

## TRAMUNTANA Y MESTRAL EN CATALUÑA

L. A. VÁZQUEZ

Centre Meteorològic Territorial de Catalunya - INM

Al presentar estas consideraciones sobre un aspecto de la meteorología catalana como son los vientos regionales, la *tramuntana* y el *mestral*, deseo evocar en primer lugar, algo sentimentalmente quizás, la figura número 1, que el doctor Eduard Fontserè i Riba publicó en su libro *La tramuntana empordanesa i el mestral del golf de Sant Jordi*, en 1950, por acuerdo del Institut d'Estudis Catalans y con el apoyo económico de la Institució Patxot.

Al llegar destinado a Cataluña como meteorólogo del entonces Servicio Meteorológico Nacional, merced a este tipo de trabajos se podía modular una formación meteorológica general, digamos universal, con una aproximación más realista, más matizada, a una meteorología, a una geografía y a un país concretos.

La figura del doctor Fontserè sintetiza el dominio geográfico de la *tramuntana* y del *mestral*, con la indicación de las zonas de máxima violencia, sus límites normales y la dirección predominante de estos vientos junto al suelo y en altitud cuando soplan vientos del cuarto cuadrante.

La obra citada fue realizada, como el mismo doctor Fontserè indica, con lo que quedó (*aprofitalles*) después de la desaparición de un conjunto de numerosos datos, estudios monográficos de algunas *tramuntanes* interesantes, mapas diarios del tiempo, observaciones del observatorio Patxot en Sant Feliu de Guíxols y datos meteorológicos obtenidos a bordo del guardacostas Xauen en campañas oceanográficas relacionadas con este tema. Desaparecieron también ([...] *en data que ara no ens seria possible de precisar* [...]) los textos de una biblioteca orientada hacia los problemas meteorológicos regionales. El estudio, que tiene un carácter descriptivo, es fruto de un esfuerzo de concordia entre los diversos hechos locales y puntos de vista anotados por observadores privados y por las compañías de aviación civil que cubrían regularmente las rutas aéreas desde Francia hasta Alicante y con los que el doctor Fontserè mantenía correspondencia.

Fuera quizás esta circunstancia la que dió al trabajo de Fontserè una extraordinaria calidad descriptiva, de la que se puede disfrutar con su lectura por la conjunción de un gran cuidado y rigor al considerar los datos, la erudición y el conocimiento geográfico con que son localizados, los acompañamientos gráficos y el orden expositivo, donde se detallan las diferentes denominaciones de estos vientos del cuarto cuadrante según las zonas geográficas, sus consecuencias en la vida eco-

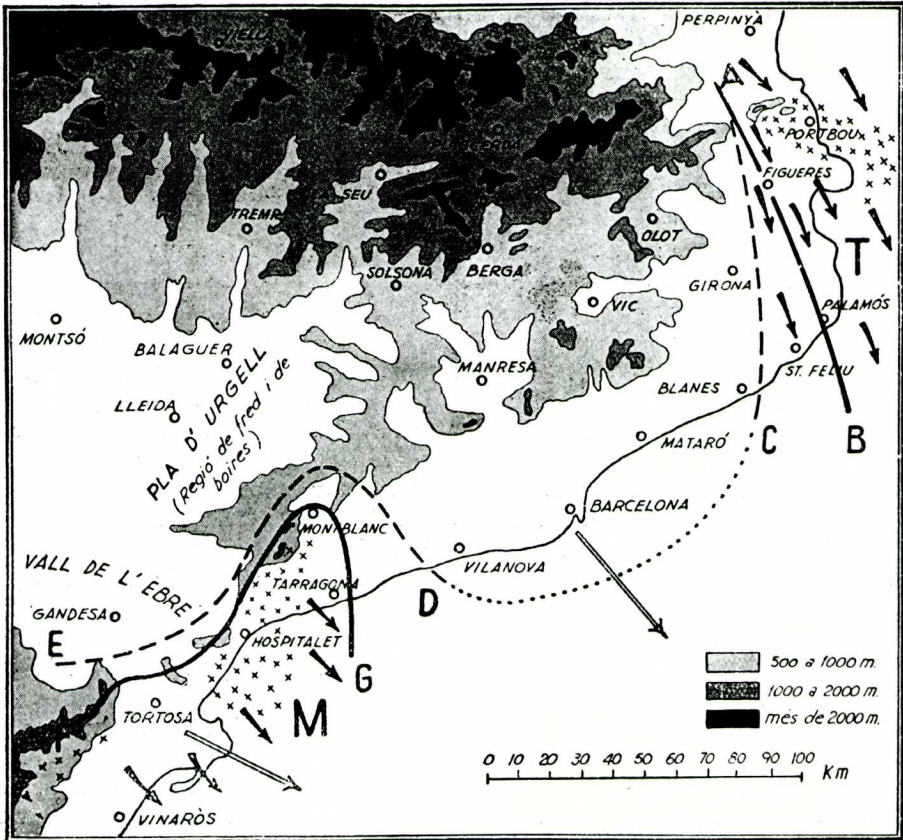


FIGURA 1. Dominis de la tramuntana (T) i del mestral (M) a la costa catalana. AB, límit occidental normal de la tramuntana; AC, límit eventual; FG, límit normal del mestral; ED, límit eventual. Les creus indiquen les regions on el vent adquireix la màxima violència. Les sagetes negres marquen la direcció ordinària del vent inferior; les de doble ratlla, el vent en altitud a Barcelona i a Tortosa els dies que fa vent fort del quart quadrant arran de terra.

nómica y social (pesca, aviación...), los límites en tierra y en mar, las nubes asociadas, los signos locales de llegada y finalización, así como los signos precursoros de estos vientos y su distribución horaria y estacional. En fin, al abordar los mecanismos de la *tramuntana* y del *mestral*, señalando que *mistral* de Provenza, *tramuntana* pirenaica y *mestral* del golfo de Sant Jordi pueden ser coetáneos o presentarse de forma independiente, destaca la llegada de vientos fuertes de cuarto cuadrante que han de provocar la aparición de una depresión mediterránea, generalmente como «secundaria» de una más potente al NW de Europa y se acoge a las nuevas teorías meteorológicas del momento como las que propone el doctor Bergeron, quien considera el efecto orográfico de los Pirineos y de los Alpes sobre una masa de aire frío que viene desde el Atlántico a través de Francia, como una base de razona-

miento para la interpretación de estos vientos. La irrupción de la masa fría de poniente se extiende a todas las tierras del norte, de forma que produce simultáneamente la tramontana, el mistral y el *bora* en las regiones mediterráneas y determina la localización del mínimo barométrico en el valle del Pó. Haciendo suya la opinión de Patxot, para que comience una *tramuntana* tiene que haber una depresión en el golfo de León o en el de Génova.

Precisamente para avanzar en el conocimiento de los factores dinámicos que conforman estos vientos, el doctor Fontserè plantea en el epílogo de su trabajo la necesidad de llevar a efecto un tratamiento experimental y dinámico de los mismos, para lo cual, entre otros datos observacionales, no habrían de faltar:

- Sondeos de viento, temperatura y humedad hasta altitudes de unos 3.000 m, sobre puntos del interior de Cataluña
- Nubosidad en las cimas montañosas y sobre el mar
- Componente vertical del viento en los lugares de máxima intensidad, aprovechando las informaciones de los aviadores
- Observaciones simultáneas en el sur de Francia.

Es notable como, al cabo de medio siglo después de estas proposiciones o sugerencias, las bases experimentales del proyecto meteorológico francoespañol PYREX (1990), el más ambicioso hasta la fecha para el estudio de la influencia de los Pirineos en la meteorología y el clima de las regiones circundantes, se atienen a estas pautas sugeridas por Fontserè, si bien con la comprensible mayor sofisticación conceptual y tecnológica que el paso del tiempo había de proporcionar.

#### EL SISTEMA MISTRAL-TRAMUNTANA

La *tramuntana* ampurdanesa y el *mestral* del golfo de Sant Jordi, como vientos regionales de Cataluña, forman parte de una problemática más general de vientos en el Mediterráneo occidental, el denominado *sistema mistral-tramuntana*, que constituye uno de los más importantes y característicos elementos de la meteorología de este área. Este sistema de vientos está fuertemente condicionado por la orografía y desde este punto de vista constituye una manifestación entre otras, aunque muy relevante, de la influencia que los complejos montañosos ejercen sobre las circulaciones atmosféricas en la totalidad de las escalas significativas que puedan considerarse, tanto planetaria, como sinóptica o mesoescalar. Está frecuentemente relacionado con la ciclogénesis a sotavento de los Alpes, pero no necesariamente. Las distribuciones espacial y temporal de estos vientos muestran una notable constancia y se manifiestan de forma parecida y bajo condiciones similares. Son altamente frecuentes e intensos. En este sistema de vientos destacan el mistral de Provenza, que sopla entre N y NNW; la *tramuntana de l'Empordà*, que sopla del NNW; la *tramontane de Rousillon*, que sopla del NW o del WNW; el *mestral* del golfo de Sant Jordi, en la desembocadura del Ebro, relacionado con el cierzo en el valle del Ebro, que sopla del NW y también la *tramuntana* en

Menorca, que sopla muy frecuentemente del N. Estos vientos se presentan simultáneamente, aunque no siempre ocurre así. Para considerar que estamos en una situación de mistral-*tramuntana* será necesaria la presencia del mistral de Provenza o *tramontane de Roussillon*.

#### EL EXPERIMENTO PIRENAICO: PYREX

Con el objetivo de alcanzar una comprensión sobre la naturaleza y las condiciones de formación de estos vientos, se han realizado un conjunto de experimentos durante las últimas décadas. El problema general que se plantea es el de la interacción del flujo atmosférico con las montañas, que da lugar a una desviación horizontal y vertical del aire, a la disipación de energía por rozamiento y a aportes de calor sensible y latente.

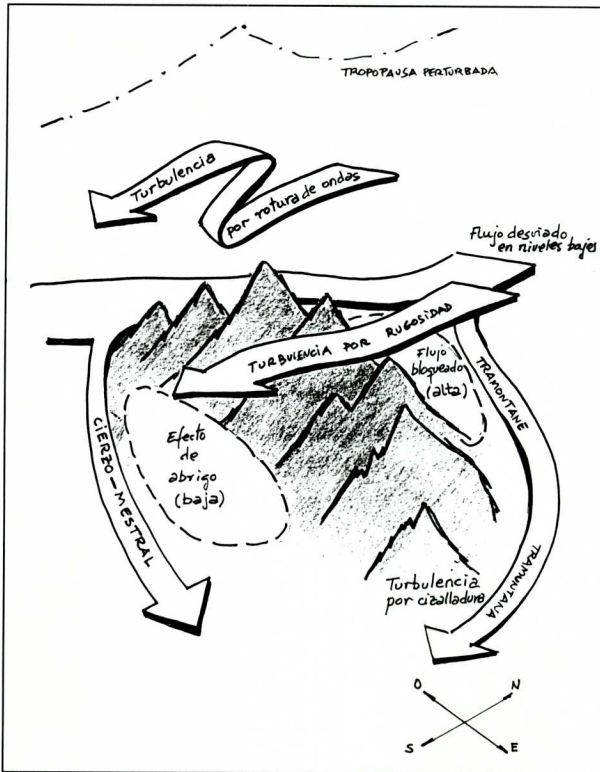
Entre las alteraciones producidas por la orografía, está la modificación del campo de presiones, lo cual influye a su vez en los procesos de ciclogénesis, en la formación de vientos regionales como los que consideramos y en la creación de zonas de convergencia que pueden actuar como mecanismos de disparo de la convección.

Un flujo aéreo, al encontrar a su paso un obstáculo orográfico, experimenta un frenado (*drag*), una pérdida de cantidad de movimiento o momento como consecuencia del rozamiento con la montaña al intentar recorrerla y cruzarla. La contribución a este frenado puede adoptar diversas formas, que se presentan como fenómenos con una cierta simultaneidad y con carácter universal en todas las montañas del mundo con características semejantes a las de los Pirineos. Este conjunto de modalidades configura un cuadro más o menos integrado, en el que destacan:

- Acumulación de aire, aumento de la presión y disminución del viento a barlovento; enrarecimiento relativo con baja presión a sotavento
- Parte del flujo es desviado hacia arriba y forma ondas de relieve que transmiten cantidad de movimiento verticalmente
- A barlovento el flujo incidente se desvía en dos ramas a bajos niveles. En los bordes laterales montañosos el aire contornea la orografía, con perfiles abruptos de velocidad y de turbulencia
- Con estabilidad vertical, el flujo a bajos niveles puede experimentar aceleraciones típicas de los vientos locales (mistral, cierzo, *tramuntana*, *mestral*...).

Este conjunto de fenómenos se manifiesta como una anomalía positiva de presión a barlovento de los Pirineos y una anomalía negativa a sotavento, dando lugar a un dipolo orográfico. Este dipolo o diferencia de presión a ambos lados de la montaña es una medida del frenado ejercido por la misma. Cualitativamente, este frenado será tanto más intenso cuanto mayor sea la velocidad del flujo incidente; tanto más alto, ancho y empinado cuanto mayor sea el obstáculo y más estable el aire incidente.

La «linearización» de las ecuaciones del movimiento del aire permite prever



teóricamente la intensidad y la forma aproximadas del dipolo orográfico, pero de hecho hay factores dinámicos y térmicos, no lineales, que limitan la validez de los resultados de la teoría lineal.

El frenado de la montaña tiene un componente dinámico relacionado con la formación de ondas a sotavento, es el *drag* de onda al que históricamente se le ha adjudicado la mayor contribución al frenado. No obstante, el *föhn*, que da lugar al calentamiento del aire a sotavento por liberación de calor latente en la precipitación orográfica a barlovento, contribuye a una disimetría o dipolo térmico, que es otra componente del dipolo orográfico, y por tanto contribuye al frenado global. Es el dipolo hidrostático.

La integración de la ecuación dinámica del balance de cantidad de movimiento en un volumen que contenga a la montaña, permite expresar el *drag* como promedio bidimensional de la integral de superficie de la presión en superficie multiplicada por el módulo del gradiente de la altitud del terreno.

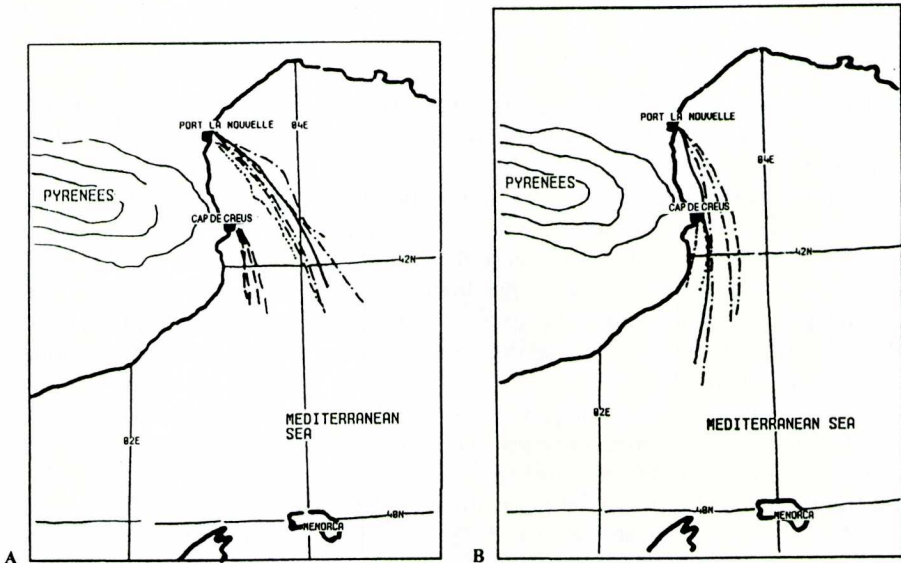
El PYREX (octubre-noviembre de 1990) desplegó un denso y complejo sistema de observación, entre el cual ahora destacamos una cadena de catorce estaciones meteorológicas automáticas en un eje perpendicular a la cordillera, a ambos

lados de la misma, que cubrían altitudes de 200 a 2.400 m, lo cual permitió el cálculo continuo del *drag*.

Se ha comprobado que los Pirineos son de momento un sumidero importante y también la estrecha relación entre el frenado (*drag*) y el dipolo orográfico. Los datos de temperatura de las estaciones de la cadena transversal pirenaica han permitido reconstruir el *drag* hidrostático, que ha resultado ser el responsable de un 50 % del *drag* total, dependiendo de si la situación es del sur o del norte, siendo netamente menor en el primer caso, o cuando las situaciones son muy dinámicas y tiene más peso el *drag* asociado a las ondas orográficas.

#### DIPOLO OROGRÁFICO Y VIENTOS REGIONALES

La *tramuntana* y el cierzo se han revelado como chorros de aire frío de bajo nivel, organizados e intensificados por la influencia del dipolo orográfico. La parte negativa del dipolo intensifica el gradiente de presión en el valle del Ebro, y contribuye al cierzo. La fuerza del gradiente de presión, reforzada por la anomalía de presión a barlovento de los Pirineos, se confirma como la principal responsable de la intensidad y localización del máximo de velocidad de la *tramuntana*. La alta correlación comprobada entre la velocidad del viento en la *tramuntana* y el *drag* observado en el transecto central pirenaico, confirma que el flujo de *tramuntana* está altamente dirigido por la anomalía de presión. El máximo de velocidad se encuentra normalmente en el golfo de León. La dirección de este flujo es depen-



Trajectorias de nivel constante en dos tipos de situaciones de *tramuntana* (PYREX, 1990).

diente de la situación sinóptica, de la cual derivan dos prototipos: uno, del NW que gira al NNW, y otro con un componente norte más definido.

La distribución horizontal de este viento muestra una intensa línea de cizalladura desde el Cabo de Creus, hacia el sur. Al rotar el viento, también lo hace la línea de cizalladura desde NNW en los casos del primer tipo y a NNE en las del segundo.

Este flujo del norte es normalmente más frío que la superficie del mar (unos 5 °C en otoño, por ejemplo), y ocasiona una capa límite atmosférica inestable, viento fuerte y condiciones para el desarrollo de estructuras coherentes de viento, como vértices helicoidales, que con frecuencia se hacen visibles en las imágenes de satélite con el aspecto de calles de nubes.

La correcta representación del dipolo orográfico es por tanto de gran interés en todas las fases de un sistema operativo meteorológico: el análisis, el diagnóstico y la predicción propiamente dicha.

Si un modelo utiliza una orografía media, muy suavizada y poco elevada y una resolución baja, la señal del *drag* resultante será muy débil y subvalorará la interacción orográfica y las características de los vientos orográficos.

## BIBLIOGRAFÍA

- Alpex Experiment Desing GARP-ALPEX núm. 1, WMO, Ginebra, 1982.
- BOUGEAULT, P.; JANSÀ, A.; CLAR, A.; BENECH, B.; CARISSIMO, B.; PELON, J.; RICHARD, E. «Momentum budget over the Pyénées: The PYREX experiment». *Bull. Am. Meteorol. Soc.*, núm. 71, (1990), p. 806-818.
- FONTSERÉ, E. «La Tramontane et le Mestral de la côte catalane». *Archive. Met. Geo. Bio.*, (1948), p. 127-137.
- JANSÀ, A. «Distribution of the mistral: A satellite observation». *Meteorol. Atmos. Phys.*, núm. 36, (1987), p. 201-214.
- RIOSALIDO, R.; VÁZQUEZ, L.; GORDO, A.; JANSÀ, A. «Cierzo: northwesterly wind along the Ebro valley as a mesoscale effect...». A: *Scientific results of the alpine experiment (ALPEX)*, vol. 2, OMM, 1987.