

CONVERGENCIA HORIZONTAL DE MASA Y SU INFLUENCIA EN LA FORMACIÓN DE NIEBLAS EN EL AEROPUERTO DE MADRID-BARAJAS

HORIZONTAL MASS CONVERGENCE AND ITS INFLUENCE ON FOG FORMATION IN MADRID-BARAJAS

Darío Cano¹, Javier Casado², Enric Terradellas³, Ignacio Palacios¹, Cecilia Soriano⁴

⁽¹⁾Instituto Nacional de Meteorología, C.M.T. en Madrid y Castilla la Mancha. Madrid. Email: dario@inm.es, nacho@inm.es

⁽²⁾Instituto Nacional de Meteorología, C.M.T. en Madrid y Castilla la Mancha. Madrid. Email: jefelemd@inm.es

⁽³⁾Instituto Nacional de Meteorología, C.M.T. a Catalunya. Barcelona. Email: enric@inm.es

⁽⁴⁾Universitat Politècnica de Catalunya. Depto. Matemática Aplicada I. Barcelona. Email: cecilia.soriano@upc.edu

SUMMARY

This contribution investigates the formation of katabatic winds in the surroundings of the airport of Madrid-Barajas and its relationship with fog formation. The establishment of convergence flows and its associated upward motions have been confirmed using different techniques (remote sensing, modelling and analysis of observations). This knowledge has contributed to the improvement of the 1D model currently used for short-term fog forecast.

1. INTRODUCCIÓN

El Instituto Nacional de Meteorología (INM) está, desde hace tiempo, dedicando esfuerzos a la investigación de los fenómenos relacionados con la formación de nieblas en el aeropuerto de Madrid-Barajas y a su predicción. Los diversos estudios realizados han puesto de manifiesto la estrecha vinculación entre estas nieblas y el establecimiento de un flujo de vientos catabáticos en la región, en un contexto sinóptico de advecciones atlánticas o mediterráneas.

Un modelo conceptual de vientos catabáticos sugirió la existencia de una convergencia horizontal de masa en la zona del aeropuerto de Barajas, situado en la confluencia de varios valles.

Una primera comprobación de los hechos se obtuvo a partir de estimaciones de velocidad vertical obtenidas por un radar Doppler. Posteriormente, simulaciones realizadas para la región con un modelo de mesoescala a alta resolución, reprodujeron la existencia de zonas de convergencia asociadas a movimientos ascendentes.

Finalmente, la convergencia horizontal del viento durante los episodios de flujo catabático, ha sido confirmada a partir de los datos registrados por 6 sensores ubicados en el aeropuerto, mediante el cálculo de flujos a través del contorno que los delimita.

2. ENTORNO MESOESCALAR DEL ÁREA DE ESTUDIO

La región se halla situada en la cuenca alta del Tajo, desde su nacimiento en la Serranía de Cuenca (Sistema Ibérico) hasta la confluencia con el sistema fluvial del río Jarama. Se trata de un amplio valle de dimensiones meso-beta según la clasificación de Orlanski, que transcurre en una dirección Noreste – Suroeste, entre el Sistema Ibérico y el Sistema Central (Figura 1).

Cinco ríos vienen a converger en la parte más baja del área considerada: el Henares, el Manzanares y el Jarama, procedentes del sistema Central, y el Tajo y el Tajuña procedentes del Sistema Ibérico.

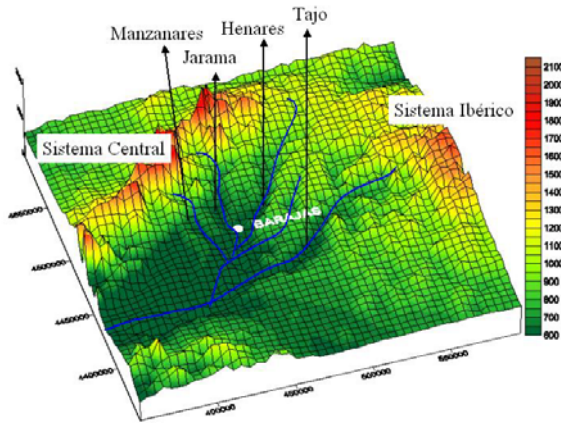


Figura 1. Entorno mesoescalar de la zona de estudio. En líneas azules se representan las principales cuencas fluviales y en distintos colores las altitudes en metros.

3. MODELO CONCEPTUAL DE BRISAS DE MONTAÑA EN EL ÁREA DE MADRID

Estudios realizados en el Centro Meteorológico en Madrid y Castilla - La Mancha han puesto de manifiesto que las brisas de montaña constituyen un fenómeno omnipresente en esta región que se encuentra completamente rodeada por accidentes montañosos.

Las brisas de montaña son la consecuencia de un desajuste en la distribución de densidad del aire que se produce al calentarse o enfriarse éste de manera diferencial como consecuencia de la topografía del terreno. En las cumbres, los calentamientos y enfriamientos son más rápidos que en los valles, provocando un flujo de caída o catabático durante la noche, y uno de subida o anabático durante el día.

Este trabajo se centra en los vientos de caída: el drenaje catabático, también conocido en Castilla como "marea". La importancia de estos flujos no radica tanto en la fuerza del viento, que en la mayoría de los casos es muy débil, sino en el moldeado de la circulación en superficie y la generación de áreas de convergencia. Es destacable, sobre todo, el papel que desempeñan en la distribución de los contaminantes y en la formación de nieblas en la región. (Aguado et al. 1998)

El modelo conceptual (Figura 2) ha sido desarrollado a partir del análisis climatológico de las observaciones disponibles: estaciones de superficie, radiosondeo, radar e imágenes de satélite. Podría resumirse de la siguiente forma:

- Es un viento flojo -menos de 3 ms^{-1} - que sigue la dirección de los valles. Comienza a última hora de la tarde y puede durar -según la estación del año- hasta más allá de la madrugada. Tiene una profundidad de unos 500 m. Por encima de este nivel un flujo de

retorno irá en sentido contrario. Este flujo advecta una masa más fría y seca.

- Una corriente ascendente desde el fondo del valle forzada por la convergencia en superficie de los flujos que descienden de los dos sistemas montañosos.

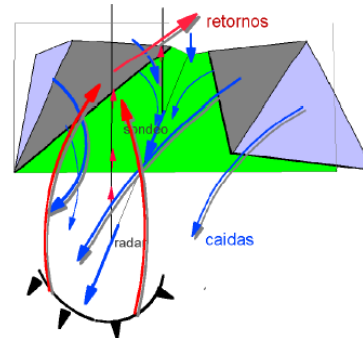


Figura 2. Modelo conceptual tridimensional de flujos catabáticos sobre el área de Madrid. Con flechas azules se representan los flujos de caída y con flechas rojas los flujos de retorno y los ascensos desde el fondo del valle forzados por la convergencia de los flujos de caída. En negro se representa el frente de brisa que avanza por la cuenca del Tajo.

4. MODELO CONCEPTUAL DE FORMACIÓN DE NIEBLAS EN LA MESETA MERIDIONAL DE LA PENÍNSULA IBÉRICA.

Los estudios sobre nieblas desarrollados en el Centro Meteorológico en Madrid y Castilla-La Mancha, han puesto en evidencia que, en gran medida, en las situaciones de niebla entran en conjunción dos mecanismos mesoescalares: flujos catabáticos y advecciones cálidas de procedencia marítima. (D. Cano et al. 2001). Las zonas de convergencia de las masas de aire dirigidas por cada uno de los mecanismos señalados, son especialmente favorables a la formación de nieblas, aunque no son descartables en todo el área de advección cálida.

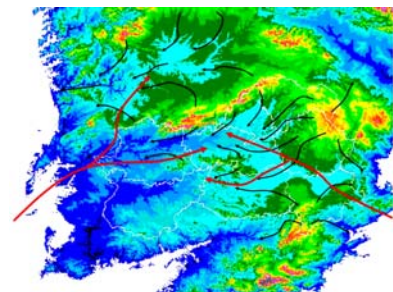


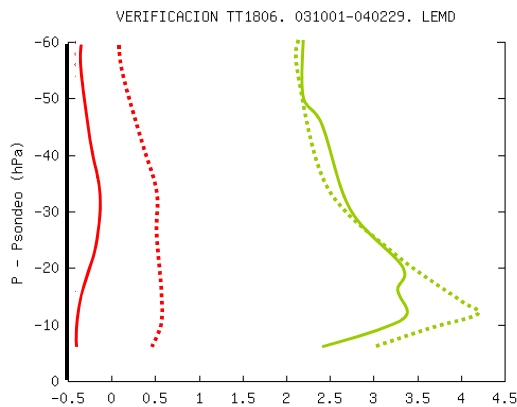
Figura 2. Esquema del modelo conceptual de formación de nieblas en la Meseta Central de la Península Ibérica. Sobre el mapa de orografía se representan: con flechas negras los flujos catabáticos, y con flechas rojas las advecciones marítimas.

5. EL MODELO UNIDIMENSIONAL H1D

Para la predicción de niebla, el INM usa actualmente una versión 1D del modelo HIRLAM (H1D). En este modelo, los términos dependientes de la estructura horizontal de la atmósfera se estiman a partir de los productos de las pasadas operativas de HIRLAM 3D. No obstante, los vientos catabáticos no son bien representados por el modelo 3D, cuya resolución no es suficiente para reproducir fenómenos de esta escala. Consecuentemente, tampoco el modelo 1D consigue generar estos vientos catabáticos.

Para resolver el problema, bajo determinadas condiciones, en el modelo H1D los forzamientos del modelo 3D se sustituyen por otros estimados a partir del modelo conceptual de vientos catabáticos.

La experiencia adquirida ha puesto en evidencia la fuerte sensibilidad del modelo H1D al perfil de velocidades verticales. El conocimiento del perfil típico de velocidades verticales en el seno de un flujo catabático mejora considerablemente los resultados del modelo H1D.

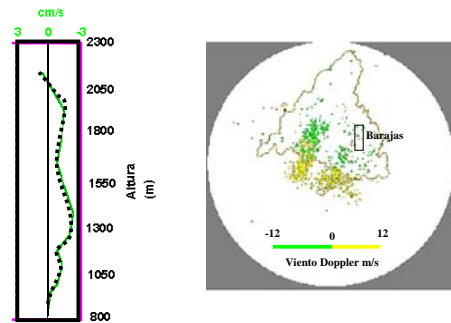


Verificación del perfil de temperatura de los primeros 600 metros del modelo H1D 18+6 frente al sondeo de las 00 horas. En rojo se representa el Bias y en verde el error cuadrático medio (ECM). Con línea continua se representa la verificación cuando se ha tenido en cuenta el catabático.

5. MEDIDAS CON EL RADAR DOPPLER DE MADRID.

Durante las noches despejadas es frecuente observar señales en el Radar Doppler de Madrid. Aunque no está muy claro cuáles son los blancos que detecta el radar, probablemente remolinos de pequeña escala o microturbulencias (Francisco García, 2004), lo cierto es que la señal siempre se corresponde con un suave flujo procedente del nordeste.

Climatologías del producto VAD para meses de verano, mostraron un perfil de velocidades ascendentes en los niveles bajos de unos 2 cm/s.



Velocidad vertical media durante 3 meses de verano alas 00 horas medida con la técnica VAD (Velocity Azimuth Display) del radar Doppler de Madrid. A la izquierda, imagen obtenida en una noche despejada.

5. SIMULACIONES CON EL MODELO TAPM (THE AIR POLLUTION MODEL).

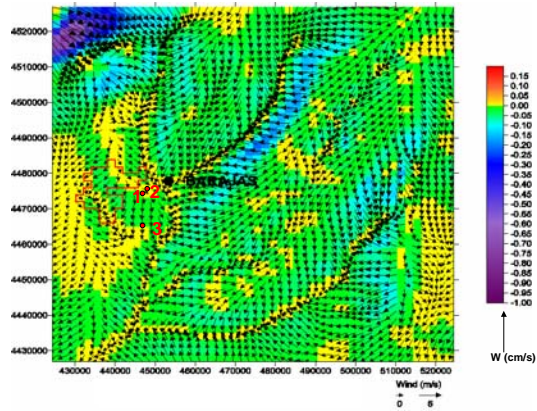
Se trata de un modelo desarrollado por el grupo de investigación atmosférica del CSIRO (Commonwealth Scientific and Industrial Research Organisation), en Australia (Hurley P. 2002).

Es un modelo no-hidrostático que resuelve las ecuaciones primitivas que describen las variables atmosféricas sobre una malla tridimensional cuya coordenada vertical sigue el trazado del terreno (*terrain-following*). Perteneció al grupo de modelos específicamente diseñados para estudiar el rango meteorológico de la mesoescala. Es por ello que utiliza bases de datos de topografía y usos de suelo (por defecto las del US- Geological Service) para caracterizar detalladamente el terreno y los parámetros del mismo que afectan a la evolución de la situación meteorológica.

En la aplicación concreta que se presenta en esta contribución, se utilizaron cuatro dominios anidados de 50x50x30 celdas con resoluciones de 30, 10, 5 y 2 km de paso de malla, centradas aproximadamente en la zona del aeropuerto de Madrid-Barajas. Las figuras de salidas de TAPM que se muestran en este artículo corresponden a los resultados sobre la malla más interior (2 km de resolución). La simulación se inició a las 00 UTC del día 16 de enero de 2003, y se extendió durante 48 horas.

El modelo TAPM consigue reproducir satisfactoriamente las características de la circulación del viento catabático en la zona de

estudio. El aire sigue con exactitud el terreno, desplazándose hacia las cotas más bajas, el fondo de los valles, allí converge y se eleva. A 500 m sobre el terreno la circulación es ya del noroeste en todo el área. La convergencia de flujos en el fondo de los valles provoca la elevación del aire, tal y como predecía el modelo conceptual descrito anteriormente. La Figura muestra cómo las líneas de convergencia que el modelo ha generado coinciden con franjas con velocidad vertical positiva.



Vientos y velocidad vertical a 30m sobre el terreno previstos a las 6 de la mañana del día D+1 por el modelo TAPM (la simulación se ha realizado con una resolución de 2 km). Las celdas rojas son el área metropolitana de Madrid

Los valores obtenidos por el modelo TAPM (Figura 10) vienen a verificar los valores usados en el forzamiento del modelo unidimensional. La Figura muestra los perfiles verticales de velocidad vertical (w) extraídos para la celda 2x2 correspondiente a la localización de Barajas. Los perfiles de horas nocturnas muestran un progresivo aumento de la velocidad vertical, que alcanza valores máximos hasta 4-5 cm/s.

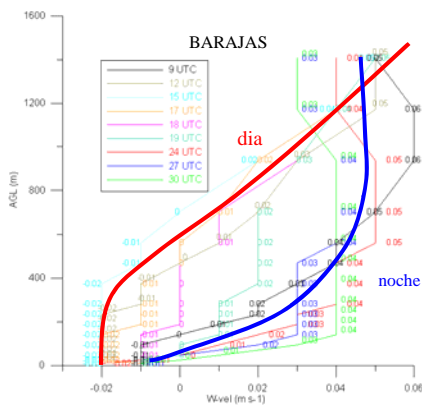


Figura 10 Valores de la velocidad vertical obtenidos por las predicciones del modelo TAPM. Con líneas gruesas se representa la velocidad vertical media durante el día y la noche

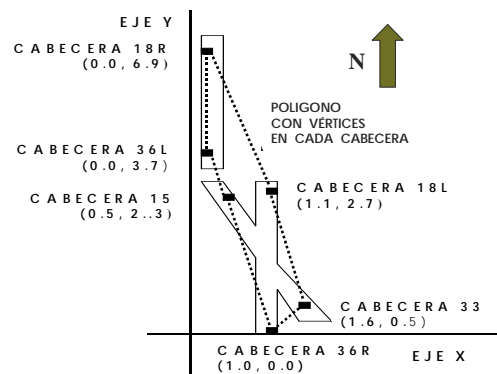
6. CONVERGENCIA MEDIDA CON LOS DATOS DE VIENTO DEL AEROPUERTO.

La idea surge de dos hechos que nos resultaban obvios, por un lado la sensibilidad del modelo a las modificaciones de la divergencia y por otro el elevado número de sensores de viento que tiene el aeropuerto.

En el presente trabajo se estudia la influencia que algunas circulaciones de viento características ejercen en las condiciones meteorológicas del aeropuerto a través de la divergencia horizontal de masa y, en consecuencia, del desarrollo de movimientos verticales.

Para el cálculo de la divergencia hemos partido de la relación entre la divergencia de la velocidad y el flujo a través de una superficie de acuerdo con el teorema de Gauss.

Tomando el aire como un fluido incompresible, y si consideramos el área del aeropuerto como área unidad, la divergencia horizontal de la velocidad será igual al flujo de la velocidad en esa área. Para calcular el flujo descomponemos los valores de la velocidad en sus componentes (U_i , V_i) y enmarcamos el polígono con sus coordenadas (X_i , Y_i) medidas en km, de acuerdo con el esquema de la figura 3.



Plano de pistas y polígono para el cálculo del flujo. Coordenadas (en km) de los anemocinógrafos.

Suponemos ahora que la componente media del viento entre dos puntos toma el valor medio de sus componentes y que el flujo entre dos puntos es ese valor medio multiplicado escalarmente por la distancia entre ellos y por el vector unitario perpendicular a la línea que los une. Para un conjunto de seis puntos como los estudiados el flujo medio será:

$$F = 1/2 (y_{i+1}-y_i)(u_{i+1}-u_i) - 1/2 (x_{i+1}-x_i)(v_{i+1}-v_i)$$

Se han utilizado datos semihorarios de los años 2003 y 2004 y se ha analizado la evolución temporal de la divergencia. Los resultados están siendo analizados, pero los primeros indicios son muy satisfactorios. La primera aportación significativa es la simplificación del estudio del viento, un solo número nos aporta una visión general del comportamiento del campo de vientos en el área del aeropuerto. Además añade un valor extra al informar de la divergencia del campo.

Evolución semihoraria de la divergencia del viento en Barajas para una decena de verano y una de invierno. Las flechas se corresponden con los valores predominantes del vector viento en el anemómetro situado en la cabecera 33. Su orientación indica la dirección, su longitud la fuerza máxima y su posición en la gráfica el momento aproximado de giro. En los recuadros inferiores del área de trazado aparecen los fenómenos meteorológicos significativos.

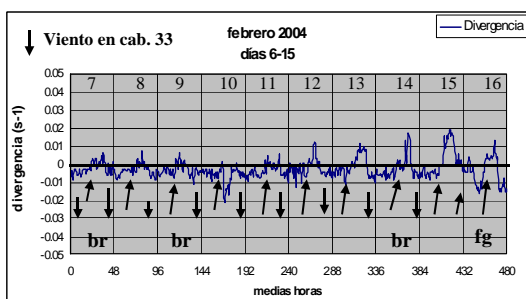


Gráfico 2
Valor de la divergencia del 6 al 15 de febrero.

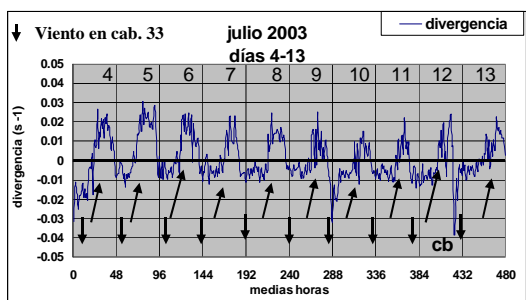


Gráfico 1
Valor de la divergencia del 4 al 13 de julio.

Los valores de la divergencia confirman las predicciones del modelo conceptual de brisas de montaña para el aeropuerto y aportan nuevos datos:

- 1.- Hay un ciclo diurno de la divergencia. Durante la noche convergencias (catabático) y durante el día divergencias (anabáticos).
- 2.- Los valores nocturnos de la convergencia son parecidos durante todo el año, mientras que los

valores diurnos de las divergencia aumentan en verano.

3.- La formación de niebla suele venir precedida por la ruptura temporal de la célula de brisa debido a entradas de aire más húmedo del sur durante la tarde-noche

Por la noche, en condiciones de estabilidad, la fuerte estratificación vertical de temperatura potencial, humedad específica y viento implica que pequeñas alteraciones en la velocidad vertical redunden en fuertes variaciones en las advecciones y, en consecuencia, en la evolución temporal de las magnitudes meteorológicas. Así pues, el desarrollo de fenómenos meteorológicos asociados a situaciones de estabilidad, la niebla en particular, estará muy modulado por el perfil de velocidades verticales y, por tanto, del campo de divergencias horizontales de masa asociado a determinados patrones de circulación.

Las situaciones de fuerte estabilidad suelen estar relacionadas con gradientes horizontales de presión débiles y vientos flojos. Por ello, en estas situaciones, la orografía del terreno juega un papel fundamental en el desarrollo de circulaciones de pequeña escala con zonas de fuerte convergencia o divergencia y, por tanto, con considerables velocidades verticales. La presencia de una orografía que no es especialmente escarpada, pero que sí es notablemente compleja, contribuye en gran medida al desarrollo de estas circulaciones.

CLIMATOLOGIA DEL RADAR EN AIRE CLARO

Francisco García García
SED del CMT en Galicia. INM

http://www.inm.es/web/sup/ciencia/divulga/vsimposio/trabajos/pdf/C26-COR_Radar_aire_claro.pdf

DATOS DE VIENTO VAD (VELOCITY AZIMUTH DISPLAY): CARACTERIZACIÓN

<http://ame-web.org/JORNADAS/conejo.pdf>

[C. Soriano, R.M. Soler, D. Pino, M. Alarcón and D. Physick, 2002. Modeling Different Meteorological Situations in Catalonia, Spain, with MM5 and TAPM mesoscale models. 8th. International Conference on Harmonisation within](#)

[Atmospheric Dispersion Modelling, for Regulatory Purposes, Sofia \(proc.\)](#)

[C. Soriano, D. Cano, E. Terradellas y B. Physick, 2004. Estudio de la formación de vientos catabáticos en la región de Madrid mediante la simulación con un modelo de mesoescala a alta resolución. XXVIII Jornadas Científicas de la AME. Badajoz.](#)

[C. Soriano, D. Cano, E. Terradellas and B. Physick, 2004. Prediction of fog episodes at the airport of Madrid-Barajas using different modelling approaches. 9th. International Conference on Harmonisation within Atmospheric Dispersion Modelling for Regulatory Purposes, Garmisch-Partenkirchen, Alemania](#)

[D. Cano and E. Terradellas, 2002. Short-term forecasting methods of fog, visibility and low clouds in Spain. An inventory. COST Action 722. Working Group i\). National Report of Spain \(unpubl.\).](#)

ESTUDIOS DE NIEBLAS REALIZADOS EN EL C.M.T EN MADRID Y CASTILLA LA MANCHA

D. Cano Espadas, I. Palacio García, B. Téllez Jurado y J. Albaladejo Giménez

http://www.inm.es/web/sup/ciencia/divulga/vsimposio/trabajos/pdf/B11-MAD_Nieblas.pdf