



TETHYS, revista de meteorología - Núm. 0
Primera etapa de la revista de la ACAM

METEOROLOGIA SUBSINOPTICA. SITUACIONES ADVERSAS. PROBLEMAS Y SOLUCIONES

Por **Alberto Linés Escardó**

Doctor en Ciencias. Meteorólogo

Subdirector adjunto de operaciones de Iberia entre 1971 y 1987

En los años veinte, Bergeron, Bjerknes y otros meteorólogos de la escuela noruega, desarrollan el concepto de masa de aire, descubren el frente polar y a la vez, la teoría frontal. Se establece entonces el esquema de la borrasca típica de las zonas templadas y se sientan las bases de Meteorología Sinóptica. Nace una metodología para estudio y predicción del tiempo. Theodore Fujita (1), se lamenta de que en la décadas siguientes las perturbaciones mesoescalares se hayan tratado con una óptica sinóptica y hasta los años ochenta no se hayan estudiado en profundidad los fenómenos a mesoescala, y en los noventa, los fenómenos meteorológicos a microescala.

Fujita establece estas tres escalas:

Sinóptica 400 a 40.000 km. Aplicación: Predicción diaria

Mesoescala 4 a 400 km. Aplicación: Predicción local

Meso o microescala 40 m a 4 km. Aplicación: Aviso de riesgos

Para ceñirnos a nuestro tema, vamos a referirnos solamente a los fenómenos meso y microescalares.

Conviene advertir que en propia OACI no ha quedado ajena a la prepotencia de la Meteorología Sinóptica en lo que se refiere a la protección al vuelo en general (2). En aquella organización, en sus comienzos, se prestó una atención casi preponderante a la gran aviación, denominada "Aviación Internacional"; posteriormente cambiaron algo las cosas, y se elaboró para la pequeña aviación, que paso a denominarse "Aviación General" una segunda parte del Anexo 6 al Convenio de Chicago, anexo dedicado a Operaciones.

La diferencia entre las llamadas aviación "internacional" y "general" no la establece OACI según la naturaleza o área geográfica del vuelo, sino del "status" operativo de la aeronave en cuestión. En pocas palabras, en la Aviación Internacional esta previsto el simple fallo mediante la redundancia de medios (dos pilotos, dos o mas motores y equipos, con posibilidad de alguno inoperativo); en la Aviación General, que

prácticamente incluye toda la deportiva, puede haber aviones monomotores, un solo piloto, etc. El simple fallo no queda cubierto.

Así como OACI ha tenido buen cuidado de regular en materia de operaciones en forma diferente para la pequeña y la aviación grande, para entendernos, no ha mostrado el mismo celo en asuntos meteorológicos. El Anexo 3, específicamente de Meteorología, está polarizado para la aviación internacional y como descolgada de la general. La escala geográfica de las cartas empleadas es buena muestra de ellos. Una perturbación de 15 km de diámetro en los mapas de tiempo significativo se representaría con el tamaño de un milímetro. Quede claro pues, que es insuficiente la escala sinóptica para una protección meteorológica eficaz, sobre todo para la aviación general o pequeña Aviación. Es cierto que son pertinentes los tipos de observaciones establecidas, es decir, los METAR, así como los SIGMET y los avisos de aeródromo y otras informaciones en lenguaje corriente.

FENOMENOS A ESCALA SUBSINOPTICA.

Al tratar de los fenómenos subsinópticos comenzaremos por los mesoscálicos, o sea aquellos cuya elongación es a lo sumo de unos pocos centenares de kilómetros. Citaremos los siguientes:

Sistemas convectivos y complejos convectivos.

Entre los fenómenos más importantes, sobre todo en el área mediterránea, hay que citar en primer lugar los **Sistemas Convectivos**, que comúnmente son confundidos con las gotas frías; éstas son sin embargo, fenómenos de escala sinóptica.

Un **sistema convectivo** es una perturbación mesoscálica formada principalmente por una gran masa de cumulonimbos, los cuales en algún momento de su vida coexisten con una gran masa nubosa estratificada. Lo característico es la enorme intensidad de las precipitaciones que originan. La duración raramente alcanza las 24 horas, en las cuales puede o suele permanecer casi estacionario o con muy lenta traslación. Son característicos los **sistemas convectivos** de finales del verano o de los comienzos del otoño, principalmente en el área mediterránea, aunque no exclusivamente en ésta, ya que también se han presentado y muy intensos en el Cantábrico y en el área pirenaica.

Las mayores cantidades de precipitación en 24 y en 6 horas se han presentado al menos en los últimos diez años asociadas a los **sistemas convectivos**.

No existen todavía unas especificaciones concretas y unívocas para los **sistemas convectivos** ni para su denominación. Así, Madox (3) estudia y define los que denomina **complejos convectivos mesoscálicos (MCC)** como aquellos fenómenos que reúnen determinados requisitos basados en las imágenes por satélite en IR, y entre ellos, podemos señalar como los más significativos:

a) el área nubosa debe incluir al menos 100.000 km cuadrados con la temperatura en el tope de las nubes de -32°C o inferior,

b) El interior de la masa debe incluir al menos 50.000 km cuadrados con temperatura en el tope de -52°C o inferior

c) La duración del fenómeno debe ser al menos de seis horas

Las estadísticas que viene realizando el INM sobre los fenómenos mesoscálicos de esta naturaleza, ofrecen unas dimensiones algo menores y también por lo regular una duración por término medio ligeramente menor. Dado que el número de casos considerados no es todavía muy grande, no se podría aún dar unas especificaciones concretas para los **sistemas convectivos** y provisionalmente podríamos definir los **complejos convectivos mesoscálicos** los que están acordes con las especificaciones de Madox, y los **sistemas convectivos** también a mesoscala, a aquellos de la misma naturaleza y de algo menores dimensiones y de duración de al menos tres horas.

Un **sistema o un complejo convectivo** es sin duda el fenómeno más peligroso con que pueda enfrentarse en nuestras latitudes la pequeña aviación, los planeadores, globos u otros ingenios voladores ligeros. Sin embargo, en la gran peligrosidad y violencia radica la posibilidad de evitarlos ya que la información acerca de estos tipos de riesgos es difundida por muchos cauces, entre ellos Protección Civil. Un deportista que se vea envuelto en esta clase de fenómenos demostraría gran negligencia en cuanto a la obtención de la información previa al vuelo. Es por tanto de todo punto necesario, estar atentos a toda clase de avisos y en su caso, suspender toda actividad deportiva o de la aviación general.

Líneas de inestabilidad.

No es rara la formación de líneas **líneas tormentosas**, unas veces desplazándose y en otras, casi estacionarias. Las primeras con facilidad pueden alcanzar escala sinóptica y algunas veces pueden estar asociadas a frentes fríos, de modo que avanzan paralelas y delante de los frentes. En todo caso son fenómenos convectivos caracterizados por su estructura lineal. En los trópicos suelen denominarse **turbonadas tropicales** y en las zonas templadas, simplemente **líneas de turbonada**. En las imágenes de satélite pueden aparecer enmascaradas y en forma redondeada debido a la gran masa de nubes estratificadas que las envuelven; puede ser útil contrastar la imagen en espectro visible con la infrarroja.

Otro tipo de fenómeno mesoscálico lo constituyen las **líneas tormentosas** casi estacionarias. Se pueden originar en condiciones de estratificación inestable; entre dos células tormentosas muy activas y con separación adecuada, se crean en el suelo áreas de convergencia, creadas por las descendencias en las base y en el entorno exterior de las tormentas. Cuando declina la vida de las primitivas células, se desarrollan las nuevas que aparecen en las zonas intermedias. El aspecto lineal al pasar las horas tiende a desfigurarse. A veces no resulta sencillo el diferenciar una línea de inestabilidad casi estacionaria con un sistema convectivo.

Otros fenómenos mesoscálicos.

El viento al soplar sobre largas alineaciones montañosas crea fenómenos mesoscálicos de diferente naturaleza; puede ser el caso de **ondas estacionarias** del tipo de las llamadas **onda de montaña**, la cual como es sabido puede suponer un riesgo a veces

extremo para la pequeña aviación, sobre todo cuando se vuela con viento en cara y a sotavento, y muy especialmente cuando se forma la llamada **nube rotor**, y el avión se ve envuelto en la misma. Aunque el fenómeno global es de naturaleza mesoscálica, la **nube rotor** es fenómeno a microescala.

Un fenómeno complejo, que ha estudiado A. Jansá (4) es la llamada **vaguada mediterránea**. Viene a consistir en lo siguiente: cuando hay un flujo muy marcado de W o bien del NW, se produce un marcado efecto Föhn originado por la Cordillera Ibérica, y al haber componente Norte, también por el Sistema Pirenaico. A lo largo de la costa del Mediterráneo aparece una anomalía positiva de temperatura y a la vez, negativa de la presión. El resultado es una vaguada casi estacionaria, que de persistir puede evolucionar hacia una pequeña depresión centrada cerca y al Norte de las Baleares. Este fenómeno queda pues originado por la interacción de un flujo a escala sinóptica y factores geográficos locales.

FENOMENOS MICROESCALARES.

Hay una gran variedad de fenómenos a pequeña escala, es decir a una dimensión comprendida entre unos pocos kilómetros y decenas de metros.

Tormentas

Por su especial relevancia es preciso referirnos en primer lugar a las **tormentas**. Suelen éstas clasificarse entre frontales y de masa. Dado que las primeras deberían estudiarse a escala sinóptica, vamos a centrarnos en las segundas. Hay otros autores como Uman (5) que prefieren distinguir entre **tormentas** locales o convectivas o en formaciones móviles.

Como es de sobra conocido, para la formación de una **tormenta** se requiere un adecuado contenido de humedad, estratificación inestable y un factor desencadenante, como puede ser la convección por calor o la ascendencia forzada.

Cuando el contenido de humedad no es alto y muy considerable la convección, caso muy frecuente en nuestro verano en las tierras del interior, pueden originarse **tormentas** secas, sin precipitación que alcance al suelo, pero con importante aparato eléctrico e intensas microrráfagas, a las que mas adelante nos referiremos, así como intensa turbulencia. En principio, para la pequeña aviación podemos calificar a las **tormentas** secas como por lo menos tan peligrosas como las **tormentas** con precipitación.

Es clásica la distinción de tres estados en la formación de una **tormenta**: estado de cúmulo, de madurez y de disipación. En la primera fase, no han precipitación y predominan dentro de la nube las ascendencias. En la segunda, coexisten ascendencias y descendencias, hay precipitación, rayos y fuerte turbulencia. En la última fase, prevalecen las descendencias, los cumulonimbus se fragmentan y quedan fuertemente cargados de electricidad, en general positiva.

A nuestro juicio, las condiciones potencialmente quizá de mayor riesgo para el vuelo, o al menos una de las mas peligrosas, agravado por la circunstancia de tratarse de fenómenos bastante comunes, se presentan justo al comenzar el estado de madurez de

las **tormentas**, que se inicia al alcanzar el suelo la primera gran descendencia y también las primeras gotas de precipitación. Esto es particularmente peligroso para los aviones y no solo los ligeros, que se encuentren cerca del suelo, bien sea en la aproximación final, o en el despegue o ascenso inicial. También lo es para la pequeña aviación volando cerca del suelo. Repetimos es un riesgo que afecta a todos los aviones aún los mas pesados y mejor equipados, aunque estos van dotados de sensores que detectan y alertan tempranamente de fenómenos de alteraciones bruscas del viento.

El riesgo es todavía mayor cuando dicha ráfaga descendente tiene lugar en el entorno del aeródromo. En el caso de aeródromos no dotados para aproximaciones de precisión, puede haber asimismo riesgos adicionales. En efecto, en tales aeródromos, la senda de planeo en la aproximación final suele ser rectilínea y con una pendiente en torno a los tres grados. En cambio, en las aproximaciones de no precisión, suele haber en la aproximación un tramo de vuelo horizontal hasta cerca del umbral de pista, lo que supone mas tiempo cerca del suelo y riesgo adicional. Lo mismo podríamos decir cuando, pese a haber ayudas de precisión, la aproximación ha de hacerse en circuito.

De los fenómenos inherentes a la **tormenta** nos referiremos a dos: **microrráfagas** y **rayos**.

Microrráfagas

Suele entenderse por **microrráfaga** una intensa y breve ráfaga de algunos centenares de metros de anchura y que tiene lugar cerca del suelo. Las mas importantes para nuestro propósito, son las descendentes, las llamadas en inglés "**downburst**". Estas ráfagas, al llegar al suelo se extienden con violencia y a veces por un efecto como de rebote crean un torbellino de eje horizontal y curvilíneo. Hay evidencia de que a veces ese torbellino, de forma toroidal, es tan intenso, que las ascencias creadas en la parte exterior han dado lugar a condensación, y han formado una curiosa nube de forma casi anular, en un plano paralelo al suelo.

No solo se forman los temidos "**downburst**" en las fases de comienzo del estado de madurez de un proceso tormentoso, es decir, en el llamado "**reventón**" en muchos países de habla hispana. También se pueden se puede presentar en **tormentas secas** y alguna otra situación o condiciones atmosféricas, aunque ello es menos frecuente.

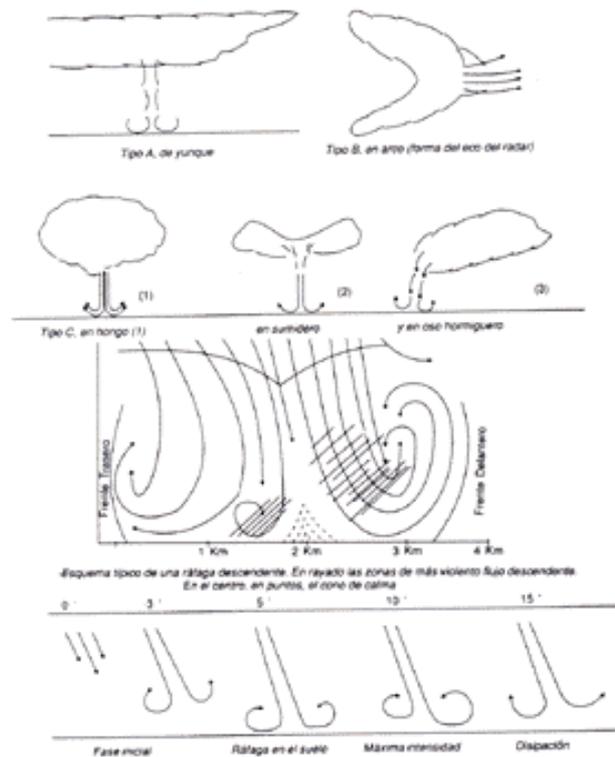
No debe confundirse el "**downburst**" con el tornado; son fenómenos de extensión parecida y a veces efectos similares, pero hay una diferencia esencial: en el "**downburst**" las corrientes son descendentes, mientras que en el tornado se combinan ascendentes y en espiral.

Los "**downburst**", en las figuras adjuntas se representan esquemáticamente según los tipos mas comunes. Acaso para la pequeña aviación revistan especial peligrosidad los procedentes de las **tormentas secas** por ser mas difíciles de localizar y en buena parte de los casos casi imposible identificar visualmente.

Un avión en la aproximación final puede encontrar una fuerte ascencia debida a la parte exterior del torbellino horizontal creado por rebote del "**downburst**". Quizá la reacción del piloto sea la de bajar el morro del avión, lo cual no puede ser mas

desaconsejable, ya que inmediatamente se encontrará la intensa corriente descendente y con tal presentación del avión, las consecuencias pueden ser fatales.

La duración del proceso de una intensa "**downburst**" puede ser de hasta 15 minutos. Fuyita (6) señala como de unos cinco minutos desde que se inicia hasta que se alcanza el suelo y la máxima intensidad puede ocurrir en los cinco minutos siguientes y a los 15 puede estar ya en fase de disipación.

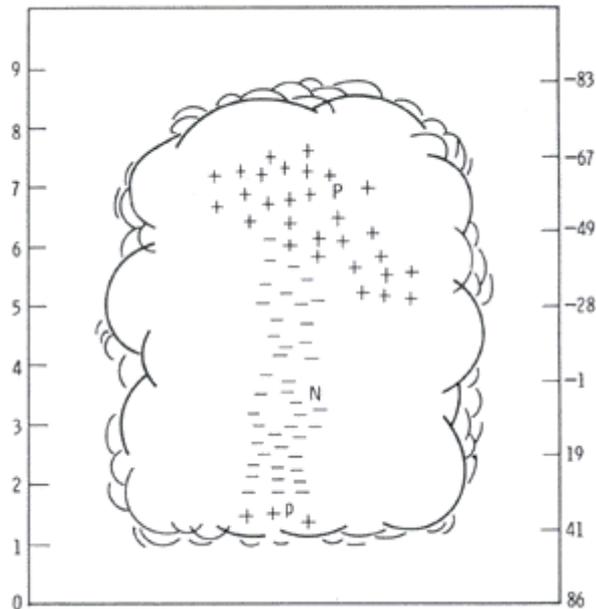


Fenómenos eléctricos: el rayo

En los comienzos de la aviación, fue quizá el **rayo** uno de los riesgos mas temidos. Parece sin embargo que, al fabricarse sobre todo grandes aviones con casco metálico, y sobre todo, con mejor equipamiento, parece como si se hubiera minusvalorado el efecto de las descargas eléctricas. Tal vez suceda lo mismo que con el riesgo de fulminación de personas; al hacerle la población mas urbana el número de víctimas ha decrecido, pero el fenómeno es el mismo.

Carga eléctrica en la nube

En el interior de una nube tormentosa la distribución de las cargas eléctricas no es uniforme. Por lo regular, en la parte interior predominan las cargas negativas, mientras que en la parte superior o tope, donde suele haber gran cantidad de cristales de hielo, prevalece la carga positiva. Hay también en la base de la nube cargas positivas, aunque en la vida de la nube la carga de la base experimenta variaciones.



Las nubes con mayor carga eléctrica suelen ser las convectivas muy desarrolladas, es decir, los cumulonimbus; son las propias de las **tormentas**. Por esta razón, en las nubes de poco espesor rarisísimamente se presentan episodios tormentosos, que son por tanto característicos de las nubes muy desarrolladas por procesos convectivos o de carácter frontal.

En un episodio tormentoso, puede haber descargas de la nube a tierra o de la tierra hasta alcanzar la nube. También pueden presentarse descargas de nube a nube; estas son menos corrientes que las anteriores. A veces el mecanismo de descarga es muy complejo debido a la presencia de factores no naturales; es el caso, por ejemplo, del paso de un avión por la base de una nube tormentosa, que puede hacer de puente e inducir la descarga de nube a tierra. La naturaleza del terreno, el relieve, los grandes edificios, el arbolado y otras irregularidades del suelo, inciden en forma muy acusada en la génesis y en el tipo de descargas eléctricas atmosféricas.

Las hipótesis para explicar la génesis del rayo y a la vez, la protección contra el mismo, datan de mediados del siglo XVIII. En fechas relativamente recientes se han desarrollado teorías bastante satisfactorias sobre el mecanismo de los rayos, si bien, conviene aclarar que todavía existen aspectos que no están suficientemente aclarados. Cada rayo, cada descarga eléctrica es diferente y la imagen de cada rayo es distinta de las demás, por lo que la casuística de estos fenómenos podemos decir que es inagotable.

Ya en los años cuarenta, algunos experimentos con cámaras fotográficas móviles probaban que el rayo no es una descarga simple, sino que va precedida, por ejemplo en el caso de la nube a tierra, de otras varias, de modo que cada una sigue y viene a profundizar en el camino seguido por las anteriores hasta que finalmente, la descarga llega a tierra (Schonland y otros). Todo ello sucede con gran velocidad, de modo que cada camino elemental se recorre en un plazo de tiempo que viene a durar entre diezmilésimas y cienmilésimas de segundo. En cualquier caso la trayectoria del rayo o descarga se adapta a la trayectoria donde el aire o el medio que atraviesa dicho rayo es el que ofrece mejor conductividad eléctrica. En el caso del aire, la conductividad viene poderosamente influida por la ionización, la cual queda profundamente afectada por los

procesos físicos y químicos que tienen lugar en el aire, debidos a causas naturales tales como las propias tormentas, volcanes y radiactividad natural, o bien debidas a causas antrópicas : actividad de tipo industrial, transportes, chimeneas etc.

El propio rayo es una poderosa fuente de ionización del aire y por ello, las descargas eléctricas raramente aparecen solas y lo normal es que en los episodios tormentosos tales descargas aparezcan en forma múltiple.

La teoría anterior ha sido perfeccionada en los últimos años si bien se mantiene la hipótesis de que las descargas no son simples sino complejas. La iniciación y propagación de una descarga se hace por un proceso que llamaríamos escalonado, lo que se denomina "stepped leader", que viene a ser la forma en que se abre paso la carga eléctrica en su marcha de la nube a tierra o viceversa. Exactamente no se conoce del todo el proceso de trabajo del "stepped leader". Entre paso y paso transcurre un tiempo de cienmilésimas de segundo. Las descargas suelen iniciarse dentro de la nube, en el sector "N", es decir, en el seno de la parte cargada negativamente, y en la zona en que reina una temperatura en torno a los cero grados. La carga eléctrica negativa se encamina, por pasos discontinuos como va dicho, hacia el suelo, y cuando se encuentra a una distancia como de unos 50 metros, parte del suelo una carga positiva y sale al encuentro de la negativa descendente. La carga que parte del suelo normalmente es compleja y puede proceder de varios puntos del suelo a la vez.

Esta descarga desde el terreno no se produciría a menos que la carga eléctrica positiva, procedentes de dicho terreno, no fuera atraída por la carga eléctrica negativa que desciende procedente de la nube. A veces la descarga desde la tierra es seguida por otras varias.

Daños en aviones

En aviones de casco metálico los daños mas corrientes suelen ser: perforaciones, rotura de la cúpula de radar, que lógicamente no es metálica, desperfectos en los equipos de comunicaciones, efecto de deslumbramiento e incluso en casas raras, incendio del combustible. En aviones muy ligeros de superficies enteladas y sobre todo en ultraligeros hay además el riesgo de fulminación de los tripulantes o incendio del aparato.

Hay ejemplos probados, cierto que pocos, de aviones de casco metálico incendiados en vuelo por **rayo**: un Superconstellation en Milán, en 1959 y un Boeing 707 en Mariland, USA, en 1963. No hay estadísticas disponibles de daños en aviones militares, pero parece que los siniestros por esta causa no han sido demasiado raros.

La electricidad estática es eliminada en forma bastante eficaz mediante diferentes dispositivos. Es conveniente tomar precauciones al aproximar cisternas de combustible a aviones que acaban de aterrizar. En todo caso, debe evitarse el repostado cuando hay alguna **tormenta** en las inmediaciones del aeródromo.

Las **tormentas secas** por su más difícil identificación con relación a las que se acompañan de precipitación, pueden suponer un riesgo muy serio, también en el aspecto eléctrico, para la pequeña aviación.

Turbulencia y cizalladura de viento

Estos fenómenos son ordinariamente de escala subsinóptica, excepto la **turbulencia** en aire claro (CAT) que se presenta en altitudes elevadas y es de naturaleza sinóptica ; es de relativo interés para la pequeña aviación.

La **turbulencia térmica** o **mecánica**, sobre todo la segunda, queda muy influida por los factores locales y entran de lleno ambas en la meteorología subsinóptica. No vamos a añadir a lo mucho y en general bueno que sobre estos tipos de **turbulencia** aparece en cualquier tratado de meteorología aeronáutica.

Otro tanto podríamos decir de la **cizalladura del viento**, o **gradiente de viento**, que afecta sobre todo a las actuaciones del avión cerca del suelo. A escala subsinóptica estos fenómenos se presentan en condiciones de vientos fuertes, por efecto de la brisa, en las inversiones cercanas al suelo y en días calurosos al iniciarse el enfriamiento nocturno.

Los fenómenos de **cizalladura de viento** son bastante comunes y han sido causa de varios accidentes. La detección precoz del fenómeno es algo esencial para evitar riesgos mayores. En nuestro país en que tantos aeródromos hay en la costa, debe tenerse muy en cuenta el efecto de la brisa sobre todo en las horas de mayor intensidad. En Canarias hay un fenómeno de mutua interacción de la brisa con el monzón, que sopla en general del Noreste; la brisa es mas o menos perpendicular a la playa; en Tenerife Sur no son nada excepcional se registren fenómenos de **cizalladura**. No es el único aeropuerto donde tal cosa suceda.

Es preciso referirse a lo que hemos denominado **cizalladura inducida**, que es la creada por el propio avión en sus maniobras. Así, cuando el viento es fuerte y laminar, y si tras el despegue ha de realizarse un ceñido viraje, el avión experimenta efectos de **cizalladura** sin haber gradiente de viento. Lo mismo sucede en aproximaciones de circuito, cuando el avión desde la ayuda principal recorre un tramo con viento en cola para virar al otro extremo y aterrizar viento en cara. Este tipo de **cizalladura inducida** ofrece menos riesgo que el anterior, pues al ir progresivamente el avión teniendo viento en cara, tiende a aumentar su sustentación, al revés que en el despegue.

OTRAS CONSIDERACIONES.

En la aviación deportiva, en ultraligeros y similares, suelen efectuarse por lo general vuelos en condiciones visuales. Ello no quita para que cada vez sean más numerosos los pequeños aviones con excelente equipo a bordo que permite el vuelo instrumental. Para tal tipo de vuelos se requiere una habilitación especial. En las aproximaciones instrumentales debe tenerse muy en cuenta que en gran número de aeropuertos los mínimos operativos, por efecto del relieve, tan variado en España, vienen impuestos por las salidas en caso de aproximación frustrada. El no tenerlo debidamente en cuenta puede ser origen de accidentes o incidentes, a los que pueden ser mas vulnerables, valga la paradoja, los pilotos mas experimentados cuando realizan vuelos deportivos, lo que puede conllevar algún tipo de exceso de confianza en si mismo.

Como consideración final, podemos indicar que aunque hemos expuesto muy brevemente aspectos subsinópticos del vuelo, especialmente para la pequeña aviación, no hay que olvidar que cualquier situación o fenómeno meteorológico a meso o

microescala para su evaluación y pronóstico debe ser ponderado cuidadosamente el marco o escenario sinóptico en que se presenta.

Alberto Linés Escardó

Septiembre 1996

Bibliografía

1. T. T. Fujita. *The Downburst. Microburst and Macroburst*. 1985. Univ. Chicago
2. A. Linés. *Insuficiencia de la Meteorología Sinóptica para las necesidades aeronáuticas*. Comn. Congreso Met. B. Aires 1989.
3. Madox. Bull. AMS nov. 1980.
4. A. Jansá. *Notas sobre análisis meteorológico mesoscalar en niveles atmosféricos bajos*. Pub. INM. Colección Casos de Estudio.
5. Martin A. Uman. *All About Lightning*. 1986. Dover Pub. N. York.
6. T. T. Fujita. Obra citada.