

**L'estudi de la
tramuntana:
de J. M. Jansà al
PYREX**

Joan Campins Pons
*Centre Meteorològic a
les Illes Balears*

Territoris (1998), 1:
111-122

L'estudi de la tramuntana: de J. M. Jansà al PYREX

Joan Campins Pons
Centre Meteorològic a les Illes Balears

Resum

La tramuntana és el vent dominant a Menorca i un dels més importants de la Mediterrània occidental. També és el responsable de la majoria dels temporals d'aquesta zona. J. M. Jansà va ésser un dels primers meteoròlegs que es va dedicar a estudiar aquest vent. Entre les seves contribucions cal destacar la climatologia del vent en altura i un minuciós estudi sobre la tramuntana a l'illa de Menorca. En aquest article es repassen la contribució de J. M. Jansà al coneixement de la tramuntana, així com els recents resultats que sobre aquest vent s'han obtingut de l'experiment PYREX.

Abstrat

The Tramuntana is the strongest and most frequent wind of the Western Mediterranean, responsible for the greater part of gales in that area. J. M. Jansà was one of the pioneers of the study of the Tramuntana. Among his contributions, it can be distinguished the Climatology of the wind in the vertical and a precise study of the Tramuntana, both at Minorca Island. In this paper the contribution of J. M. Jansà to the knowledge of the Tramuntana wind is reviewed as well as the more recent results derived from PYREX Experiment.

Recepció del manuscrit, desembre de 1996

Introducció

Els primers estudis sobre la tramuntana es remunten als anys trenta. Entre aquests s'ha de fer especial esment de l'estudi sobre l'extensió del sistema de vents mestral-tramuntana a la Mediterrània occidental (Mengel, 1934), l'estudi de la tramuntana empordanesa (Fontserè, 1950) i l'estudi de la tramuntana a l'illa de Menorca (Jansà, 1933). Aquest darrer treball, del qual ens ocuparem a continuació, es tracta d'un acurat estudi quantitatiu sobre aquest vent.

Des de llavors, el coneixement de la tramuntana ha anat augmentant amb el temps. Entre els resultats més interessants, cal destacar la climatologia dels vents a Menorca (Jansà, 1976 i 1979), dels quals la tramuntana és el més important, l'observació de la línia de cisallament que separa la tramuntana al mar balear d'una zona arrecerada que segueix més o menys el meridià 3° E (Reiter, 1975 i Jansà, 1987), i la, ja des d'un punt de vista més global, teoria de la generació dels vents locals per la interacció del flux atmosfèric amb l'orografia. En aquest sentit, l'any 1987 es realitza un experiment anomenat ALPEX

(ALPine EXperiment) sobre la interacció del flux atmosfèric amb els Alps. Posteriorment, el 1990 es va dur a terme la fase de camp d'un experiment semblant, aquesta vegada amb els Pirineus com a obstacle: el PYREX (PYRenees EXperiment). Fruit d'aquest darrer experiment, s'obtingué una extensa base de dades sobre diferents episodis de la tramuntana, la qual ha permès nombroses publicacions sobre el seu origen i la seva estructura (Bougeault et al., 1993 i Campins et al., 1995).

En el present article es posarà de manifest la importància de les primeres contribucions al coneixement de la tramuntana fetes per J. M. Jansà. D'altra banda, i com a fruit de l'experiment PYREX, es mostraran alguns dels darrers estudis realitzats sobre la tramuntana.

Primers estudis de la tramuntana: la contribució de J. M. Jansà

Com ja s'ha comentat, la contribució a l'estudi de la tramuntana de J. M. Jansà va ésser notable. Entre els treballs cal esmentar la *Contribución al estudio de la Tramontana en Menorca* (Jansà, 1933) i les *Notas para una Climatología de Menorca (Islas Baleares). Vientos en altura* (Jansà, 1943). En aquest apartat, repassarem els resultats més interessants.

En el seu estudi, J. M. Jansà va definir la tramuntana com un vent fort del N, fred i sec, que es pot presentar en totes les èpoques de l'any, que es manté uns dies seguits i que, provinent de la vall del Roine (mestral) i de l'Empordà (tramuntana), pot arribar fins a les costes d'Algèria, i assolir la màxima intensitat al golf de Lleó i al mar balear, al nord de Menorca.

Va dedicar una part de l'estudi a determinar les freqüències mensuals, la durada, la distribució horària i la intensitat de la tramuntana sobre la superfície de l'illa de Menorca. En aquest darrer aspecte és interessant destacar que l'autor va classificar la tramuntana en tres grups: fluixa (menys de 5 ms^{-1}), moderada (entre 5 i 10 ms^{-1}) i forta (més de 10 ms^{-1}). Observant la distribució anual dels dies de tramuntana moderada i forta, va veure que ambdues tenen distribucions oposades i, per tant, amb orígens diferents.

En un altre apartat de l'estudi va relacionar diferents variables meteorològiques amb el vent. Per exemple, la temperatura, la humitat, la pluja i, sobretot, la pressió. En aquest sentit va apuntar que la tramuntana es presenta amb la pressió pujant. Però, més important que l'estudi de la pressió des d'un punt de vista local, és la configuració de la pressió des d'un punt de vista sinòptic, i va donar diferents tipus sinòptics que produeixen tramuntana a Menorca. També va destacar que, en les tramuntanes fortes, el gradient de pressió no pot explicar tot el vent que s'observa. Això ens indica que l'origen de la tramuntana s'ha de cercar en la distribució de la pressió, però lluny de Menorca. Com veurem més endavant, és precisament la distribució de pressió que apareix al voltant dels Pirineus per la interacció orogràfica, la responsable del màxim de vent de la tramuntana al golf de Lleó, i que llavors el vent es mantingui pràcticament per inèrcia, si bé un gradient de pressió favorable al voltant de les Balears pot augmentar-ne la intensitat.

Dels diferents tipus sinòptics, cal destacar:

— Tipus A: gran anticicló sobre l'Atlàntic i baixes pressions sobre la Tirrena. El gradient de pressió és dèbil. Dóna lloc a una situació estable, amb tramuntanes de llarga durada i generalment poc intenses. Pot presentar-se totes les èpoques de l'any, però fonamentalment al gener i a l'entrada de l'estiu.

— Tipus B: fort anticicló sobre Rússia i l'Atlàntic. Baixes pressions sobre Islàndia i les illes Britàniques i al Mediterrani. Si el cicló a l'Adriàtic és intens, la tramuntana pot ésser forta a Menorca i amb mal temps.

— Tipus C: gran cicló al nord d'Europa i un de secundari al golf de Gènova amb altes pressions a l'oest de Portugal. En aquest cas la tramuntana està totalment supeditada al cicló del Mediterrani. Aquesta situació sol anar acompanyada de ruixats i tempestes, amb tramuntana forta. Sol ésser la responsable dels temporals de desembre.

— Tipus D: anticicló en forma de rombe sobre l'Europa central, envoltat de quatre ciclons, un a cada quadrant. El gradient sol ésser fluix i la tramuntana dèbil. Normalment es dona a l'estiu.

— Tipus E: altes pressions molt extenses des d'Escandinàvia fins al Mediterrani. El gradient i la tramuntana són moderats.

Dins el mateix treball, va dedicar un apartat a l'estudi de l'estructura vertical de la tramuntana. Ho va fer mitjançant l'anàlisi del vent obtingut amb els globus Pilot en situacions de tramuntana. Els resultats van determinar que la tramuntana és un vent de poca gruixa, fins a uns 1.000 metres d'alçada. Aquest resultat, com ja veurem, s'ha confirmat amb les recents observacions de l'estructura vertical de la tramuntana obtingudes de l'experiment PYREX. Posteriorment, J. M. Jansà va realitzar una climatologia del vent en altura en la qual es va mostrar que, en els nivells més baixos (fins a 1.000 metres), el vent dominat és del nord, i per damunt hi predomina el vent del nord-oest (figura 1).

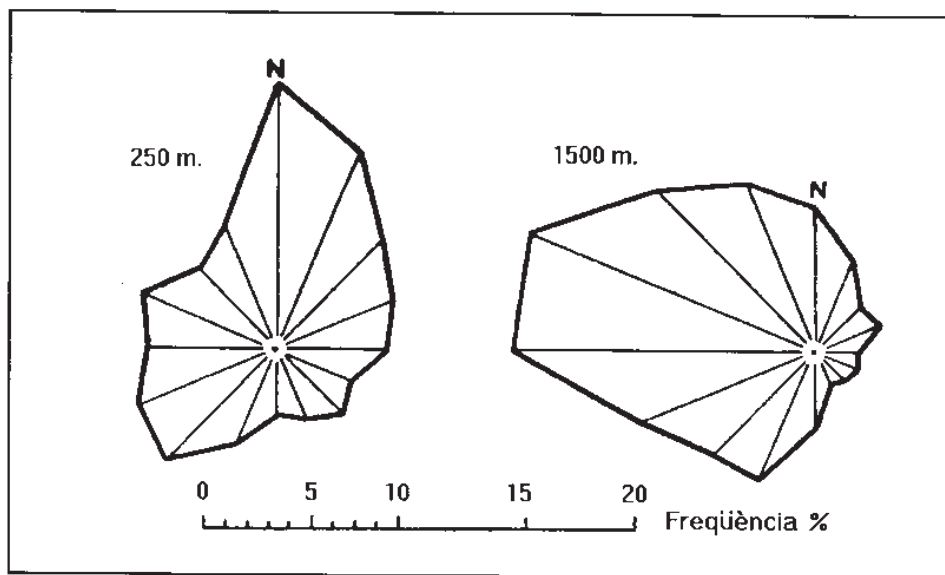


Figura 1: Roses dels vents a 250 i 1.500 metres. Mitjana anual (Jansà, 1943).

Últims estudis de la tramuntana: l'experiment PYREX

L'experiment PYREX es dugué a terme els mesos d'octubre i novembre de 1990. L'objectiu general era estudiar la interacció orogràfica del flux atmosfèric amb els Pirineus. Entre els subobjectius es trobava estudiar els vents locals generats per aquesta interacció i, entre aquests, la tramuntana. Durant els dos mesos que va durar la campanya es realitzaren observacions intensives dels diferents aspectes estudiats. Cal destacar les observacions rutinàries en superfície en un gran nombre d'estacions meteorològiques de França i Espanya, el llançament de radiosondejos cada sis hores a les diferents estacions d'ambdós països, el llançament de globus de nivell constant que volaren dins la tramuntana, la recollida de dades dins la tramuntana mitjançant el vol a diferents nivells d'un avió especial i la mesura del fregament del flux que supera la carena pirinenca (*drag*) mitjançant una línia d'estacions automàtiques situades transversalment en el centre dels Pirineus.

Observacions PYREX

Amb l'anàlisi de les dades PYREX es pogueren confirmar diferents aspectes de la tramuntana, alguns de ja coneguts, i d'altres de nous. Resseneyem-ne els més importants:

— Observació del màxim de vent al golf de Lleó

De l'anàlisi de les dades dels globus a nivell constant i dels avions que volaren dins la tramuntana, s'observà el màxim de vent, que es troba al golf de Lleó, a uns 100 km de la costa francesa. Els valors màxims observats foren entre 50 i 60 kt (figura 2).

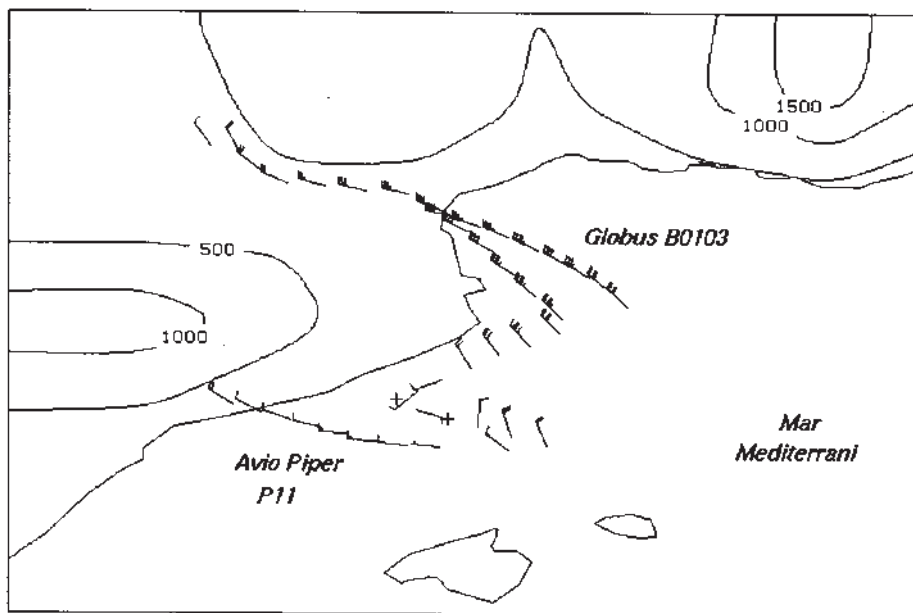


Figura 2: Vent (kt) del globus B0103 i del vol de l'avió Piper 11. Nivell de pressió de 960 hPa. POI 1, 5 d'octubre de 1990.

— Observació de la línia de cisallament

De la climatologia es pot derivar l'existència d'una zona de separació entre la tramuntana i una zona arrecerada situada entre la costa catalana i les Balears. Els avions de la Navy van observar per primera vegada aquesta línia (Reiter, 1975). També és interessant l'observació realitzada, d'una manera qualitativa, amb una imatge de satèl·lit (Jansà, 1987). Aquesta separació en realitat és molt abrupta, tal com demostra l'anàlisi de les mesures de vent que realitzaren els avions. Es mesuraren vents de 40-50 kt al costat de la tramuntana i vents de 5-10 kt a la zona arrecerada, ambdues zones, separades tan sols per 10 quilòmetres (figura 2).

Aquesta línia de cisallament no està situada sempre en el mateix lloc, i en pot canviar la posició durant el mateix episodi de tramuntana. Durant el PYREX se'n van observar dues orientacions diferents: NW-SE i NNE-SSE, que, com veurem a continuació, estan relacionades amb l'extensió del vent dins el Mediterrani.

— Extensió del vent al Mediterrani

Com ja hem comentat, el vent arranca al SE de França, i arriba al màxim al golf de Lleó. Aquest vent accelerat de vegades no arriba a Menorca i d'altres sí, i quan ho fa pot ésser fins i tot fort. Els primers casos corresponen a situacions en les quals la direcció al golf de Lleó és del NW, i les segones del N. Aquests tipus de tramuntana tenen una bona correspondència amb la posició de la línia de cisallament: l'orientació NW-SE es correspon a la situació del NW, i l'orientació NNE-SSW a la del N. Així, podem dir que, durant el PYREX, es van observar dos tipus diferents de tramuntana (figura 3):

- i) Del NW, que no arriba a Menorca, i amb línia de cisallament en la direcció NW-SE.
- ii) Del N, que arriba a Menorca, i amb línia de cisallament en la direcció NNE-SSW.

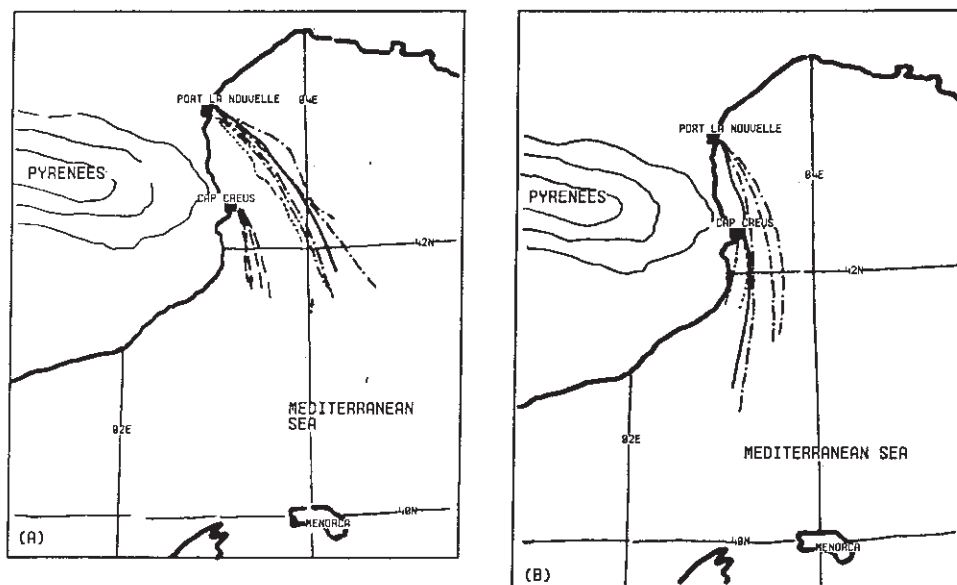


Figura 3: Trajectòries dels globus de nivell constant. (A) tipus 1, (B) tipus 2. A (A), la línia contínua correspon al POI 1, la discontinúua amb línies al POI 6, la discontinúua amb punts al POI 9 (dies 14 i 16 de novembre) i la línia de punts al POI 10 (30 de novembre). A (B) la línia contínua correspon al POI 10 (29 de novembre), la discontinúua de punts al POI 9 (16 de novembre) i la línia de punts al POI 8 (Campins et al., 1995).

— Estructura vertical

L'estructura vertical de la tramuntana s'estudià mitjançant l'anàlisi de sondejos realitzats en diferents punts, entre aquests, un sobre el mar, amb la tramuntana ben desenvolupada. De l'anàlisi de la temperatura, es va comprovar que la tramuntana és una entrada freda als nivells baixos, separada per una capa d'inversió situada entre els 1.200 i 1.500 metres. L'estudi del vent va mostrar una estructura ja estudiada per J. M. Jansà: la tramuntana és un vent de poca gruixa —es troba en una capa de 1.000-1.500 metres—, amb el màxim entre els 500-1.000 metres.

La tramuntana com a efecte orogràfic

Per resoldre el perquè d'algunes de les observacions esmentades, es va realitzar, d'una banda, una anàlisi de la relació entre l'estructura de pressió i el vent durant el PYREX, i de l'altra, un estudi dinàmic dels dos casos més intensos de tramuntana observats durant el PYREX.

— Relació entre el *drag* de pressió i el vent

Un dels efectes de la interacció del flux atmosfèric amb una cadena muntanyenca és la formació d'una estructura bipolar de pressió, amb alta pressió a la cara de sobrevent i baixa pressió a la cara de sotavent (Bessemoulin et al., 1993). La intensitat de la interacció orogràfica es pot mesurar en termes de la diferència de pressió entre els dos costats de la muntanya, l'anomenat *drag* de pressió. El *drag* de pressió i el vent en superfície estan ben

correlacionats pels observatoris propers a la carena muntanyenca (Perpinyà, per exemple) i poc correlacionats amb els més allunyats (com Maó). També s'observa una bona correlació entre els màxims de vent obtinguts amb els globus a nivell constant i el *drag* mitjà. Aquests resultats reforcen la idea que la interacció orogràfica està lligada amb la intensitat de la tramuntana a la zona de vent, i que és una condició necessària, però no suficient, perquè el vent sigui fort a Menorca.

— Diagnòstic dinàmic

Per aclarir la relació entre l'estructura de pressió generada per la interacció orogràfica i el flux atmosfèric, i per saber perquè en alguns casos el vent arriba a Menorca i en altres no, es van realitzar una sèrie de simulacions amb dues versions del model numèric LAM de l'INM (0,91° i 0,455° latitud/longitud). Ambdues versions tan sols es diferencien en la resolució. La versió de major resolució, que té una representació dels Pirineus molt més acurada que la de menor resolució, dona millors resultats que la de baixa resolució (García-Moya et al., 1992), la qual cosa també confirma l'origen orogràfic de la tramuntana. Les simulacions realitzades amb la baixa resolució van donar una descripció de la tramuntana molt pobre, amb màxims de vent de 25-35 kt (es van observar 55-60 kt) i molt desplaçats cap al sud (figura 4 (a)). Aquesta versió no va presentar línia de cisallament. En canvi les simulacions amb alta resolució (figura 4 (b)) van donar molt millors resultats (amb màxims de vent de 45 km), més ben situats, i una marcada línia de cisallament.

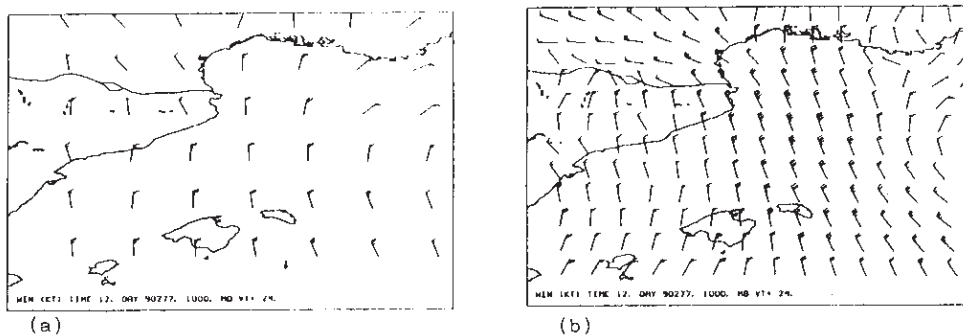


Figura 4: Vent (WIN) per la simulació del dia 5 d'octubre a les 12 UTC amb les versions de 0,91° (a) i 0,455° (b). Unitats en kt.

Amb aquestes simulacions es va realitzar un diagnòstic dinàmic dels diferents termes de l'equació del moviment horitzontal, suposant estacionarietat. De l'equació de moviment horitzontal es deriva que les contribucions a l'acceleració del vent es deuen a la contribució del gradient de pressió, a la força de Coriolis i a altres termes entre els quals destaca el fregament.

Acceleració del vent = gradient de pressió + Coriolis + fregament

$$\frac{d\vec{v}}{dt} = -\nabla_h \Phi - f \vec{k} \times \vec{v} + \vec{R}$$

Es van calcular la component tangencial (que provoca el canvi en el mòdul de la velocitat) i la normal (responsable del canvi de la direcció del vent).

Component tangencial:

Acceleració tangencial = projecció sobre el vent del gradient de pressió + projecció sobre el vent del fregament

$$PAV = PPV + PRV$$

Component normal:

Acceleració normal = projecció sobre la normal al vent del gradient de pressió + projecció sobre la normal del fregament + Coriolis

$$PAN = PPN + PRN + C$$

La versió de baixa resolució va donar un màxim d'acceleració tangencial al golf de Lleó (responsable del màxim de vent), però el seu valor va ésser aproximadament de la meitat de l'observat i es trobava bastant desplaçat corrent avall (figura 5 (a)). En canvi la versió de major resolució (figura 5 (b)) va donar un valor màxim semblant a l'observat, una mica més al nord que la simulació de baixa resolució, si bé encara un poc desplaçat corrent avall respecte a l'observat. Pel que fa a l'acceleració tangencial deguda al gradient de pressió, la versió de baixa resolució (figura 6 (a)) va donar un màxim lligat al gradient de pressió observat a l'extrem oriental dels Pirineus, just a la sortida del golf de Lleó. La versió de major resolució (figura 6 (b)) va presentar la mateixa estructura, però més intensa. Aquesta acceleració deguda al gradient de pressió en les dues versions es va compensar en part amb el fregament. Ambdues simulacions van donar valors intensos sobre terra i dèbils sobre el mar. És important remarcar que en el cas en el qual el vent va arribar a Menorca, es va observar un màxim secundari situat al voltant de les illes. Aquest segon màxim suposa que el vent es mantingui i pugui arribar amb intensitat fins a aquesta zona.

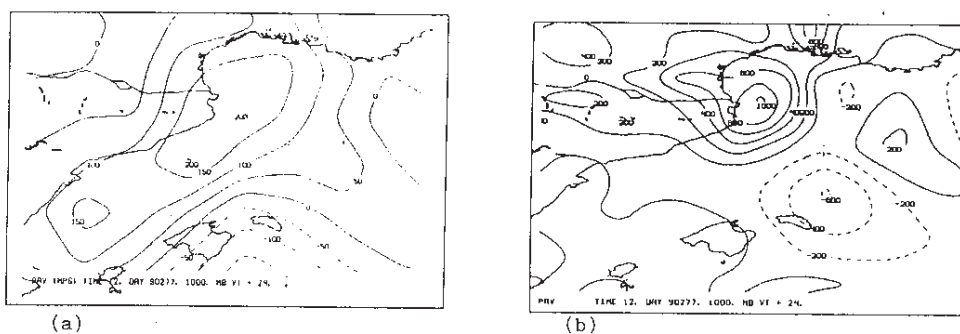


Figura 5: Acceleració tangencial total (PAV) per la simulació del dia 5 d'octubre a les 12 UTC amb les versions de 0,91° (a) i 0,455° (b). Unitats en 10^{-6} ms^{-1} (Campins et al, 1995).

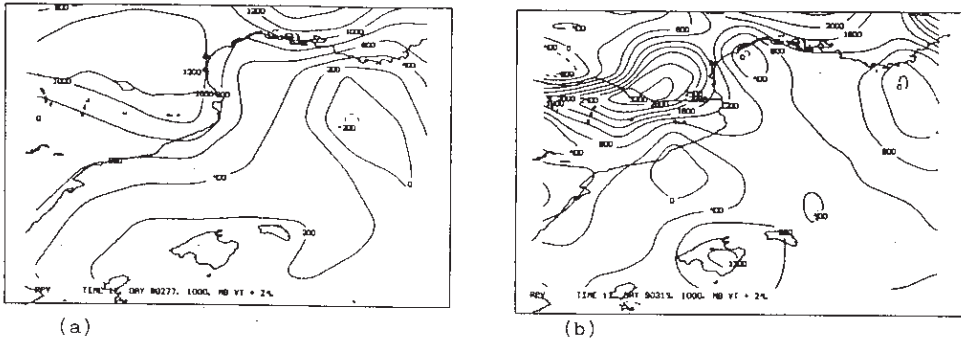


Figura 6: Acceleració tangencial del gradient de pressió (PPV) per la simulació del dia 5 d'octubre a les 12 UTC amb les versions de $0,91^\circ$ (a) i $0,455^\circ$ (b). Unitats en 10^{-6} ms^{-1} (Campins et al, 1995).

Pel que fa als components normals, és a dir, els responsables dels girs (amb valors positius per a girs ciclònics i negatius per als anticiclònics), es va observar que a la zona de la tramuntana dominava l'efecte de curvatura de la força de Coriolis (amb gir anticiclònic) sobre el del gradient de pressió (gir ciclònic). Els valors obtinguts es van apropar més als observats amb la simulació d'alta resolució que als observats amb la de baixa resolució, si bé sempre lluny dels observats (figures 7(a) i 7(b)).

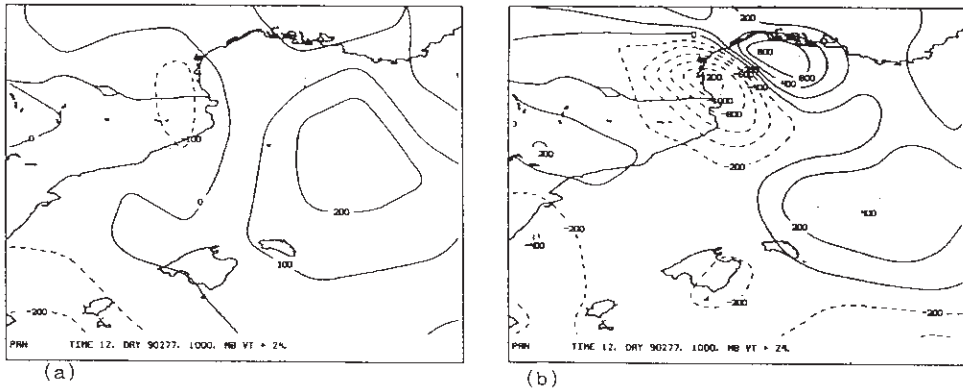


Figura 7: Acceleració normal total (PAN) per la simulació del dia 5 d'octubre a les 12 UTC amb les versions de $0,91^\circ$ (a) i $0,455^\circ$ (b). Unitats en 10^{-6} ms^{-1} (Campins et al, 1995).

Conclusió

En aquest article s'ha repassat la valuosa contribució feta per J. M. Jansà a l'estudi de la tramuntana. Des dels seus primerencs estudis s'ha avançat en el coneixement d'aquest vent, sobretot els darrers anys i gràcies a l'experiment PYREX. En aquest sentit, s'han presentat, d'una banda, observacions realitzades de diferents aspectes que caracteritzen la tramuntana i, de l'altra, un estudi dinàmic sobre aquest vent. De la intercomparació dels resultats obtinguts amb dues versions del model numèric LAM-INM i amb les dades observades, es va concloure el següent model conceptual de tramuntana en el cas estacionari:

La tramuntana és un vent accelerat i llavors desaccelerat. L'acceleració és deguda al gradient de pressió, fruit de la interacció del corrent d'aire amb els Pirineus. Una vegada l'acceleració ha cessat, el flux de vent es mou Mediterrani endins per inèrcia, i va perdent força pel fregament amb la mar. Si troba, en el seu camí, un gradient de pressió favorable, pot arribar lluny dels Pirineus.

Referències

- Bessemoulin, P.; Bougeault, P.; Genovés, A.; Jansà, A.; Puech, D. (1993). «Mountain pressure drag during PYREX». *Beitr. Phys. Atmosph.*, 66, 305-325.
- Bougeault, P.; Jansà, A.; Attie, J. L.; Beau, I.; Benech, B.; Benoit, R.; Bessemoulin, P.; Caccia, J. L.; Campins, J.; Carissimo, B.; Champeaux, J. L.; Crochet, M.; Druilhet, A.; Durand, P.; Elkhalfi, A.; Flamant, P.; Genovés, A.; Georgelin, M.; Hoinka, K. P.; Klaus, V.; Koffi, E.; Kotroni, V.; Mazaudier, C.; Pelon, J.; Petitdidier, M.; Pointin, Y.; Puech, D.; Richard, E.; Satomura, T.; Stein, J.; Tannhauser, D. (1993). «The atmospheric momentum budget over a major mountain range: first results of the PYREX field program». *Ann. Geophysicae*, 11, 395-418.
- Campins, J.; Jansà, A.; Benech, B.; Koffi, E.; Bessemoulin, P. (1995). «PYREX Observation and Model Diagnosis of the Tramontane Wind». *Meteorol. Atmos. Phys.*, 56, 209-228.
- Fontserè, E. (1950). *La Tramuntana Empordanesa i el Mestral de Sant Jordi*. Institució Patxot, Ginebra.
- García-Moya, J. A.; Albarrán, B.; Rodríguez, E. (1992). *Experimentos numéricos sobre situaciones PYREX usando diferentes versiones del LAM*. Nota tècnica núm. 21. Servicio de Predicción Numérica. Madrid.
- Jansà, A. (1976). *Análisis del viento en Menorca*. Sèrie A, 64. SMN. Madrid.
- (1979). «Climatologia de Menorca». *Enciclopèdia de Menorca*. OCB. Maó.
- (1987). «Distribution of the Mistral. A satellite observation». *Meteorol. Atmos. Phys.*, 36, 201-214.
- Jansà, J. M. (1933). *Contribución al estudio de la Tramontana en Menorca*. Sèrie A, 3. SMN. Madrid.
- (1943). *Notas para una Climatología de Menorca (Islas Baleares). Vientos en altura*. Sèrie A, 12. SMN. Madrid.
- Mengel, M. O. (1934). «Extension du Mistral en Méditerranée». *La Météorologie*, 482-485.
- Reiter, E. (1975). *Handbook for forecasters in the Mediterranean; Weather phenomena of the Mediterranean basin*. Naval Environmental Prediction Research Facility Master, Tech. Pap. 5/75.