

Nubes bandera y nubes en capuchón o gorra

Ramón Pascual (AEMET, Cataluña) y Fernando Bullón (AEMET, Canarias)

*“Como oriflomas ondeando al viento loco de las cimas,
retazos de inquietas nubes surgen al abrigo de los enbiestos picos,
en constante agitación, como si quisieran escapar de ellos,
forzosamente atrapadas a la sombra del gigante
a quien deben su efímera existencia”*

Introducción

Una nube es un hidrometeoro consistente en un conjunto visible de partículas minúsculas de agua líquida y/o de hielo en suspensión en la atmósfera y que, en general, no tocan el suelo. Este conjunto puede también contener partículas de agua líquida o de hielo de mayores dimensiones (precipitantes), así como otras partículas no acuosas, líquidas o sólidas, de origen natural o antrópico, como humo o polvo.

La formación de las nubes está condicionada normalmente por la presencia o ausencia de mecanismos que puedan enfriar el aire hasta hacerle alcanzar su punto de rocío y, por tanto, la condensación de parte de su contenido de vapor de agua. Entre dichos mecanismos destacan los movimientos verticales ascendentes. Estos movimientos son raros en la atmósfera debido al estado de equilibrio estable en el que generalmente se encuentra. Es necesario, por lo tanto, que haya algún proceso que fuerce al aire a ascender lo suficiente como para que se produzca su saturación y que, en consecuencia, y gracias a la presencia de núcleos de condensación, las nubes puedan hacer acto de presencia. Estos forzamientos se clasifican, de forma simplificada, en cuatro tipos: sinóptico, frontal, orográfico y térmico.

Braham y Draginis (1960), sugirieron, según Banta (1990), que las montañas juegan un doble papel en la formación de nubes: como obstáculos y como fuentes de calor elevadas. El forzamiento orográfico es consecuencia de la interacción de los flujos atmosféricos con la orografía, de tal forma que las masas de aire que en principio se desplazan de forma básicamente horizontal se ven obligadas, bien a rodear una cordillera o macizo aislado, bien a remontarlos, adquiriendo así una componente vertical en su desplazamiento. El término forzamiento térmico se aplica, en cambio, cuando es el calentamiento diferencial del aire en contacto con la superficie de una montaña - que a su vez ha experimentado un calentamiento por la radiación solar-, el factor responsable de la ascendencia, al hacerse el aire cercano a la montaña menos denso respecto al que lo rodea a su mismo nivel. Se llama, finalmente, nubosidad orográfica, a la que se genera como consecuencia de la influencia de las montañas sobre los procesos atmosféricos en general. Es importante señalar que la inte-

racción con el relieve resulta determinante, no sólo en la formación de las nubes, sino también en la forma que éstas tendrán una vez que se hayan formado.

Hay que destacar también que, en el proceso que lleva a la formación de las nubes que puedan aparecer sobre una montaña o cordillera en cada momento, pueden intervenir conjuntamente distintos tipos de forzamiento, algunos de los cuales quizás no tengan nada que ver con la orografía, de manera que la mayor parte de las veces no es fácil evaluar cuál es la contribución de cada uno de ellos en la formación de las mismas.

En este artículo nos vamos a centrar esencialmente en los aspectos mecánicos de la interacción de las corrientes aéreas con la orografía, aunque en los siguientes apartados, y especialmente en el último, que hemos llamado **complejidades**, insinuaremos cualitativamente posibles procesos mixtos para explicar configuraciones nubosas particulares. En todo caso, y según sugieren algunos autores, no debemos perder de vista que la nubosidad más genuinamente orográfica es aquella que está claramente ligada a dicha interacción mecánica, de manera que, sin su presencia, dicha nubosidad no se formaría. Además hay que tener en cuenta que el forzamiento térmico no es patrimonio exclusivo de las áreas de relieve complejo.

Banta (1990) introduce también el concepto de Función de Elevación Orográfica, $L(z)$, definiéndola como la cantidad de elevación que experimenta en cada nivel un flujo incidente sobre una montaña. Esta función depende de la forma de la montaña, de la inclinación de sus laderas, de la estratificación del flujo incidente y también del grado de calentamiento experimentado por la montaña debido a la radiación solar. Por otra parte, los ascensos debidos a la acción de las montañas como obstáculos no siempre están asociados a la interacción directa entre las corrientes y el relieve pues, a menudo, la generación de zonas de convergencia asociadas a la orografía implica, por continuidad, la

Schematic of Mountain Waves and Wave Clouds

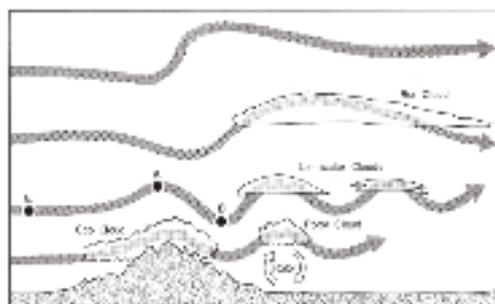


Fig. 1: Esquema que muestra algunas de las formaciones nubosas surgidas en situaciones de ondulatoria de origen orográfico.



Fig. 2: Ac lenticular estacionario en onda de montaña. Izq.: Julio 2001. 8-10 H.O. En primer plano el pueblo de Eina. Detrás, la vertiente norte del macizo de Cambradase. Los picos del fondo superan los 2700 m. (Cerdaña, Pirineos Orientales). Foto orientada hacia el sudeste. Der.: Agosto 2005. 17-19 H.O. Valle de Broto (Sobrarbe, Huesca). Foto orientada hacia el oeste-noroeste. Autor: Ramón Pascual.

aparición de ascendencias que no se producen sobre ellas, sino en zonas más o menos próximas a las mismas.

Uno de los mecanismos más recurrentes en la formación de áreas de convergencia susceptibles de generar nubosidad es la confluencia de dos corrientes de aire a sotavento de un pico o macizo aislado de gran elevación, tras haberlo rodeado horizontalmente por ambos lados. Este proceso resulta especialmente eficaz como generador de nubosidad cuando el obstáculo es una isla de gran elevación respecto al nivel del mar, es decir, lo que se podría llamar genéricamente “isla-pico”. Esto es así debido a que habitualmente el aire que interactúa con la isla presenta un alto contenido de humedad a niveles bajos como consecuencia de su recorrido sobre la superficie marina. Es lo que ocurre, por ejemplo, en las Islas Canarias, y en especial en las de mayor relieve, que, por ello, se constituyen en verdaderos laboratorios, idóneos para conocer el desarrollo de este tipo de procesos y su influencia en la formación de nubosidad.

Estas líneas o áreas de convergencia ligadas a la orografía, generalmente de dimensiones mesoscales, dan lugar en ocasiones a la existencia de aerotopónimos. Algunas de las mejor estudiadas se encuentran en los Estados Unidos, como la Puget Sound Convergence Zone (Mass, 1981), en el estado de Washington, o la Denver Convergence Zone. En nuestro país, el nordeste de Cataluña constituye un buen ejemplo, resultando una zona de convergencia muy activa en cuanto a producción de nubosidad y precipitaciones, al quedar a sotavento de los Pirineos en situaciones sinópticas con vientos de componente norte y la aparición del sistema mesoscalar de vientos Tramontana-Mestral (Pascual, 1999).

Siguiendo a Banta (1990), la clasificación básica de las nubes en las áreas de montaña (orográficas) es función de la estabilidad de la estratificación, pudiendo distinguirse entre:

1.- Nubes estables (estratiformes): Se generan cuando el aire es levantado hasta alcanzar el Nivel de Condensación por Elevación (NCE) pero no el Nivel de Convección Libre (NCL). A menudo, su crecimiento está limitado por una inversión de temperatura o, al menos, por la presencia de una capa isoterma.

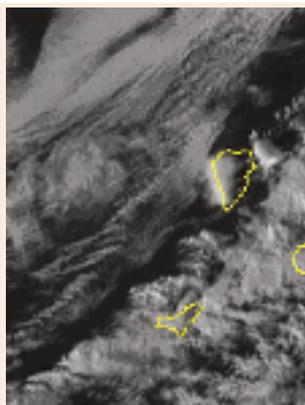


Fig. 3: Nubosidad estacionaria asociada a la onda de montaña generada por la Isla de La Palma (Canarias) a sotavento de los vientos del SW, durante el paso de la Tormenta Tropical “Delta”. En la parte inferior de la fotografía de la izq. se observa una nube rotor sobre la superficie del mar, con una llamativa protuberancia en su parte central que podría deberse a un realce de la corriente ascendente por convergencia de los flujos tras rodear la isla. Por encima se observa un Ac lenticular en “pila de platos”, que se aprecia también, al nordeste de la isla, en la imagen del canal de Alta Resolución Visible del MSG-2 de la misma hora (derecha). Foto orientada hacia el nordeste. 28 de noviembre de 2005. 1615 UTC. Autor: Fernando Bullón.

2- Nubes inestables (cumuliformes): Se generan cuando el aire es levantado hasta alcanzar su Nivel de Convección Libre.

Ondas de montaña

Whiteman (2000) presenta un grupo de nubes asociadas a condiciones de estabilidad y a vientos de velocidad significativa. Éstas son buenos indicadores visuales de la presencia de estos vientos y de su dirección y velocidad; e informan también del grado de humedad atmosférica y del carácter estable de la estratificación. Entre las surgidas en estos entornos son especialmente notables las ondulatorias (Fig. 1 y Vídeo 1), de aspecto lenticular, asociadas a la aparición de ondas gravitatorias sobre y/o a sotavento de las montañas.

Debido a que están directamente asociadas a la perturbación que la orografía introduce sobre el flujo atmosférico, tienen normalmente un carácter estacionario. Algunas de las nubes ondulatorias más características son los altocúmulos (Ac) lenticulares asociados bien a una única onda de propagación vertical sobre la montaña, bien a ondas atrapadas a sotavento de la misma (Fig. 2 y Fig. 3). En condiciones de fuerte viento y estabilidad en la estratificación también pueden aparecer “nubes en capuchón” y “nubes en banderola”.

Antes de entrar en la descripción de estas últimas, que son las que dan título y constituyen el principal objeto del presente artículo, cabe decir que las ondas gravitatorias en la atmósfera no son exclusivamente de origen orográfico. Por ejemplo, en las superficies de discontinuidad internas que separan dos estratos atmosféricos homogéneos, pero con densidades y/o velocidades diferentes, pueden aparecer también estructuras ondulatorias conocidas como ondas de Kelvin-Helmholtz. La formación nubosa asociada, de la variedad undulatus (Fig. 4), recibe coloquialmen-



Fig. 4: Nubes en rodillo surgidas probablemente en ondas de Kelvin-Helmholtz. Izq.: Cirrocúmulos undulatus. Agosto 2004. 10-12 H.O. Valle de Aspe (Bearn, Pirineos Atlánticos). Foto orientada hacia el sur. El conjunto nuboso se desplaza hacia el este aunque los rodillos mantienen su posición relativa entre ellos. Der.: Ac undulatus. Septiembre 2008. 11 H.O. Delta del Ebro (Montsià, Tarragona). Foto orientada hacia el sudoeste. Nubes estacionarias. Autor: Ramón Pascual.

te el nombre de “nubes en rodillo” (*billow clouds*). También pueden surgir ondas gravitatorias de las cimas de sistemas convectivos potentes capaces de modificar sustancialmente el entorno mesoscalar.

Conover (1964) presentó una ilustrativa clasificación en seis categorías de las nubes orográficas basada en el análisis de imágenes de satélites de órbita polar, apareciendo entre ellas las nubes ondulatorias aisladas sobre una sierra y las formadas en las crestas de las ondas atrapadas a sotavento. Por sus dimensiones, las nubes en capuchón y en banderola no fueron incluidas en esta clasificación y, de hecho, siguen sin ser apenas observables por los satélites meteorológicos operativos, ya sean de órbita polar o geostacionaria.

Un medio que puede resultar de utilidad para profundizar en el conocimiento de las nubes orográficas, es el uso de cámaras fotográficas con función de intervalómetro, instaladas en lugares en los que es habitual su formación. Ello permite analizar su evolución, así como tratar de discernir las interacciones que se producen entre los flujos incidentes y la orografía y que dan lugar a este tipo de nubes. Al final de este artículo se ofrecen enlaces a diversos vídeos que aparecen referenciados en el texto, tomados utilizando dicha técnica por Fernando Bullón. Los fotogramas que los componen fueron tomados a intervalos de dos segundos, y se reproducen en los vídeos a razón de 60 fotogramas por segundo, es decir, que el movimiento que se observa en los vídeos es 120 veces más rápido que el real (un segundo en los vídeos corresponde a dos minutos reales, o un minuto a dos horas de grabación).

Nubes en capuchón o gorra

Se conoce con el nombre de “nube en capuchón” (Vídeo 2, Fig. 5 y Fig. 6) a una nube estacionaria situada

sobre la cima de un pico aislado, ocupando tanto la parte de barlovento como la de sotavento de la misma, lo cual la distingue de las nubes en banderola que se verán en el próximo apartado. A menudo, los “capuchones” tienen su base por debajo de la cima de la montaña sobre la que aparecen, por lo que están en contacto con la misma. Se forman por la condensación del vapor de agua del aire que asciende por la ladera de barlovento del pico, y están asociadas a ondas de montaña, por lo cual para su aparición son necesarios un flujo laminar, una atmósfera estable y un viento moderado a fuerte.

Existe cierta semejanza entre las nubes en capuchón y las anejas de tipo pileus, pues, ambos tipos de nubes se generan por la interacción entre un flujo horizontal y un obstáculo. La diferencia estriba en que en el caso de los pileus el obstáculo es la corriente vertical ascendente que sostiene una nube convectiva, por lo que se forman sobre cúmulos congestus o cumulonimbos, mientras que en el de las nubes en capuchón el obstáculo es una montaña.

Cuando la nube en capuchón se sitúa, no sobre un pico aislado, sino sobre una cresta montañosa o ligeramente por encima o a sotavento de ella, adopta un aspecto más alargado, siguiendo el perfil del cordal montañoso, recibiendo entonces el nombre de “nube de cresta”.

A menudo la presencia de nubes en capuchón y, sobretudo, su espesamiento y/o aumento de extensión con el paso del tiempo, son signos precursores de la llegada de algún sistema frontal o, por lo menos, de una nueva masa de aire bastante más húmeda. Los capuchones mejor formados aparecen en situaciones en las que hay una notable estabilidad en la estratificación. En este caso, su tope es suave y muestran una convexidad bien definida, dado que su morfología sigue las líneas de corriente que forma la onda de montaña, pudiéndose considerar entonces de la especie lenticularis. Además, este tipo de nubes tienen a

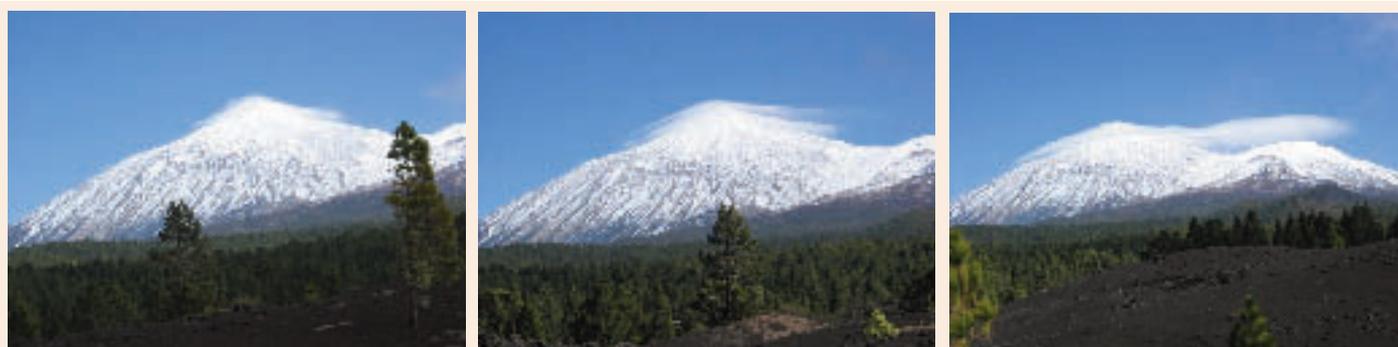


Fig. 5: Izq.: Nube en capuchón recién formada sobre el Pico del Teide (3718 m), en Tenerife. 26 de Febrero de 2005. Foto orientada hacia el este-sureste. Centro: 5' después. Un sistema frontal se está aproximando a la isla, de manera que a medida que aumenta la humedad la nube va engrosando, formándose además una segunda capa por encima de la inicial (variedad duplicatus). Der.: 9' después. Con el progresivo aumento de la humedad la nube se ha extendido sobre el Pico Viejo (3134 m) a la derecha del Teide, conformándose una estructura doble. Este nuevo sector de nube, a diferencia de lo que sucede con el situado sobre el Teide, no está en contacto con la superficie de la montaña que la genera. Autor: Fernando Bullón.

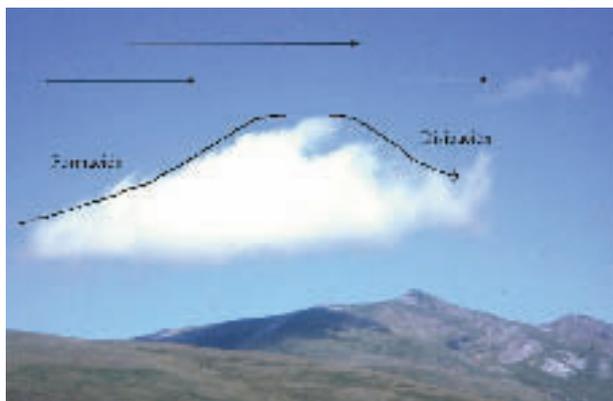


Fig. 6: Capuchón “elevado” estacionario. En este caso la posición de la nube, separada de la montaña, y su forma, con ligera tendencia cumuliforme, sugieren que también hay una contribución por parte del forzamiento térmico debido al calentamiento diferencial del aire cercano a la superficie de la montaña. Agosto 1999. 13-14 H.O. Pico de Balandrau (2585 m) (Ripollès, Girona). Fotografía orientada hacia el norte. Autor: Ramón Pascual.

veces por encima una pila de Ac lenticulares formados en las crestas de la onda de propagación vertical.

Una de las nubes en capuchón más conocidas es El Asno del Mont Blanc (4811 m). También es muy espectacular la que se forma en el M. Rainier (4392 m), en el estado de Washington (EEUU) y en el Denali (Mt. McKinley) (6194 m), en Alaska.

Es posible considerar como caso particular de nube en capuchón, o más concretamente, de nube de cresta, a las llamadas “cascadas de nubes” (VÍdeo 3 y Fig. 7). Éstas se forman cuando una capa de estratocúmulos, limitada por una inversión de temperatura, sobrepasa un cordal montañoso de altura uniforme y desciende por el lado de sotavento de forma similar a como lo haría un flujo de agua. En la medida que la capa nubosa que cae en forma de cascada sea más o menos delgada, y se extienda más o menos a barlovento de la montaña sobre la que se precipita, cons-

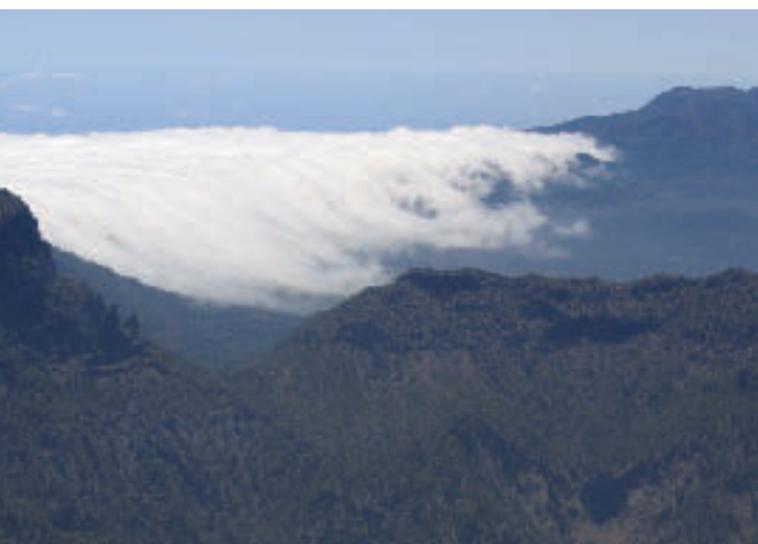


Fig. 7: Cascada de nubes desbordando la Cumbre Nueva, sierra que cruza en sentido norte-sur el centro de La Palma, con una altura bastante regular en torno a los 1400 m sobre el nivel del mar. El mar de nubes, cuyo tope está ligeramente sobre dicha cota, rebasa la montaña y desciende a sotavento. 2 de mayo de 2005. 1500 H.O. Autor: Fernando Bullón.

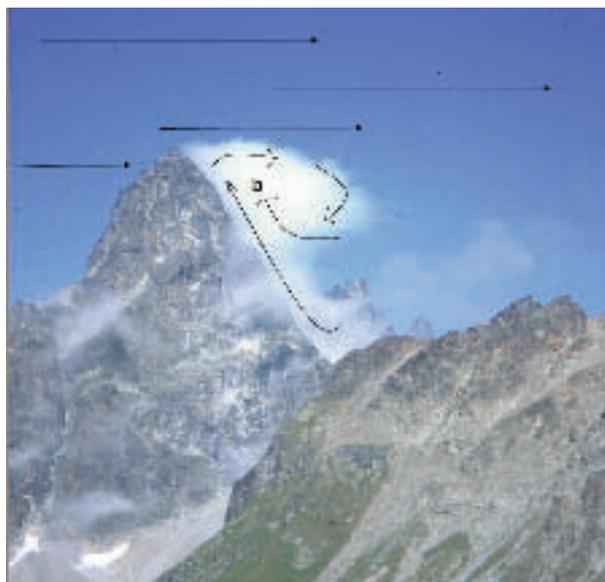


Fig. 8: Nube bandera. Agosto 1996. 10-12 H.O. Cara sur-sudeste del Piz Buin (3312 m), macizo de Silvretta, fronterizo entre el cantón suizo de los Grisones y el l nder austriaco de Voralberg. Alpes suizos. Fotografía orientada hacia el norte-noroeste. Autor: Ramón Pascual

tituyendo o no un “mar de nubes”, la similitud con la nube de cresta será mayor o menor. Por otro lado, a sotavento, los estratocúmulos tienden a disiparse con rapidez, debido a la subsidencia y el calentamiento adiabático subsiguiente que experimenta la masa de aire.

Nubes bandera

Se denominan “nubes bandera” o “en banderola” (Vídeo 4, Fig. 8) las que, en forma de penacho, surgen a sotavento de picos aislados y en contacto con ellos, al menos cerca de su cima. Tienen un carácter estacionario y no convectivo, y son de tipo fractoestrato. Los picos donde existe mayor probabilidad de observar estas formaciones nubosas con su apariencia más t pica, mostrando semejanza con banderolas ondeando al viento, son aquellos aislados, de gran elevación, escarpados y de morfología piramidal.

Las nubes bandera pueden aparecer en días completamente despejados (Geerts, 1992; Schween et al., 2007). Probablemente, el primer estudio publicado sobre este tipo de nubes es obra de Julius Hann (1866-1903), de finales del siglo XIX. Este autor, considerado como uno de los padres de la meteorología moderna, es también conocido por sus tempranos estudios sobre el f hn alpino. En última instancia, la formación de esta nube es debida a la condensación de vapor de agua a sotavento del pico.

De entre las distintas teorías que intentan explicar este hecho (Fig. 9 y Fig. 10), la más antigua y más aceptada comúnmente, es la que supone la existencia de una corriente vertical ascendente en ese lado de la montaña.

Se han dado diferentes explicaciones, complementarias más que alternativas, para justificar la presencia de tal



corriente ascendente, coincidiendo todas ellas en la probable existencia de un área de baja presión relativa de dimensiones reducidas a sotavento del pico, unos metros por debajo de la cota máxima. Este mínimo barométrico genera un gradiente vertical de presión que actuaría como la principal fuerza aceleradora del aire situado por debajo, a sotavento de la montaña. La explicación clásica de la formación de este mínimo de presión se basa en la reducción de la velocidad del flujo detrás del obstáculo, prevista por el teorema de Bernouilli. Geerts (1992) sugiere que a sotavento de la cima se produce la confluencia de dos vórtices de eje vertical desarrollados a izquierda y derecha del pico aislado, en el sentido del flujo. La convergencia de masa asociada a esta confluencia implicaría, por continuidad, un movimiento compensatorio vertical capaz de generar nubosidad. En cualquier caso es necesario que haya un viento de velocidad significativa para que se produzca el fenómeno.

El mínimo barométrico se encuentra aproximadamente en el centro de un vórtice de eje horizontal, similar al de los rotores situados bajo las crestas de las ondas de sotavento. La rama ascendente de esta circulación friega la abrupta cara de sotavento del pico, siendo susceptible de formar una nube en condiciones de humedad adecuadas. Al nivel de la cima de la montaña, la nube tiende a alejarse de la misma al ser captada por el fuerte viento reinante sobre la cumbre, disipándose posteriormente en la rama descendente de la circulación cerrada. Las líneas de corriente situadas inmediatamente sobre la cima se separan a sotavento de la misma de la circulación de eje horizontal que tienen por debajo. Se trata, por lo tanto, de un caso especial de separación del flujo, forzada por el carácter escarpado del pico.

Bajo una atmósfera estable y una montaña de perfil redondeado, las líneas de corriente tenderían a seguir la superficie, por lo que no permitirían la aparición de la corriente ascendente a sotavento. En cambio, bajo condiciones inestables, las ascenciones forzadas a barlovento podrían convertirse en ascenciones libres y se formaría entonces nubosidad cumuliforme. En este caso y también en el caso de una montaña aislada y abrupta, a esta “nube antibande-

ra” se la podría llamar quizá “nube chimenea” (Fig. 11). Una posible explicación para el hecho de que a sotavento sí haya saturación y condensación y que, sin embargo, no la haya a barlovento, es que el recorrido ascendente que experimenta el aire en ambas vertientes de la montaña sea diferente. Esto podría deberse bien a una asimetría en el desnivel entre la cima y la base de la montaña a barlovento y a sotavento, bien a que la masa de aire que asciende a barlovento parte desde un nivel más elevado que la que lo hace a sotavento, debido, por ejemplo, a una situación de bloqueo a pequeña escala.

El carácter dinámico y no convectivo de las nubes bandera no impide que, en determinadas condiciones, flujos ladera arriba de origen térmico se superpongan a la corriente dinámica pura, contribuyendo a su mantenimiento. Este caso se detecta si aparecen protuberancias en su cima, lo que sugiere que la bandera como tal, con contornos bien definidos y casi-lineales, está empezando a desaparecer para transformarse en un cúmulo orográfico de origen térmico. Probablemente estas transiciones sean más frecuentes precisamente en las horas centrales del día y cuando la bandera aparece sobre laderas orientadas al sur y, por tanto, bien expuestas a la radiación solar, ya que es aquí donde el forzamiento térmico resultará más intenso.

No se deben confundir las nubes bandera con los penachos de nieve levantada desde las cimas más elevadas por el viento fuerte de las cotas altas. Esta extracción de la nieve del suelo y su posterior transporte es más fácil cuando se trata de nieve poco cohesionada (suelta) debido a las bajas temperaturas, sea reciente o no. Cuanto menor sea la cohesión de la capa de nieve superficial, menor será también la velocidad del viento necesaria para que surjan estos penachos. En estas ocasiones se dice que la montaña “fuma” o “humea”. El monte Everest muestra con frecuencia este eolometeoro, pero también se puede observar en los meses invernales en las principales cordilleras españolas. Para distinguir ambos fenómenos, se puede tener en cuenta que las nubes en banderola, por estar compuestas de gotitas de agua, presentan mayor opacidad que

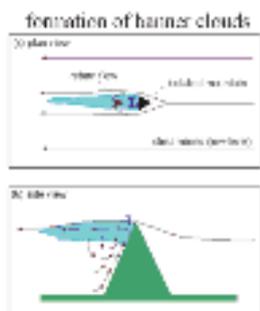


Fig. 9: Esquema de formación de las nubes bandera propuesto por Geerts (1992).

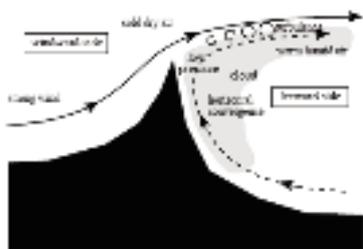


Fig. 10: Esquema de formación de las nubes bandera propuesto por Schween et al. (2007).

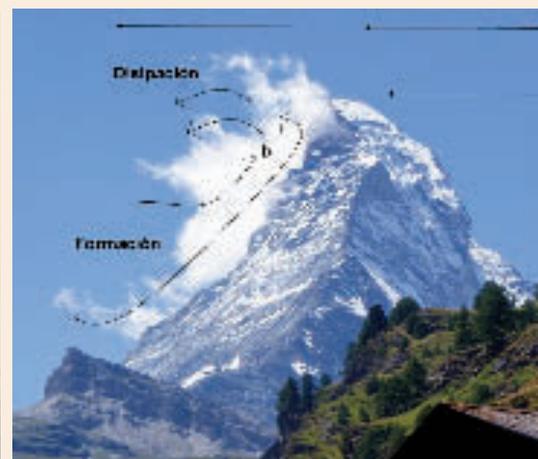
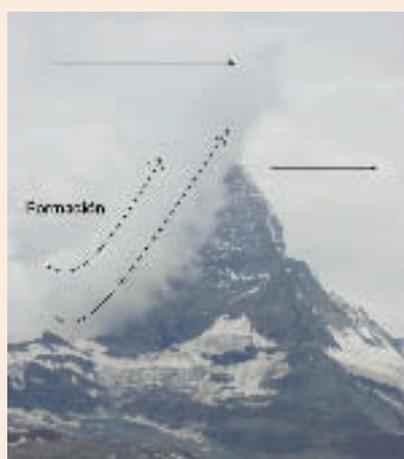


Fig. 11: Agosto 2008. Matterhorn o Cervino (4478 m), en el cantón suizo del Valais, Alpes Peninos. Izq.: “Nube antibandera” del género cúmulo con un techo de altostratos. 12-13 H.O. Vertiente este del pico. Foto orientada hacia el oeste-sudoeste. Nube estacionaria aunque con fuertes ascenciones visibles. Autor: Ramón Pascual. Der.: Nube bandera mal formada en la cara este-sudeste del pico. Foto orientada hacia el sudoeste. Autor: Lluís Jofí.

los penachos de partículas de nieve en suspensión. Conviene reseñar también el hecho de que pueden darse situaciones en las que, siendo las condiciones de viento y estabilidad adecuadas como para que se forme el vórtice de eje horizontal en cuyo seno se formaría la “bandera”, y aún formándose éste, ésta no llegue a aparecer en ningún momento, por no alcanzar el aire su saturación. De alguna manera, podemos decir entonces que, con su aparición, la nube bandera está actuando simplemente como un testigo, gracias al cual dicha corriente se hace visible, si las condiciones de humedad son las adecuadas para que se produzca la saturación y condensación del aire que asciende a sotavento de la montaña.

Al igual que sucede con las nubes en capuchón, el mecanismo que lleva a la formación de las nubes bandera puede darse, no sólo en picos aislados, sino también a sotavento de crestas o de cordales montañosos alargados (Fig. 12 y Vídeo 4). También puede producirse en el interior de profundos barrancos (Vídeo 6).

Complejidades

Como se puede comprobar analizando las figuras y los vídeos, para suerte o desgracia del meteorólogo, raro es que los procesos atmosféricos en la atmósfera “real” se correspondan con aquellos fáciles de representar a través de modelos conceptuales más o menos sencillos, comprensibles y factibles de ser simulados. Lo que nos encontramos en la realidad son interacciones mucho más complejas, a las que se unen las no linealidades que a menudo aparecen en los diferentes escenarios de estudio.

Se muestra a continuación un caso en el que diversos factores se combinan entre ellos para dar lugar a una nube mixta, entre bandera, cúmulo orográfico, de calor, y onda de montaña. En la Fig. 13, a los factores propios de la for-



Fig. 12: Nubes bandera surgidas en una cresta y no en un pico aislado, con elevada humedad y en un entorno inestable a niveles bajos. Es probable que en la formación de estas nubes haya una notable contribución por parte de las brisas de valle y marinas. Esta contribución en la formación de nubes bandera ya fue sugerida, e incluso considerada como imprescindible, en algunos estudios tempranos sobre los Pirineos (Peattie, 1929). La nube se forma a sotavento del flujo del W (derecha en la fotografía). Foto orientada hacia el sur. Gran Canaria. 23 de febrero de 2007. 17,50 H.O. Autor: Fernando Bullón.

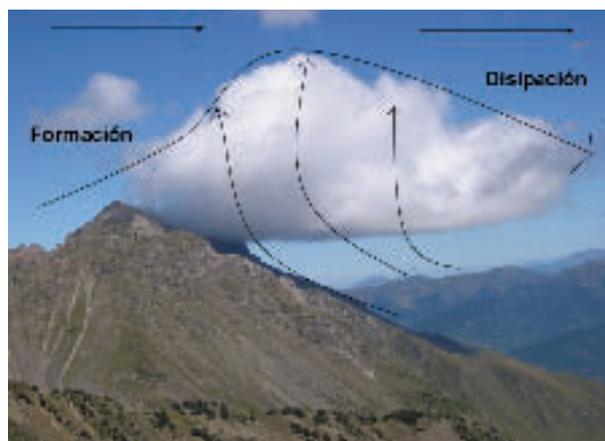


Fig. 13: Nube mixta bandera-cúmulo orográfico, estacionaria. Agosto 2006. 16-18 H.O. Vertiente oeste del Arbizón (2831 m) (Bigorre, Altos Pirineos). Fotografía orientada hacia el este. Autor: Lluís Catasús.

mación de las nubes bandera se unen, por una parte, el calentamiento diurno en la vertiente sur de la montaña - responsable del carácter cumuliforme de la nube- y, por otra, la posible formación de una onda de montaña en el flujo del norte (de izquierda a derecha en la imagen). Este último factor explicaría el aspecto redondeado de la cima del cúmulo, modulada por la onda, así como lo limitado de su desarrollo vertical, por lo que el tope nuboso queda apenas unos 500-700 m por encima del pico.

La Fig. 14 muestra otro caso de nubes cumuliformes en cuyo origen podrían estar interviniendo los mecanismos que dan lugar a la formación de las nubes bandera. La nubosidad parte desde niveles muy bajos, aparentemente desde las nubes de tipo bandera que se pueden apreciar en la zona marcada con un círculo en la imagen superior, a la izquierda del pico del Teide. Dicha nubosidad crece verticalmente hasta dar lugar a los potentes cúmulos congestivos y cumulonimbos correspondientes a una intensa tormenta situada sobre el norte de la isla de Tenerife, a sotavento del relieve de dicha isla, con flujo del SSW. Se trata, por tanto, de un caso resultante de la evolución de nubes bandera surgidas en un entorno de elevada humedad en niveles bajos - apoyado por las brisas marinas diurnas-, y muy inestable, dada la evidente profundidad que alcanza la convección.

Por último, en los vídeos 5 y 6, tomados en La Palma, se observan estructuras nubosas que, como en los casos anteriores, son el resultado de la combinación de diversos procesos, en un entorno de orografía compleja y muy abrupta, como el que constituye dicha isla



Fig. 14 Nubes bandera en el germen de una tormenta a sotavento de Tenerife el 9 de febrero de 2008. a) 12,41 H.O. b) 12,55 H.O. Fotografías tomadas desde Santa Cruz de La Palma hacia el este. Autor: Fernando Bullón.



BIBLIOGRAFÍA

Banta, R. M. (1990). *The role of mountain flows in making clouds in Atmospheric processes over complex terrain*. Blumen, W. Ed. Boston: American Meteorological Society.

Barry, R.G. (1981). *Mountain weather and climate*. New York: Methuen. Reeditado en 2001 por Routledge.

Bullón, F. (2004). *La nube de la Palma: Un recorrido fotográfico por el cielo de "La Isla Bonita"*. Madrid: Ministerio de Medio Ambiente. Secretaría General Técnica. Centro de Publicaciones.

García, C. y S. Vilar (2006). *La Montaña. Manual de Meteorología*. Granollers: Alpina.

Geerts, B. (1992). "The origin of banner clouds: A potential vorticity perspective", in: Sixth Conference on Mountain Meteorology (Preprint Volume), edited by: Bean, J. R., American Meteorological Society, <http://www-das.uwyo.edu/~geerts/cwx/notes/chap08/banner.html>.

Houze, R. (1993). *Cloud Dynamics*. San Diego: Academic Press.

Pascual, R. y A. Callado (2008). *Núvols orogràfics I*. Penell, 25, 16-21.

Pascual, R. y A. Callado (2008). *Núvols orogràfics II*. Penell, 26, 15-18.

Peattie, R. (1929). "Nuages en bannière". *Revue de Géographie Alpine*, 17, 329-335.

Schween, J. H., Kuettner, J., Reinert, D., Reuder, J. and V. Wirth (2007). "Definition of 'banner clouds' based on time lapse movies". *Atmos. Chem. Phys.*, 7, 2047-2055.

Thillet, J. J. (1998). *La meteorología de montaña*. Barcelona: Martínez Roca.

U.S. Department of Transportation (1997). *Hazardous Mountain Winds and their visual indicators*. Washington, D.C.: Federal Aviation Administration.

Whiteman, C. D. (2000). *Mountain Meteorology. Fundamentals and applications*. New York: Oxford University Press.

VÍDEOS

VÍDEO 1: Ac lenticular aislado a sotavento del macizo del Moncayo (2316 m), en el seno de una onda de montaña generada por éste. 4 de julio de 2008. Cámara enfocando hacia el este. Hora comienzo: 17,16 H.O. Duración de la grabación: 1h58'. Duración del vídeo: 59".

http://es.youtube.com/watch?v=6pC4T_0SdG8

VÍDEO 2: Nube en capuchón sobre el Pico de la Nieve (2239 m), isla de La Palma, en las horas previas a la llegada de un sistema frontal a las Islas Canarias. 18 de noviembre de 2007. Cámara enfocando hacia el noroeste. 17,31 H.O. Duración de la grabación 57'. Duración del vídeo: 28".

<http://es.youtube.com/watch?v=09OLIQcO4k>

VÍDEO 3: Serie de vídeos en los que se muestran el mar y la cascada de nubes sobre la isla de La Palma desde diversas perspectivas. Duración de la grabación: 8h24'. Duración del vídeo: 4'12".

<http://es.youtube.com/watch?v=fHq2Pd5FXIE>

VÍDEO 4: Nubes bandera a sotavento de un cordal montañoso, cuyos topes superan ampliamente la altura de las montañas que las generan. Vídeo tomado hacia el noroeste, desde las proximidades de Carrascosa de la Sierra (Soria) hacia el cordal que se dirige al Puerto de Oncala (1400 m). 6 de julio de 2008. 13,09 H.O. El ascenso a sotavento parte de zonas situadas a baja altitud, dado el descenso general del relieve hacia el Valle del Ebro, que queda a la derecha de las imágenes, y estaría favorecido por el calentamiento diurno. Obsérvese la constante formación de cúmulos en la masa de aire cuando ésta se aproxima al área donde se están formando las nubes bandera. Duración de la grabación: 1h24' minutos. Duración del vídeo: 42".

<http://es.youtube.com/watch?v=v4QW0nwDFos>

VÍDEO 5: Nubosidad cumuliforme al atardecer, a sotavento de las cumbres que bordean la Caldera de Taburiente (a la derecha en el vídeo). La influencia de las brisas de valle diurnas se constata por la tendencia a la disipación de los cúmulos apreciable con la caída de la tarde. Vídeo tomado desde el Aeropuerto de La Palma hacia el oeste-noroeste. 18 de octubre de 2008. 17,56 H.O. Duración de la grabación: 2h. Duración del vídeo: 1'05".

<http://es.youtube.com/watch?v=ptlj-78KZLI>

VÍDEO 6: Nubes bandera surgidas en el interior de barrancos abruptos. Es probable que contribuyan a su formación tanto factores térmicos - brisas de montaña y de valle, e incluso brisas marinas- y dinámicos, por succión del aire por parte de los vientos superiores de escala sinóptica, transversales al valle. Las nubes tienden a aparecer sobre la parte alta de cada valle y en el interior de los mismos, a resguardo de los vientos transversales que soplan por encima. Una vez formadas,

ascienden hasta la cabecera donde son captadas por el flujo superior, entremezclándose con las que circulan por encima, caso de haberlas. Vídeos tomados desde Santa Cruz de La Palma hacia el oeste. Duración total de la grabación: 44'. Duración del vídeo: 22'.

<http://es.youtube.com/watch?v=F-MxGedJplc>

PÁGINAS WEB DE INTERÉS

Glosario multilingüe: <http://www.eumetcal.org/Euromet>

The Banner Cloud-Project: <http://wetter.physik.uni-mainz.de/bannercloud/index.html>

"Olas en el mar de nubes":
<http://videosenubes.blogspot.com>

Este artículo se encuentra disponible en Internet:

Versión HTML (Revista RAM):

<http://www.meteored.com/ram/4253/nubes-bandera-y-nubes-en-capuchn-o-gorra/#more-4253>

Versión PDF (Divulgameteo):

<http://www.divulgameteo.es/uploads/Nubes-bandera.pdf>