

El clima nocturno en Mallorca, o como comprender la complejidad a través de una simulación

PALABRAS CLAVE:
meteorología
nocturna, niebla,
heladas, vientos
locales, simulación
a alta resolución,
verificación

Miembros del grupo de Meteorología del Departamento de Física de la UIB han desarrollado simulaciones mediante un modelo numérico con las que han podido caracterizar las zonas de acumulación de aire frío, propensas a la formación de heladas y niebla, además de evaluar los transportes de masa y energía en las cuencas (contaminantes, por ejemplo) y conocer al detalle el ciclo diurno de las variables meteorológicas que pueden informar, por ejemplo, de las áreas más adecuadas y menos favorables para instalar un parque de energía eólica o donde aconsejar o desaconsejar ciertos cultivos

KEYWORDS:
nocturnal
meteorology, fog,
frost, local winds,
high resolution
simulations,
verification



Introducción

Miembros del grupo de Meteorología del Departamento de Física de la Universitat de les Illes Balears participan en un proyecto de estudio de la Capa Límite Atmosférica (la más cercana a la

superficie terrestre) mediante la simulación, el análisis de datos y de imágenes de satélite para las Islas Baleares y otras zonas de su entorno. Mediante este estudio se pretende caracterizar las zonas de acumulación de aire frío propensas a la formación de heladas y nieblas, evaluar los transportes de masa y

energía en las cuencas y conocer al detalle el ciclo diurno de las principales variables meteorológicas.

La investigación, iniciada con un proyecto financiado por el Gobierno de les Illes Balears y continuada en el marco de los proyectos INTERCLE y VERIMESO, está financiada por el Ministerio de Ciencia y Tecnología desde el año 2002, siendo el investigador responsable el doctor Joan Cuxart. El equipo se completa con la doctora Maria Antònia Jiménez, y los investigadores Antoni Mira, Daniel Martínez y Àngel Luque, y cuenta con la colaboración del doctor José Antonio Guijarro del Centro Meteorológico de les Illes Balears y el asesoramiento del doctor Sergio Alonso, catedrático de la UIB. Ambos proyectos también comparten una segunda línea de investigación básica, centrada en la turbulencia atmosférica.

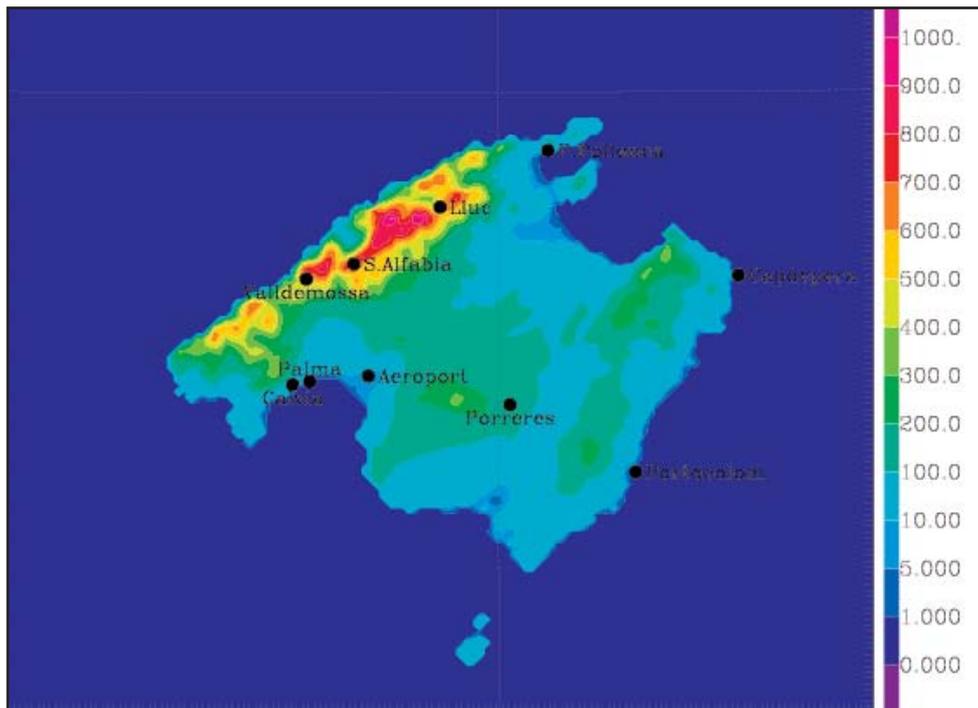
Clima de día, clima de noche

En ausencia de fenómenos meteorológicos significativos, como el paso de un frente, tormentas o vientos de gran intensidad, la meteorología de una zona determinada es gobernada por el llamado ciclo diurno. Al salir el Sol, la tierra empieza a calentarse y, ésta a su vez, calienta el aire situado

inmediatamente encima de ella. Paulatinamente desaparece la capa de aire frío que se forma durante la noche y se establece un régimen de convección. Los ascensos de aire caliente superficial (térmicas), dependiendo de la intensidad del calentamiento, suelen alcanzar una altura de entre 1 (invierno) y 3 kilómetros (verano). Este sistema de térmicas se mantiene durante todo el día, mientras persiste la insolación. Por encima de las térmicas, y si hay suficiente humedad, pueden formarse nubes de tipo "Cúmulus" que son frecuentes en el centro de las islas en los días de verano.

Cuando se pone el Sol, el calentamiento de la capa de aire situada sobre el suelo cesa y las térmicas desaparecen. La tierra y el aire con el que está en contacto se enfrían y emiten radiación hacia el espacio. Sin embargo, la tierra lo hace más rápidamente y el aire más frío - por conducción desde el suelo - se acumula sobre la superficie, creándose una zona de inversión de un espesor de entre 30 y 90 metros en la que aumenta la temperatura con la altura. La temperatura puede descender más de diez grados en el transcurso de la noche, dando lugar, entre otoño y primavera, a heladas y nieblas en los puntos donde ese descenso de temperatura es más acusado. Resulta evidente, entonces, el impacto social

Figura 1. Distribución de la red de estaciones meteorológicas automáticas (EMA) del Instituto Nacional de Meteorología en Mallorca. En estas estaciones se obtienen datos de diferentes variables meteorológicas (dirección y velocidad del viento a 10m, temperatura y humedad del aire a 2m, presión atmosférica en superficie, etc.) cada 10 minutos.



y económico de estos fenómenos nocturnos, que afectan a la agricultura (heladas), a la seguridad en el transporte (niebla) y al consumo energético (frío intenso).

Este ciclo diurno descrito tiene lugar en cualquier lugar del mundo, pero resulta modificado por las circunstancias locales, especialmente el relieve orográfico, los usos del terreno o la proximidad del mar. Si existen variaciones espaciales en los usos del terreno, como por ejemplo zonas irrigadas cerca de zonas sin irrigación, el enfriamiento o el calentamiento de cada zona será diferente y se crearán circulaciones de aire entre ambas áreas. Lo dicho se hace especialmente evidente en áreas próximas al mar, o a grandes lagos. El agua casi mantiene inalterable su temperatura durante un ciclo diurno, mientras que la temperatura de la tierra presenta grandes oscilaciones. Estas diferencias provocan que de día se establezcan brisas de mar hacia tierra y de noche de tierra hacia el mar.

Si, además, la zona de estudio tiene un relieve significativo, de día las vertientes de las cordilleras pueden calentarse más que las valles y forzar la convección sobre las montañas; mientras que de noche, el aire se enfría más rápidamente en las pendientes y cae hasta los valles (vientos catabáticos) donde se acumula junto con el aire que se enfría localmente. Obviamente las circulaciones que se establezcan en una zona determinada en condiciones de buen tiempo -tiempo dominado por la presencia de un anticiclón, con vientos débiles y sin nubosidad- quedarán determinadas por las características locales de la zona, muy especialmente por su configuración orográfica y por la presencia o ausencia del mar o lagos.

¿Por qué un modelo de simulación?

Según advierte el doctor Cuxart, "el estudio del tiempo local en condiciones como las descritas es más difícil de lo que pudiera aparentar a primera vista. Estaciones de medida muy cercanas entre sí muestran evoluciones muy diferentes durante la noche, tanto para la temperatura como para el viento, y esas diferencias vienen determinadas por cómo se sitúan



Fotografía de la torre principal durante la campaña experimental CASES-99 (Octubre 1999; Kansas, Estados Unidos). A lo largo de los 55m de la torre hay diferentes sensores sónicos densamente repartidos. A partir de ellos se pueden obtener medidas de la temperatura, el viento, la humedad, pero también de otras variables turbulentas a alta frecuencia.

esas estaciones respecto de los obstáculos orográficos más cercanos. Además, en ocasiones, noches que parecen similares muestran evoluciones diferentes para un mismo punto de medida".

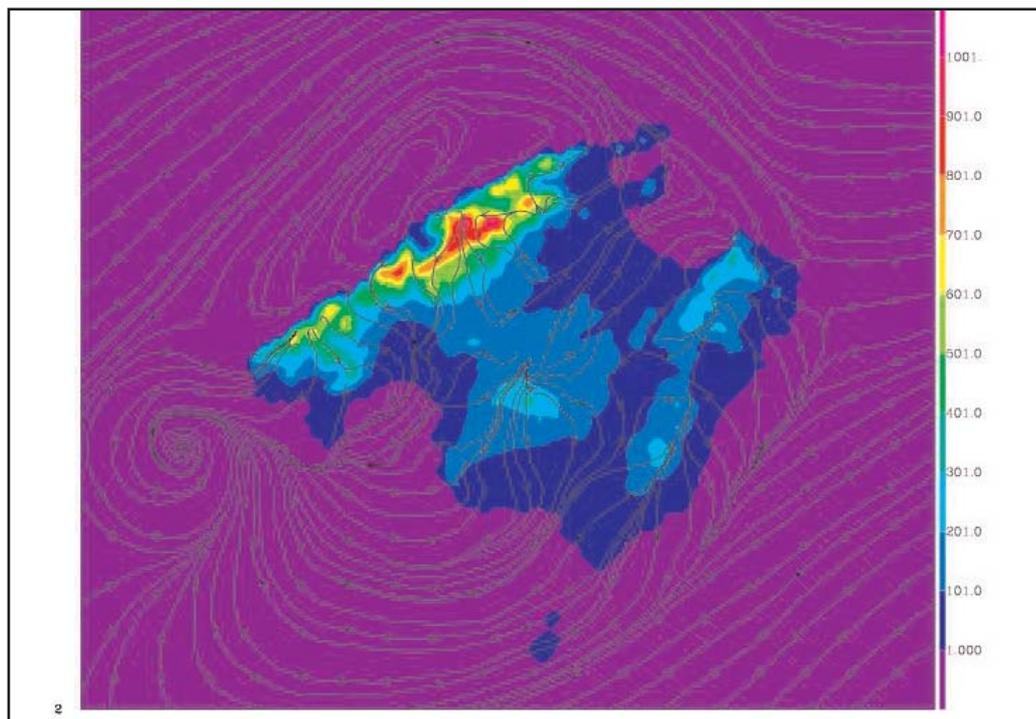
Si lo que interesa es conocer si la temperatura bajará por debajo de un determinado umbral, por debajo de una temperatura que es crítica, por ejemplo, para un cultivo; o si lo que interesa es saber si se formaran bancos de niebla que pueden afectar a un aeropuerto; o si el viento traerá consigo contaminantes que puedan afectar a una población, es preciso un pronóstico preciso de las condiciones nocturnas. Generar ese pronóstico no es en absoluto una tarea sencilla.

Para conseguir un diagnóstico así no es posible confiar solamente en las estaciones de medida ya que los datos que se hayan podido reunir de una noche sólo son válidos para una superficie reducida y en absoluto pueden ser extrapolados a una zona más extensa. Por otro lado, los modelos meteorológicos convencionales de pronóstico poseen una resolución demasiado baja (del orden de entre 20 y 50 kilómetros entre puntos) para que puedan capturar detalles en una región con orografía compleja. Se hace necesario, entonces, acometer estudios específicos en

situaciones adecuadas para poder conocer el comportamiento de la atmósfera en zonas cuyo pronóstico climático sea de especial interés social y económico. Y eso sólo es posible conseguirlo mediante simulaciones de alta resolución (de alrededor de un kilómetro en la escala horizontal y de pocos metros en la vertical), simulaciones como las desarrolladas por el equipo dirigido por el doctor Joan Cuxart.

El problema principal no es, hoy por hoy, generar este tipo de simulaciones tan complejas y costosas, un escollo que se puede vencer gracias a la potencia de cálculo de los ordenadores, sino, sobre todo, poder evaluar si los resultados obtenidos mediante esas simulaciones son realistas. "Si eso se consigue - afirma el doctor Cuxart- y el modelo resulta validado por un registro de datos, la simulación se convierte en un instrumento de gran valor y aplicabilidad, ya que puede informar en todo momento a los agentes interesados de las características del tiempo nocturno en su zona de actuación. Puede, por ejemplo, informar sobre las áreas más adecuadas para instalar un parque de energía eólica, o de las tierras menos aconsejables para ubicar un determinado tipo de cultivo".

Figura 2. Campo de líneas de corriente a 10m dibujadas sobre la orografía de la Isla. La escala de valores se encuentra a la derecha del gráfico, en metros. Las líneas de corriente representan la trayectoria que seguiría una partícula si la dejásemos bajo la influencia del campo de viento. Esta imagen corresponde al día 29 de abril de 2005 a las 00 UTC, es decir, a las dos de la madrugada (hora local).



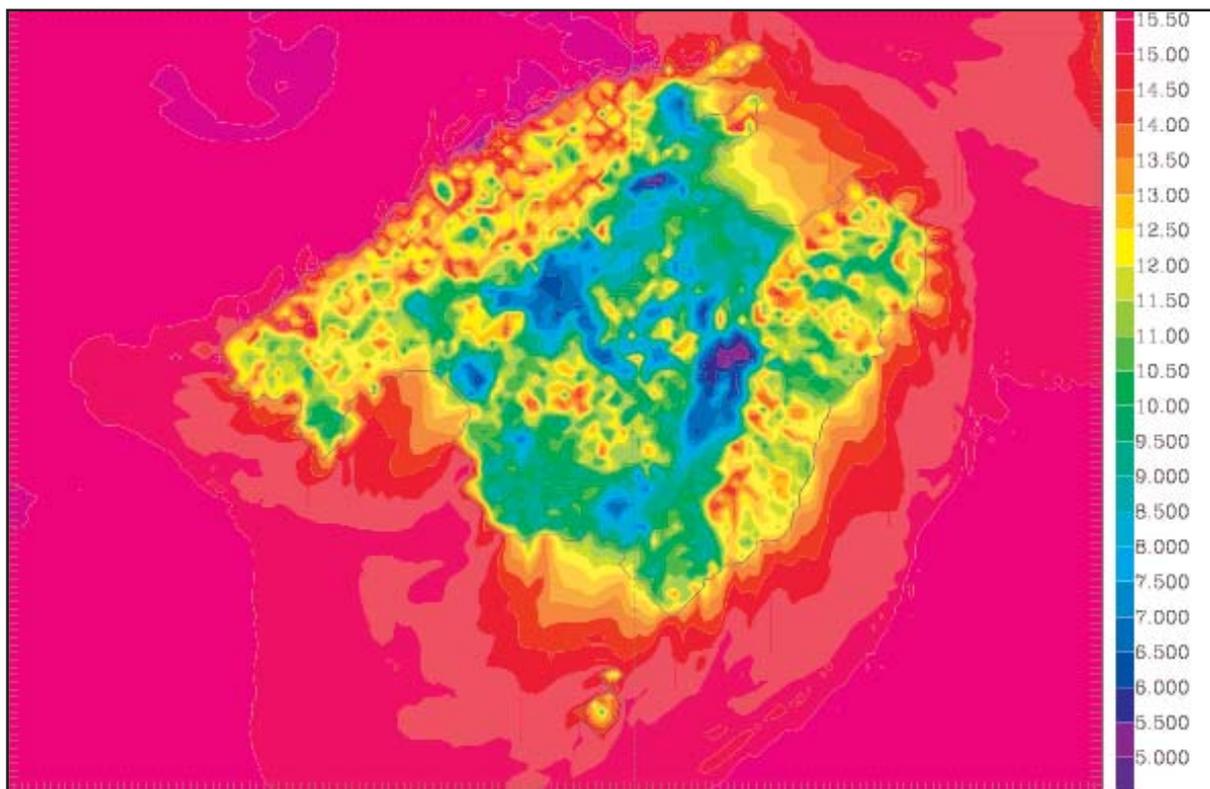


Figura 3. Temperatura del aire a 2m por encima del suelo, correspondiente a las 05 UTC de la noche mencionada en la figura 2 (correspondiente a las siete de la mañana, hora local). La escala de temperaturas, a la derecha del gráfico, viene dada en grados Celsius ($^{\circ}\text{C}$). Entre las 04 UTC y las 05 UTC se registraron las temperaturas mínimas esa noche.

El clima nocturno en Mallorca

El proyecto llevado a cabo por el equipo de investigadores del Grupo de Meteorología de la UIB se centra en la simulación de algunas noches en condiciones anticiclónicas sobre el archipiélago balear, con cielos serenos y vientos generales muy débiles. La intención es estudiar la circulación del aire cercano al suelo.

Para ello el equipo ha utilizado un modelo numérico de investigación -Meso-NH- y ha cubierto el archipiélago con una resolución de cinco kilómetros, con un dominio interior sobre la Isla de Mallorca de un kilómetro de resolución. La resolución vertical es muy elevada en niveles bajos (3 metros) con objeto de representar en detalle las circulaciones del aire en la capa más próxima al suelo. La simulación se extiende desde mediodía hasta la salida del Sol del día siguiente.

Pero, ¿cómo es posible generar una simulación de estas características? Los investigadores han tenido que partir de datos aportados por modelos ya en funcionamiento, que trabajan a escalas mayores,

normalmente de todo el globo terrestre. El proceso se inicia con la toma de datos en un instante de ese modelo global. Esos datos conformarán la condición inicial para la zona de estudio, interpolándolos a la resolución necesaria. También se utilizarán como condición de contorno durante la simulación.

A partir de la introducción de esos datos iniciales, la potencia del ordenador posibilita el cálculo de las ecuaciones que rigen la dinámica de un fluido como es el aire y lo hace para los millones de puntos de cálculo del dominio que se simula. Además, el modelo debe tener en cuenta las características del relieve de la Isla, la composición de los materiales (la porosidad de la roca, por ejemplo); los usos del terreno (cuando se trata de una zona urbanizada, o cultivada, o irrigada, o si se trata de un bosque); la proximidad del mar, etc. La simulación es capaz de ofrecer datos de temperatura, velocidad del aire y otras variables para más de un millón de puntos en cada intervalo de tiempo, dando lugar a una imagen dinámica de aquello que sucede en las capas más bajas de la atmósfera.

En la figura 1 se puede observar la Isla de Mallorca, con sus principales características orográficas: la

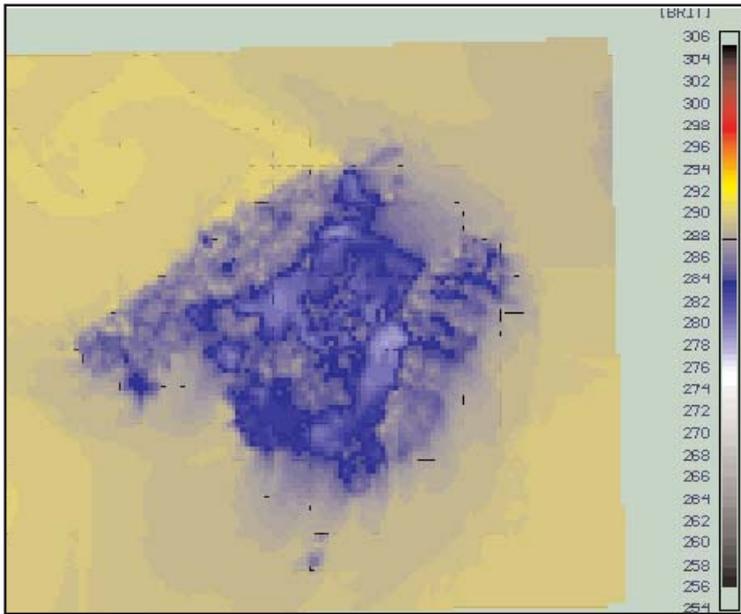


Figura 4. Imagen originada por la simulación. La Isla "expulsa" aire frío sobre las bahías. Incluso se puede ver que el aire expulsado a través de la depresión de Campos alcanza la Isla de Cabrera y - arriba a la derecha- indicios del aire frío de Menorca acercándose a la península de Artà.

Sierra de Tramuntana, las Sierras de Levante y la de Randa, que constituyen las principales vertientes: Palma, Campos, Alcúdia y costa de Levante. Las corrientes de aire en los niveles más bajos de la atmósfera se estructuran principalmente por cuencas. En la misma figura pueden verse las estaciones meteorológicas automáticas de las que dispone el Instituto Nacional de Meteorología. Se trata de diez estaciones, seis de las cuales se encuentran muy cerca del mar, tres se hallan en zona montañosa y sólo la de Porreres se halla en una zona relativamente homogénea de la Isla.

Los resultados de la simulación

Los resultados de la simulación desarrollada por el equipo de la UIB muestran como de noche -en la mayoría de las noches se podría decir - las corrientes frías que nacen en las montañas fluyen vertiente abajo hacia los valles donde se acumula el aire frío: son los llamados vientos catabáticos.

El conocido como terral o viento que sopla de tierra hacia el mar es una combinación del efecto de los catabáticos y del aire más frío situado sobre la isla que sopla sobre el mar, mucho más caliente que la tierra.

Más concretamente el modelo muestra que, para la noche estudiada, el viento general sobre la Isla sopla de componente Este pero se ve obligado a rodearla al

ser frenado por el flujo de viento catabático originado por la Sierra de Levante. En segundo lugar, la Sierra de Tramuntana actúa como un gran obstáculo orográfico que deja al resto de la Isla a resguardo. De esta manera, el interior de Mallorca queda en una zona de vientos de baja intensidad y las corrientes generadas por la orografía se pueden desarrollar libremente en las capas más bajas.

Lo dicho puede observarse en la figura 2. Las líneas muestran como el aire procedente de las sierras converge en las llanuras y se establecen importantes corrientes en el centro de los valles que fluyen hacia las bahías y sobre el mar. "Los resultados de la simulación pueden explicar - afirma el doctor Cuxart - las grandes variaciones registradas entre estaciones meteorológicas próximas en cuanto a dirección e intensidad del viento, y en cuanto a la temperatura. Las zonas menos ventiladas se enfrían mucho más por irradiación; mientras que las zonas donde llega aire de la montaña, al llegar éste mezclado, debido a turbulencia, no se enfrían tanto".

En la figura 2 puede observarse que el llano de Palma es literalmente peinado de noche por vientos que descienden de la Sierra de Tramuntana. Este proceso tiene un cierto efecto "purificador" del aire situado sobre la ciudad, que es impulsado hacia la bahía. Lo mismo sucede en la depresión de Campos, sometida a los vientos nocturnos que descienden de la Sierras de Levante y Randa.

No obstante, - matiza el doctor Cuxart - , "el efecto podría ser el contrario si existiera un foco importante emisor de gases contaminantes situado justo en el camino que los vientos siguen para fluir hacia el mar". En el caso de Mallorca, tan solo existen dos focos hipotéticamente problemáticos: la incineradora de Son Reus y la central eléctrica de Es Murterar. En ambos casos, las columnas de gases emitidos por sus chimeneas parecen situarse por encima de los niveles de máxima intensidad de los vientos catabáticos, aunque, según el doctor Cuxart, "se precisa todavía un trabajo intensivo de verificación".

La figura 3 muestra la temperatura del aire a 1,5 metros de altura sobre Mallorca a última hora de la noche del 29 de abril de 2005 tal y como es vista por el modelo de simulación. El espectro de colores según

la temperatura aparece a la derecha de la figura: las coloraciones azules y blancas corresponden a las temperaturas más bajas, mientras que el aumento de temperatura deriva hacia el rojo.

En primer lugar, puede observarse que las elevaciones de la Sierra de Tramuntana presentan, a esa hora de la noche, una temperatura más elevada que la de los valles. El conjunto de la Isla aparece frío, pero las zonas en que ese frío es más intenso corresponden al aeropuerto de Son Sant Joan en la vertiente de Palma, a las zonas en torno a Inca y sa Pobla, y un mínimo muy marcado entre Manacor y Campos, con temperaturas cercanas a los cinco grados (aún

tratándose de una noche de finales de abril), casi diez grados por debajo que otros puntos de la Isla, como por ejemplo la misma cordillera septentrional.

En la figura 4, aparece otra representación originada por el modelo correspondiente a la misma noche del 29 de abril de 2005. En esta se observa claramente como la Isla "expulsa" aire frío sobre las bahías. Incluso se puede ver que el aire expulsado a través de la depresión de Campos alcanza la Isla de Cabrera y -arriba a la derecha- indicios del aire frío de Menorca acercándose a la península de Artà.

Un análisis más detenido de los datos aportados por el

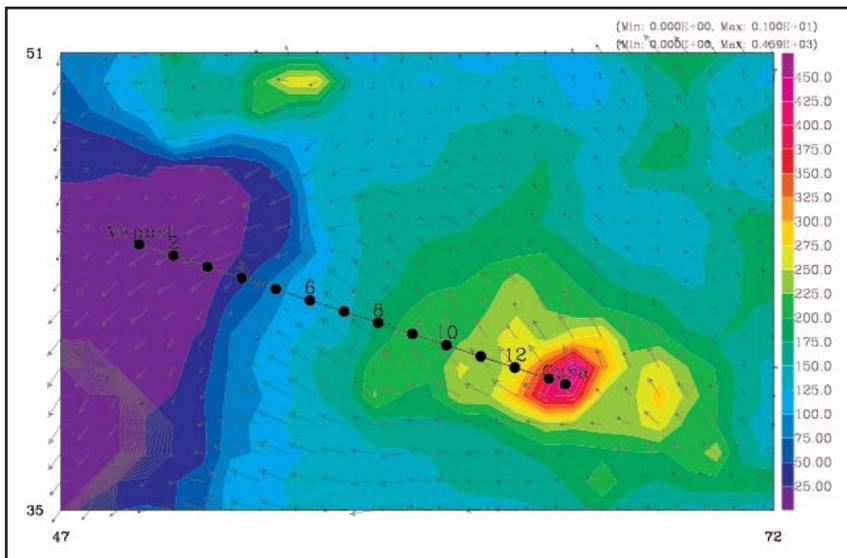
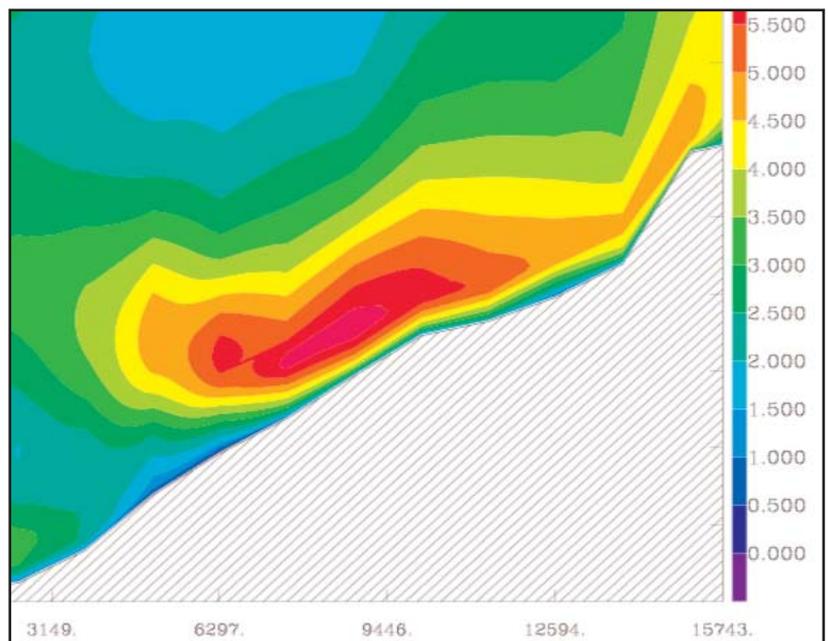


Figura 5a . Vista cenital de la zona que incluye el Puig de Randa y el aeropuerto de Son Sant Joan . En color se halla representado el relieve (descrito por la escala de la derecha, en metros), mientras que las flechas indican el módulo (velocidad) y la dirección de la componente horizontal del viento a 30 m de la superficie. La longitud de la flecha es proporcional a la fuerza del viento. En la parte inferior izquierda se muestra la longitud máxima y mínima representadas en la figura, así como su correspondencia en metros por segundo (m/s). El campo de viento corresponde al simulado a las 00 horas UTC de la noche del 5 al 6 de enero de 1999.

Figura 5b . Corte vertical de la pendiente que une el Puig de Randa con el aeropuerto de Son Sant Joan (coincide con la línea recta de color negro de la figura 5a). El eje de coordenadas x representa la distancia en metros respecto al aeropuerto, mientras que el eje de coordenadas y muestra la altitud (distancia respecto del nivel del mar) en metros. Las manchas de color indican el módulo de viento simulado para las 00 horas UTC de la noche del 5 al 6 de enero de 1999 (la escala de la derecha está expresada en metros por segundo (m/s)).



modelo de simulación sobre el aeropuerto de Son Sant Joan indica - según hace notar el doctor Cuxart - que "la circulación en esta zona viene determinada por la combinación del aire que llega del interior de la isla - procedente de la Serra de Tramuntana - y del aire que desciende de la Serra de Randa a través del desnivel existente entre Lluçmajor y el Prat de Sant Jordi (Figura 5a). En este desnivel el modelo detecta (figura 5b, corte vertical), un máximo de viento con una velocidad de 6 metros por segundo que se muestra estacionario y situado a unos 40 metros de altura, extremo que muestra el posible potencial eólico de las corrientes de pendiente nocturnas".

Dicho de otra manera, si las predicciones de las simulaciones realizadas por el equipo de investigadores de la UIB resultan ser correctas (la verificación se prevé llevar a cabo en breve en esta zona), las llamadas Costes de Xorrigo, al menos desde el punto de vista energético, independientemente de otras consideraciones, podrían ser un lugar potencialmente adecuado para acoger un parque eólico, dependiendo de la intensidad y de la altura real de los máximos de viento. En estos momentos, se encuentra en proceso la exploración con mayor detalle de otras zonas de la Isla que también muestren potencial eólico.

El problema de la verificación

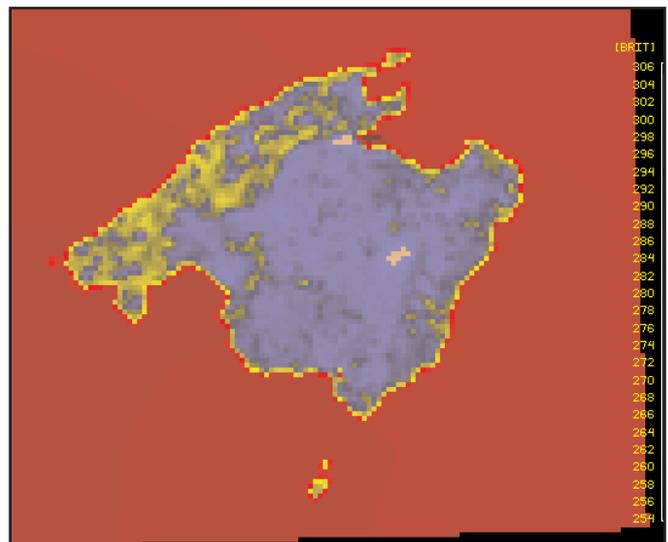
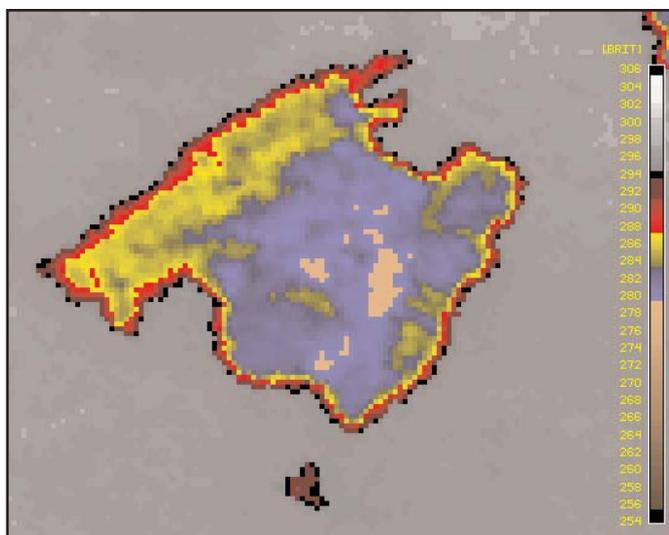
Los resultados de la simulación anterior son de gran interés práctico ya que permiten estimar el transporte

de masa (contaminantes por ejemplo) y energía (calor) en cada cuenca; permiten también estimar la probabilidad de enfriamiento por debajo de determinados valores críticos; predecir la formación de niebla y localizar zonas con capacidad de generación de electricidad mediante el uso del viento de pendiente nocturno. Precisamente porque el impacto económico de los resultados de la simulación es elevado, estos deben ser verificados tanto como sea posible. El doctor Cuxart advierte que "el modelo puede dar resultados erróneos, en general o para alguna zona determinada, y las decisiones que se pudieran tomar en base a estos podrían ser contraproducentes".

Por lo tanto, una vez realizada la simulación cabe compararla con tanta información disponible como sea posible. Sin embargo, no es tarea fácil. A diferencia de los episodios de lluvia o viento, donde las medidas de las estaciones son suficientemente representativas de la situación general, en el caso de condiciones meteorológicas no extremas, cada estación sólo se representa a si misma, especialmente si se encuentra en una área compleja. En Mallorca, afirma el doctor Cuxart, "existen pocas estaciones meteorológicas y casi todas en localizaciones poco representativas (en montañas o valles cerrados, o junto al mar) de zonas más extensas".

Una alternativa disponible para la verificación es la utilización de imágenes de satélite, alternativa a la que ha acudido el equipo de investigadores de la UIB con el objetivo de validar algunos resultados de las

Figura 6. Temperatura radiativa de la superficie del modelo (izquierda) y del satélite (derecha) para el día 29 de abril de 2005 a las 03.30 UTC. La escala de colores (en K) es la misma para las dos imágenes y aparece a la derecha para cada una de ellas. Cada píxel de estas imágenes corresponde a 1 km, aproximadamente.



simulaciones realizadas. Si la noche es clara (sin nubes) los satélites ofrecen, una vez efectuadas algunas correcciones atmosféricas y de navegación, una buena estimación de la temperatura superficial (a ras del suelo). En la actualidad existen diversos satélites disponibles, pero en este caso los investigadores han acudido a los NOAA (*National Oceanic and Atmospheric Administration*), que proporcionan imágenes a una resolución similar a la del modelo numérico utilizado (1 km), pero con una o dos imágenes por noche; y al *Meteosat de Segunda Generación* (MSG), que proporciona una imagen cada quince minutos pero a menor resolución (unos cinco kilómetros, sobre las Islas Baleares).

La figura 6 muestra los campos de temperatura superficial simulados por el modelo y los calculados a partir de la imagen obtenida por el satélite NOAA a la misma hora. Según afirma el doctor Cuxart, "puede observarse que los patrones están bien capturados (zonas frías y zonas calientes), a pesar de que la imagen muestra que el enfriamiento es algo más intenso en la realidad que en la simulación."

La evolución temporal en los puntos de interés se puede evaluar utilizando las imágenes del Meteosat. "En cualquier caso - afirma el doctor Cuxart - siempre hay que ser prudentes, puesto que al fin y al cabo se está comparando información que no corresponde a las mismas escalas. Por ejemplo, el modelo nos da información con una escala horizontal de un kilómetro, como la escala de la imagen del NOAA. Eso quiere decir que no se apreciarán los detalles a menor escala, como valles pequeños o detalles en la costa; por su parte las estaciones meteorológicas reflejan las influencias en su proximidad; mientras que el *Meteosat* (con escalas de cinco kilómetros, ofrece todavía menos detalles".

Aun así, las evaluaciones realizadas demuestran la validez de las simulaciones en zonas suficientemente homogéneas, es decir en aquellas zonas que no correspondan a accidentes orográficos de pequeñas dimensiones como un valle muy cerrado (el caso de Lluc, por ejemplo), o áreas que no estén afectadas por la influencia marina.

En la figura 7 puede observarse la comparación entre

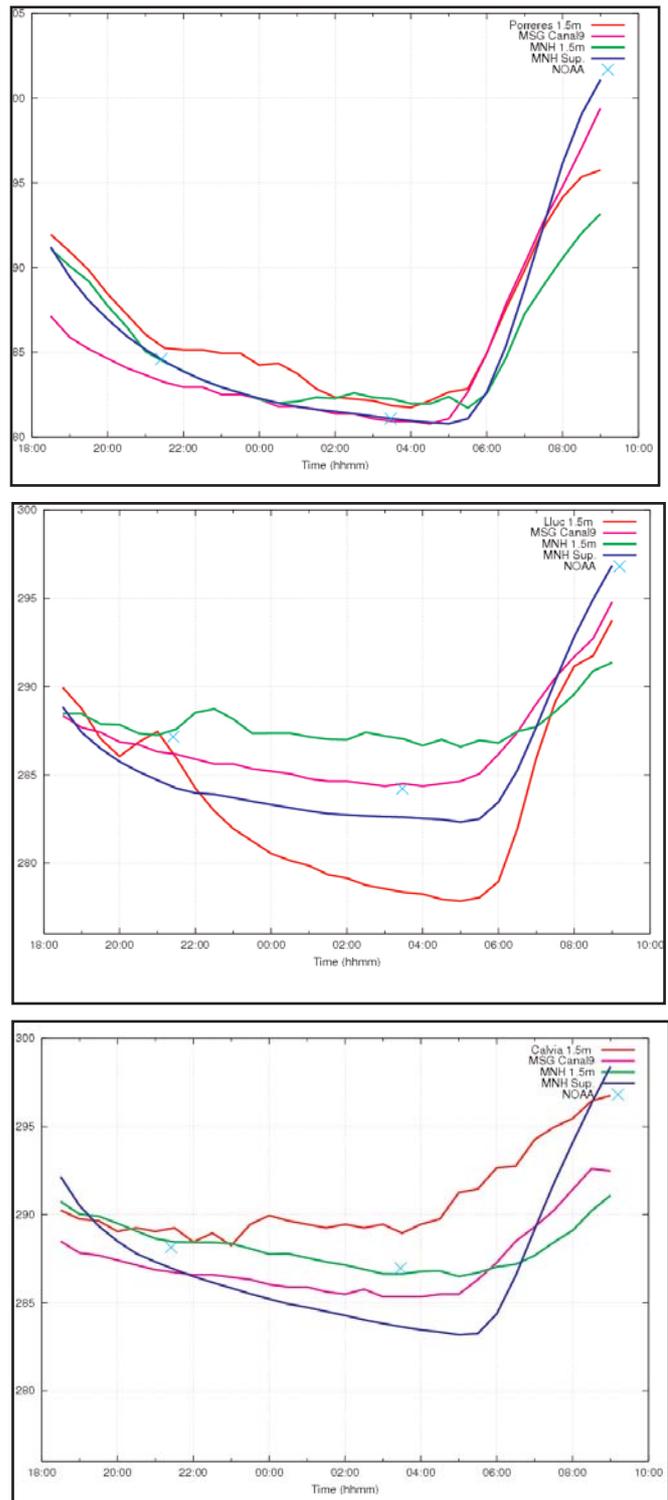


Figura 7. Series temporales de la temperatura, procedente de diferentes fuentes, desde las 18 UTC del día 28 de abril de 2005 hasta las 09 UTC del día siguiente. La descripción de las curvas, por colores, es la siguiente:

Rojo: Temperatura del aire a 1.5 metros de altura medida en la estación automática
 Rosa: Temperatura radiativa de la superficie observada por el satélite MSG-1 (*Meteosat de Segunda Generación*) en la llamada "ventana atmosférica" (10.8 micras)
 Verde: Temperatura del aire a 1.5 metros de altura simulada por el Meso-NH
 Azul: Temperatura radiativa de la superficie simulada por el Meso-NH
 Cruz azul: Temperatura radiativa de la superficie observada por el satélite NOAA-16



Parte del equipo de investigadores. De izquierda a derecha: Toni Mira, el doctor Joan Cuxart, Daniel Martínez y la doctora Maria Antònia Jiménez.

los datos obtenidos por las simulaciones realizadas por el equipo de investigadores de la UIB y los datos aportados tanto por los satélites NOAA y *Meteosat*, como por las estaciones meteorológicas de medida. Las gráficas corresponden a tres zonas distintas.

La primera gráfica corresponde a la zona de Porreres, muy homogénea. En este caso, las curvas de temperatura superficial dadas por el *Meteosat* y la simulación se superponen bien, difiriendo ligeramente al principio y al final de la noche. Además, los datos puntuales de la imagen NOAA coinciden con los valores de temperatura superficial calculados por el modelo, indicando la bondad de la simulación para esta área. La comparación de la temperatura del aire observada y la simulada a 1,5 metros de altura confirma esta afirmación, aunque se aprecie un ligero desacoplamiento entre curvas alrededor de medianoche.

La segunda gráfica corresponde a Lluç, una zona para la que todas las fuentes de información divergen. La estación meteorológica se encuentra en una cubeta de aire frío de pequeñas dimensiones. Esta estructura del relieve no es apreciable ni por el modelo numérico en el que se basa la simulación del equipo de la UIB ni por los satélites. De hecho, tal y como apunta el doctor Cuxart, "los satélites ofrecen resultados distintos entre sí porque no observan el relieve con una precisión equivalente. Podríamos preguntarnos, ¿es erróneo el modelo para Lluç o zonas parecidas? Y tendremos

que afirmar que sí lo es, si lo que queremos es simular qué ocurre en Lluç, pero no será erróneo si a lo que aspiramos es a estudiar los vientos catabáticos generados en la zona, que tienen una mayor escala espacial".

En la tercera gráfica, correspondiente a la zona de Calvià, también se presentan diferencias según sea la fuente de información. Para el doctor Cuxart, las diferencias se deben "muy probablemente a que ninguna de las fuentes utilizadas trata de la misma manera la frontera tierra-mar, ni las contribuciones del relieve local".

En definitiva, la simulación desarrollada por el equipo de la UIB es bastante realista cuando se compara con los datos de estaciones meteorológicas de zonas equivalentes a la resolución del modelo numérico. La comparación con los satélites parece confirmar que las áreas de acumulación de aire frío y las zonas ventiladas por catabáticos han sido bien capturadas por las simulaciones del modelo.

Tal como afirma el doctor Joan Cuxart, "para avanzar en la verificación de simulaciones de este tipo, sería necesario instalar más estaciones meteorológicas de muestreo en zonas representativas y llevar a cabo campañas experimentales para confirmar algunos puntos señalados por el modelo, como las zonas de máximo viento en las pendientes y las zonas centrales de los valles".

Proyecto financiado

Título: Salidas de modelos de mesoscala a alta resolución: verificación y uso en cartografía climática.

Acrónimo: VERIMESO/CLI.

Referencia: REN2003-09435.

Entidad financiadora: Ministerio de Ciencia y Tecnología.

Inicio: 2003. Final: 2006

Otros proyectos anteriores

Título: Estudio y parametrización de los intercambios de calor, humedad y momento en la capa estable.

Acrónimo. INTERCLE.

Referencia: REN2002-00486/CLI

Entidad financiadora: Ministerio de Ciencia y Tecnología.

Inicio: 2002. Final: 2005.

Título: Vents nocturns locals a Mallorca: estudi per simulació numèrica.

Entidad financiadora: Acciones especiales de investigación y desarrollo del Gobierno de les Illes Balears.

Inicio: 2002. Final:2003.

Investigador responsable

Doctor Joan Cuxart Rodamilans, investigador del Grupo de Meteorología del Departamento de Física de la UIB.
Meteorólogo del Estado

Edificio Mateu Orfila i Rotger.

Tel.: 971 17 13 75

E-mail: joan.cuxart@uib.es

Otros miembros del equipo

Doctor Sergio Alonso, catedrático de la UIB

Doctora Maria Antònia Jiménez

Antoni Mira

Daniel Martínez

Angel Luque

Investigadores de otras entidades

Doctor José Antonio Guijarro Pastor, Instituto Nacional de Meteorología.

Publicaciones relacionadas con el reportaje

J.Cuxart, A.A.M. Holtslag, R.J.Beare, E.Bazile, A.Beljaars, A.Cheng, L.Conangla, M.Ek, F.Freedman, M.Hamdi, A.Kerstein, H.Kitagawa, G. Lenderink, D.Lewellen, J.Mailhot, T. Mauritsen, V.Perov, G.Schayes, G-J.Steenefeld, G.Svensson, P.Taylor, W.Weng, S. Wunsch and K-M.Xu (2005):Single-column model intercomparison for a stably stratified atmospheric boundary layer; Boundary-Layer Meteorology (en prensa, disponible on line)

L. Conangla and J.Cuxart (2006): On the turbulence at the upper part of the low-level jet: an experimental and numerical study; Boundary-Layer Meteorology, vol. 118.

M.A. Jiménez and J.Cuxart (2005): Large-Eddy simulations of the Stable Boundary-Layer: range of applicability using the standard Kolmogorov theory for dissipation. *Boundary-Layer Meteorology* 115 (2), pp 241-261

J.Sun, S.P.Burns, D.H.Lenschow, R.Banta, R.Newson, R.Coulter, S.Frasier, T.Ince, C.Nappo, J.Cuxart, W.Blumen, X. Lee and X-Z. Hu (2002): Intermittent Turbulence associated with a density current passage in the stable boundary layer; *Boundary-Layer Meteorology*, vol 105, pp 199-219

J.Cuxart, G. Morales, E. Terradellas and C. Yagüe (2002): Study of Coherent Structures and estimation of the Pressure Transport Terms for the Nocturnal Stable Boundary-Layer; *Boundary-Layer Meteorology* , vol 105, pp 305-328

G.S. Poulos, W. Blumen, D.C. Fritts, J.K. Lundquist, J. Sun, S. P. Burns, C. Nappo, R. Banta, R. Newson, J. Cuxart, E. Terradellas, B. Baisley and M. Jensen (2002): CASES-99: A Comprehensive Investigation of the Nocturnal Stable Boundary Layer; *Butlletin of the American Meteorological Society*, vol 83, pp 555-581

E. Terradellas, G. Morales, J. Cuxart and C. Yagüe (2001): Wavelet Methods: Application to the Study of the Stable Atmospheric Boundary Layer under Non-Stationary Conditions; *Dynamics of Atmospheres and Oceans*, vol 34, pp 225-244

J. Cuxart, C. Yagüe, G. Morales, E. Terradellas, J. Orbe, J. Calvo, A. Fernández, M.R. Soler, C. Infante, P. Buenestado, A. Espinalt, H.E. Joergensen, J.M. Rees, J. Vilà, J.M. Redondo, I. Rodríguez and L. Conangla (2000): Stable Atmospheric Boundary Layer Experiment in Spain (SABLES98): A report; *Boundary Layer Meteorology*, vol 96, pp 337-370.

J. Cuxart, P. Bougeault and J.L. Redelsperger (2000): A turbulence scheme allowing for mesoscale and large-eddy simulations; *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society*, vol 126, pp 1-30

Comunicaciones a congresos

A. Mira, J. Cuxart, A. Luque , J.A. Guijarro: Mesoscale basin flows in the nocturnal boundary-layer: modeling and verification; 17th Conference on Boundary-Layers and Turbulence, San Diego (USA), 2006

D. Martínez, J. Cuxart, M.A. Jiménez, A. Mira: Turbulence mixing on a gentle-slope flow; 17th Conference on Boundary-Layers and Turbulence, San Diego (USA), 2006

H. Agustsson, J. Cuxart, A. Mira and M.A. Jiménez: Observations and simulations of katabatic flows during a heatwave in Iceland, International Conference on Alpine Meteorology, Croatia, 2005.

Mira, A.; Cuxart, J.; Jiménez, M.A.; Guijarro, J.A.: Verification of high-resolution simulations for the Majorca Island using satellite image; European Meteorological Society meeting, Nice, 2004

J.Cuxart y M.A. Jiménez : Nocturnal circulations under weak pressure gradient in the island of Mallorca; 16th Symposium on Boundary Layers and Turbulence, 2004, Portland (Maine), American Meteorological Society (<http://www.ametsoc.org>; <http://ams.confex.com/ams/pdfpapers/78571.pdf>)