



# Ondas de montaña

Texto: José Miguel Viñas  
Fotos: Autor, salvo indicado



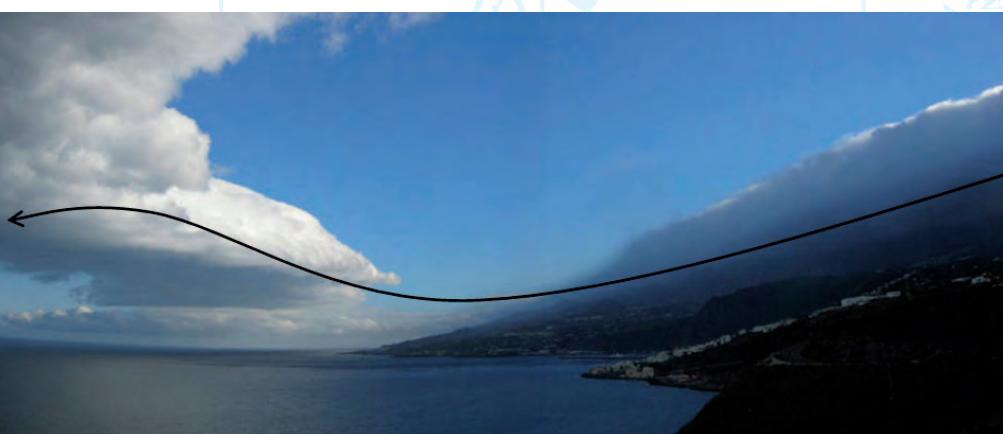
Las travesías a través de las zonas montañosas requieren por parte del piloto de una especial atención, debiendo estar particularmente alerta ante la incidencia del fenómeno de la onda de montaña. La incidencia del flujo aéreo sobre los obstáculos montañosos es una fuente permanente de turbulencia, algo que se ve potenciado cuando dicho flujo se ondula, apareciendo zonas críticas para el vuelo que han de tratarse de evitarse.

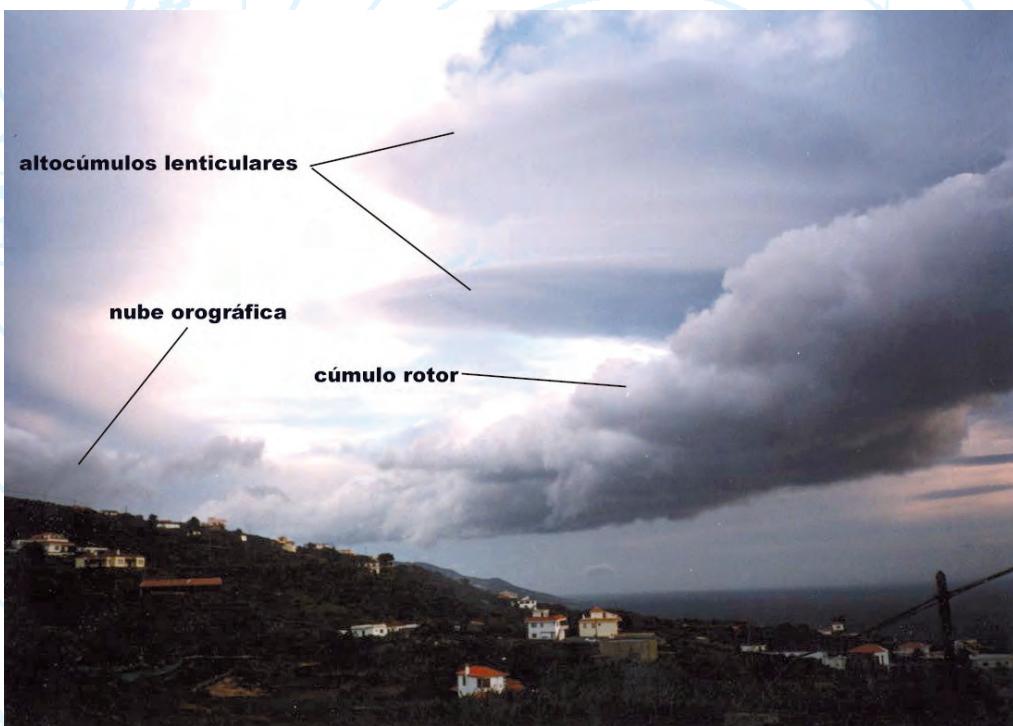
Arriba  
Gran nube lenticular fotografiada desde el aire en un vuelo sobre las Montañas Rocosas.

Abajo  
Esquema de la onda de montaña dibujado sobre una fotografía tomada en la isla de La Palma (Canarias) el 24 de marzo de 2005. © Fernando Bullón Miró

a aparición de esa turbulencia a barlovento y sotavento de una montaña no requiere de la presencia de una gran ondulación en el aire, ya que incluso con un flujo laminar, no demasiado rápido, se generan bucles y remolinos en las proximidades de las laderas montañosas (en las de barlovento únicamente si tenemos grandes pendientes, superiores a 45°), si bien los más peligrosos son los que aparecen con una onda de montaña bien constituida.

La onda de montaña es un fenómeno atmosférico en el que, como consecuencia de la incidencia de un flujo de aire sobre una barrera montañosa, dicha corriente adopta un comportamiento ondulatorio a sotavento del obstáculo, produciéndose ascensos y descensos del aire y apareciendo la temida turbulencia. Son varias las condiciones que deben de cumplirse para que se forme la onda. En primer lugar, la dirección del viento ha de ser perpendicular (o desviarse menos de 30° de la perpendicular) a la cuerda o eje de la cadena montañosa. La intensidad del viento en la cima no debe ser inferior a los 15 nudos (kt) en





montañas de poca entidad y de 25 kt en las mayores. Por otro lado, en la zona de barlovento, desde la base de la montaña hasta la cima, el viento ha de aumentar con la altura, manteniendo una dirección aproximadamente igual para cada nivel de vuelo. La última condición que debe cumplirse es la presencia de una inversión térmica, de manera que la estabilidad atmosférica reinante garantice el confinamiento de la onda en los niveles inferiores de atmósfera, si bien, como veremos en el presente artículo, la onda de montaña puede propagarse, en algunos casos, en la vertical, alcanzando el nivel de la tropopausa.

En el caso de la propagación según la horizontal, corriente abajo, el tren de ondas que se forma a sotavento del obstáculo montañoso queda atrapado. Dicha situación se produce cuando tenemos una fuerte cizalladura vertical (aumento rápido de la intensidad del viento con la altitud) y una estabilidad atmosférica restringida únicamente a la capa de aire inferior, con la inversión térmica localizada ligeramente por encima del nivel de la cima. Bajo tales circunstancias, es justamente en la parte baja, debajo de las crestas de las ondas, donde aparece la turbulencia más severa, asociada a un rodillo turbulento que recibe el nombre de "rotor". Dependiendo de cuál sea el grado de humedad reinante en esa zona baja a sotavento, los rotores llevan o no asociada nubosidad de tipo cumuliforme. El rotor más peligroso es el que aparece bajo la primera cresta de la onda, a unos 10-15 kilómetros

**Arriba**  
Diferentes elementos nubosos asociados al fenómeno de la onda de montaña. La fotografía fue tomada hace años en la isla de La Palma por Gero Steffen.  
Cortesía de Fernando Bullón Miró.

del eje de la montaña, a sotavento. Cualquier piloto ha de evitar volar en las proximidades de un rotor, ya que, irremediablemente, tratará de lanzarlo contra el suelo. El margen de maniobra que tendremos si nos vemos "atrapados" por uno de estos bucles o rodillos es pequeño, dada la cercanía a la que se encuentra el suelo. Tal y como indica Blanca González López en su libro "Meteorología Aeronáutica" (AVA, 2005), los diámetros de los rotores "pueden variar entre [los] 1.000 y 3.000 metros, oscilando sus velocidades verticales entre 2.000 y 5.000 pies/minuto."

La zona que debe buscar el piloto para atravesar de forma segura una cadena montañosa en la que se han formado ondas, es aquella donde el régimen es laminar, a pesar de que el flujo sea ondulado. Dicha área se corresponde con los niveles inmediatamente superiores a la cumbre, a sotavento de la cual suelen aparecer -coronando las crestas de las ondas- los altocúmulos lenticulares (Ac len). Estas nubes, de gran belleza y contornos suaves y muy bien definidos, forman bandas paralelas al eje de las cadenas montañosas, siendo perpendiculares al viento, y podemos identificarlas fácilmente en las imágenes de satélite, donde aparecen muy bien definidas. Los ascensos de aire que tienen lugar en cada una de las ondulaciones provocan un enfriamiento que en muchos casos culmina con la condensación del vapor de agua y la formación de la nube lenticular. Cuando el contenido de humedad del aire es elevado en esos niveles intermedios de atmósfera, no es raro que se solapen varias lenticulares formando una única unidad muy espectacular, cuya estructura está formada por diferentes pisos, como si de una pila de platos se tratase. Dado que la onda se va amortiguando a medida que nos alejamos del obstáculo montañoso, los ascensos de aire van perdiendo relevancia, de ahí que sea únicamente en las primeras crestas donde suelen aparecer los altocúmulos lenticulares.

Altocúmulo lenticular dispuesto en capas captado al atardecer del 16 de marzo de 2011 sobre el Macizo de Fuentes Carrionas, al norte de la provincia de Palencia.  
© Fernando Bullón Miró.





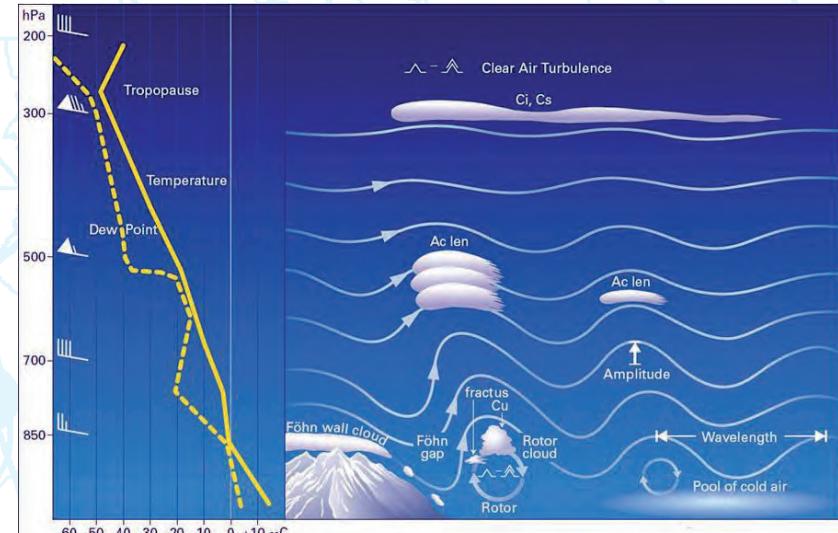
En el esquema de la figura anexa tenemos todos los elementos nubosos asociados al fenómeno de la onda de montaña. Aparte de las nubes rotores y de las de tipo lenticular, también son habituales las nubes orográficas que cubren la parte alta de la ladera de barlovento y la cima, como consecuencia del ascenso forzado de aire que tiene lugar allí. Estas nubes son de tipo estratiforme y caen ligeramente por la ladera de sotavento, formando lo que se conoce como "Muro de Föhn". En la cara enfrentada al viento, con frecuencia estas nubes dejan precipitaciones. Su presencia impide ver las cumbres montañosas, lo que requiere por parte del piloto de una especial precaución a la hora de elegir previamente el nivel de vuelo adecuado para cruzar la montaña.

Sin abandonar todavía ese esquema, vemos que también aparecen indicadas nubes de los géneros cirros (Ci) y cirroestratos (Cs) en el nivel de la tropopausa, con turbulencia moderada a severa asociada. Ocurre también, a veces, que las ondas de montaña se propagan en la vertical, alcanzando la parte alta de la troposfera e incluso penetrando en la estratosfera, formándose -como consecuencia de la inyección de vapor de agua procedente de los niveles bajos atmosféricos por parte de la propia onda- las llamadas "nubes nacaradas" o "madreperla". Estas nubes iridiscentes pueden llegar a aparecer a altitudes de hasta 25 kilómetros, si bien son difíciles de ver, especialmente en nuestras latitudes.

En el caso de la propagación vertical de las ondas, las condiciones ambientales han de ser de una gran estabilidad en toda la troposfera y de una cizalladura vertical débil, de manera que aunque el viento gane en intensidad al ascender no lo haga de forma muy rápida. Cuando ocurren ambas cosas, la onda se propaga hacia arriba, llegando en algunos casos -los que entrañan un mayor peligro- a "romper" la tropopausa (donde tendríamos una

Arriba  
Nube nacarada fotografiada en los cielos de Trondheim (Noruega), el 17 de diciembre de 2008.  
© Sauli Koski.

Arriba-derecha  
Esquema de la onda de montaña.  
© MetPanel OSTIV.  
Publicación 1038  
de la Organización Meteorológica Mundial.



fuerte inversión térmica) y provocar turbulencia fuerte en los niveles de vuelo situados en torno a ella y en los superiores.

Lo habitual es que la ondulación de la corriente se debilite a partir de los 3 kilómetros por encima de las cumbres montañosas, siendo únicamente -salvo alguna situación muy puntual- en las grandes cordilleras donde se generen ondas cuya propagación llegue a abarcar toda la troposfera y la baja estratosfera.

Al piloto privado lo que más le interesa conocer son las características de las ondas de montaña que se propagan en la horizontal y la manera en que debe de enfrentarse a ellas cuando se dirige hacia una cadena montañosa en la que el fenómeno se ha puesto en marcha. La aproximación, con viento de cara, por el lado de sotavento es bastante peligrosa, aumentando dicho peligro a medida que nos vamos acercando a la propia montaña. Según expone con detalle y gran claridad Blanca González López: "La mayoría de los pilotos

reaccionan a las descendencias intentando ascender. Estas tentativas de ascenso son efectivas siempre que la intensidad de la descendencia no sea demasiado severa, pero con una descendencia fuerte intentar ascender es contraproducente. Se recomienda ponerse con viento de cola, y salir de la descendente volando hacia un terreno bajo. Un giro de 180° toma aproximadamente un minuto, durante el cual continuará el descenso. Una vez que el avión ha salido del área de descendencias, puede ascender de nuevo, e intentar cruzar el área turbulenta [rotor] cuando gane suficiente altura. Se recomienda comenzar a ascender, al menos, a 100 NM (millas náuticas) de la montaña, hasta una altitud que supere en un 50% la elevación de la misma (la amplitud máxima de la misma se encuentra normalmente por debajo de los 7 kilómetros de altitud). El mejor procedimiento para aproximarse a la montaña, es hacerlo con un ángulo de 45°, que permita retirarse rápidamente en caso de encontrar turbulencia."

El riesgo de verse afectado por la

Derecha  
Nube lenticular en capas con rotores debajo fotografiada desde un velero.  
FUENTE: Mountain Wave Project.

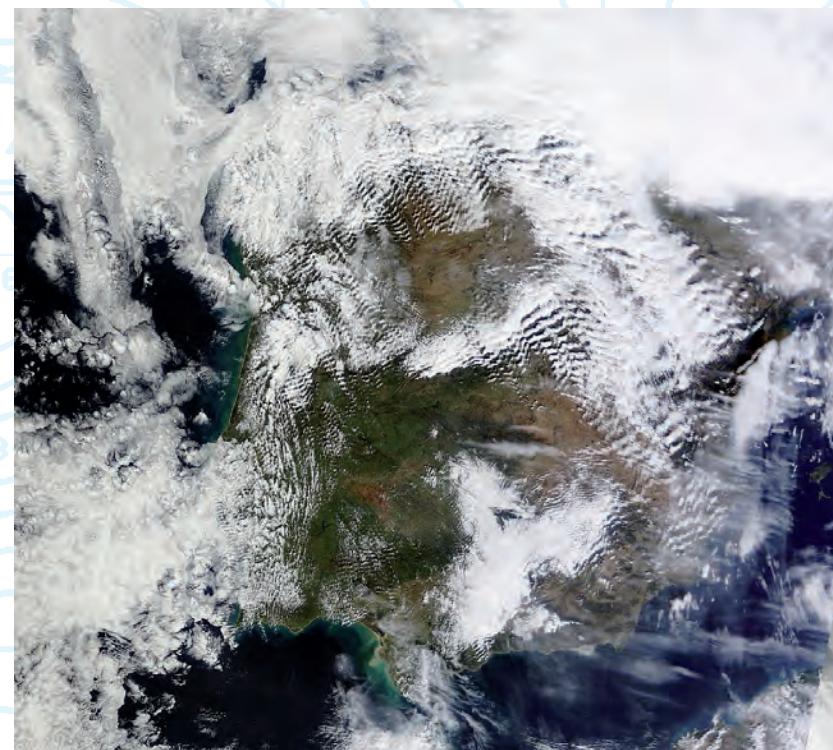


onda de montaña se reduce bastante en los casos en que la aproximación a la cadena montañosa es por el lado de barlovento, ya que el propio ascenso forzado del aire contribuye a impulsar nuestro avión y a ganar la suficiente altitud como para alcanzar un nivel de vuelo superior al nivel de las crestas de las ondas formadas a sotavento, donde aparecerán las nubes lenticulares siempre y cuando haya la suficiente humedad.

Las diferencias de presión que pueden darse a uno y otro lado de la montaña en presencia de una onda pueden llegar a ser, en casos extremos, de hasta 25 hPa, lo que provoca errores en la lectura del altímetro que debe tener en cuenta el piloto.

Como apunte final, indicar tan sólo que en España pueden formar ondas de montaña todos los grandes sistemas montañosos (Cordillera Cantábrica, Sistema Central, Sistema Ibérico, Pirineos y Sistema Penibético), preferentemente con situaciones de Norte (en promedio dos ondas fuertes al año, frente a una cada dos años en el caso de las situaciones de Sur). Su amplitud y distancia de propagación son distintas en cada caso, si bien el fenómeno de resonancia permite que un tren de ondas amortiguado se amplifique al incidir sobre una nueva barrera montañosa, pudiendo atravesar la Península Ibérica de norte a sur e incluso seguir por el norte de África. Las ondas de montaña generadas por los Pirineos pueden propagarse hacia el sur hasta 400 kilómetros, con una

Derecha  
Imagen captada por el satélite Terra el 1 de marzo de 2011 en la que se pueden apreciar con nitidez bien las ondas de montaña generadas por las diferentes cordilleras ibéricas que actuaron con barrera al flujo del NW dominante.  
FUENTE: NASA.



amplitud de onda que ronda los 10.000 pies. En el caso del Sistema Central, los flujos de procedencia NW pueden ondularse, extendiéndose la onda hasta 700 kilómetros a sotavento, con una altitud en torno a los 7.000 pies, unos valores bastante parecidos a los de las ondas de montaña generadas por la Cordillera Cantábrica. En cuanto al Sistema Ibérico (orientación NW-SW), las ondas pueden propagarse hasta 460 kilómetros a sotavento, con una amplitud de onda de 5.000 pies. Por último, las ondas generadas por el Sistema Penibético, debido

a su poca uniformidad, pueden tener amplitudes desde menos de esos 5.000 pies hasta los 12.000, propagándose a distancias de hasta 630 kilómetros. ■

#### [www.divulgmeteo.es](http://www.divulgmeteo.es)

Para aclarar cualquier duda meteorológica que tengas y si quieras 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@divulgmeteo.es](mailto:info@divulgmeteo.es)

## SUPERANDO LAS MEJORES PRESTACIONES.

# CTLS

**Distribuidor para España**  
[www.aerodesign.es](http://www.aerodesign.es)  
 Tf.fax 976185013  
 Mov.667 61 51 61  
 Mov 610 28 78 38  
 Villanueva de Gállego  
 Zaragoza

**V.N.E Arco rojo.....300 Km/h**  
**V.N.O Arco verde.....245 Km/h**  
**V.C.R crucero al 80 %..240 Km/h**  
**V mínima...62 Km/h**  
**Autonomía de 130 l ... 1500 Km**  
**+ 9,6 G con 450Kg**  
**-4,8G con 450 Kg.**

[www.aerodesign.es](http://www.aerodesign.es)