

## EL EFECTO FÖHN EN EL PIRINEO CATALAN CARACTERÍSTICAS GENERALES Y UN CASO DE ESTUDIO

Ramón Pascual Berghaenel . I.N.M., Barcelona.

**D**URANTE los días 20 y 21 de enero de 2004 se registró un episodio de föhn en el Pirineo catalán, especialmente intenso en su sector occidental. En el fondo de los valles abiertos hacia el sur, a sotavento de los principales macizos montañosos bajo flujo sinóptico del norte, se registraron temperaturas mínimas y máximas anormalmente altas, humedades relativas muy bajas y vientos racheados. Al mismo tiempo hubo precipitaciones en la vertiente norte pirenaica y en las cumbres y también un aumento importante de las temperaturas en cotas altas.

Los puntos en los que el efecto föhn fue más evidente fueron las poblaciones de El Pont de Suert, Sort y la Seu d'Urgell (Fig. 1). La duración del episodio fue de unas 30 horas, valor que se corresponde con la duración media establecida para este tipo de episodios (Gómez, 2001).

### Ámbito geográfico regional y comarcal

El caso de estudio se ha centrado en las comarcas occidentales del Pirineo catalán aunque se han tomado como condiciones de contorno datos de comarcas aragonesas y francesas colindantes. Los principales rasgos geográficos a escala de la cordillera son los siguientes:

1. Se considera el Pirineo occidental catalán al sector incluido aproximadamente en la provincia de Lleida, en las comarcas de Val d'Aran (capital Vielha), Alta Ribagorça (El Pont de Suert), Pallars Sobirà (Sort), Pallars Jussà (Tremp) y Alt Urgell (La Seu d'Urgell).
2. Cabe distinguir en la cordillera sus vertientes norte y sur. Mientras que la norte vierte sus aguas tanto hacia el mar Cantábrico como hacia el Mediterráneo, los ríos de la sur lo hacen hacia este último, directamente en su sector más oriental o desembocando antes en el Ebro. Excepto algunos valles vascos el único sector español que vierte sus aguas al Cantábrico es el de Arán, a través del río Garona.
3. Este valle está abierto a los flujos húmedos del oeste que atraviesan las llanuras y colinas del sur de Francia, determinando un clima oceánico muy diferente al del resto del Pirineo en donde las influencias mediterránea y continental ibérica son más acusadas. Los elementos orográficos principales de la zona analizada (ver fig. 1) son:
  1. Unos valles orientados de norte a sur, por los que circulan tributarios del Ebro. De este a oeste: Segre, Noguera

Pallaresa, Noguera Ribagorçana y Ésera. El Garona circula por el valle de Aran de este a oeste y sale de España en dirección norte por el punto más bajo de la comarca (500 m de altitud).

2. Las cabeceras de estos valles están formadas por circos glaciares que superan en algunos casos los 3000 m de altitud y que limitan y/o modifican en gran medida la circulación meridiana del aire. Esta orografía determina una fenomenología meteorológica muy contrastada en escalas espacio-temporales muy reducidas.

3. Los interfluvios están formados por sierras de menor altitud orientadas perpendicularmente al eje de la cordillera, que dificultan también el intercambio de aire entre los valles, especialmente en situaciones de estabilidad. Estas barreras determinan también unos flujos, ascendentes y descendentes, muy canalizados.

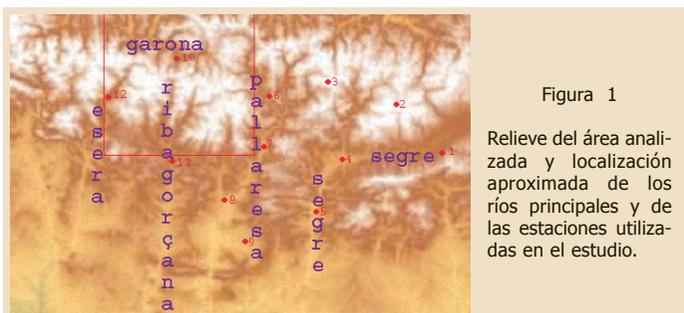
Entre las cabeceras del Garona, Noguera Pallaresa, Ribagorçana y Ésera se extiende un gran macizo montañoso con abundantes cimas de altitud superior a los 2500 m. Este bloque determina las características climáticas a escala comarcal, entre las que destaca la recurrencia del föhn y notables sombras pluviométricas.

### Características del efecto föhn (fogony) en Sort

Dada la coincidencia de la zona analizada en este artículo con la analizada en Gómez (2001), se ha creído interesante extraer algunos párrafos de dicha publicación. El periodo de estudio que la autora utilizó abarca algo más de dos años.

"Se puede afirmar que el fogony (föhn) en el área de estudio se desarrolla predominantemente en las estaciones equinocciales y en especial en la primavera." (Este no es, sin embargo, el caso del episodio aquí analizado). "Los casos de primavera tienen una duración de casi dos días, mientras que la duración media anual es algo superior a un día." "La probabilidad de día de fogony en primavera es muy elevada: 0.315, mientras que la anual es 0.184. La probabilidad anual de día de fogony después de día de fogony es 0.570. Por tanto se observa una cierta persistencia diaria del fenómeno".

Las modificaciones ambientales más importantes asociadas al fogony son: **1.** aumento brusco de la temperatura: los "saltos" más comunes oscilan entre los 4 °C y los 8 °C en "períodos de tiempo comprendidos entre unos minutos y una o dos horas". Se han registrado "saltos" de hasta 18°C; **2.** disminución brusca de la humedad relativa: "En la mayoría de los casos los cambios en la humedad superan el 40%", estando el valor máximo en torno al 71%; **3.** aumento en la velocidad del viento: "La velocidad que normalmente se mantiene en torno a 4-7 km/h aumenta de forma repentina durante los episodios de fogony". Se han registrado golpes de viento de hasta 83 km/h "siendo muy frecuentes las rachas superiores a los 10 m/s". En estas ocasiones tiene sentido considerar estos episodios como casos de "downslope windstorms". En cuanto a las causas sinópticas del fogony la autora concluye: "Predominio



de las advecciones del NE, NW y N durante los episodios de fogony (desde la superficie hasta el nivel de los 500 hPa aproximadamente). Las advecciones del NE son las más numerosas. Hay tres configuraciones isobáricas posibles generadoras de estas advecciones del NE: en omega, rómbica y en S invertida. Las tres tienen en común un anticiclón sobre las Islas Británicas o Escandinavia. El hecho de que el fogony no aparezca con otros tipos de situaciones sinópticas justifica en parte que algunos meses no registren casos, o lo hagan en poca cuantía”.

**Datos utilizados en el estudio**

En la tabla 1 y la fig. 1 se muestran las estaciones meteorológicas pirenaicas a las que se hace referencia en el texto. Para el estudio se han utilizado además datos de otras estaciones del INM, Météo-France y la Confederación Hidrográfica del Ebro (CHE). Para el análisis regional del viento se han utilizado datos de otras zonas de Catalunya y del sur de Francia.

Los datos del Servei Meteorològic de Catalunya (SMC) se han obtenido de su página web, en la cual se indica que no

Estación	Altitud (m)	Valle y comarca	Fuente
Grau Roig (2)	2082	Alta montaña (Andorra)	CHE
Arcalís (3)	2315	Alta montaña (Andorra)	CHE
La Seu d'Urgell (4)	849	Segre (Alt Urgell)	SMC
Organyà (5)	567	Segre (Alt Urgell)	SMC
Sort (7)	692	Noguera Pallaresa (Pallars Sobirà)	SMC
La Pobla de Segur (8)	513	Noguera Pallaresa (Pallars Jussà)	SMC
Vielha (10)	997	Girona (Val d'Aran)	SMC
El Pont de Suert (11)	824	Noguera Ribagorçana (Alta Ribagorça)	SMC

Tabla 1. Estaciones meteorológicas referenciadas en el texto. El número que aparece entre paréntesis a la derecha de su nombre sirve para su localización en la figura 1. Están ordenadas de este a oeste para su mejor localización.

han pasado el proceso de validación definitivo. Los datos de la CHE se han extraído también vía internet.

También se han consultado datos de diferentes estaciones sinópticas de Météo-France. Se hace referencia explícita a Cap Béar y St. Girones aunque se han consultado otras para el análisis de las precipitaciones en la vertiente norte pirenaica.

De las webs de la Univ. de Wyoming y del SMC se han obtenido los radiosondeos de Nîmes (Météo-France), Burdeos (Météo-France), Zaragoza (INM) y Barcelona (SMC).

**Descripción sinóptica y mesoscalar**

La situación meteorológica entre los días 19 y 22 de enero de 2004 estuvo caracterizada en superficie por un flujo del NNW asociado a altas presiones centradas sobre el noroeste de la Península Ibérica y el Golfo de Vizcaya. Mientras que hasta las 00 UTC del día 21 la masa de aire que afectaba a los Pirineos era atlántica, a partir de esta hora una alta secundaria centrada sobre Alemania estableció una advección continental de aire algo más frío y seco sobre el norte de la

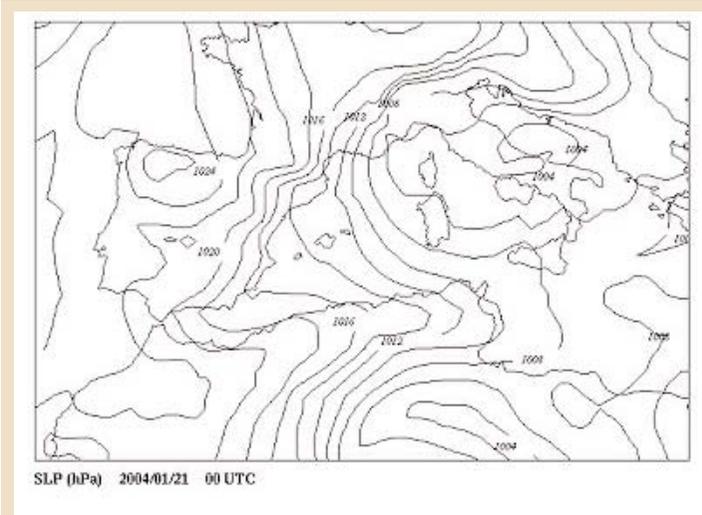


Fig. 2. Análisis de presión en superficie. HIRLAM 0.5°. Fuente: CMT Balears. INM.

Península Ibérica (Fig. 2). En 700 hPa el episodio se inició con la presencia de una potente dorsal cálida de eje norte-sur, con su máximo relativo sobre el noroeste de Galicia y una baja fría en el Mediterráneo Occidental, que se alejó hacia el sudeste a lo largo del día 20. Durante los días 20 y 21 la dorsal permaneció casi estacionaria, aunque con tendencia a desplazarse hacia el este y debilitarse a últimas horas del 21, pasándose a un régimen casi zonal a partir del mediodía del 22. La dorsal determinó un flujo norte moderado/fuerte y estabilidad favoreciendo así las descendencias a sotavento de la cordillera.

El patrón de 700 hPa se reproducía hasta los 300 hPa. En 500 hPa la temperatura subió sobre el Pirineo desde los -32 °C a las 12 UTC del día 18 hasta los -18 °C a las 12 UTC del día 23. Esta notable advección cálida a niveles medios tendió también a estabilizar la atmósfera.

A mesoscala, los elementos más significativos fueron los dipolos orográficos alpino y pirenaico. El primero incrementó el gradiente de presión al norte de los Alpes, especialmente a partir de las 06 UTC del día 21, coincidiendo con la aparición de la alta secundaria alemana, e intensificó la advección continental sobre el Pirineo. El dipolo pirenaico estuvo caracterizado por una dorsal con su eje inicialmente sobre el Pirineo

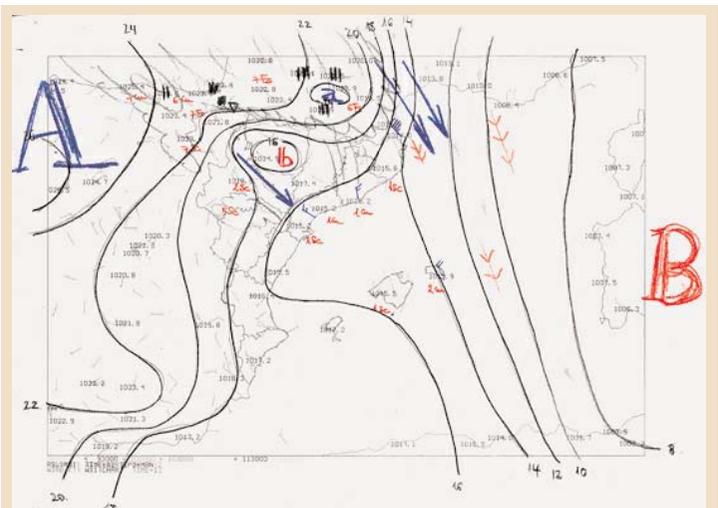


Fig. 3. Análisis subjetivo mesoscalar. 12 UTC. 21/01/2004. Fuente: GPV Catalunya. INM.

("nariz de föhn") y un mínimo barométrico a sotavento, centrado sobre Catalunya. Esta configuración creó en superficie un gradiente de presión muy elevado, tanto transversal como paralelo a la cordillera, muy evidente en su extremo oriental y el valle del Ebro y estableció el sistema de vientos tramontana - mestrall (Campins et al., 1997). A las 12 UTC del día 21 (Fig. 3) el máximo dipolar se había desplazado hacia el nordeste y la "nariz de föhn" había casi desaparecido.

Las imágenes IR del Meteosat muestran una capa de cirrostratos-altostratos orográficos a sotavento del Pirineo, extendiéndose hasta el Golfo de Valencia y el Sistema Ibérico. Esta capa se formó sobre la cresta del Pirineo central y su origen estuvo asociado probablemente a una onda de montaña. Se



Fig. 4. NOAA-17. 21/01/2004 10:35:51 UTC. Banda 2. Fuente: INM.

observa también abundante nubosidad baja en la vertiente norte pirenaica y llanuras adyacentes. El forzamiento orográfico, la humedad elevada debido al origen atlántico del aire y la estabilidad formaron esta capa compuesta por estratocúmulos y también probablemente por estratos y/o nimbostratos dado su carácter precipitante.

La imagen de la Fig. 4 es muy espectacular e ilustrativa. Se

observa el velo de cirrostratos, más espeso sobre la cresta de la onda pirenaica, rompiéndose a medida que se extiende hacia el sur; las nubes bajas extendidas sobre los valles del norte y la sombra que sobre ellas proyectan las nubes altas; la capa de nubes bajas menos espesa sobre las estribaciones septentrionales del Pirineo y llanuras adyacentes y los altocúmulos undulatus surgidos en el flujo del NW (tramontana) presente en el Rosellón. Los cirrostratos orográficos se desplazaban con el viento del NNE, registrado por el radiosondeo de Zaragoza del día 21.

La evolución de la nubosidad era coherente con la sinóptica: El lento debilitamiento de la dorsal en niveles medios y la rolada hacia el nordeste redujeron probablemente la estabilidad y la humedad, disminuyendo también el valor de la componente transversal del flujo.

Se debilitaron y finalmente desaparecieron la precipitación en barlovento y la componente descendente del aire en sotavento y así el efecto föhn en su conjunto.

**Evolución meteorológica en superficie**

En los extremos de la costa catalana, el sudeste de Francia, el valle del Ebro y en las cumbres del Pirineo se registraron vientos del norte fuertes con rachas muy fuertes -valores superiores a los 100 km/h en bastantes puntos y 180 km/h en el Cap Béar (Rosellón)-.

El viento muy fuerte registrado en el Pirineo oriental, conllevó el fenómeno del "torb". Además, en el fondo de los valles y en las laderas de sotavento el viento también aumentó de velocidad a lo largo del día 20, alcanzándose los valores máximos el 21. Estos vientos debieron ser de carácter descendente. Su establecimiento en los valles acompañó al aumento de las temperaturas y la caída de la humedad, combinación típica del föhn.

Entre los días 19 y 21 se registraron precipitaciones débiles o moderadas en el Pirineo, especialmente en su vertiente norte, y en el sur de Francia. Durante el 19 afectaron a ambas vertientes, pero en los días 20 y 21 se limitaron a los valles orientados a los flujos atlánticos y a los altos macizos más

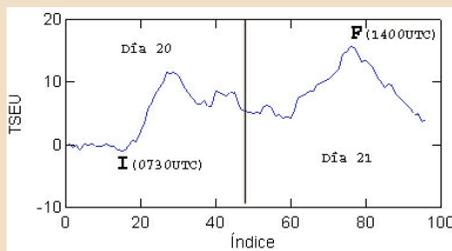
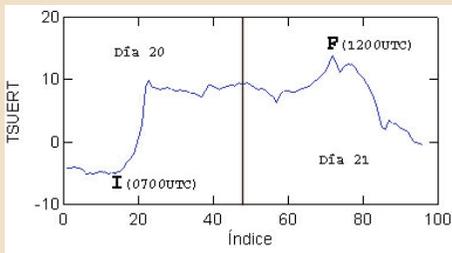
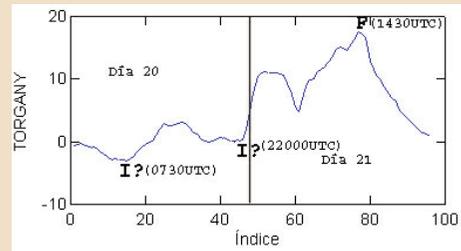
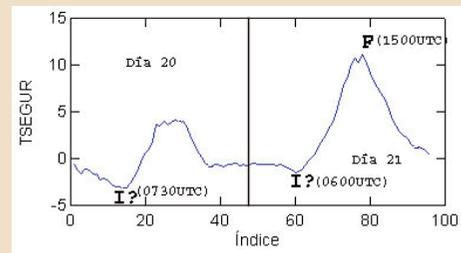


Figura 5

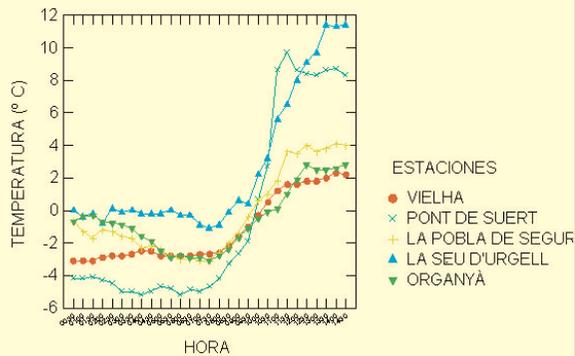
Evolución de la temperatura durante los días 20 y 21 en cuatro estaciones pirenaicas afectadas por el föhn. Con la letra I se indica el inicio aproximado del episodio y con la F su final. Los interrogantes que aparecen en las dos gráficas de la derecha indican que no está claro el momento de inicio, debido seguramente a la presencia de una masa fría estable previa que retardó la entrada de la cálida descendente. TSUERT: Temp. en El Pont de Suert; TSEGUR: Temp. en La Pobla de Segur; TSEU: Temp. en La Seu d'Urgell; TORGANY: Temp. en Organyà. Fuente de los datos: SMC.



expuestos a ellos. En general no se superaron los 5 mm/24 horas, aunque en la vertiente norte las acumulaciones de los tres días fueron del orden de 10 mm. En St. Girons (Ariège), a 411 m de altitud, cayeron entre las 06 UTC del día 20 y las 06 UTC del 22, 9.6 mm. St. Girons está a unos 30 km de la línea de cresta principal, en el valle del Salat, al norte del de Aran. Las precipitaciones más importantes en la vertiente norte se registraron en el periodo más intenso de föhn en la sur, como corresponde al modelo conceptual clásico.

En la alta montaña expuesta a los vientos del norte nevó copiosamente incrementándose el espesor de nieve en el suelo (hasta 80 cm en dos-tres días) y las temperaturas mínimas estuvieron cerca de los -15 °C.

#### EVOLUCIÓN DE LA TEMPERATURA (20-ENERO-2004)



#### EVOLUCIÓN DE LA HUMEDAD RELATIVA (20-ENERO-2004)

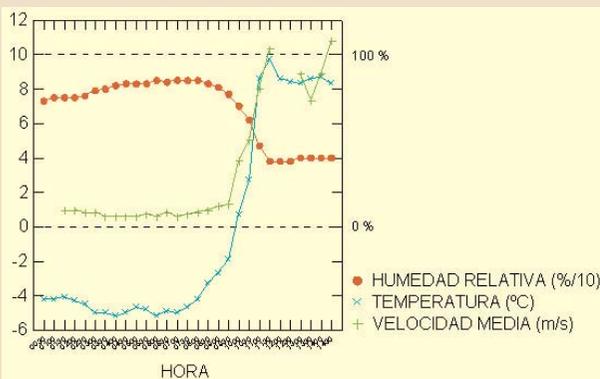
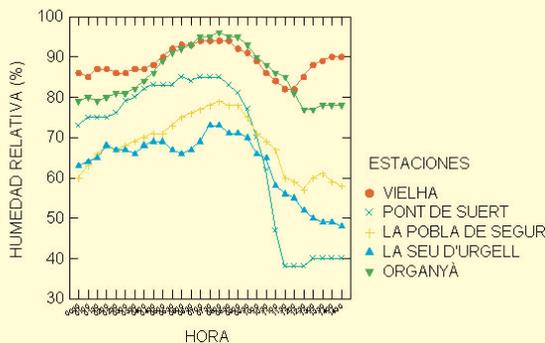


Fig. 6. Evolución de la temperatura (arriba) y la humedad relativa (centro) en el periodo de inicio (00:30-14:30 día 20) del föhn en diversas estaciones pirenaicas. Abaja:, Evolución de la temperatura, la humedad relativa y la velocidad del viento en El Pont de Suert a lo largo del mismo periodo (Der.). Fuente de los datos: SMC.

Respecto a la temperatura y la humedad se señalan como aspectos más relevantes, los siguientes:

Entre el día 19 y el 23 se registró en la zona pirenaica y prepirenaica un aumento entre moderado y notable de las temperaturas máximas y mínimas.

El aumento de las máximas fue bastante homogéneo, sin que la altitud estableciese diferencias significativas. Las temperaturas máximas se registraron los días 22 ó 23 siendo en la vertiente sur cercanas a los 20 °C. En la norte fueron mucho más bajas, incluso a baja altitud (en St. Girons no se superaron los 8 °C.)

El aumento de las mínimas fue mucho más irregular dependiendo de la localización del observatorio (fondo de valle, media ladera o cima) y de su altitud. El mayor se registró en las estaciones más altas (12 °C en dos estaciones de esquí andorranas, Arcalís y Grau Roig, situadas por encima de los 2000 m) y en Vielha.

En la mayoría de las estaciones la temperatura más baja se registró al inicio del periodo: durante la madrugada del día 19 en las zonas más elevadas, o durante la del 20. Este desfase fue debido seguramente a cómo se combinaron los términos advectivo y radiativo en el enfriamiento en las cimas y en los fondos de los valles.

El föhn se inició hacia las 07:00 UTC del día 20 en el fondo de los valles más cercanos a las cumbres y unas 10 horas más tarde en las áreas situadas más al sur y a menor altitud, en las que rompió una inversión térmica nocturna. Las subidas térmicas fueron en algunos puntos espectaculares: En El Pont de Suert, 15 °C entre las 07:00 UTC y las 11 UTC del día 20 (6.5 °C entre las 10:30 UTC y las 11:00 UTC), en La Seu d'Urgell, 11 °C entre las 08:30 UTC y las 13:30 UTC del día 20 y en Organyà, 11 °C entre las 23:00 UTC del día 20 y las 02:00 UTC del día 21.

Estas subidas del día 20 o de la noche del 20 al 21 dieron unas mínimas en la noche del 20 al 21 muy altas. Sort, por ejemplo, registró una mínima de 10.6 °C entre las 04:00 UTC y las 04:30 UTC del día 21, aunque entre las 19:00 UTC y las 19:30 UTC del 20 la temperatura había bajado hasta 2.8 °C.

Por debajo de los 1500 m las mínimas más altas se registraron en la noche del 20 al 21, disminuyendo en los días posteriores al desaparecer el föhn aunque sin alcanzar los valores previos. Sin embargo, por encima la advección cálida asociada al flujo zonal se prolongó unos días más. El final del föhn se sitúa hacia el mediodía del día 21.

En las figuras 5 y 6 se muestra la evolución de la temperatura y la humedad a lo largo de los días 20 y 21 y se indica el inicio y el final aproximado del episodio de föhn.

La humedad relativa también muestra una evolución típica, con una caída brusca, superior en algunos casos al 40 %, en los fondos de los valles de sotavento. En Vielha la humedad relativa fue elevada durante todo el episodio a pesar del aumento de las temperaturas mientras que en El Pont de Suert cayó durante el día 20, junto a un aumento también brusco de la temperatura y de la velocidad del viento.

#### Análisis del perfil termodinámico

Los radiosondeos de Burdeos, Zaragoza, Barcelona y Nîmes muestran en conjunto del día 20 al 22, una gan estabilidad.

Existía simultáneamente sobre Burdeos, Zaragoza y Nîmes

una masa seca, asociada al flujo del N/NE, sobre una inversión de espesor variable de una estación a otra y a lo largo del episodio. Esta inversión era menos evidente sobre Barcelona. Se

situaba entre los 1000 m y los 2500 m, según el momento y el lugar. La altitud de su base en Zaragoza (1000 m) (Fig. 7) era fruto de la acción combinada de la subsidencia anticiclónica y la orográfica a sotavento del Pirineo. En Burdeos y en Zaragoza esta inversión confinaba por debajo un flujo del NW frío y húmedo (especialmente en Burdeos) y fuerte en Zaragoza (cierzo). El flujo del NW sobre el sudoeste de Francia aportó suficiente humedad para generar nubosidad estratiforme orográfica y el desprendimiento de calor latente asociado al föhn.

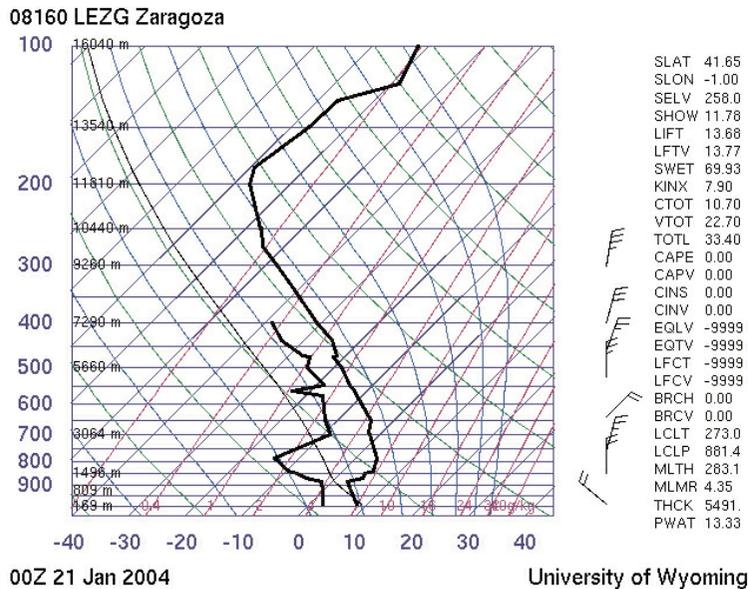


Fig. 7. Radiosondeo de Zaragoza (INM). Fuente: Web de la Univ. de Wyoming.

## Referencias

- Campins, J.; Calvo, J.; Jansá, A., 1997.** The tramontane wind: Dynamic diagnosis and Hirlam Simulations. INM/WMO International Symposium on cyclones and hazardous weather in the Mediterranean, Mallorca, Spain, April 14-19.
- Gómez, B., 2001.** El fogony (efecto föhn) en el valle pirenaico de Sort. Treballs de la Societat Catalana de Geografia, 52, 311-320.

## La Retorta del aire

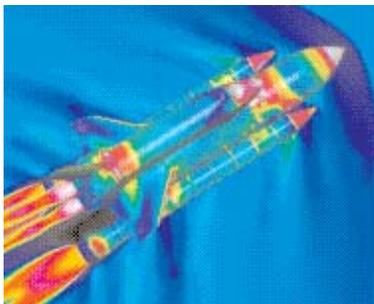
coordinada por Jose I. Prieto

### A vueltas con el ventilador

En julio nos proponíamos, dicho sea en mayestático plural, averiguar cómo aprovechar un ventilador para absorber hacia un despacho el aire fresco que corría por el pasillo. Parece ahora claro que el aire acondicionado está ya muy generalizado, y el problema no pasa de ser académico. O será tal vez que el calor marchita los espíritus y embota los intelectos, si hemos mayestáticos de juzgar por el volumen de las cartas y correos recibidos en la sección durante el verano.

Aunque no haya ventilador, la corriente en el pasillo refluye hacia el despacho como si se tratara de un ensanchamiento del cauce del aire, que induce un frenado del aire fresco cerca de la puerta abierta y una sobrepresión en el despacho. Para aprovechar la intrusión del aire intruso, basta colocar el ventilador orientado hacia dentro, de forma que el recorrido del aire por el despacho sea más amplio y refrigerante, ya que suponemos que el aire del pasillo está más frío que

el cargado de la oficina. Queda saber si el ventilador debería estar alto o a ras de suelo. No he tenido ganas de verificar este punto experimentalmente (todos tenemos derecho a vacaciones) pero entiendo que puestos a reducir esfuerzos, el aire no es excepción: el más fresco, que vuela bajo, será el que entre por debajo, mientras el recalentado saldrá por la parte alta del vano de la puerta. Curiosamente, esa disposición del ventilador es la primera que se le ocurre a un niño, y esto sí he tenido tiempo de verificarlo. No falta quien pone el ventilador en la mesa, para no darle una patada. A esa altura, la ventilación pierde eficacia, pues impide la salida del aire cálido hacia el exterior. El giro de las aspas del ventilador genera además una depresión suplementaria detrás del aparato que absorbe más aire de fuera hacia dentro.



### No corta el mar, sino vuela

Para los amantes del lado blando de la ciencia, recomiendo la página web <http://turnbull.mcs.st-and.ac.uk/~history/BiogIndex.html> (Inglés), con énfasis en las biografías de las lumbreras del saber. Aunque parece restringida a matemáticos, pocos padres de la meteorología escapan de su catálogo.

Una atracción típica y corriente de la sección de ventiladores de unos grandes almacenes consiste en orientarlos hacia arriba y colocar pelotas ligeras o globos flotando animadamente sobre ellos: cada pelota queda encajonada en el chorro ascendente de un ventilador. En ese caso la sobrepresión fuera del chorro actúa repeliendo los intentos de la pelota por salir de la columna ascendente. La flotación se consigue por el equilibrio del peso de la bola y el arrastre hacia arriba generado por fricción. O también sin fricción. D'Alembert, el de la Enciclopedia, ya había observado que el arrastre de un sólido por un fluido no tendía a anularse para viscosidades muy bajas. A eso se le llamó paradoja de