzas causaron turbulencia moderada y fuerte en muchas áreas, así como ondas de montaña en diversas cadenas montañosas. Además, las bajas temperaturas invernales y la alta humedad debida al frente cálido, proporcionaban condiciones idóneas para la formación de hielo en algunas áreas, entre los niveles de vuelo F060 al F120. Finalmente, hubo reducción de visibilidad por lluvia y nieve, y montañas oscurecidas, es decir, no visibles debido a la nubosidad.

En cambio las islas Canarias permanecieron al margen de esta agitación atmosférica invernal y el mapa de tiempo significativo para la zona solo pronosticaba las habituales capas de nubes bajas al norte de las islas. En concreto el texto «LOC BKN Cu,Sc (050-060)/(020-030)» escrito en el mapa significa que en la zona festoneada se esperaban localmente capas extensas de cúmulos y estratocúmulos, que cubren entre cinco y siete octavos del cielo, con base entre 20 y 30 hectopiés y tope entre 50 y 60 hectopiés. Estas condiciones permiten el vuelo bajo las reglas VFR.

Este ejemplo demuestra que los fenómenos atmosféricos que afectan a la aviación pueden ser muy variados, especialmente si se vuela a baja altura. La confección de estos mapas requiere, por tanto, un trabajo intensivo por parte del meteorólogo predictor. Este trabajo se basa en los conocimientos y experiencia de muchos años dedicados a la meteorología, y se apoya en las simulaciones numéricas del movimiento atmosférico. Hacemos de nuevo un paréntesis para mencionar que los modelos de predicción han mejorado notablemente en los últimos años. Esto ha sido posible gracias, no solamente a que los métodos numéricos utilizados hoy en día son más precisos, sino, casi más importante, porque el número de observaciones utilizadas y la capacidad de cálculo han experimentado un aumento vertiginoso. No nos cansamos de asombrarnos de cómo han mejorado, en pocos años, la capacidad de almacenamiento y la velocidad de los ordenadores personales. Esta evolución también se ha dado en los grandes superordenadores que se usan en meteorología para producir las predicciones de los modelos numéricos. Este aumento espectacular ha permitido mejorar la precisión de los modelos numéricos al realizar menos aproximaciones y tener en cuenta más procesos físicos que se producen en la atmósfera. En definitiva, los modelos numéricos de hoy en día simulan la atmósfera de forma más realista y, como consecuencia, permiten realizar predicciones más fiables. AEMET utiliza los mejores modelos disponibles en la actualidad, como son el modelo global del Centro Europeo de Predicción a Medio Plazo (ECMWF), y los modelos de alta resolución HIRLAM y HARMONIE.

Los principales peligros meteorológicos para la aviación los hemos mencionado al principio de esta reseña. Ampliamos ahora la descripción de algunos de ellos teniendo en mente el ejemplo del mapa significativo de la figura 1.

La turbulencia consiste en la presencia de remolinos irregulares y caóticos en el aire. Puede presentarse en cualquier nivel atmosférico y, en general, el espesor de la capa con turbulencia es mayor en estratos atmosféricos inestables con cizalladura. El efecto de la turbulencia sobre el avión depende de diversos factores: por ejemplo, cuando el tamaño de los remolinos es similar al del avión, el efecto de la turbulencia se amplifica. La velocidad del avión y su carga son también factores que influyen en tal efecto. El piloto debe realizar maniobras adecuadas para contrarrestar el efecto de la turbulencia. En general, esta no es un peligro para el vuelo, aunque en ocasiones extraordinarias puede obligar a un aterrizaje de emergencia. Normalmente la turbulencia fuerte produce caídas de objetos en la cabina y movimientos violentos, resultando muy molesta.

La física de la turbulencia es un problema abierto, y, en general, se considera que su predicción es difícil. Sí es cierto que, en algunas ocasiones, está prácticamente asegurada. Por ejemplo: la turbulencia mecánica que se produce en presencia de vientos muy fuertes en niveles bajos, o la turbulencia en las cercanías de cumulonimbos. Sin embargo, hay otras situaciones en las que es más

























 Tormentas	 Llovizna	
 Ciclón tropical	 Lluvia	
 Línea de turbonada fuerte	 Nieve	
 Turbulencia moderada	 Chubasco	 Granizo
 Turbulencia fuerte	 Ventisca alta de nieve	
 Ondas orográficas	 Calima fuerte de arena o polvo	
 Engelamiento moderado en la aeronave	 Tempestad extensa de arena o polvo	
 Engelamiento fuerte en la aeronave	 Calima extensa	
 Niebla extensa	 Neblina extensa	
 Materiales radiactivos ⁽³⁾ en la atmósfera*	 Humo extenso	
 Erupción volcánica ⁽¹⁾	 Precipitación engelante ⁽²⁾	
 Oscurecimiento de las montañas		

Figura 2. Tabla de símbolos utilizados en el mapa de tiempo significativo.

difícil de pronosticar, como es el caso de la turbulencia en aire claro que se produce con mayor frecuencia en las cercanías de los chorros, es decir, en zonas de viento muy fuerte en niveles atmosféricos altos. Este tipo de turbulencia no se puede detectar mediante los sistemas de teledetección (como son satélites, radares u otros). La única forma de tener constancia de su presencia es que un piloto la observe, por los efectos que tiene sobre la estabilidad del vuelo, e informe a Control Aéreo. Según un protocolo establecido, Control Aéreo, a su vez, informa a las OVM. Estas observaciones, aunque relativamente escasas, son de gran valor para las OVM. En el mapa ejemplo de la figura 1a se pronostica turbulencia moderada o severa, desde la superficie hasta más arriba del nivel de vuelo FL150, en la zona delimitada por las líneas discontinuas que abarcan casi toda la Península y Baleares.

El engelamiento es la presencia de hielo adherido a la superficie del avión, usualmente en las alas y en la parte frontal. El engelamiento puede llegar a ser peligroso cuando la cantidad de hielo adherida es excesiva, pudiendo afectar seriamente la capacidad del avión de sustentarse. Los aviones modernos tienen métodos para eliminar el hielo que se forma en las alas, consistente en calentar la superficie del avión, gastando, eso sí, combustible con la consecuente reducción de su autonomía. Otros métodos, no tan eficaces, consisten en inflar unos neumáticos, dispuestos en las alas de forma estratégica.

El engelamiento se produce en situaciones muy determinadas: en primer lugar, la temperatura del aire debe estar en el rango de 0 °C a -20 °C, y en segundo, tiene que haber presencia de gotas de agua subfundida, es decir, gotas de agua líquida a temperaturas por debajo del punto de congelación (0 °C). Obviamente, cuanto mayor sea el contenido de gotitas de agua subfundida por metro cúbico de aire, más fácil será que se acumule hielo en el avión. Pero, no solamente es importante la cantidad de agua por metro cúbico: otro factor a tener en cuenta es el tamaño medio de las gotas, ya que las de mayor tamaño tienen mayor probabilidad de impactar contra el avión, mientras que las gotas muy pequeñas son desviadas fácilmente por el flujo del aire. Por otra parte, la velocidad del avión respecto del aire es, también, un factor que influye en la acumulación de hielo.

Para predecir el engelamiento, en las OVM se usan observaciones (como radiosondeos, imágenes de satélite y radar meteorológico) e información proveniente de modelos numéricos. Con los análisis y predicciones de los modelos numéricos se estima la temperatura, la humedad relativa y el contenido de agua subfundida en los distintos niveles atmosféricos. Esta información es fundamental para predecir el engelamiento, y si se espera que sea ligero, moderado o severo. En el mapa de la figura 1a se prevé engelamiento moderado entre 60 y 120 hectopiés asociado con el frente cálido que cruza la Península.

Otro factor de gran impacto en la seguridad aérea es la presencia de ondas de montaña. Las ondas de montaña se producen sobre y a sotavento de una cadena montañosa, cuando una capa suficientemente extensa de aire se mueve sobre esta. La descripción científica y técnica de este fenómeno es compleja. Dependiendo del perfil de viento y estabilidad del aire que sobrepasa la cadena montañosa las ondas orográficas pueden tener unas características u otras. Obviamente la configuración de la cadena montañosa, como es su altura y anchura medias, influyen en las ondas que se producen. Según el caso, estas ondas se pueden propagar corriente abajo a gran distancia, formando en ocasiones nubes muy características. Otras veces, se propagan en la vertical, aumentando su amplitud, hasta romper en los niveles atmosféricos altos produciendo flujos turbulentos. Además, en situaciones determinadas, se pueden producir vientos muy fuertes cerca de la superficie a sotavento de las cadenas montañosas.

Las ondas de montaña afectan la aviación, y pueden resultar peligrosas en vuelos bajos. Pueden hacer que una avioneta pierda o gane altura de forma violenta e incontrolada, como si en una montaña rusa se encontrara. Los aviones grandes, que vuelan a gran altura, pueden notar las ondas de montaña que se propagan verticalmente. En la figura 1a, el mapa correspondiente pronostica la formación

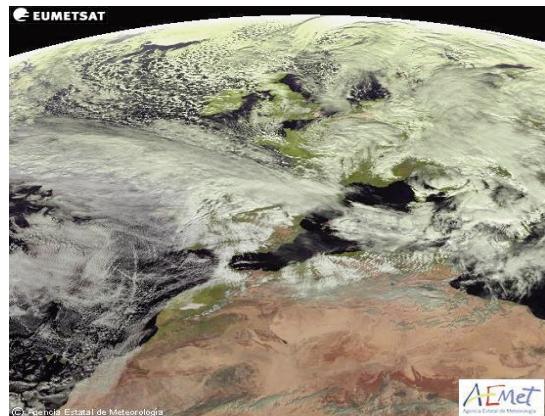


Figura 3. Imagen de satélite obtenida el día 30/1/2015 a las 12 horas UTC para Europa y norte de África.

de ondas orográficas en casi todos los sistemas montañosos de la Península provocadas por los vientos fuertes del noroeste de origen sinóptico.

En los mapas de tiempo significativo también se indican otros muchos factores que pueden afectar la seguridad de un vuelo bajo. Por ejemplo, se indica si se esperan precipitaciones (en forma de tormenta, lluvia, nieve), o si se espera una reducción de la visibilidad (montañas oscurecidas, niebla, neblina). Los frentes —fríos, cálidos u ocluidos— también están indicados. Para orientación, se indican, en algunos puntos, los niveles de la isocero (o nivel de vuelo en el que se alcanza los 0 °C). Hay información adicional, no directamente relacionada con la aviación, como la temperatura de la superficie del mar, la altura del oleaje y el viento medio a 10 metros en aquellos lugares donde se alcancen los 30 nudos. Todos estos factores aparecen en el mapa ejemplo ilustrativo de la figura 1. Para tener una idea de lo que ocurrió realmente ese día, en la figura 3 mostramos la imagen del satélite meteorológico MSG obtenida a las 12 horas UTC, hora central del periodo de validez del mapa previsto de la figura 1.

BIBLIOGRAFÍA COMENTADA

GONZÁLEZ LÓPEZ, B., 2005. *Meteorología aeronáutica*, 1.ª edición, Ed. AVA.

UNDERDOWN, R. B. y J. STANDEN, 2003. *Ground Studies for Pilots: Meteorology*, 3.ª edición, Ed. Blackwell.

AUPETIT, H., 2005. *Visitar el cielo: Meteorología, la guía del aire para volar*. 4.ª edición, Ed. Perfiles.

Los tres libros anteriores constituyen una introducción a la meteorología desde el punto de vista de la aviación. Los dos primeros tienen como principales destinatarios los aspirantes a piloto, pero la claridad de sus explicaciones y esquemas hacen su lectura altamente recomendable para cualquier lector interesado en estos temas. El tercero está dirigido a los pilotos de la «aviación lenta», que vuelan a menos de 100 km/h y por debajo de los 5000 m (parapentistas, pilotos de ultraligeros, planeadores, ala delta, globos, etc.). El autor, practicante de la mayoría de las disciplinas anteriores, ha escrito un libro muy ameno y recomendable para el público general. Destacan los numerosos testimonios de primera mano relacionados con el efecto de diversas condiciones meteorológicas sobre este tipo de aeronáutica.

AEMET, *Información de AEMET sobre meteorología aeronáutica*. En: <http://www.aemet.es/es/conocermas/aeronautica>

La sección de aeronáutica de la página oficial de AEMET permite descargar libremente la *Guía MET* con una descripción de los distintos códigos aeronáuticos (METAR/SPECI, TAF, SIGMET, etc.), amén de tablas y ejemplos de los mensajes elaborados en la Agencia con su significado. Además, esta sección contiene información sobre las actividades de AEMET relacionadas con la aviación y un acceso al Autoservicio Meteorológico Aeronáutico (solo para pilotos).

BALLESTER VALOR, G. *Información profesional de las condiciones meteorológicas en todo el mundo*, En: <http://www.ogimet.com/>

SKYVECTOR, *Aeronautical charts*, En: <http://skyvector.com/>

Los dos sitios anteriores son una valiosa fuente de información en tiempo real sobre la meteorología aeronáutica. El primero contiene un enorme caudal de información sobre el tiempo que hace en los aeropuertos (METAR/SPECI), amén de pronósticos de aeródromo (TAF), imágenes de satélite, mapas de modelos numéricos, observaciones de estaciones sinópticas, sondeos, e incluso una herramienta para hacer *Gramets*. Todo ello a nivel mundial. El segundo está más dedicado a la aviación comercial, permite visualizar información sobre todos los aeropuertos del mundo, cartas de navegación y, lo que más nos interesa, los SIGMET emitidos globalmente en tiempo real.