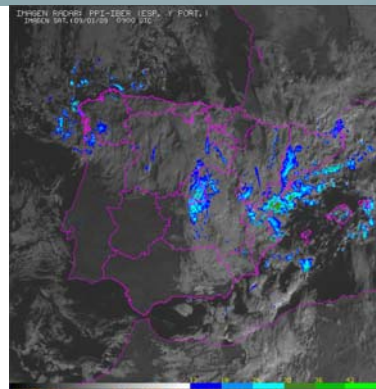
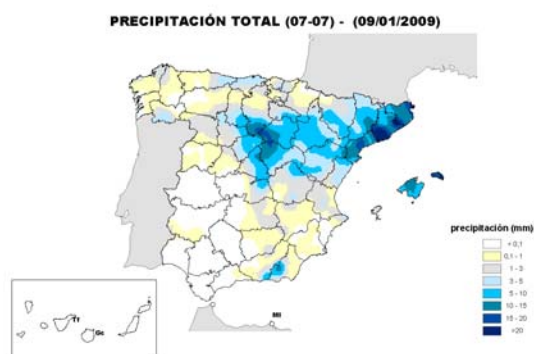


ESTUDIO DE LA SITUACIÓN DE NEVADAS DEL 8-10 DE ENERO DE 2009 EN LA ZONA CENTRO PENINSULAR

Grupo de Trabajo de AEMET



Autores:

Felisa Aguado Martín*, Eugenio Ayensa Remírez**, Modesto Antonio Sánchez Barriga**, José del Hoyo García*, Alberto Fernández Matías*, Nieves Garrido del Pozo+, Aurora Martín Sanz*, Isabel Martínez Marco*, Alejandro Roa Alonso*

Francisco Martín León (Coordinador)*

- * Organismos Centrales en Madrid
- ** Delegación Territorial en Madrid
- + Delegación Territorial en Castilla y León

Fotos de Modesto Antonio Barriga Sánchez, Madrid, y Salvador Fo, Aeropuerto de Madrid-Barajas.

INDICE

I. INTRODUCCIÓN

Ideas generales sobre nevadas: un enfoque basado en ingredientes

II. DATOS DE LAS NEVADAS

1.- A nivel nacional

2.- A nivel regional

III. DIAGNOSIS DE LA SITUACION

1.- Marco sinóptico

2.- Análisis mesoescalar

3.- Análisis de los radiosondeos

IV. COMPORTAMIENTO DE LOS MODELOS DE PREDICCIÓN Y HERRAMIENTAS OPERATIVAS

1.- Medio plazo: VarEPS

2.- Corto plazo

3.- Productos de postproceso

4.- Herramientas específicas de los GPV implicados

V. VIGILANCIA METEOROLÓGICA

1.- El radar en situación de nevadas: el caso del radar de Autilla del Pino (Palencia)

2.- Singularidades en los datos de teledetección: estrías en las imágenes del radar de Madrid

VI. SIMULACIONES NUMERICAS CON HIRLAM

VII. CONCLUSIONES

BIBLIOGRAFÍA y ANEXOS

Agradecimientos. Al Área de Climatología Básica, Servicio de Banco de Datos Climatológicos y, en especial, a María Esperanza Avello Miranda del Área de Climatología y Aplicaciones Operativas, Departamento de Producción, por el suministro de las imágenes referentes a precipitaciones diaria a nivel peninsular. También nuestro agradecimiento a Antonio García Méndez del CEPPM por el suministro de ciertos productos de dicho Centro.

I. INTRODUCCIÓN

Ideas generales sobre nevadas: un enfoque basado en ingredientes

Frontogénesis mesoescalar

Evaluando la bondad de las herramientas

I. INTRODUCCIÓN

Las nevadas registradas en algunas zonas del interior de la península ibérica durante los días 8, 9 y 10 de enero de 2009 se pueden caracterizar como de muy importantes, marcaron efemérides en algunos lugares y fueron localmente adversas, tanto desde el punto de vista meteorológico como desde el punto de vista de su impacto social, sobre todo las del día 9. Éstas últimas afectaron, en horas claves, a medios de comunicación terrestres y aéreos. Muchas personas se vieron bloqueadas en carreteras y vías de acceso a Madrid. Se cerró durante varias horas el aeropuerto de Barajas, repercutiendo en el resto del tráfico aéreo nacional e internacional. Su incidencia fue mayor al afectar, de forma importante, a una zona muy poblada del este y sureste del área metropolitana de Madrid.

El carácter excepcional de esta situación se debe a la notable acumulación de nieve en determinadas zonas de las dos mesetas, no sólo en áreas altas sino también en zonas relativamente llanas. Este estudio se va a focalizar en las nevadas registradas en la zona centro peninsular aunque merece la pena destacar que también se registraron precipitaciones sólidas importantes en otras zonas del este de la península ibérica. En principio, el estudio se iba a centrar en el día 9, pero desde el primer momento se observó que en ciertas zonas de Castilla-La Mancha y de Castilla y León, los acontecimientos tuvieron lugar también los días anterior y posterior a esa fecha, respectivamente. Por dicho motivo, y en la medida de lo posible, el estudio se ha ampliado a los tres días. No obstante, y en algunos apartados, se hará referencia sólo al día 9.

El trabajo comienza con una revisión del concepto de ingredientes de las nevadas, tanto a nivel sinóptico como mesoescalar. En esta Introducción se han actualizado ciertos conceptos de mesoescala ya que algunas zonas de las nevadas en la zona centro se ajustaban a estructuras en bandas, especialmente a las que afectó al este de las comunidades de la meseta sur, difícil de justificar con la herramientas disponibles.

Desde este punto de vista se aborda la necesidad de evaluar las bondades de los modelos numéricos en cuanto a su grado de desviación respecto a lo observado en el proceso de vigilancia. A continuación se presentan los datos de las nevadas y precipitaciones, posteriormente se analiza el marco sinóptico y mesoescalar de la situación atmosférica a partir de los datos disponibles.

Un apartado especial se dedica a revisar técnicamente las herramientas operativas disponibles en esas fechas, tanto a nivel nacional como regional. En este sentido, cabe destacar que la intensidad y la ubicación de las nevadas fueron, en términos generales, bien recogidas por los modelos deterministas y predicciones, aunque las localizaciones y acumulaciones en determinados puntos muy sensibles fueron subestimadas especialmente en el corto plazo. Las salidas y productos de los modelos numéricos de predicción deterministas en las zonas muy "calientes" no fueron capaces de reflejar apropiadamente lo acontecido. Los mapas probabilísticos de precipitación y de nevadas daban señales de llamada de atención sobre la situación que se avecinaba en las predicciones a medio plazo para los días de estudio. Se apuntaba que ciertas zonas muy pobladas, podrían verse afectadas por intensidades y acumulaciones de nieve significativas, aunque con bajas probabilidades. Al ser un fenómeno relativamente poco frecuente y, en cierta forma, extremo en muchas zonas llanas, era de esperar probabilidades bajas, pero a tener en cuenta por su alta incidencia y coste social.

En este sentido, y una vez más, la vigilancia atmosférica y la información de retorno aparecen como elementos fundamentales en el seguimiento de estas situaciones. Se analizan los usos y las limitaciones de los datos de teledetección en esta fase y la importancia de aumentar los datos complementarios de superficie de otras fuentes de información ajenas a las redes de AEMET. Estos elementos deben servir para evaluar las bondades, limitaciones y deficiencias de las salidas de los modelos numéricos de predicción a corto y muy corto plazo.

En los dos últimos apartados, se presentan algunas simulaciones realizadas con la versión experimental en esas fechas del HIRLAM7.0 a 16 Km, y se comparan con las salidas del HIRLAM6.2 a 5 Km de resolución, operativas en esos momentos. Se muestra que las condiciones de contorno iniciales son fundamentales para realizar una adecuada predicción respecto a lo observado. Se

termina con un conjunto de recomendaciones y conclusiones sobre esta situación, apuntando las causas sinópticas y mesoescalares que condicionaron las copiosas nevadas, así como algunas recomendaciones técnicas para solventar mejor futuras situaciones adversas de nevadas. Unos Anexos complementan el trabajo de estas notas.

A diferencia de otros estudios, éste se centra en aspectos prácticos, limitaciones y usos de las herramientas disponibles, posibles mejoras en la vigilancia atmosférica y otros temas relevantes. Este enfoque se debe a que gran parte del Grupo de Trabajo, que realizó este Documento Técnico, son elementos de la cadena de predicción operativa, de forma directa, predictores, o indirecta, equipo técnico de GPV o personal de desarrollo de aplicaciones para predicción.

A partir de este punto **el concepto de “predictor”** debe entenderse en sentido amplio y no como una persona física. Se considerará como un sistema de predicción que se enfrenta a situaciones adversas, en este caso de nevadas. Este “predictor” debe disponer del suficiente tiempo cronológico y mecanismos ágiles para:

- Evaluar, transmitir y tomar las medidas oportunas sobre el grado de bondad de las salidas de los modelos, al compararlas con los datos observados o detectados.
- Cuantificar el grado de incertidumbre de nevadas adversas lo máximo posible: transmisión de forma precisa y clara dicha información a ciertos usuarios.
- Disponer de una rica, rápida y eficaz información de retorno para evaluar la predicción de forma continuada.
- Conocer las limitaciones y potencialidades de las herramientas y productos utilizados para la predicción y vigilancia.

Cualquier referencia a la precipitación de nieve, y mientras no se diga lo contrario, se hará en cm y a la precipitación líquida o de estado no conocido o detallado en mm.

Hay que señalar que los mapas nacionales de precipitación diaria se han obtenido para los periodos, con las siguientes particularidades:

- Estos mapas estuvieron disponibles muy pronto y han sido usados en este documento para comparar fácilmente las salidas de precipitación acumulada de 00-24h de los modelos numéricos en los apartados correspondientes.
- 07-07. Estos mapas estuvieron disponibles posteriormente y en ellos se incluía más información que en los mapas anteriores de 00-00, como los datos de las estaciones termo-pluvio. Sólo se presentarán en el Anexo final.

Ideas generales sobre nevadas: un enfoque basado en ingredientes

Las nevadas copiosas se caracterizan, al igual que muchos otros fenómenos meteorológicos adversos, por la suma de ingredientes básicos que actúan en sinergia en una zona, de forma simultánea y persistente. Este hecho suele ocurrir cuando las condiciones sinópticas y mesoescalares son las apropiadas y ambas trabajan conjuntamente.

Desde el punto de vista clásico es posible estudiar las nevadas atendiendo a las configuraciones sinópticas tipo con patrones bien definidos y modulados por los efectos locales que las realzan en zonas determinadas. Desde este punto de vista llegaríamos a explicar someramente una amplia gama de nevadas de tipo sinóptico y, a lo sumo, algunas de carácter local. Esta técnica de predicción es la que usa básicamente el método de análogos: a situaciones sinópticas similares, corresponden efectos parecidos en superficie.

Otro enfoque muy realista es el basado en el concepto de “ingredientes”. El predictor, además de tener en mente los patrones tipo de las nevadas, considera los elementos que deben coexistir para la generación de nevadas copiosas. Debe valorar no sólo los factores sinópticos y locales (realce orográfico, convergencias en su zona, etc.) sino también otros elementos mesoescalares que pueden aparecer en cualquier lugar y momento. Este enfoque es más realista y científico, pero a la vez más difícil de llevar a la práctica en la operatividad diaria por el tiempo extra de dedicación que implica. Los modelos operativos de predicción de la atmósfera suelen reflejar estructuras precipitantes de mesoescala, aunque no con la destreza, intensidad y habilidad deseada.

Ingredientes a nivel sinóptico

En diversas publicaciones y notas técnicas de AEMET (ex INM) se recogen las diferentes situaciones sinópticas desencadenantes de nevadas que se pueden intensificar por el realce orográfico de ciertas zonas elevadas a barlovento de la irrupción fría y húmeda. Ver bibliografía final de este documento para más detalles.

En la figura siguiente, figura I.1, se presenta una situación determinada de un día de invierno a nivel sinóptico con la precipitación acumulada en seis horas coloreada según escala adjunta, y las zonas de nevadas en negro discontinuo. En esta situación se recogen la mayoría de las zonas que, a nivel sinóptico, producen nevadas significativas:

- Frente ocluido, FO, en la figura.
- Frente cálido, FC.
- Descarga postfrontal fría, DP.
- Zonas de realce de la precipitación: áreas de montaña, RO.

Otras zonas de nevadas menos copiosas están ligadas a los propios frentes fríos, FF.

Los modelos numéricos de predicción, en sus versiones deterministas y probabilísticas, tienen ciertas habilidades para recoger a nivel sinóptico y mesoescalar las zonas potenciales de nevadas. Resaltar sus debilidades y diferencias con la “realidad” es una labor que debe estar contemplada prioritariamente en la predicción y seguimiento de situaciones adversas de alto impacto social.

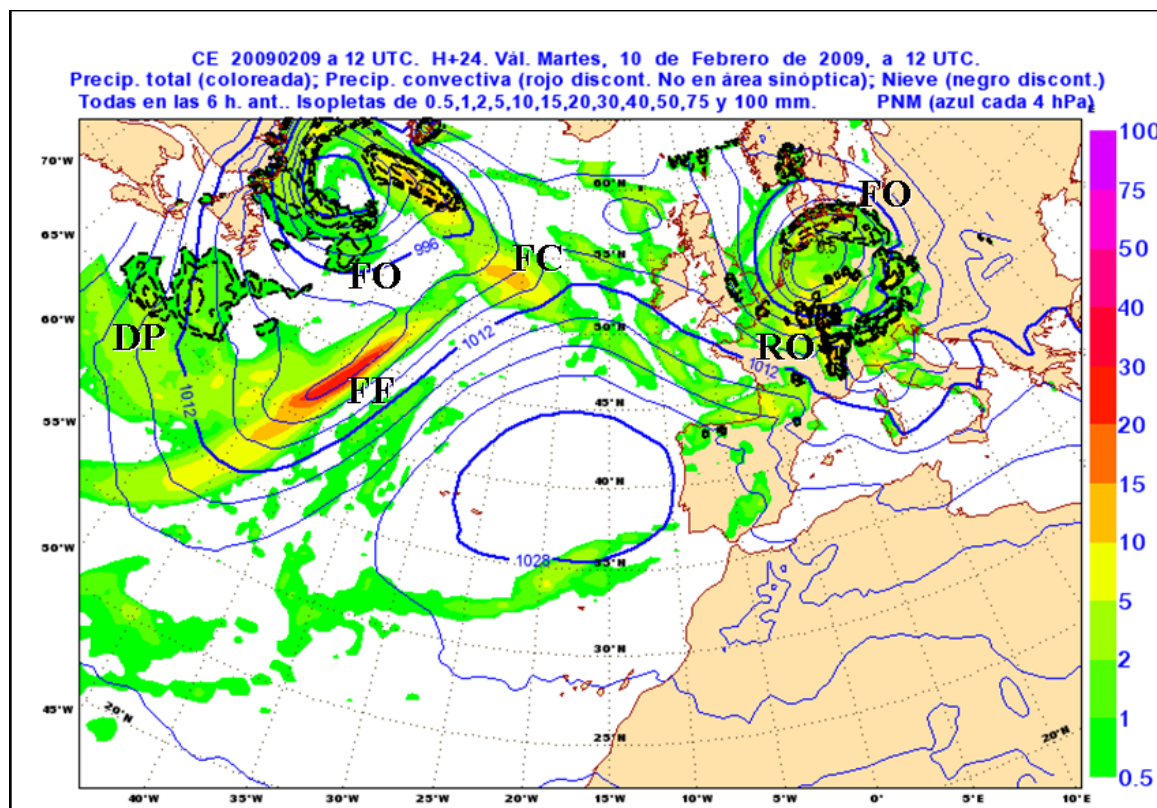


Figura I.1. Mapa previsto a nivel sinóptico de presión en superficie, línea azul y en hPa, y zonas de precipitación acumulada, coloreadas y en mm, seis horas antes de la hora nominal del mapa. Las áreas donde se esperan nevadas se presentan en líneas discontinuas negras y en cm. Ver texto para detalles.

A partir de esta clasificación básica se pueden elaborar análisis de situaciones o patrones tipo de nevadas en España, no sólo asociado a los sistemas frontales y mapas de superficie, sino también con los mapas de altura.

Sin embargo, como se indicó anteriormente, otro enfoque práctico y meteorológico es abordar y entender las nevadas como un problema de ingredientes. Estos ingredientes que generan nevadas deben estar en el mismo instante y lugar de forma oportuna para que se den importantes precipitaciones sólidas en una zona. Éstos se pueden dar a nivel sinóptico y mesoescalar. Son los siguientes:

- Aire muy frío, con temperaturas bajo o próximas a 0°C, en un amplio estrato de niveles muy bajos.
- Alto contenido de humedad en niveles medios-bajos.
- Mecanismos de ascenso.

Aire frío

Aunque pueda parecer evidente, las temperaturas deben estar bajo cero, o próximas a él, en un amplio espesor en capas bajas y el suelo, para producir y acumular nieve y/o el hielo. Aunque se han observado nevadas con valores positivos de la temperatura en superficie, la posibilidad de que permanezca y se acumule la nieve desciende al aumentar dicha temperatura. Por el contrario, y en igualdad de condiciones, la nevada y la acumulación serán mayor cuanto más frío sea el ambiente cercano a la superficie. La presencia de aire frío continuado tiene otro efecto secundario cuando se consideran efectos mesoescalares, pues en determinadas condiciones este aire frío puede actuar directamente como factor frontogenético e indirectamente como mecanismo generador de corrientes ascendentes y descendentes que realzan las propias nevadas al crearse fronteras atmosféricas a nivel mesoescalar. Ver apartado de ingredientes de mesoescala para más detalles.

Alta humedad

La humedad es otro ingrediente necesario para producir una situación de nevadas significativas. La presencia de humedad permite generar nubes, que si genera precipitación encontrará un entorno que minimizará la evaporación cuando ésta deje la nube y llegue al suelo de forma eficiente. Las fuentes de humedad en el aire pueden derivarse de procesos relacionados con la evaporación, con el transporte o advección, o proceder de la absorción de humedad por el aire al desplazarse sobre una superficie acuosa de gran extensión. El espesor y profundidad de la masa húmeda, así como su contenido de agua líquida, son conceptos a valorar a la hora de marcar el grado de eficiencia de las nevadas. El origen de la masa de aire cargada o no de humedad es clave para evaluar la eficacia de las nevadas.

Mecanismo amplio de ascenso

Este ingrediente es necesario para la formación de nevadas generalizadas a nivel sinóptico: se necesita que el aire húmedo se eleve o se vea forzado a subir para generar precipitación sólida. En este proceso, el aire húmedo asciende, forma nubes y la precipitación se genera para caer por dentro y por fuera de la nube, antes de llegar al suelo. La capa más baja debe estar lo suficientemente fría como para no permitir el paso a lluvia.

Los frentes son zonas donde se dan este tipo de circunstancias sinópticas: el aire más cálido y húmedo se ve forzado a elevarse sobre el aire más frío subyacente.

Ingredientes a nivel mesoescalar

Se ha considerado en este documento técnico revisar y actualizar algunos mecanismos mesoescalares que realzan las nevadas. Así, las más intensas se suelen concentrar en zonas reducidas, donde se realzan los valores de los ingredientes que están actuando a nivel sinóptico. El ejemplo más común en la península ibérica es por medio del **realce orográfico**, donde la humedad y los mecanismos de ascenso se intensifican localmente.

Pero existen otros sistemas, efectos o patrones mesoescalares que pueden producir una amplificación de las nevadas, tanto en zonas altas como llanas. Veamos algunos ejemplos y mecanismos locales recogidos en la bibliografía general:

- **Efecto “lago”**. Un ejemplo muy conocido en EEUU es el efecto de los Grandes Lagos en las nevadas en tierras cercanas a los lagos con entradas invernales de norte. El aire, muy frío proveniente de Canadá, se carga de humedad en capas bajas al sobrevolar una amplia zona de los Grandes Lagos y descarga precipitaciones en forma de nieve en las zonas costeras donde llega sobre una superficie más fría y el viento se ve obligado a converger por el cambio de fricción entre el agua y la tierra. Este mismo efecto puede darse en la península ibérica cuando las entradas frías del noreste

entran por el mar Cantábrico, se cargan de humedad y dejan nieve en las zonas septentrionales peninsulares. Otro ejemplo son las entradas de levante con largo recorrido marítimo en periodos muy fríos.

- **Corrientes ageostróficas de chorros acoplados.** Otro sistema que puede actuar e intensificar las nevadas es el acople de las “corrientes ageostróficas” ligadas a los chorros en niveles bajos y altos en las borrascas invernales intensas. Estos casos están ligados a depresiones y bajas profundas conducidas por chorros muy marcados en niveles altos y bajos.

- **Fronteras mesoescalares y frontogénesis locales.** En zonas llanas de los EEUU, por ejemplo, se han detectado áreas realzadas de precipitación organizadas, a veces en bandas, generando importantes nevadas, incluso en ausencia de convección y orografía compleja. Estos efectos son puramente meteorológicos y de carácter mesoescalar. Los tres ingredientes moduladores de las grandes nevadas, no orográficas y no convectivas, suelen estar ligados a la generación y simultaneidad de procesos de:

- Frontogénesis mesoescalar.
- Estabilidad reducida.
- Humedades altas, saturaciones entre -12 y -16°C.

Frontogénesis mesoescalar

La generación de una frontera mesoescalar de niveles bajos y medios es fundamental para el desarrollo de una zona donde se realcen los movimientos verticales, tanto ascendentes como descendentes. Esta frontera actúa en la troposfera como un verdadero obstáculo no orográfico que favorece la presencia de circulaciones ascendentes en su parte delantera, cálida y húmeda, y descendente, fría y seca. Existen varios mecanismos que generan una frontogénesis mesoescalar y, por lo tanto, dicha frontera. Veamos alguno de ellos. Las figuras y, gran parte del texto se han tomado del portal educativo COMET (<http://www.comet.ucar.edu/>).

Inestabilidad Condicional Simétrica, CSI

Las bandas de precipitación ocurren con frecuencia en ausencia de una estructura frontal a nivel sinóptico. Cuando estas bandas aparecen en un ambiente estable, en ausencia de convección vertical o de otro conocido mecanismo de forzamiento, se pueden generar por la llamada “**slantwise convection**” (convección oblicua o inclinada, según módulos COMET), o simplemente *slantwise* convección.

Slantwise convección puede explicar las bandas que aparecen en el medio de una amplia zona de precipitación o cuando toda la precipitación se da en un solo acontecimiento. La gran importancia *slantwise* convección radica en el hecho de que produce precipitación significativa, a veces inesperada, en bandas.

La convección oblicua resulta de la liberación de la Inestabilidad Simétrica Condicional (Conditional Symmetric Instability, CSI). CSI no es fácil de visualizar a nivel operativo. Básicamente, la idea es que una parcela de aire puede ser estable con respecto al desplazamiento vertical (estabilidad convectiva), y puede ser estable con respecto al desplazamiento horizontal (estabilidad inercial), pero puede ser inestable cuando asciende a lo largo *slantwise* trayectoria o trayectoria oblicua. Ésta es la razón por la cual CSI a veces se llama *slantwise* convección.

Antes de que CSI contribuya a la precipitación en bandas, necesitamos disponer de dos ingredientes cruciales: humedad y ascenso. Para la humedad, requerimos una atmósfera relativamente saturada

con humedades por encima del 80%. Para el ascenso, se pueden evaluar o consultar los productos de los modelos numéricos tales como velocidad vertical “omega” que indican los movimientos de ascensos requeridos para iniciar la liberación de CSI. Ya que CSI requiere gradientes de temperaturas horizontales, y ocurre con frecuencia en asociación con la frontogénesis, que puede proporcionar el ascenso inicial.

Generalmente, las condiciones para CSI se cumplen en las áreas asociadas a un frente poco profundo. Éstas pueden estar delante de un frente cálido o detrás de un anafrente. Dichas regiones se caracterizan generalmente por un ambiente convectivo estable y condiciones que están cerca de la saturación. Otra característica típica es la presencia de un jet, justo al norte del área. Esto proporciona vorticidad relativa anticiclónica que es típica en regiones de estabilidad inercial baja. El jet también contribuye a la cizalladura vertical encontrada en acontecimientos ligados a CSI.

Queda lejos de estas notas entrar en detalles de cómo se genera las bandas, pero la siguiente figura esquematiza las ideas subyacentes. A los lectores interesados se le remite a la bibliografía específica: Seltzer et al. (1985); Moore and Lambert (1993); Martin (1998); Wiesmueller and Zubrickl (1998); Nicosia and Grumm (1999); Market and Cissell (2002); Jurewicz and Evans (2004); Moore et al. (2005); Schultz and Schumacher (1999), por citar algunos.

En el modelo conceptual de nevadas ligadas a frontogénesis mesoescalar y CSI, las corrientes ascendentes ageostróficas inducidas en la parte delantera producirán nevadas si la estabilidad es también reducida en un ambiente saturado. El corte se ha generado perpendicularmente a las bandas de precipitación realzadas.

La zona frontogenética suele situarse en niveles bajos-medios. Esta zona suele identificarse (Schumacher, 2003) mediante los campos de frontogénesis de Pettersen desde 850 a 600 hPa y la divergencia del vector Q en la capa 300-500 hPa. Los predictores suelen identificar el máximo de frontogénesis con respecto al mínimo divergente del vector Q .

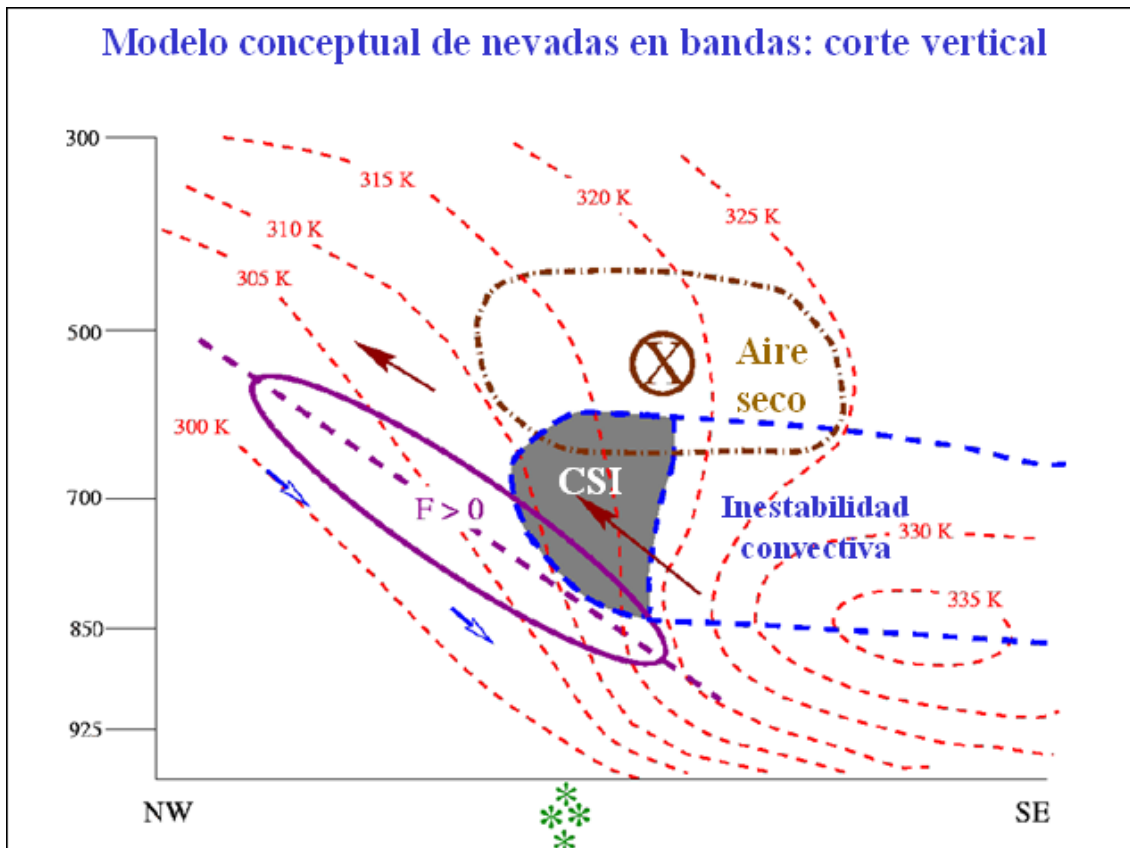


Figura I.2. Modelo conceptual de nevadas intensas ligadas a bandas de precipitación. F representa la zona frontogénica mesoescalar de niveles bajos-medios. X el flujo hacia dentro de la página. Las temperaturas están representadas en líneas discontinuas rojas, las zonas de aire seco en discontinuo con puntos y las zonas de CSI e inestabilidad convectiva en gris y líneas a trazo azul, respectivamente. La zona de nevada en superficie mediante el símbolo de nieve en verde.

Zonas de deformación frontogénicas

Desde el punto de vista cinemático, dinámico y térmico las zonas de deformación podrían generar bandas de precipitación por el contraste térmico que pueden generar, bajo ciertas circunstancias. La deformación es un proceso por el cual una corriente aérea tiende a estirarse o altera la distribución de un trazador encajado en el flujo, tal como la humedad. Bajo ciertas circunstancias, la deformación lleva asociado un proceso de frontogénesis: las isotermas deben formar un ángulo superior a los 45° respecto al eje de contracción a un nivel dado, y así generar una zona de precipitación en bandas estrechas a lo largo del eje de dilatación. En dichas condiciones se pueden desarrollar movimientos verticales inducidos por la frontogénesis en ciertas zonas de deformación.

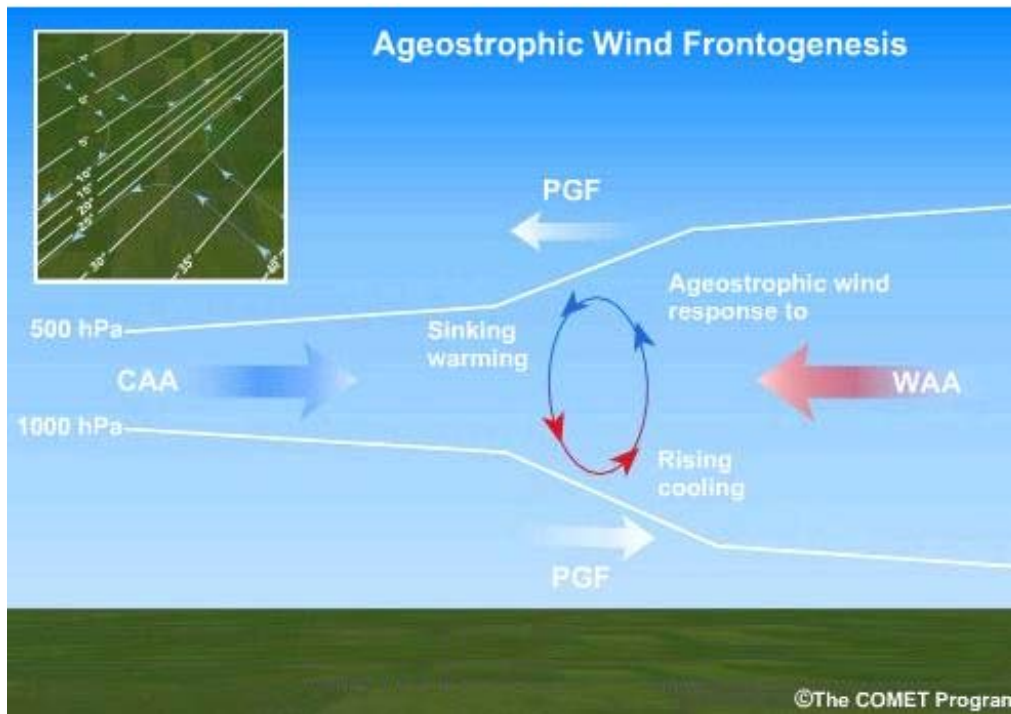


Figura I.3. Modelo conceptual de circulaciones ageostróficas ligadas a frontogénesis en zonas de deformación apropiadas. Estas circulaciones tienden a restablecer el equilibrio geostrofico, roto por el aumento y disminución de espesores en zonas donde se dan advecciones de temperatura cálida y fría, según la figura superior. WAA y CAA representan las zonas de advección cálida y fría respectivamente, la zona frontogenética y circulaciones asociadas directas lo están en el área de circulación cerrada en el centro de la imagen. Fuente: COMET.

Cuando la frontogénesis o frontólisis altera el gradiente térmico, hay un impacto directo en la distribución de la presión y de los espesores en las zonas próximas a la región frontogenética. Esto se puede ver en el cambio en los espesores al uno y otro lado de la frontera: en la zona cálida, el espesor aumenta por la advección cálida y húmeda (WAA), y en la fría disminuye por la advección fría y preferentemente seca (CAA), como se muestra la figura I.3. Como la tendencia en la atmósfera es mantener y tender hacia el equilibrio geostrofico, se generan circulaciones ageostróficas directas a lo largo de la frontera: el aire cálido y húmedo asciende y el frío desciende. Este cambio en la estructura térmica fuerza ascensos y descensos en las regiones de frontogénesis. El ascenso ocurre en el lado cálido, que adiabáticamente refresca el flujo que se eleva. Simultáneamente, el descenso en el lado fresco, calienta el flujo. Si el aire es cálido y húmedo, estos movimientos ascendentes inducidos apoyan la formación de nubes y la precipitación a lo largo del eje de dilatación en parte cálida. Por lo tanto, la deformación y la frontogénesis son mecanismos importantes en la organización de la precipitación en bandas mesoescalares.

Frontogénesis inducida por los efectos de la evaporación y fusión en las nevadas

Descendencias inducidas por enfriamientos

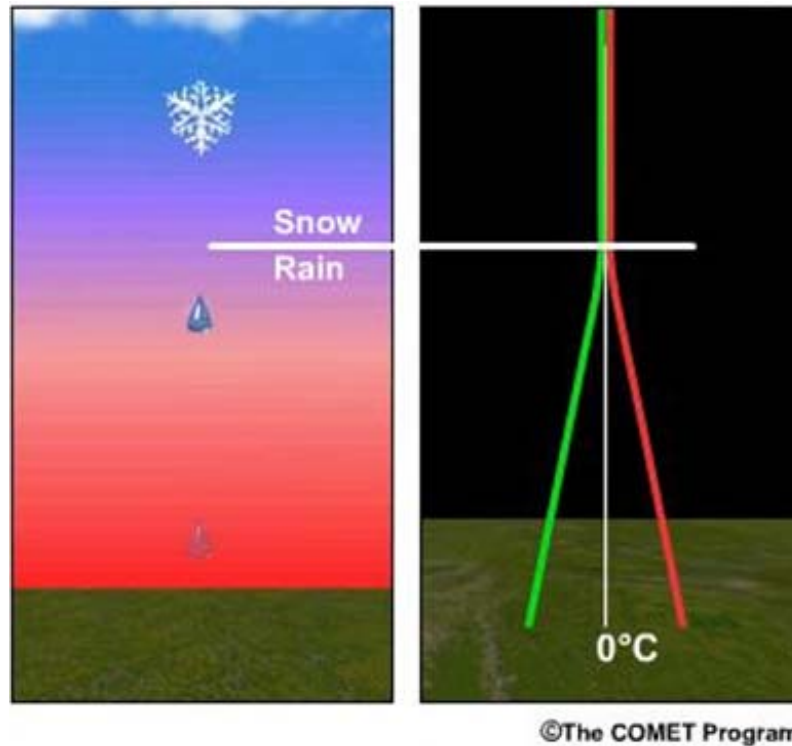


Figura I.4. Modelo conceptual del perfil de humedad y térmico, derecha, en situaciones de nevadas con capa seca cercana a la superficie, izquierda. Ver texto para detalles. Fuente: COMET.

Las circulaciones inducidas por la evaporación y la fusión pueden actuar para formar y organizar la precipitación en bandas de mesoescala. Cuando una capa seca existe cerca de la superficie, la precipitación sólida, especialmente en forma de nieve, que cae en ella se derretirá y/o se evaporará. Este proceso tiene varios efectos sobre troposfera próxima a la superficie seca:

- Se enfría cerca de o debajo del nivel del nivel de congelación/fusión.
- Se humedece, permitiendo que copos de nieve posteriores caigan más abajo antes de evaporarse.
- Llega a ser dominante la corriente descendente de mesoescala, inducida por enfriamiento de la evaporación en niveles altos.

Mientras que la nieve comienza a caer, primero se derrite, y después se evapora antes de alcanzar la superficie. Consecuentemente, la atmósfera se refresca y se humedece desde arriba hacia abajo. Una vez que la atmósfera se satura totalmente, no hay más enfriamiento adicional que pueda ocurrir por la evaporación. Sin embargo, esto no elimina el enfriamiento con la fusión.

Incluso después de que la atmósfera se satura, el enfriamiento adicional puede todavía ocurrir mientras que la temperatura está todavía por encima de cero grados. Como la evaporación de las gotas de agua o la sublimación de los copos de nieve, la fusión puede robar al aire energía térmica. Para derretir el hielo, más calor se debe tomar del aire circundante. Adviértase que el enfriamiento inducido por la fusión continúa después de que se alcance la saturación, de modo que el perfil final de temperatura será casi isotérmico a 0°C.

Cuando estos procesos ocurren en un ambiente sinóptico con precipitación continua, el resultado es una corriente descendente continua.

Frontogénesis inducida por enfriamiento

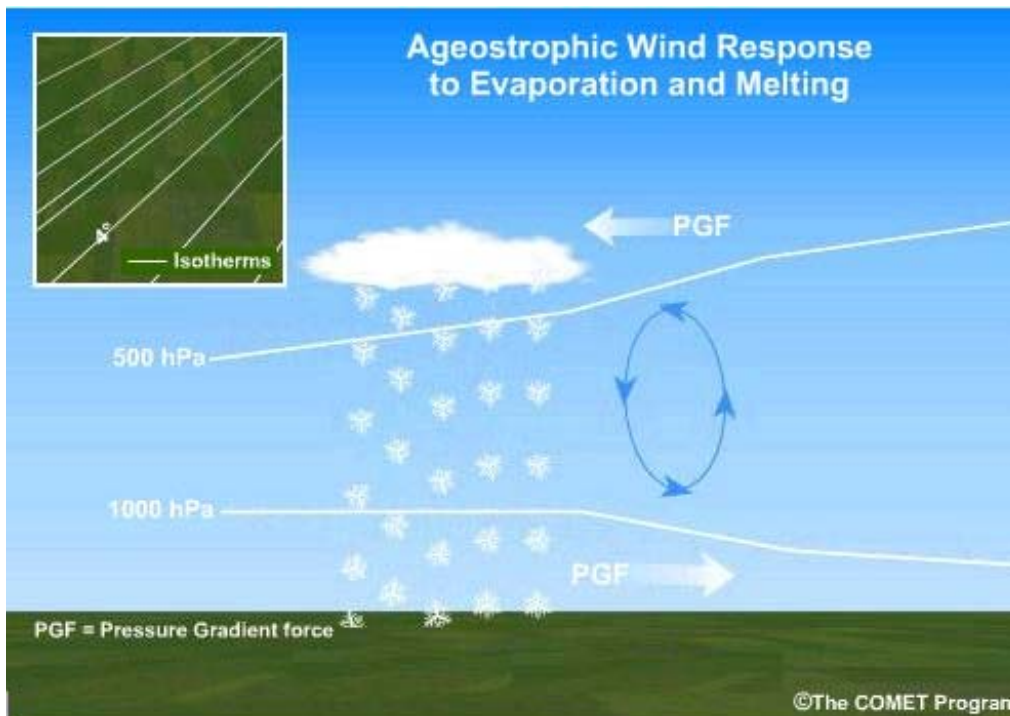


Figura I.5. Modelo conceptual de circulaciones asociadas a procesos de evaporación y fusión. Ver texto para detalles. Fuente: COMET.

Además de generar una corriente descendente, el enfriamiento del aire en el lado frío de un frente o frontera aumenta el gradiente de temperatura. La frontogénesis resultante consolida los movimientos verticales a lo largo del frente o frontera.

Así, la fusión y la evaporación dan lugar a una zona de convergencia de mesoescala en superficie. Por lo tanto, el aire cálido es forzado a elevarse sobre el aire frío, creando una versión mesoescalar de frente frío sinóptico, que da lugar a la precipitación en bandas.

La precipitación en bandas de este tipo ocurre a menudo cuando las temperaturas en bajos niveles están cercanas a la congelación. Así, tales acontecimientos comienzan como lluvia y cambian con frecuencia por encima a nieve. Además, las zonas frontales de superficie coinciden a menudo con la transición espacial de la lluvia a la nieve. Cuando ocurre esto, la precipitación más intensa cae en una banda orientada a lo largo y paralela a la zona frontal, en la vecindad de la isoterma de 0 ° C del termómetro húmedo.

Diversos procesos ligados a la frontogénesis mesoescalar pueden contribuir a realzar las zonas de precipitación sólida, e incluso organizarlas en bandas. Desgraciadamente no se ha podido realizar

ningún estudio detallado de frontogénesis sinóptica y mesoescalar en este estudio, salvo análisis subjetivos. Tampoco se han tratado aspectos tan novedosos como el CSI.

Respecto a los dos ingredientes restantes a nivel de mesoescala poco cabe añadir salvo algunos comentarios.

Estabilidad reducida

La estabilidad reducida es otro factor para realzar estas bandas no convectivas. Aunque algunos autores proponen utilizar campos de CSI (no disponibles en la actualidad), otros autores como Schumacher (2003), propone utilizar el gradiente vertical de temperatura media entre 500 y 700 hPa, o inestabilidad convectiva en niveles medios, sobrepuesta en la zona frontogénica.

Humedad

Las grandes nevadas se caracterizan por la persistencia e intensidad de la caída de los copos de nieve que son mayoritariamente cristales hexagonales dendríticos. Las zonas húmedas saturadas que están sometidas a un ascenso significativo deben estar comprendidas entre el rango de -12° y -16°C .

Por último, la persistencia y eficacia de los tres factores en actuar sobre una misma zona suele ser un elemento adicional a tener en cuenta.

Podemos concluir que existen factores de mesoescala que unidos a los sinópticos pueden generar y concentrar importantes nevadas en zonas llanas lejanas a las zonas de montaña. Las convergencias locales y los diferentes procesos frontogénicos de mesoescala son los mecanismos que las favorecen.

Evaluando la bondad de las herramientas

Aunque los predictores deben saber y diagnosticar las razones y las causas por las que se producen las nevadas (concatenación simultánea y positiva de ingredientes sinópticos y mesoescalares) no es menos cierto que los modelos numéricos de predicción, deterministas y probabilísticos, cada vez son más sofisticados y complejos y tratan las situaciones de nevadas de forma más realista. Las adaptaciones regionales y las técnicas de postproceso pueden dar un valor añadido a dichas salidas.

Además de diagnosticar la situación adversa, al “predictor” le queda la importantísima tarea de conocer las bondades, limitaciones y errores de los modelos, así como la sus posibles desviaciones que se produzcan en tiempo real y en corto y muy corto plazo, todo esto de forma muy especial, cuando se enfrentan a situaciones adversas.

El grado de desviación de las salidas de los modelos debe evaluarse continuamente con los datos de información de retorno. La no disponibilidad de estos datos de forma adecuada invalida la actividad primordial de conocer el grado de fiabilidad de las herramientas de predicción a corto y muy corto plazo. En este sentido, cabe resaltar que la vigilancia no se podrá hacer adecuadamente si no se dispone de una información rápida, rica y orientada al fenómeno adverso a analizar, que permita saber qué está pasando y que, además, sea útil para conocer el grado de fiabilidad de las salidas de los modelos numéricos de corto plazo.

Otro problema diferente es si dicha nieve cuaja o no sobre la superficie. La predicción de nevadas es, al menos, tan compleja o más que la predicción de lluvia ya que intervienen otros factores adicionales (temperatura en niveles bajos, temperatura de la superficie, su estado previo, tipo de cobertura superficial, etc.).

Los modelos numéricos, cada vez más complejos y sofisticados, tienen en cuenta muchos más factores que los que posee un predictor. Difícilmente una persona, al menos que esté muy bien preparada, que conozca en detalle las características locales y disponga de los medios y tiempo cronológico adecuado, puede mejorar las salidas de un modelo. Pero sí puede y debe conocer de antemano las debilidades del modelo y resaltar en tiempo real las desviaciones del propio modelo respecto a la realidad en situaciones adversas, donde la vigilancia del “predictor” debe ser un elemento fundamental en la cadena de la prognosis de fenómenos adversos.

II. DATOS DE LAS NEVADAS

1.- A nivel nacional

2.- A nivel regional

a.- Las nevadas en Castilla - La Mancha y en Madrid

b.- Las nevadas en Castilla y León

En este apartado se analizarán los datos disponibles de las nevadas registradas durante los días 8, 9 y 10 de enero en la zona centro peninsular. En primer lugar se hace un análisis de la precipitación diaria registrada, de 00-00, a nivel nacional y en segundo lugar se descienda a detalles regionales de las comunidades afectadas. Detalles más “finos” de la precipitación diaria a nivel nacional pero en el periodo de 07-07h, se pueden encontrar en el Anexo final.

1.- A nivel nacional

Los mapas mostrados en este apartado nacional se han generado utilizando información básica disponible en los días siguientes a las nevadas (datos preferentemente de estaciones automáticas diarios de 00-24h de la red de AEMET). No se ha usado la información de las estaciones termopluviométricas de la Agencia, aunque parte de la información está disponible en las figuras del Anexo.

Sobre los datos originales no se ha realizado un filtrado diferenciando entre las precipitaciones sólida y líquida. En principio, se ha supuesto que las registradas en el interior peninsular y en zonas altas fueron en forma de nieve, debido a las bajas temperaturas reinantes durante esos días en capas bajas. Otros detalles locales podrán apreciarse en el apartado regional, donde se presenta toda la información disponible en las Delegaciones Territoriales.

a.- Día 8

Las precipitaciones más significativas durante el día 8 en la zona centro se circunscriben a la provincia de Albacete donde se registraron nevadas importantes. La progresión de las precipitaciones desde el levante hacia el interior peninsular se observa en los siguientes mapas, correspondientes a los días venideros.

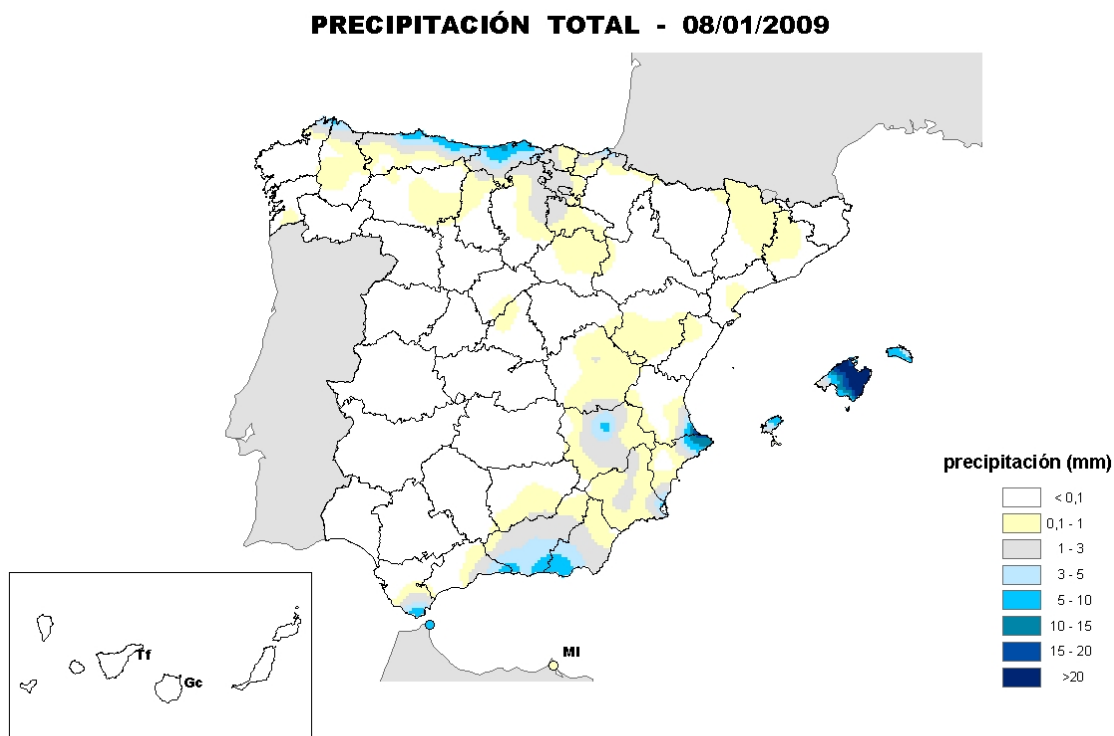


Figura II.1. Precipitación total registrada a nivel nacional el día 8 de enero de 2009, de 00 a 24h, según escala adjunta en mm.

b.- Día 9

Durante el día 9 se registran importantes nevadas en la mitad oriental de la zona centro, destacando las nevadas a lo largo de un corredor orientado de sur a norte que va desde la parte nororiental de la provincia de Toledo, pasando por el tercio este de la Comunidad de Madrid hasta la confluencia de las provincias de Burgos, Palencia, Valladolid y Soria. En estas zonas, alejadas de montaña, se registraron importantes precipitaciones sólidas. Otras zonas elevadas de Cuenca, Teruel y Guadalajara también se vieron afectadas por la nieve. Señales de precipitación, mayoritariamente de origen convectivo se observan en la zona centro y norte del litoral del arco Mediterráneo y Baleares. También se produjeron importantes nevadas en el interior de las Comunidades de Valencia y Cataluña, así como en zonas elevadas de Mallorca.

PRECIPITACIÓN TOTAL - 09/01/2009

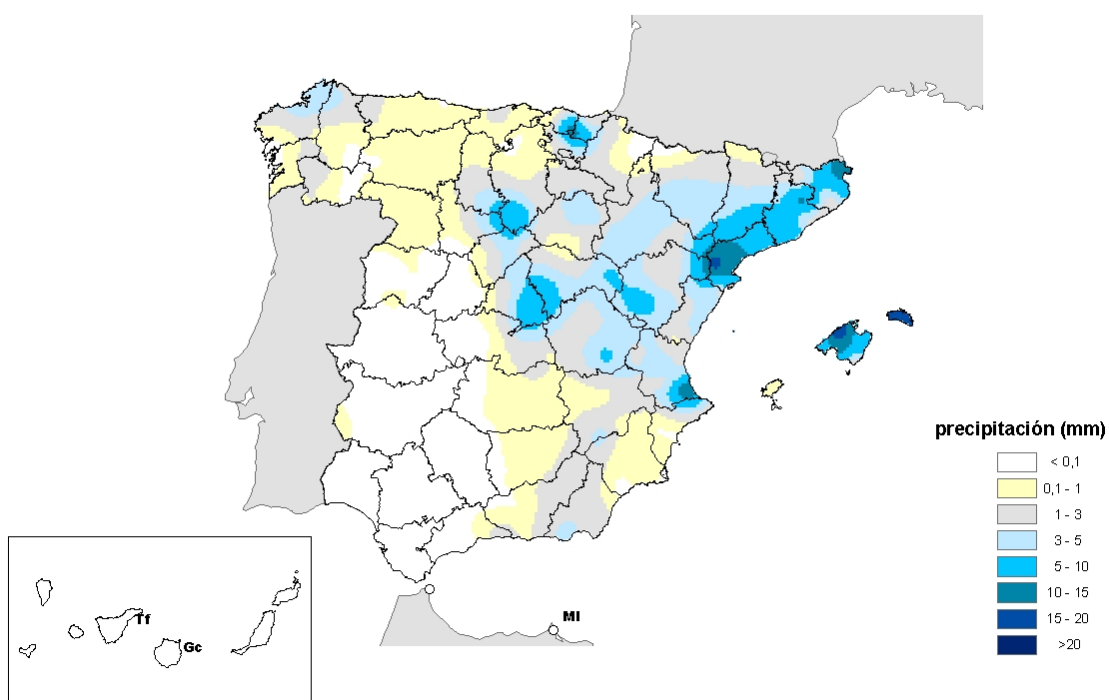


Figura II.2. Precipitación total registrada a nivel nacional el día 9 de enero de 2009, de 00 a 24h, según escala adjunta, en mm.

c.- Día 10

Las nevadas del día 10 quedaron restringidas, básicamente, a la meseta norte, tercio nordeste de la meseta sur y zonas de montaña de la Comunidad de Madrid.

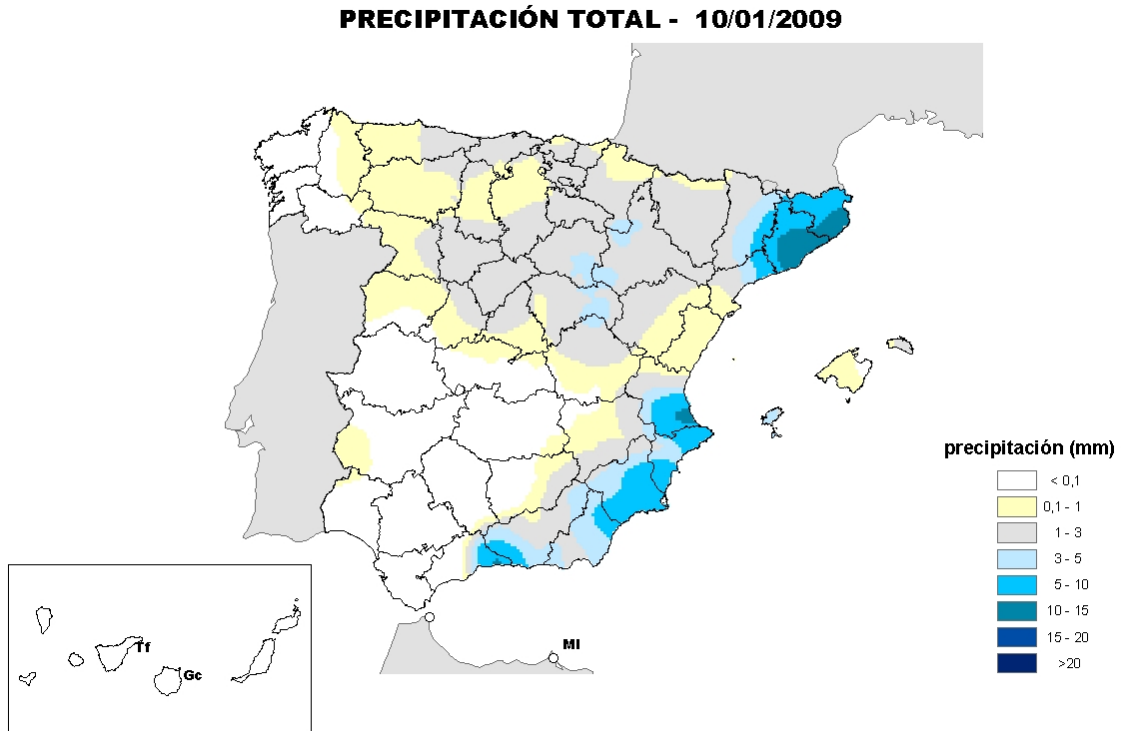


Figura II.3. Precipitación total registrada a nivel nacional el día 10 de enero de 2009, de 00 a 24h, según escala adjunta, en mm.

Un análisis más detallado y regionalizado se podrá ver en el siguiente apartado.

2.- A nivel regional

a.- Las nevadas en Castilla - La Mancha y en Madrid

El episodio de nevadas comenzó el día 8 en la provincia de Albacete donde a partir del mediodía nevó en la zona de la capital, en la que se recogieron entre 6 cm y 7 cm, 11 cm en La Roda y hasta 8 cm en la sierra de Alcaraz. Estas precipitaciones se fueron extendiendo por la mitad este de la meseta sur durante este día y el siguiente. En las imágenes PPI del radar de Madrid, no mostradas aquí, se observa el paso de ecos de precipitaciones por la provincia de Cuenca y cómo en la madrugada del día 9 adquieren una curiosa forma de arcos concéntricos perpendiculares a la dirección de traslación. En otras ocasiones, ese tipo de estructuras se habían visto asociadas a situaciones de estabilidad, pero en este caso podrían deberse a la interacción con un chorro en niveles medio-bajos reflejado en el sondeo de las 12 UTC de Madrid-Barajas.

Volviendo a los datos de precipitación, se registraron 25 cm en Albaladejo Cuende (Cuenca) y en Hiendelaencina (Guadalajara). En las provincias de Toledo y Ciudad Real las nevadas se limitaron a la parte más oriental de las mismas. Destacar que en todas estas zonas junto a precipitaciones importantes de nieve aparecen estaciones pluviométricas donde hay datos depurados sin precipitación. En menos del 10% de las estaciones se cifró lluvia y nieve sin especificar la duración de cada meteoro.

Localidad	Provincia	Precipitación (cm) Días 8-9
Albaladejo Cuende	Cuenca	25
Hiendelaencina	Guadalajara	25
Pantano de Alcorlo	Guadalajara	25
Sisante	Cuenca	16
Brihuega	Guadalajara	14
Puerto Lápice	Ciudad Real	10
Villanueva de Bogas	Toledo	8

Tabla II.1. Precipitación en forma de nieve en Castilla-La Mancha durante los días 8 y 9 de enero de 2009.

Lo primeros ecos significativos de precipitación en el radar se observaron en la zona suroriental de la Comunidad de Madrid sobre las 4 UTC del día 9. En la capital comenzó a nevar débilmente sobre las 7 UTC y estuvo nevando hasta el mediodía haciéndolo moderadamente a media mañana. En el extremo oriental de la provincia el efecto conjunto del eje mayor de la estructura de precipitación con la dirección de movimiento hizo que fuera en esa zona donde más espesor de nieve se alcanzó. Excepto en la comarca de la sierra norte, la nieve no llegó significativamente al resto de la sierra de Guadarrama.

A las 14 UTC ya no se apreciaban ecos en el radar, pero una hora más tarde volvían los ecos ya con una nueva banda más del este. A partir de ese momento la nieve llegaría a gran parte de la sierra. Se registraron alrededor de los 6 cm en Madrid capital, entre 10-14 cm en la zona más oriental de la provincia y se llegó hasta 20 cm en la parte más septentrional de la sierra. Se recogieron 28 cm en El Molar y 20 cm en La Serna del Monte. Excepto en tres estaciones del extremo suroccidental de la provincia, en todas las demás hubo precipitación y en todas ellas en forma de nieve. En la mayor parte de las mismas fue superior a 6 cm. Por otra parte, ni en la red convencional ni en la red de detección de rayos se registró actividad tormentosa en Madrid y Castilla-La Mancha.

Localidad	Precipitación (cm) Días 8-9
El Molar	28
La Serna del Monte	20.4
Fuente el Saz	13.5
Alcalá de Henares	13
Villamanrique Tajo	11.3
Presa El Vellón	10

Tabla II.2. Precipitación en forma de nieve registrada en la Comunidad de Madrid durante los días 8 y 9 de enero de 2009.

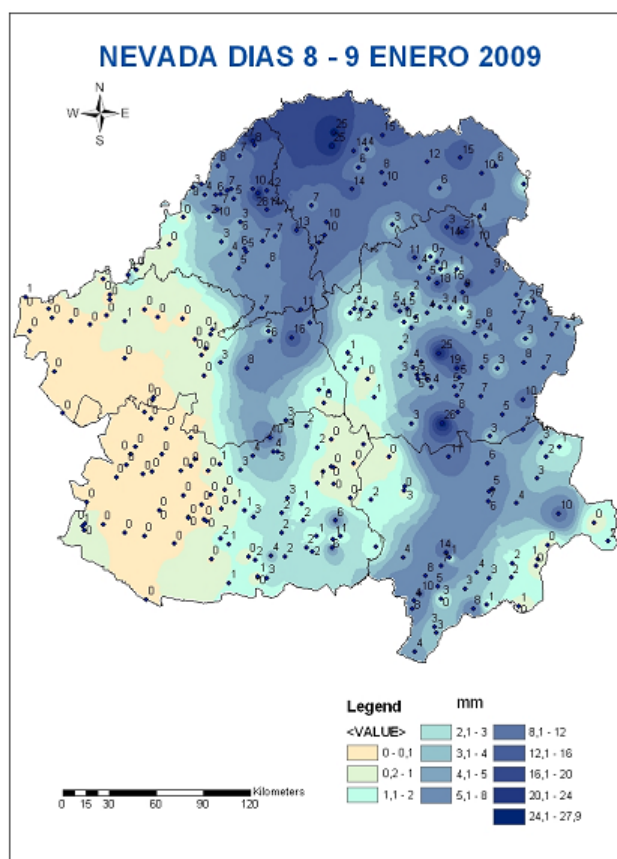


Figura II.4. Distribución espacial de la precipitación durante los días 8 y 9 de enero de 2009 en Madrid y Castilla-La Mancha. Ver escala adjunta para detalles de valores.

Desde el punto de vista del radar, durante la mayor parte del episodio no se superaron los 45 dBZ en las imágenes PPI ni tampoco el echotop llegó a los 4 km. de altura. Estos hechos confirman la escasa reflectividad que poseen los copos de nieve y los bajos echotop en este tipo de nevadas en invierno. Éste y otros aspectos relativos al radar, relacionados con la detección de nevadas, se tratarán en apartados específicos.

b.- Las nevadas en Castilla y León

La nevada que afectó a Castilla y León, desde la mañana del día 9 hasta la madrugada del día 10, estuvo caracterizada por la persistencia, sobre todo en el este de la provincia de Soria y sur de la provincia de Burgos, que hizo que las cantidades recogidas fueran superiores a 15 cm en una amplia zona. Aunque dicha zona tiene una baja densidad de población, es el paso de la Nacional I. Esto afectó a la circulación rodada, teniendo en cuenta además, que ese fin de semana se celebraba en Valladolid una concentración nacional de motos.

De las cantidades recogidas (todas en forma de nieve) de los observatorios principales y estaciones automáticas únicamente destacar los 14.4 cm de Aranda Duero y los 6.2 cm de Soria.

ESTACIÓN	Día 9 (cm)	Día 10 (cm)	TOTAL (cm) Días 9-10
Aranda del Duero	11.4	3.0	14.4
Soria	6.2	0.4	6.6
Autilla del Pino	3.5	0.2	3.7
Segovia	2.4	1.8	4.2
Valladolid	1.8	0.3	2.2

Tabla II.3. Datos de las precipitaciones sólidas registradas en Castilla y León durante los días 9 y 10 de enero en las estaciones automáticas y principales, junto al total.

Sin embargo en la red secundaria se superaron los 15 cm en numerosos puntos destacando entre las cantidades recogidas las siguientes:

Localidad	Provincia	Precipitación (cm) Días 9-10
Berganza de Duero	Soria	27
Tubilla del Lago	Burgos	24
Coruña del Conde	Burgos	23
Alcubilla de Abellaneda	Soria	23
Morcuera	Soria	22
Milagros	Burgos	21
Calatañazor	Soria	20
Romanillos de Medinaceli	Soria	20

Tabla II.4. Precipitación en forma de nieve en la red de estaciones termopluviométricas, TP, durante los días 9 y 10 de enero de 2009.

En las imágenes radar del PPI nos permite analizar la evolución temporal de la nevada. La banda de precipitación que produjo las nevadas en la madrugada en Madrid y Castilla - La Mancha, se extiende hacia el norte atravesando el sistema Central entre las provincias de Soria y Segovia a partir de las 9 UTC, intensificándose y extendiéndose posteriormente a la provincia de Burgos. A las 18 UTC una nueva banda entra más hacia el este por la provincia de Soria, se une a la anterior y se mantiene hasta las 22 UTC en el mismo lugar, moviéndose hacia el oeste afectando a última hora del día 9 sobre todo a la provincia de Valladolid. Por último se mueve hacia el sur, debilitándose en la madrugada del día 10.

En la figura II.5 aparecen dibujados los datos a partir de la información de las estaciones TP, la precipitación acumulada de 07 UTC de día 9 a 07 UTC del día 10. Se aprecia como hay una amplia zona al suroeste de la provincia de Soria y el sur de la provincia de Burgos donde las precipitaciones superaron

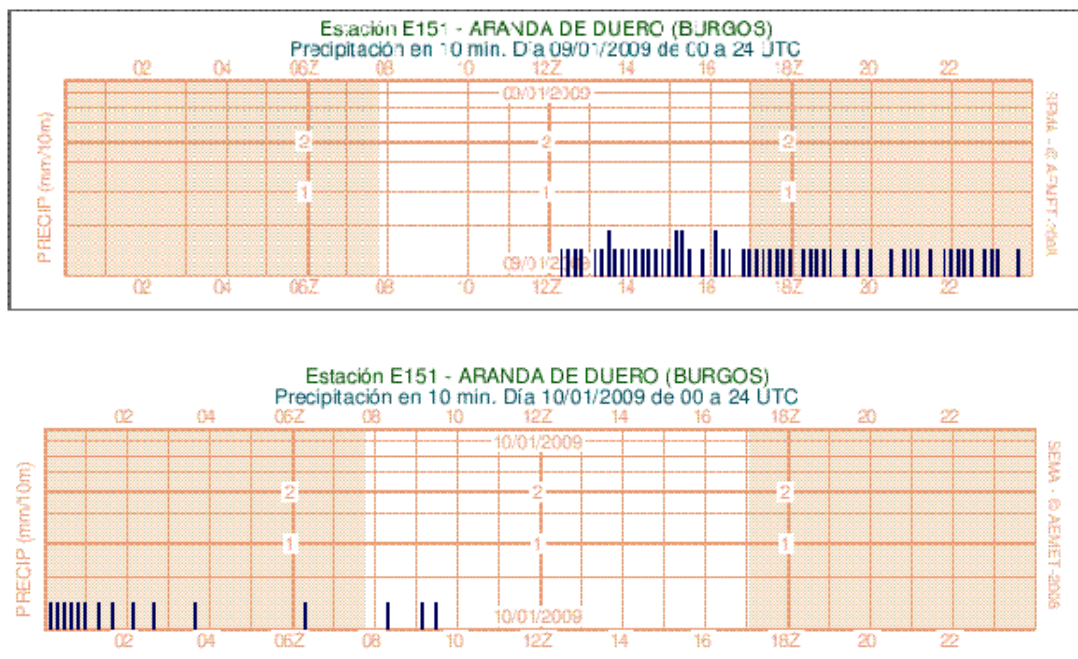


Figura II.6. Registro de las precipitaciones diezminutales en Aranda del Duero (Soria) durante los días 9 (superior) y 10 (inferior). La persistencia fue el elemento más característico de dicha nevada.

III. DIAGNOSIS DE LA SITUACION

1.- Marco sinóptico

2.- Análisis mesoescalar

a.- Zonas de Castilla-La Mancha y de Madrid

b.- Zonas de Castilla y León

3.- Análisis de los radiosondeos

1.- Marco sinóptico

El objetivo de este apartado es analizar y diagnosticar lo acontecido estos días desde el punto de vista sinóptico, básico para entender otros aspectos locales y regionales. Un enfoque propicio y útil podría ser el de identificar los “ingredientes” meteorológicos, a escala sinóptica, favorecedores de las intensas nevadas registradas en áreas de la zona centro peninsular durante los días 8, 9 y 10 de enero de 2009.

Siguiendo este enfoque basado en el concepto de “ingredientes”, tratamos de identificar los elementos meteorológicos, a escala sinóptica, que debieron estar presentes de forma simultánea para dar lugar a las intensas nevadas registradas objeto de este estudio.

Los ingredientes buscados, tal y como se han definido en anteriores apartados, serán:

- Existencia de un mecanismo amplio de ascenso.
- Frío marcado en capas bajas, y
- Humedad suficiente en niveles bajos-medios.

Para llevar a cabo lo comentado se presentan los análisis de las imágenes de satélite desde el día 8 a las 12 UTC, cuando podemos situar el inicio del episodio, hasta el día 9 a las 18 UTC, cuando el episodio comienza a remitir. Recordamos que el inicio del episodio se sitúa en las nevadas registradas en el sureste de Castilla-La Mancha la tarde del día 8 y el fin de episodio podemos situarlo en la noche del día 9 y la madrugada del día 10, cuando comienzan a remitir las nevadas en Castilla y León.

Para los análisis se han tomado como referencia los análisis de los modelos CEPPM (Centro Europeo de Predicción a Plazo Medio) e HIRLAM-AEMET, o simplemente HIRLAM, según el caso.

Principales estructuras en 500 hPa: dinámicas y térmicas	Configuración en 850 hPa: flujos y estructura térmica	
		Día 8 12 UTC
		Día 8 18 UTC
		Día 9 00 UTC
		Día 9 06 UTC

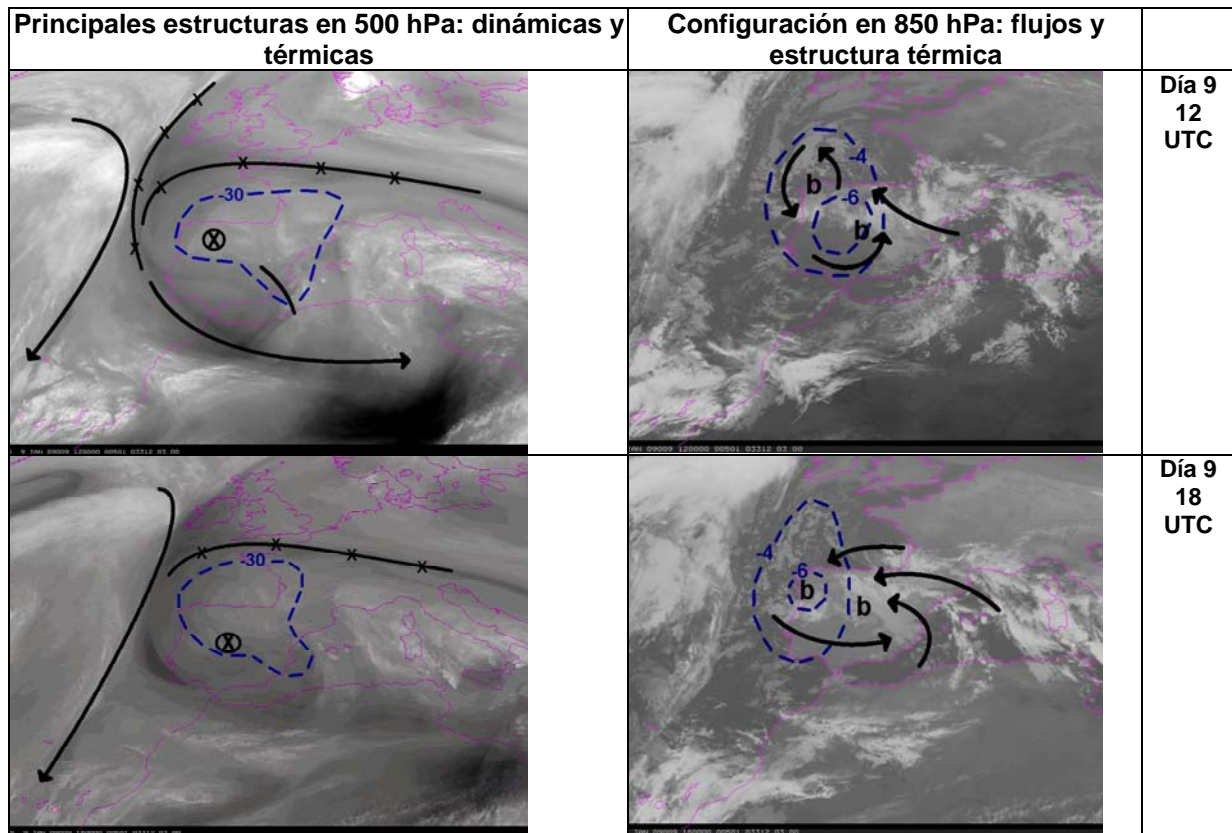


Figura III.1.1. Análisis de las principales estructuras observadas en las imágenes de WV06.2, izquierda, e IR10.8, derecha, junto con algunos elementos dinámicos y térmicos derivados de los análisis para el día y la hora correspondiente, para niveles altos con la T en 500 hPa y flujos principales, y para niveles bajos la T en 850 hPa y flujos principales. “X”, centro de vorticidad ciclónica, “b” bajas secundarias e isotermas en línea discontinua. Ver más detalles en el texto.

a.- Forzamiento

Durante gran parte del episodio, se tiene una extensa Depresión Aislada en Niveles Altos, DANA, retrógrada en flujo del este con reflejo en superficie, por lo tanto, se puede considerar como borrasca fría aislada figura III.1.1. La borrasca afecta a la península, Baleares y el norte de África. Esta baja había traído aire muy frío a la península en los días precedentes. Dentro de la circulación ciclónica a gran escala de la baja se localizan distintas estructuras de menor escala, como se indica, en las figuras del análisis subjetivo realizado. La baja y vaguada de altura quedan reflejadas en los campos de vorticidad potencial en 300 hPa, figura III.1.2.

Como se puede observar en la figura anterior, el vórtice principal, circunferencia con X en las imágenes de WV, situado el día 8 a las 12UTC próximo al golfo de Vizcaya, sigue un movimiento retrógrado centrándose sobre Galicia el día 9 entre las 00 y las 06UTC. A la par, una onda secundaria en altura barre la meseta sur de oeste a este, afectando a la zona centro el día 9 entre las 00 y las 06UTC. El embolsamiento frío en niveles medios marca temperaturas por debajo de -30 °C en 500 hPa durante todo el episodio, alcanzando valores de -34 °C en el vórtice principal de niveles medios.

La llegada de la DANA trae como consecuencia la respuesta y presencia de una gran masa de nubes que penetra desde el este sobre la península e inestabiliza el área mediterránea.

El desarrollo de movimientos ascendentes generalizados queda de manifiesto, directa o indirectamente en los campos de advección de temperatura en diversos niveles, divergencia del vector Q, etc., que se aprecian en las dos siguientes figuras.

b.- Ambiente muy frío

En niveles bajos, la situación está gobernada por un anticiclón sobre el interior de Europa. En los días previos al inicio del episodio, el anticiclón había estado centrado sobre las Islas Británicas; lo que provocó la entrada en la península ibérica de una masa de aire muy fría y seca, procedente del interior del continente europeo. Cuando se inicia el episodio prácticamente toda la zona en estudio se encuentra con temperaturas por debajo de -6°C en 850 hPa.

El anticiclón se fue extendiendo con orientación zonal hacia el interior de continente, reforzándose sobre centroeuropa, lo que facilitaba que el flujo sobre la península, inicialmente del nordeste, y posteriormente de componente este en las zonas mediterráneas, adquiriendo humedad por su recorrido marítimo sobre el Mediterráneo. Esto provoca la advección de aire húmedo y menos frío sobre la masa anterior muy fría, que quedó represada junto al suelo en el interior de la península.

c.- Humedad en capas bajas

Las líneas de flujo vienen fijadas por los centros de bajas presiones relativas formados sobre la península. Bajo el vórtice principal en altura se desarrolla una mesobaja que evoluciona, igual que aquel, en movimiento retrógrado desde las proximidades del golfo de Vizcaya hacia Galicia.

La entrada de aire **húmedo y cálido, o menos frío, con recorrido marítimo** y, por lo tanto, con alto contenido de humedad, alcanza inicialmente el sureste de la meseta sur, justo donde se sitúa el inicio del episodio de nevadas, esto es, entre el 8 a las 12UTC y primeras horas del día 9. En las horas siguientes la entrada se extiende hasta la zona centro y la meseta norte. El aire más cálido y húmedo se ve forzado a elevarse sobre el aire más frío subyacente.

El núcleo frío de -6°C en 850 hPa se va desplazando hacia el noroeste peninsular, empujado por el aire menos frío que va entrando desde el Mediterráneo; sin embargo, la temperatura junto al suelo permanece muy fría, incluso varios grados por debajo de los 0°C en la meseta norte hasta el fin del episodio.

Podemos concluir, a la vista de estos análisis, que los **ingredientes** necesarios, para la generación de nevadas a escala sinóptica, estaban presentes de forma simultánea en la zona de estudio durante el episodio aludido: la existencia de un mecanismo de ascenso viene garantizada por la DANA y pequeñas ondas existentes en su seno, en particular, el desplazamiento de la onda secundaria que aporta forzamiento a la zona centro peninsular, con temperaturas muy bajas en niveles medios. El aire frío en capas bajas es evidenciado por los valores de la temperatura en 850 hPa y en superficie. La humedad necesaria es aportada por la masa de aire con cierto recorrido marítimo que llega desde el Mediterráneo occidental.

Es un tipo de nevada ya tipificada en estudios previos y catalogadas por el Grupo de Predicción y Vigilancia (GPV) de Madrid como de **nevadas de tipo cálido** (o de advección cálida sobre aire frío), ver por ejemplo Palacio y otros (2004).

Con el fin de evidenciar la presencia de los ingredientes necesarios para las intensas nevadas registradas durante el episodio se presentan a continuación una serie de campos derivados que reflejan, de forma más detallada, lo expuesto en los análisis subjetivos de las imágenes de satélite mostrados. Se han elegido como representativos de la situación los campos de vorticidad potencial, VP, en 300 hPa, advección de temperatura, Adv. T, y velocidades verticales en 700 hPa, W, partiendo de los análisis del modelo del CEPPM para las fechas y horas mencionadas.

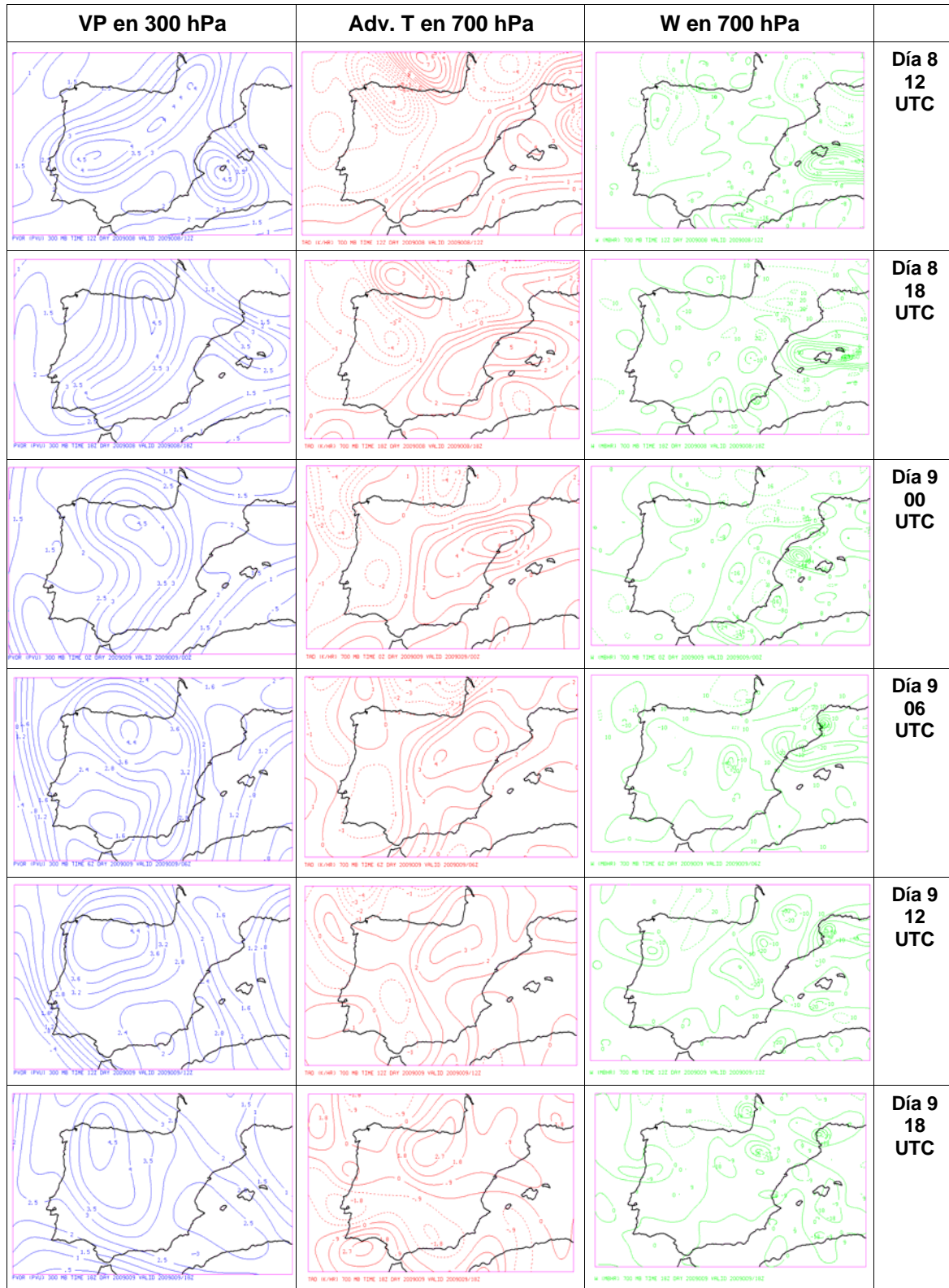


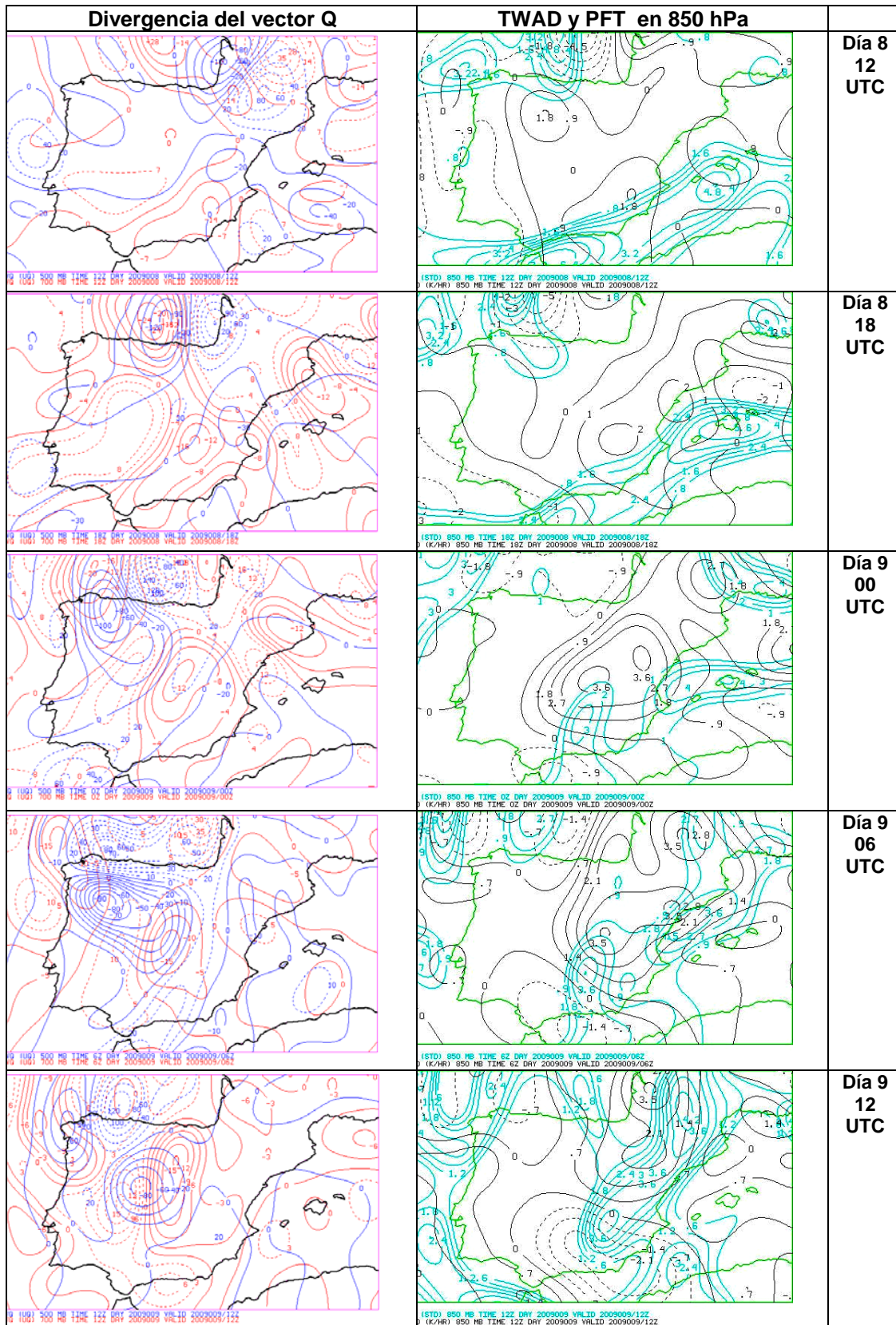
Figura III.1.2. Mapas de VP en 300 hPa, columna de la izquierda, Advección de temperatura en 700 hPa, columna central, y velocidades verticales en 700 hPa, columna derecha: velocidades negativas/positivas, representan ascensos/descensos. Unidades estándar para cada uno de los campos. Análisis según el modelo del CEPPM para los días y las horas indicadas.



Los campos de los análisis del modelo mostrados se ajustan de forma llamativa a la evolución espacial y temporal de las nevadas en la zona centro, en concreto, la advección de temperatura y la velocidad vertical, W , en 700 hPa.

La tarde del día 8 en el sureste de Castilla-La Mancha coincide un máximo de velocidad vertical, W , en 700 hPa con un máximo de advección cálida en 700 hPa; el día 9 entre las 00 y las 06 estos máximos coinciden sobre la Comunidad de Madrid, sobre todo en su parte oriental, y posteriormente la superposición de estos máximos se desplaza hacia el norte, situándose sobre el este de Castilla y León.

A las mismas conclusiones llegamos a través de los campos divergencia del vector Q y advección de temperatura potencial del húmedo, $TWAD$, en 850 hPa que se presentan a continuación, figura III.1.3. Como complemento se ha añadido el campo del parámetro frontal térmico, PFT , en 850 hPa.



III. Diagnóstico de la situación

Estudio de las nevadas del 8-10 de enero de 2009 en la zona centro peninsular.

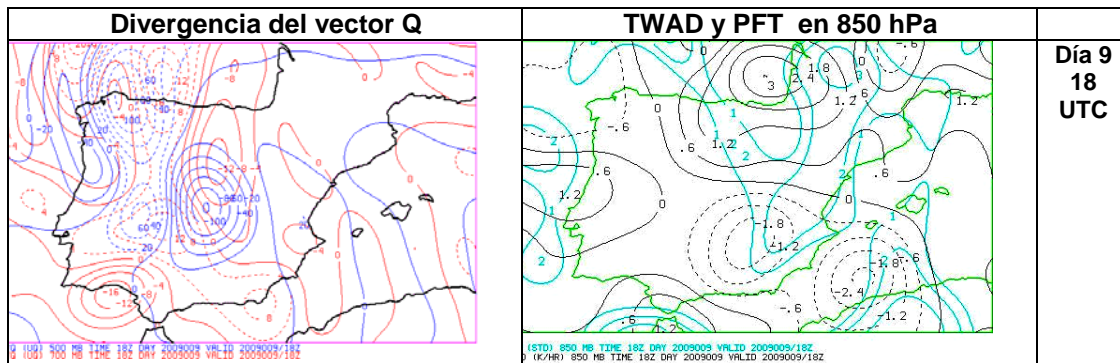


Figura III.1.3. Campos derivados obtenidos partir de los análisis del modelo determinista del CEPPM según día y hora señalada. Columna de la izquierda, Divergencia del vector Q en 700, rojo, y en 500 hPa, azul: valores negativos están asociados a ascensiones y positivos a descensiones a nivel sinóptico. Columna de la derecha, Parámetro Frontal Térmico, PFT, en azul, y advección de temperatura en 850 hPa, en negro, con líneas continua/discontinua allí donde la advección es positiva/negativa, respectivamente. Unidades estándar para cada uno de los campos.

Una vez más, se puede observar que las advecciones en 850 hPa de temperatura coincidían con la zona de forzamiento dinámico en 700 hPa en las zonas donde se desarrollaron las nevadas. Sin embargo el PFT no recoge de forma clara la frontera mesoescalar que marcaba el contraste entre el aire Mediterráneo y el frío del interior de la península ibérica hasta el día 9 a las 12 UTC.

A partir de los campos básicos y derivados de los análisis de los modelos y sobre todo con las imágenes de satélite se observa cómo se produce la entrada de aire cálido y húmedo desde la zona del mar Mediterráneo. Este aire se ve forzado a elevarse sobre el aire más frío subyacente facilitando el desarrollo una posible frontera mesoescalar que podría realzar los mecanismos e ingredientes favorecedores de las nevadas en distintos áreas de la zona centro.

Mayor detalle de la distribución espacial de la intensidad de las nevadas habrá que buscarlo en estructuras a menor escala, cuestión que se aborda en los siguientes apartados.

Inestabilidad

La inestabilidad convectiva quedó concentrada en la zona mediterránea y zonas limítrofes terrestres, como lo atestiguan los datos de superficie, radar, satélite y rayos, entre otros. Los campos de CAPE (Convective Available Potential Energy) y LI (Lifted Index) así lo señalan en los mapas previstos para el día 9 a las 06 UTC, figura III.1.4. Por el contrario, la inestabilidad en niveles medios quedó reflejada en los campos de gradiente vertical de temperatura 700/500 hPa con valores entre 8 y 9 °C, figuras no mostradas aquí.

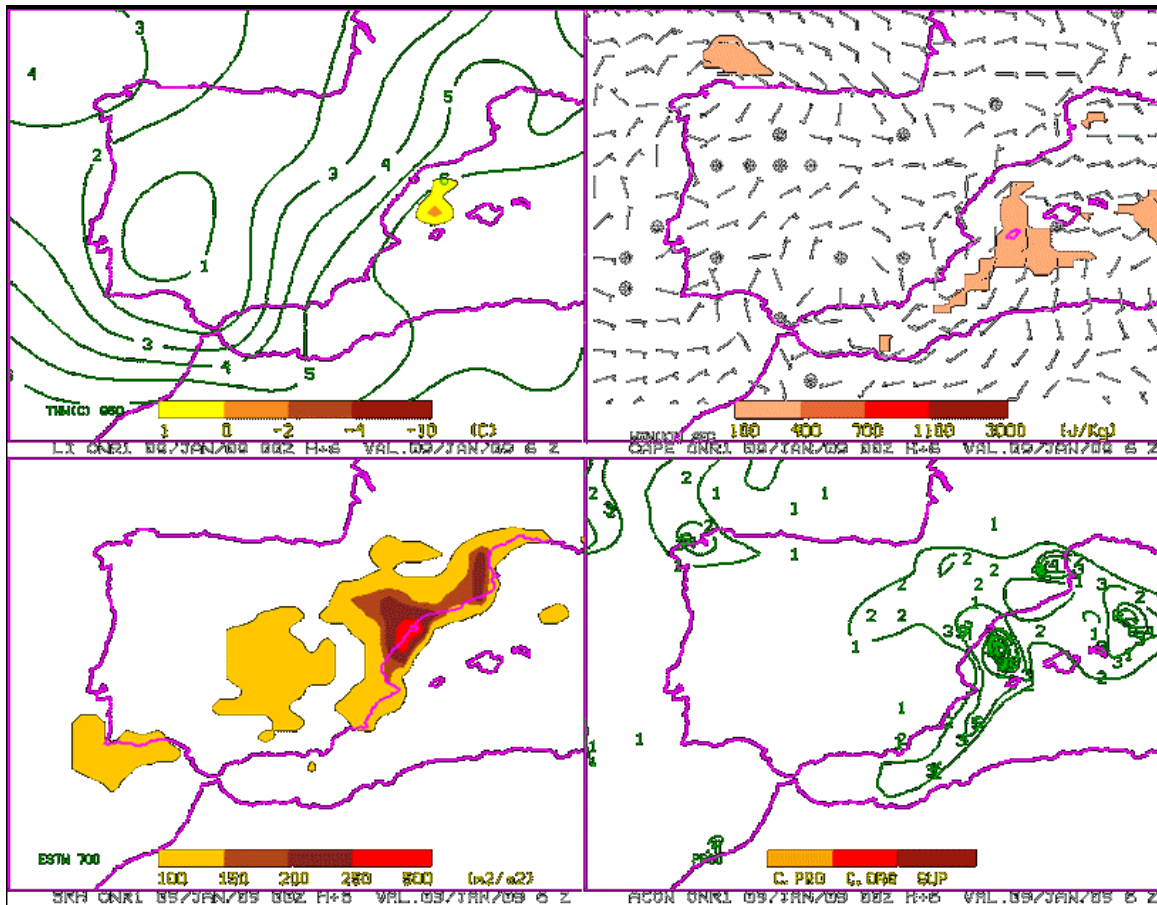


Figura III.1.4 .Campos derivados convencionales orientados a la diagnosis y prognosis de la convección. De izquierda a derecha y de arriba a abajo: LI, escala de colores, y THW en 850 hPa en °C y líneas verde; CAPE en J/kg y escala de colores, y viento a nivel de superficie en kts; Estabilidad húmeda en 700 hPa en verde y Helicidad relativa a la tormenta; Precipitación no resuelta explícitamente por el modelo, en mm y línea continua verde. Zonas de inestabilidad marcadas por el CAPE y LI se centran lejos de las zonas de nevadas significativas en la zona centro. Modelo ONR1-HIRLAM0.5, pasada del 9 de enero de las 00 UTC, previsto para las 06 UTC.

En la figura anterior se marca el contraste de la temperatura potencial de termómetro húmedo, THW (temperatura potencial del termómetro húmedo) en 850 hPa, panel superior izquierdo, que marca las diferencias entre las masas de aire de la zona centro-oeste, fría y seca, y la que penetraba desde la zona del Mediterráneo soportada por los vientos del este en niveles medios-bajos.

Humedad: Corte Vertical

Los cortes verticales constituyen una herramienta muy útil para analizar la distribución de ciertas variables en la vertical. En este caso resulta muy significativo disponer de un corte a lo largo del paralelo 39,7° y analizar la distribución térmica y de humedad.

En la parte inferior derecha, en gris, se observa un trozo de tierra (Baleares, vista por el modelo) y en el centro e izquierda, el perfil de la península, según la orografía del modelo. Sobre ella descansa el aire muy frío de los días precedentes y solamente por el este y en capas bajas se adivina aire por encima de los 0°C.

La humedad alcanza el 90% en gran parte del este de la península. La zona más seca se aprecia al oeste de 4° W en capas bajas. El contraste de masas es notorio alrededor de 800-700 hPa en torno a 3° W.

Indicar por último que zonas de alto contenido de humedad se situaban entre -12 y -16 °C, propensas para generar significativas nevadas potenciales. Los vientos en el tercio este peninsular, no mostrados en el corte, advectaban aire húmedo sobre aire frío y seco en capas bajas.

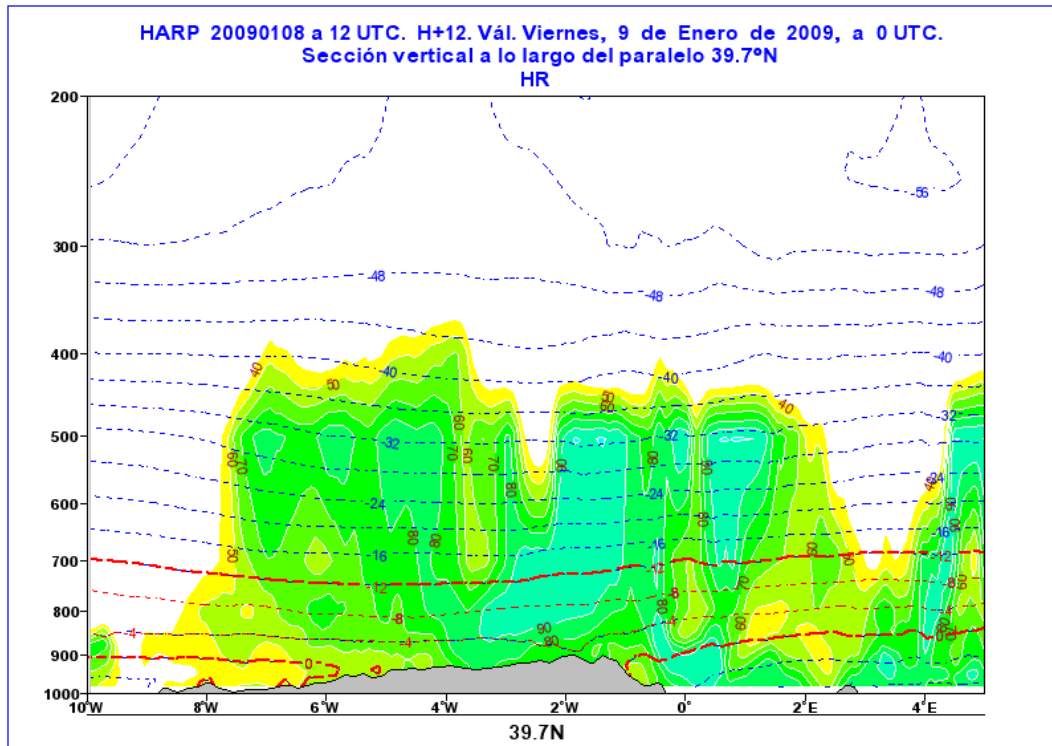


Figura III.1.5. Corte vertical según modelo HIRLAM0.05 de alta resolución a lo largo del paralelo 39,7 °N para las 00 UTC del día 9, según la pasada del día 8 a las 12 UTC: el Mediterráneo en la parte derecha y el océano Atlántico en la parte izquierda. La península, en gris, en la parte central, y Baleares en la parte derecha. Humedad relativa en una escala de colores que va del amarillo (bajo) - celeste verdoso (alta), isotermas en línea discontinua en rojo y en °C.

Las nevadas del 8-10 de enero de 2009 se pueden considerar como **nevadas de advección cálida de masa de aire mediterránea**. Se caracterizan por:

- La entrada de **aire húmedo** y relativamente cálido en niveles medios bajos sobre una zona más fría de aire preexistente invernal **frío** y seco.
- Flujo de levante que llega a penetrar en capas bajas hasta la zona centro.
- La penetración del aire de levante viene condicionada por la presencia de una **perturbación ciclónica en altura** (DANA, en este caso, con vaguadas secundarias asociada) que genera las condiciones ideales para dicha entrada y un **marco favorable** de ascensos en determinadas zonas.
- **El contraste de ambas masa de aire**, y los flujos asociados, es capaz de **desarrollar una frontera mesoescalar** en capas bajas cuyos gradientes van aumentando con el tiempo: frontogénesis

mesoescalar. Esta frontera es difícil de detectar con las salidas de tipo sinóptico de los modelos operativos.

- En dicho proceso, y con los ingredientes (humedad y frío) dispuestos y presentes de forma adecuada, se supone que se generaron circulaciones transversales ageostróficas directas donde el aire húmedo-cálido asciende en su parte delantera y el frío desciende en su parte trasera. Estas corrientes verticales se unen a las existentes a nivel sinóptico reforzando la precipitación en capas bajas. La orientación de una banda de precipitación de sur a norte en ambas mesetas hace suponer de la existencia de dicha frontera y de las nevadas significativas en zonas llanas. Otros efectos locales modulados por la orografía pueden realzar dichas corrientes verticales. Dichas corrientes transversales tienden a restaurar el equilibrio geostrófico y destruir esta frontera.

- Estas nevadas de advección cálida y húmeda suelen ser muy eficientes al generar precipitaciones sólidas en un entorno de alto contenido de humedad, tanto en zonas de montaña como en llanas.

Como se mostrará en los siguientes capítulos la intensidad del flujo de levante en niveles bajos es fundamental para determinar el grado de penetración de las zonas de precipitación hacia la zona centro y oeste de la península.

En el Anexo se pueden ver algunos campos más de la situación analizada.

2.- Análisis mesoescalar

a.- Zonas de Castilla- La Mancha y de Madrid

La mayor parte de las nevadas de cierta importancia en la meseta sur peninsular se caracterizan por la entrada en niveles bajos de una masa de aire húmeda y relativamente cálida del segundo cuadrante que interacciona con otra masa de aire seca y más fría. Son las llamadas nevadas de advección cálida (Palacio, José Ignacio; Cano, Darío; Ayensa, Eugenio. "Análisis de la cota de nieve por situaciones en la Comunidad de Madrid", 2004). Con la suficiente humedad y la presencia de aire frío en una amplia capa cerca del suelo, unido a unas condiciones sinópticas favorables, suelen registrarse nevadas en dicha zona que normalmente superan los 3 cm de espesor en muchos puntos.

a.- Día 8

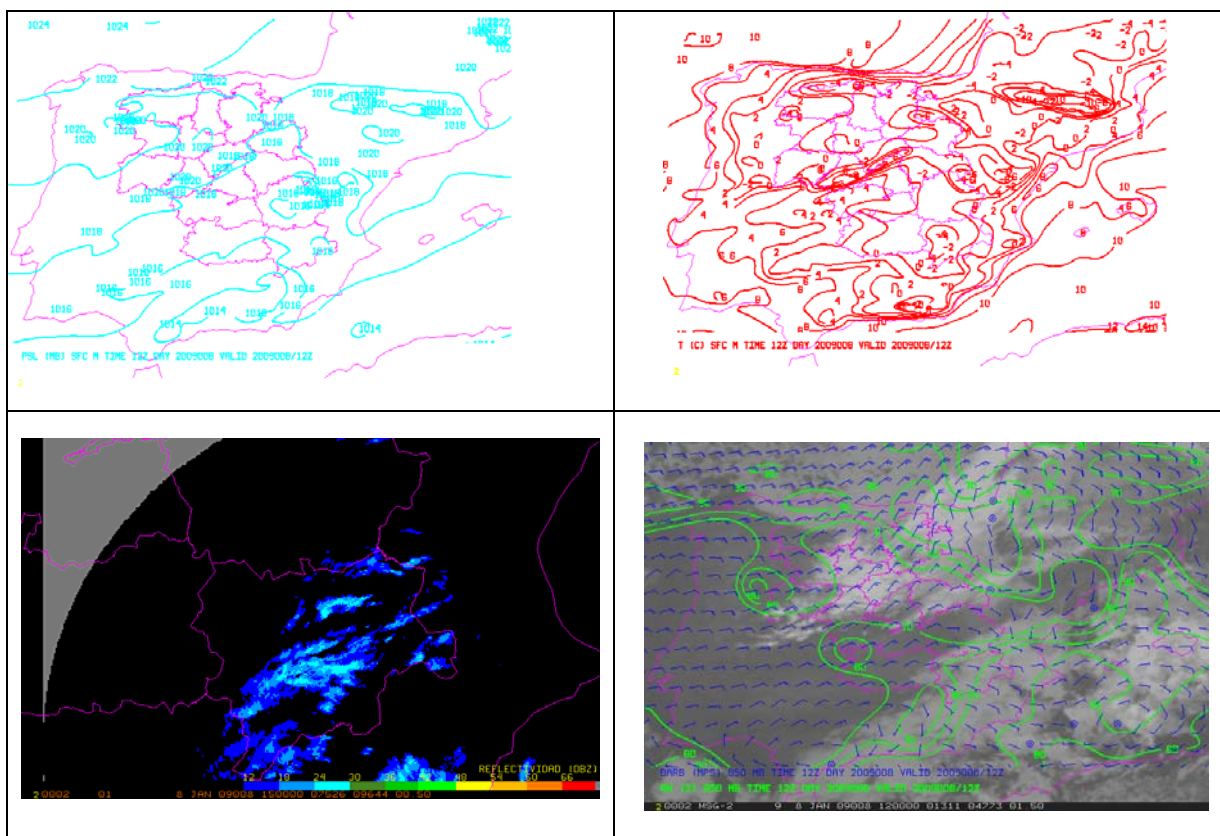


Figura III.2.1. Arriba: Análisis superficie HIRLAM0.05 08/12UTC de presión (izquierda, hPa) y temperatura (derecha, °C). Abajo: Imagen de reflectividad del PPI en rango largo del radar de Murcia 08/15UTC. Escala de reflectividades en la parte inferior de la imagen (izquierda, dBZ) e imagen infrarroja MSG y análisis CEPPM 08/12UTC de viento, kts, y humedad > 70% en 850 hPa (derecha).

En el análisis de superficie de las 12UTC del día 8, figura III.2.1, se aprecia cómo la disposición isobárica configura un flujo débil del noreste en gran parte de la meseta, excepto en las provincias de Cuenca, del este y en Albacete, variable.

La mayor humedad se concentra en el sureste y en puntos aislados de los sistemas montañosos. A esa hora, en la imagen infrarroja hay una banda de nubosidad media-baja de procedencia mediterránea que originará horas más tarde la primera nevada del episodio en la provincia de

Albacete. En las imágenes del radar de Madrid no se recogen los ecos de esta precipitación debido a la distancia al radar de la misma y escasa altura de los ecos, pero sí en el radar de Murcia, figura III.2.1. Excepto en el tercio occidental, las temperaturas en superficie son inferiores a 0°C, figura III.2.1. En el análisis de 850 hPa el flujo del este se ve claramente el largo recorrido marítimo, con una advección cálida y húmeda sobre las provincias de Cuenca y Albacete, mientras que en 700 hPa el flujo en esta última zona es del SW manteniéndose los norestes en las demás provincias, de acuerdo con la baja en este nivel situada al sur de la meseta, figura III.2.1. En las imágenes infrarrojas con el campo de humedad superpuesto se puede distinguir las dos masas de nubes, una de procedencia septentrional y la otra oriental, figura III.2.1.

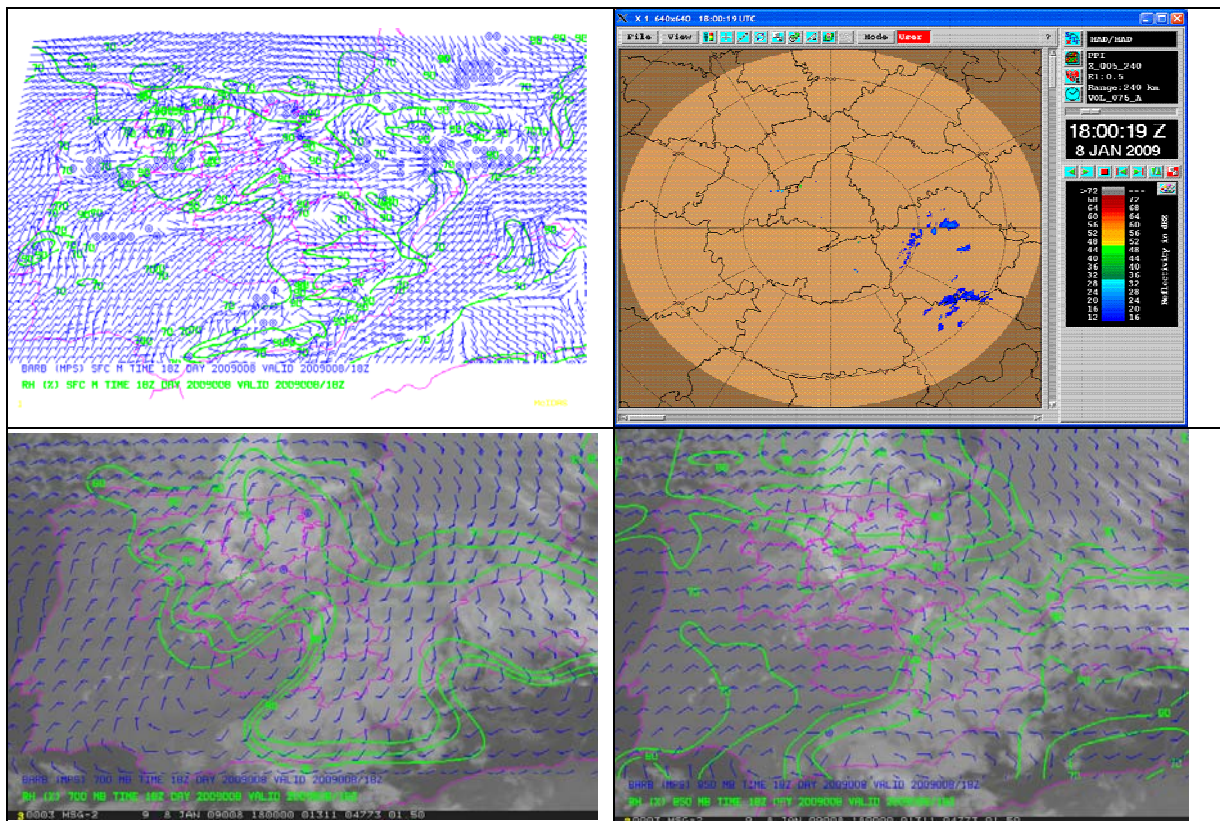
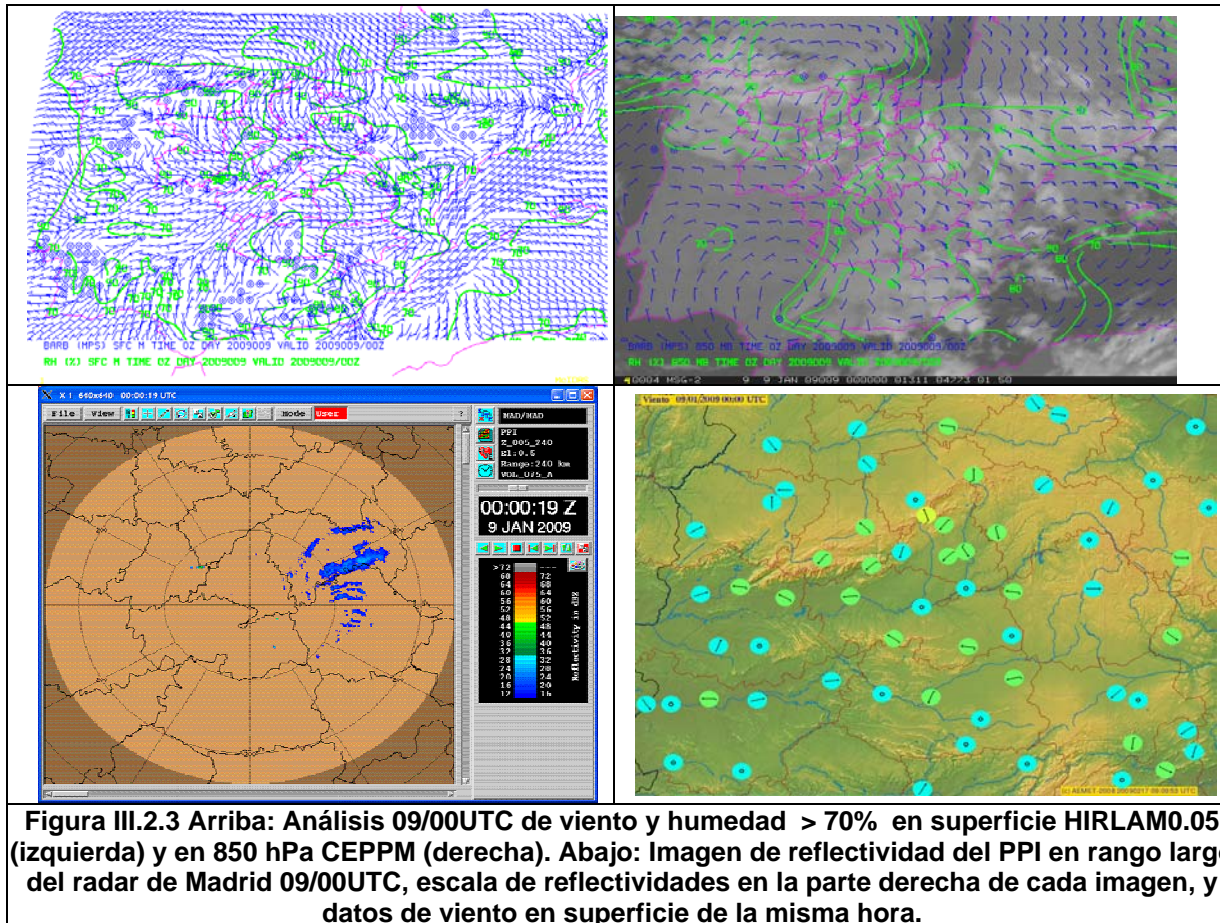


Figura III.2.2. Arriba. Izquierda: Análisis superficie HIRLAM0.05 08/18UTC de viento y humedad > 70%. Derecha: Imagen de reflectividad del PPI en rango largo del radar de Madrid 08/18UTC. Escala de reflectividades en la parte derecha de la imagen. Abajo: Imagen infrarroja MSG y análisis CEPPM 08/18UTC de viento y humedad > 70% en 700 hPa (izquierda) y en 850 hPa (derecha)

A las 18 horas hay una mesobaja en superficie al este de Andalucía y las temperaturas continúan siendo negativas en la meseta. La distribución de vientos es similar a la de las 00 horas, figura III.2.2, con esa clara diferencia entre los “norestes” de las provincias occidentales y Guadalajara y el flujo del este de las provincias de Cuenca y Albacete. Se mantiene, a grandes rasgos, la distribución de humedad entre estas dos zonas. A esta hora hay una convergencia de estos dos flujos en la provincia de Cuenca, reflejada en las imágenes del radar de Madrid, donde aparecen los primeros ecos de precipitación en esta provincia y en Albacete, más significativos en la primera, figura III.2.2.

La baja en 700 hPa al oeste de la meseta sigue conformando los “norestes” sobre la sierra de Madrid, pero sobre la mitad oriental de la meseta se establece un nítido flujo del sur con reflejo en la nubosidad de las imágenes de satélite, figura III.2.2. En 850 hPa el flujo de levante llega a toda la mitad oriental y sur de la provincia de Madrid, por lo que sigue manteniéndose la cizalladura del viento entre estos dos niveles, figura III.2.2.

b.- Día 9



En el análisis de las 00 horas del día 9 se observa la aproximación sobre la meseta de una vaguada en niveles medio-altos de pequeña amplitud asociada a la DANA, ver apartado sinóptico. Existe forzamiento dinámico en el cuadrante sureste peninsular y una advección cálida de la temperatura potencial del termómetro húmedo en 850 hPa, ver apartado sinóptico. En las imágenes de vapor de agua del MSG, canales WV06.2 y WV07.3, se puede seguir nítidamente el paso de esta onda por la meseta sur, al mismo tiempo que en las imágenes de infrarrojo de esas mismas horas se observa la entrada de nubosidad baja por el sur peninsular con aporte de nubes y humedad en niveles medios-bajos que en ciertas zonas favorecerá la inestabilidad potencial. Estos dos elementos, el paso de la onda y el flujo del sur, resultan fundamentales en la generación de las precipitaciones a partir de este momento. Los índices de inestabilidad no eran altos exceptuando el TT, pero éste claramente influenciado por las muy bajas temperaturas en 500 hPa.

La distribución de presión en superficie sigue un patrón similar a la de horas anteriores, sin grandes cambios, pero los levantes se adentran ya hasta la mitad oriental de las provincias más occidentales y sur de Madrid, figura III.2.3. Se aprecia la convergencia de los dos flujos que intervienen en la generación de estas precipitaciones: en el este de la meseta el flujo húmedo de componente este con un chorro de 20-25 kts en 850 hPa y el flujo débil y más seco del suroeste en la provincia de Ciudad Real, figura III.2.3. La zona de convergencia coincide con la estructura de precipitación que se originó en el centro de la meseta y que alcanzó la ciudad Madrid a primeras horas de la mañana.

Los datos de viento en superficie a las 00 UTC del día 9, figura III.2.3, no reflejan exactamente la entrada de componente sur-sureste que sí se aprecia en las imágenes de satélite, en los niveles de 850/700 hPa y en los datos de viento de los sondeos, pero sí el flujo débil del este en la meseta y la componente norte en la Comunidad de Madrid que se mantiene durante todo el día y que es un elemento característico en los mecanismos de nevada en esta Comunidad (ver anterior referencia). Este flujo de componente norte en superficie se mantuvo constante durante el episodio en los observatorios principales de la mitad oeste de la meseta y en la provincia de Guadalajara. En las otras dos provincias restantes predominó la componente este.

En las imágenes infrarrojas se ve la estructura nubosa uniforme que abarca ya hasta Madrid con unos valores de -16°C y -18°C de sus topes nubosos. A esta hora la señal del radar de Madrid se limita a las provincias de Cuenca y Guadalajara. Estos ecos son continuación de los aparecidos seis horas antes y que se mantendrán otras cuatro más hasta fundirse con los provenientes del sur. En este intervalo temporal aparecen en esta zona unas curiosas formas de arcos concéntricos en los ecos de precipitación que también tienen cierto reflejo en las imágenes infrarrojas, figura III.2.3. A las 03UTC aparecen por el sur de Ciudad Real los primeros ecos de precipitación que, ascendiendo en latitud, llegarán a la ciudad de Madrid pocas horas más tarde.

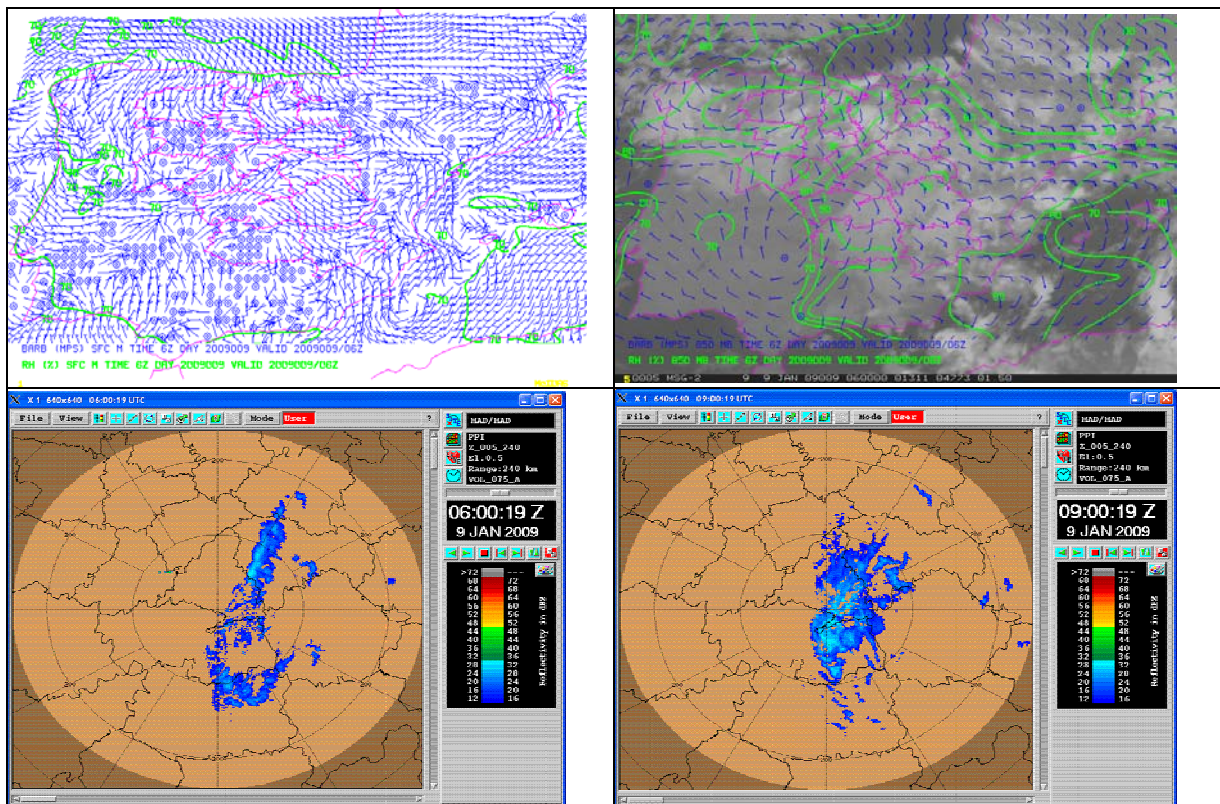


Figura III.2.4. Arriba: Análisis 06/00UTC de viento y humedad > 70% en superficie HIRLAM0.05 (izquierda) y en 850 hPa CEPPM (derecha). Abajo: Imágenes de reflectividad del PPI en rango largo del radar de Madrid el día 09 a las 06UTC (izquierda) y a las 09UTC (derecha). Escala de reflectividades y hora en la parte derecha de cada imagen.

A las 06UTC en el análisis de 850 hPa se observa una mesobaja sobre Extremadura que origina flujo del sur-suroeste que converge con el flujo del sureste de la mitad oriental, justo en la zona donde se están originando las precipitaciones (figura III.2.4). Sigue el chorro de niveles bajos de 25 kts sobre Cuenca y una humedad superior al 90% en, prácticamente, toda la meseta. En 700 hPa hay un flujo marcado del Sur que se corresponde perfectamente con el movimiento que se deduce de las imágenes radar.

En el análisis de superficie de las 06UTC se presenta la convergencia de los dos flujos en la zona de Aranjuez, figura III.2.4. Lo mismo sucede con los datos del viento de las estaciones automáticas en horas cercanas a la hora sinóptica donde están los norestes de Madrid y levantes de Cuenca. En las imágenes infrarrojas se observa la extensión uniforme de la masa nubosa en toda la meseta, con una diferencia de temperatura de los topes nubosos de -26°C en Albacete y sur de Cuenca y de -18 - 20 °C en el resto. La señal de la nieve en el radar a esta hora se concentra principalmente en el límite de las provincias de Toledo y Ciudad Real, figura III.2.4. A las 10 UTC se vuelve a ver por el sureste de Cuenca una nueva remesa de ecos de precipitación que se van a extender también por la provincia de Guadalajara y que son los que van a dar una mayor intensidad de precipitación en estas dos provincias. Aún así, no se superaron los 40-45 dBZ ni los 6-7 km de los Echotops.

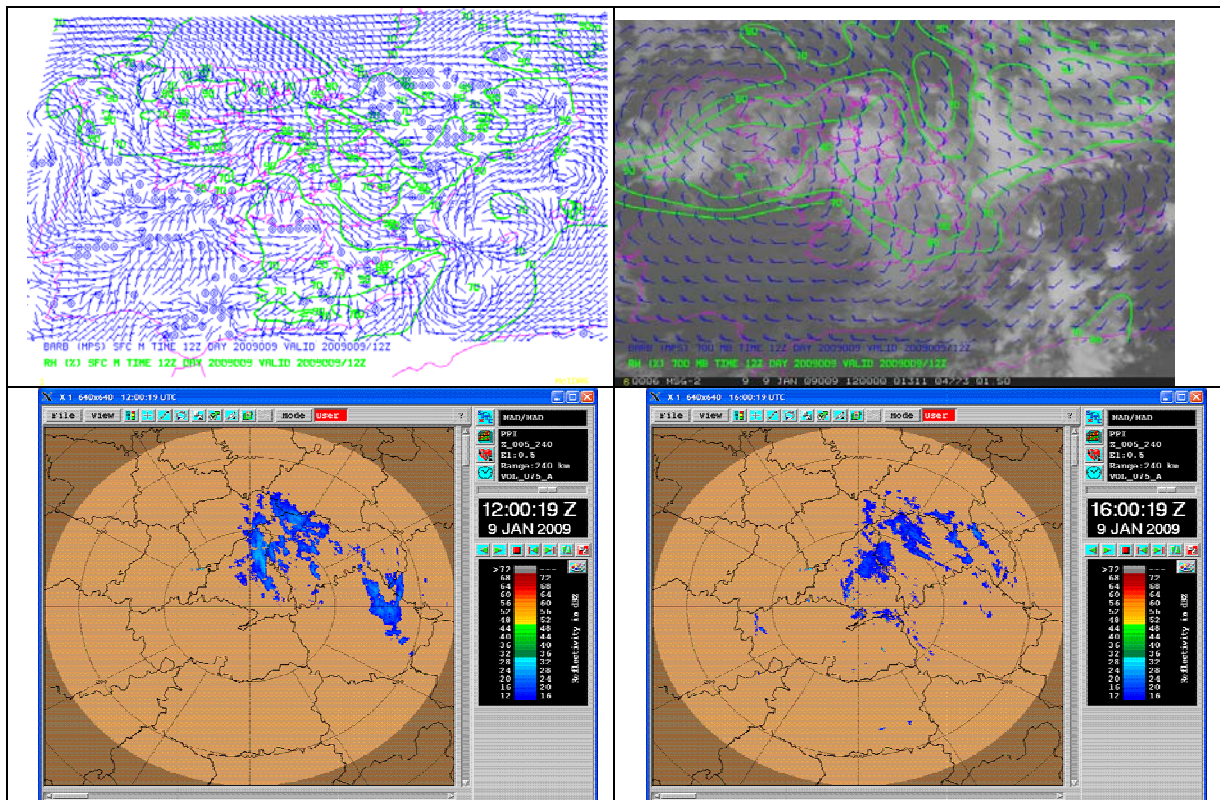


Figura III.2.5. Arriba: Análisis 09/12UTC de viento y humedad > 70% en superficie HIRLAM0.05 (izquierda) y en 700 hPa CEPPM (derecha). Imágenes de reflectividad del PPI en rango largo del radar de Madrid el día 09 a las 12UTC (izquierda) y a las 16UTC (derecha). Escala de reflectividades y hora en la parte derecha de cada imagen.

En la imagen infrarroja de las 12UTC se distingue claramente estas estructuras redondeadas e individualizadas en línea en el este de Cuenca, también en el oeste de Guadalajara, con topes nubosos más altos, -37 °C, de la nubosidad más uniforme que aparece en el resto.

En el análisis de las 12UTC en 700 hPa ya se ha cortado la alimentación del sur al descender el centro de la baja, figura III.2.5. No obstante en 850 hPa hay una mesobaja en Toledo que origina un

flujo del SE en Madrid y Guadalajara. En la imagen radar de las 12UTC, figura III.2.5, se observa cómo la señal radar está sobrepasando el área metropolitana de Madrid y a partir de las 13UTC esta señal comienza a debilitarse en la provincia de Madrid pero al cabo de unas horas aparecen nuevos ecos de precipitación en la misma junto a los que se mantenían en Guadalajara, pero éstos acompañando a un flujo con una componente más del este; fueron éstos los que dejaron nieve en la zona central de la sierra de Guadarrama.

En resumidas cuentas, las nevadas en las comunidades de la meseta sur de los días 8 y 9 se registraron en un ambiente sinóptico favorable creado por una DANA y el desplazamiento de una onda en niveles medio-altos por la meseta sur. En niveles bajos se reforzó una entrada de una masa de aire relativamente cálida y húmeda del sur-sureste en niveles bajos sobre otra subyacente más fría y seca que perduraba de días anteriores. Elementos que realzaron las mismas fueron dos zonas de convergencia: una en superficie entre las provincias de Madrid y de Cuenca, y otra en los niveles de 700/850 hPa en el centro de la meseta sur, y la presencia de un chorro del sureste en estos niveles y que tuvo su reflejo en el sondeo de Madrid de las 12UTC (35 kts en 700 hPa). Los efectos de las zonas de convergencias se aprecian indirectamente en los ecos de precipitación del radar de Madrid. Posiblemente en el flujo relativo los vientos en niveles medios-bajos llevaban embebidos una zona de deformación separando las dos masas diferenciadas de diferentes orígenes, creando una frontera mesoescalar y realzando las precipitaciones sólidas en zonas incluso llanas.

b.- Zonas de Castilla y León

De la nevada acaecida en la comunidad de Castilla y León durante los días 9 y 10 de enero del 2009 y que afectó a las provincias más orientales, donde la nieve es un fenómeno bastante frecuente en invierno, hay que destacar la cantidad de nieve acumulada en una zona relativamente amplia, ver siguiente figura III.2.6, y que se discutirá más adelante en algunos detalles.

Fueron la persistencia junto con el factor orográfico las que marcaron las diferencias con otros días con situaciones similares. Las mayores precipitaciones se recogieron en la cabecera del valle del Duero entre las provincias de Soria, Segovia y Burgos. Algunas de las razones para su focalización son las que trataremos de analizar en este apartado.

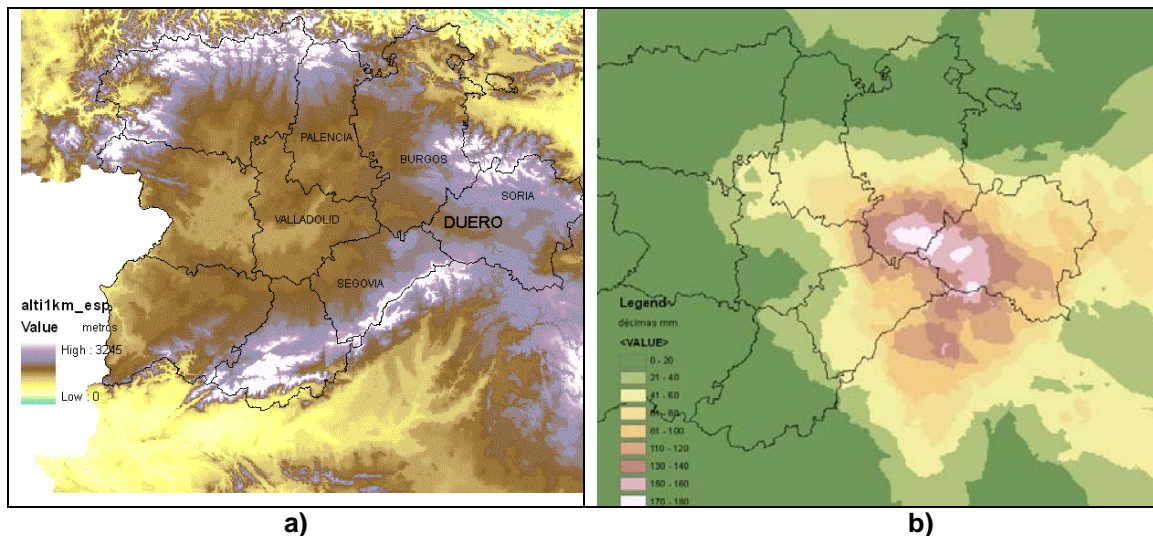


Figura III.2.6. a) Orografía de Castilla y León altitud 1Km y b) Precipitaciones registradas en las estaciones termo pluviométricas de AEMET, en décimas de mm, desde las 07 UTC del día 9 a las 07 UTC del día 10 de enero 2009.

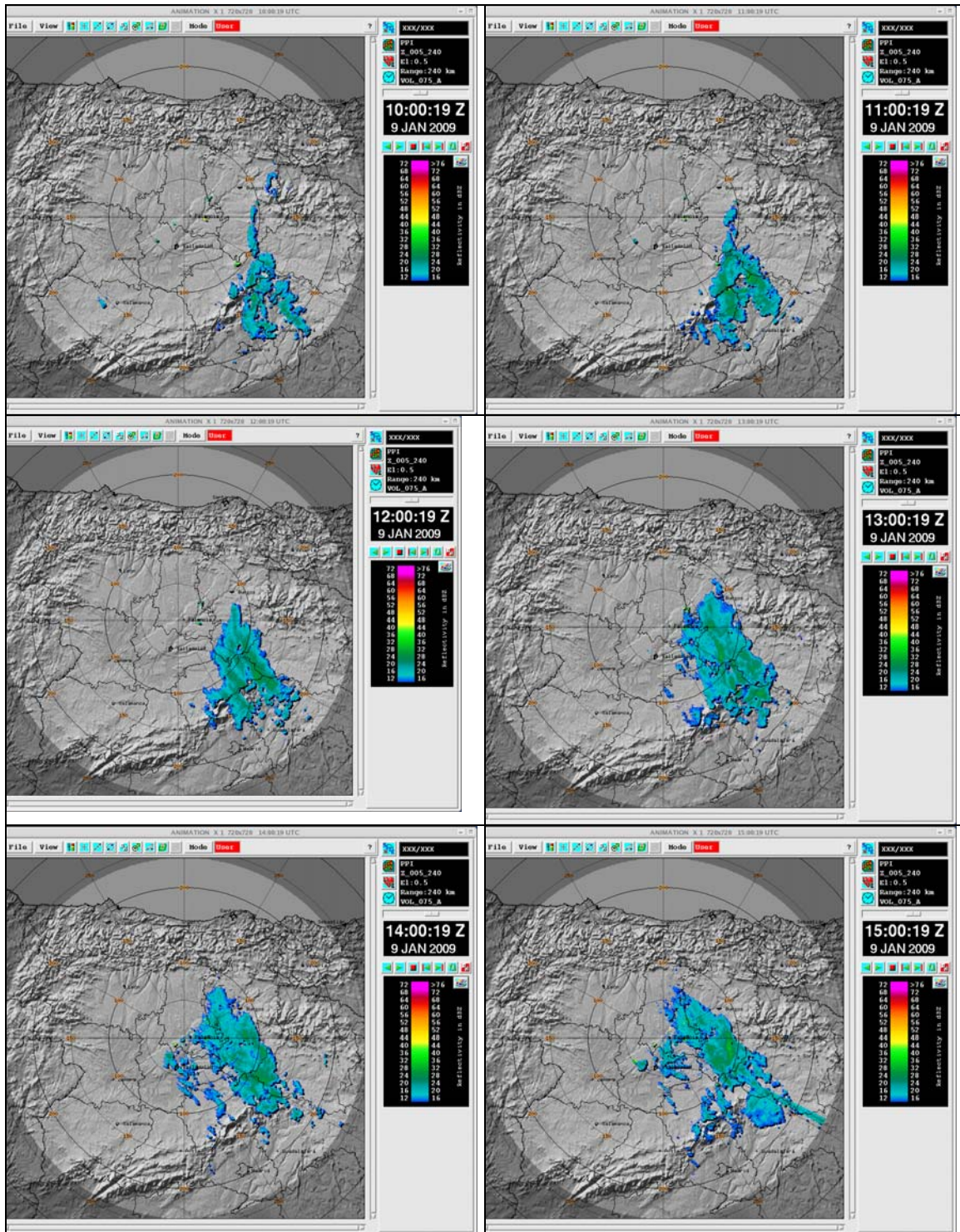
Como se ha descrito en el apartado sinóptico, existían todos los ingredientes necesarios para que tuvieran lugar nevadas en estas zonas, una capa de aire muy frío en niveles bajos, forzamiento en niveles medios-altos, y entrada de aire cálido y húmedo en niveles medios bajos.

La masa fría, que se asentó en la zona en los días anteriores, dio lugar a que en la mayoría de las capitales de provincia no se superaran los 0°C de temperatura máxima durante el día 8 (-2.5 ° C en Ávila, por ejemplo), y las mínimas estuvieran por debajo de los -5° C en todos los observatorios principales.

Por lo que tanto, las condiciones sinópticas como mesoescalares son muy similares a las explicadas en el apartado anterior para Madrid y Castilla - La Mancha, pero como veremos en éste reforzadas por el factor orográfico y la persistencia.

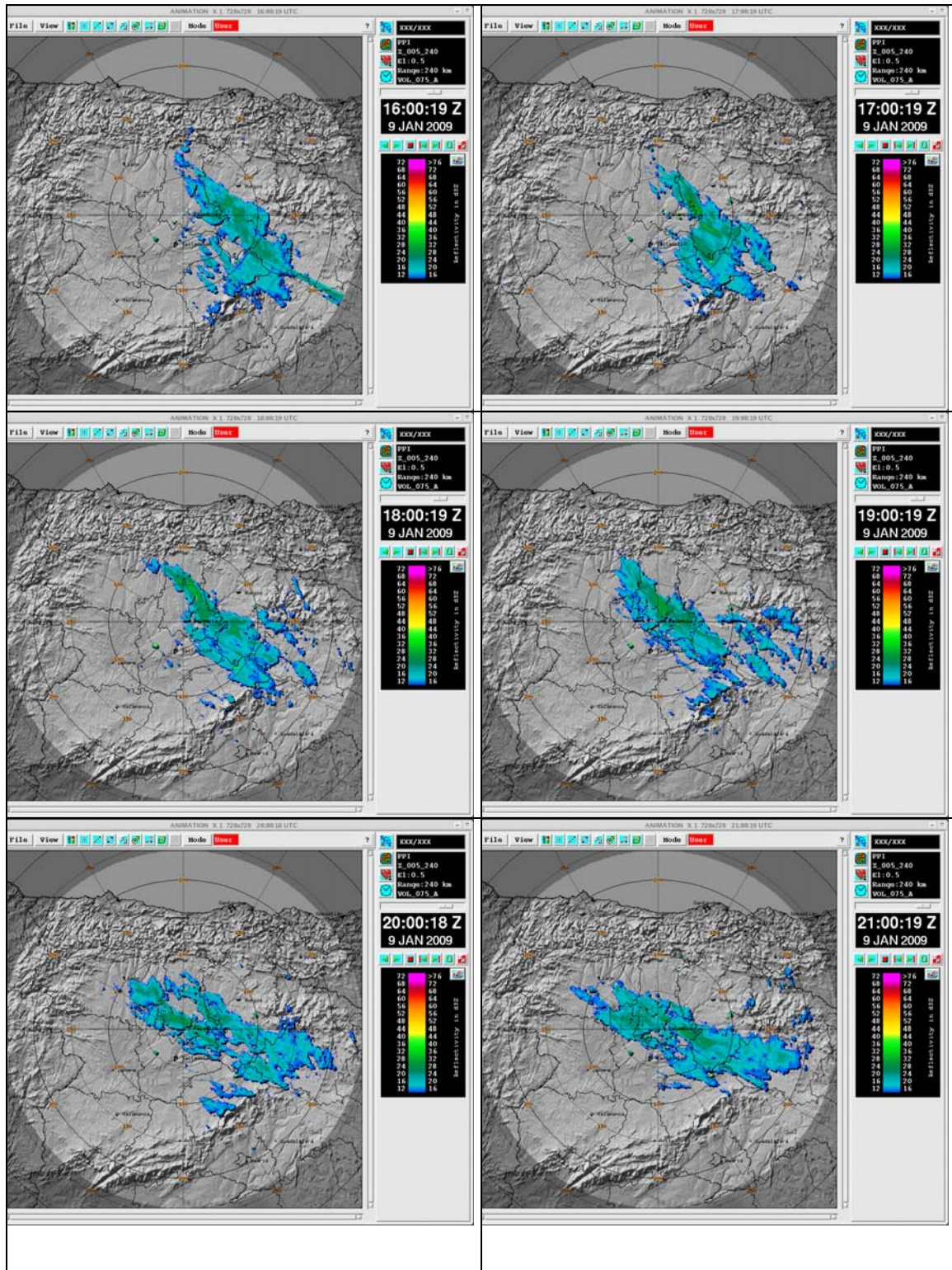
Imágenes del radar de Palencia

El episodio afecta a la Comunidad de Castilla y León a partir de la 09 UTC del día 9 y finaliza a primeras horas del día 10. Las nevadas más importantes se focalizan entre las 12 UTC y las 24 UTC del día 9. En la figura siguiente se muestra el PPI desde las 10 UTC hasta las 23 UTC. Vemos la evolución temporal de las nevadas y las zonas afectadas.



III. Diagnóstico de la situación

Estudio de las nevadas del 8-10 de enero de 2009 en la zona centro peninsular.



III. Diagnóstico de la situación

Estudio de las nevadas del 8-10 de enero de 2009 en la zona centro peninsular.

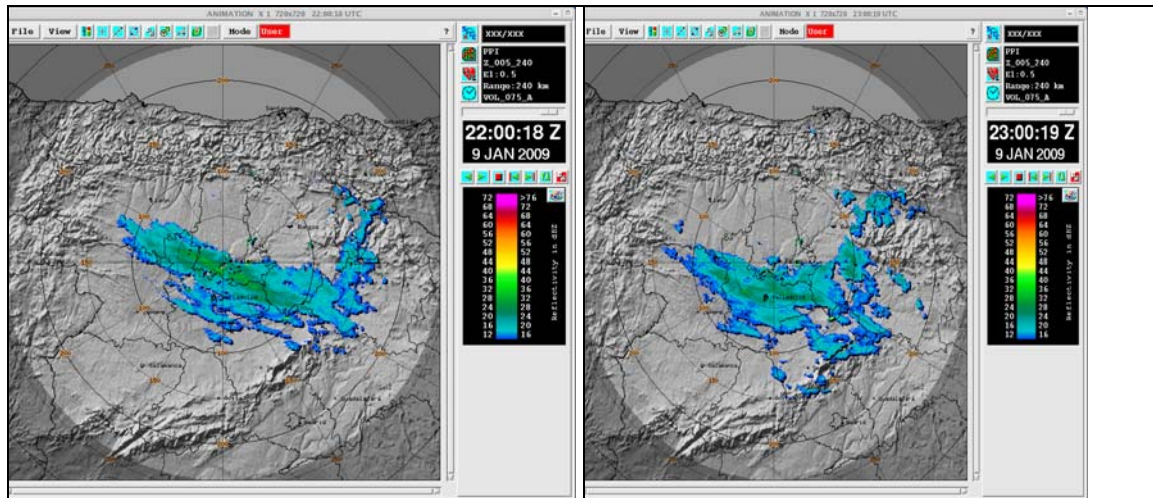


Figura III.2.7. PPI del radar de Autilla del Pino, Palencia, desde las 10 UTC a las 23 UTC del 9 de enero. Valores de reflectividad en la escala adjunta.

El PPI de las 11 UTC nos muestra como la banda de ecos de precipitación, que había afectado a la meseta sur, se extiende hacia el norte atravesando el Sistema Central y situándose entre las provincias de Soria, Segovia y Burgos donde se mantiene hasta las 17 UTC, con reflectividades que no superan los 35 dBZ y echotops inferiores a 5 km. A partir de esta hora se mueve ligeramente hacia el este y entra una nueva banda por el este de la provincia de Soria que se une a la anterior. A las 21 UTC el movimiento es hacia el sur y oeste debilitándose, momento en que afectó a la provincia de Valladolid.

Niveles 700 hPa y 850 hPa

El análisis de las estructuras en niveles bajos-medios parece importante en este tipo de situaciones donde las masas de aire cálidas y húmedas son advectadas hacia el interior donde existe aire muy frío preexistente en capas muy bajas.

Siguiendo el análisis mesoescalar se verá la evolución en los dos niveles: el de 700 hPa, a la izquierda, y el de 850 hPa, a la derecha, desde las 06 UTC a las 24 UTC de 6 en 6 horas.

Con el análisis de 700 hPa a las 06 UTC del día 9 en la mitad este de la Comunidad, el flujo es del sur girando a componente sureste en 850 hPa, que propició la entrada de la banda nubosa (cálida y húmeda) de sur a norte que había afectado a las Comunidades de Madrid y Castilla-La Mancha y que dio lugar a la nevada en esta zona, como hemos visto con el PPI de las imágenes radar.

Dicha situación se mantiene hasta las 18 UTC, donde se produce un giro hacia el este (sureste en 700 hPa y este en 850 hPa) y propicia la entrada de una nueva banda de precipitación procedente del Mediterráneo, que se une a la anterior. Es cuando tienen lugar las mayores y persistentes precipitaciones, como veremos en el análisis de datos de estaciones automáticas.

A las 00 UTC del día 10, el viento gira hacia el este en niveles medios, desaparece la cizalladura, y las precipitaciones se mueven hacia el sur debilitándose.

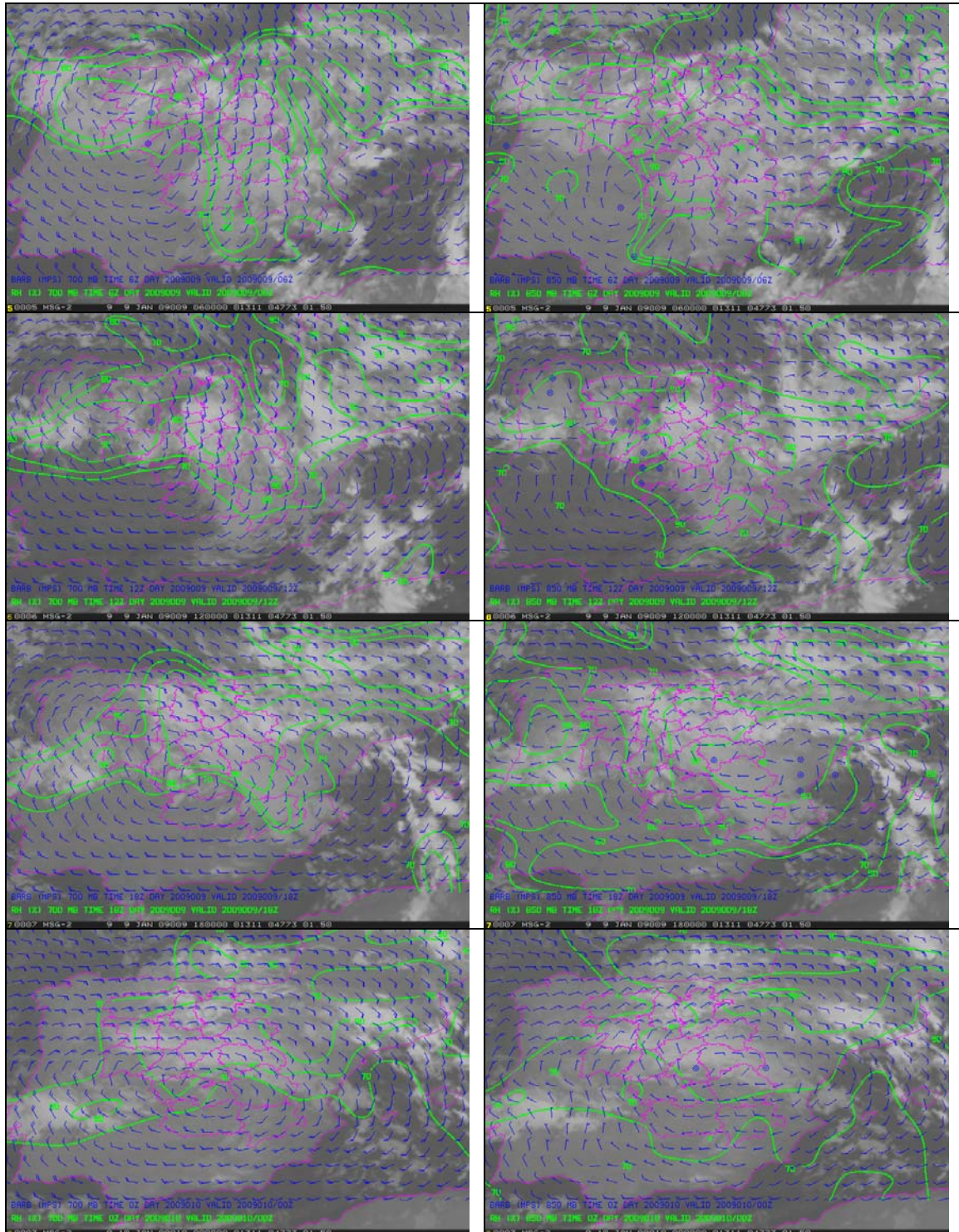


Figura III.2.8. Imágenes infrarroja 10.8 del MSG y análisis del modelo determinista del CEPPM de viento y humedad, >70 %, en 700 hPa, a la izquierda, y 850 hPa, a la derecha, para las 06, 12, 18 UTC del día 9 y 00 UTC del día 10 de enero.

Análisis objetivo de superficie

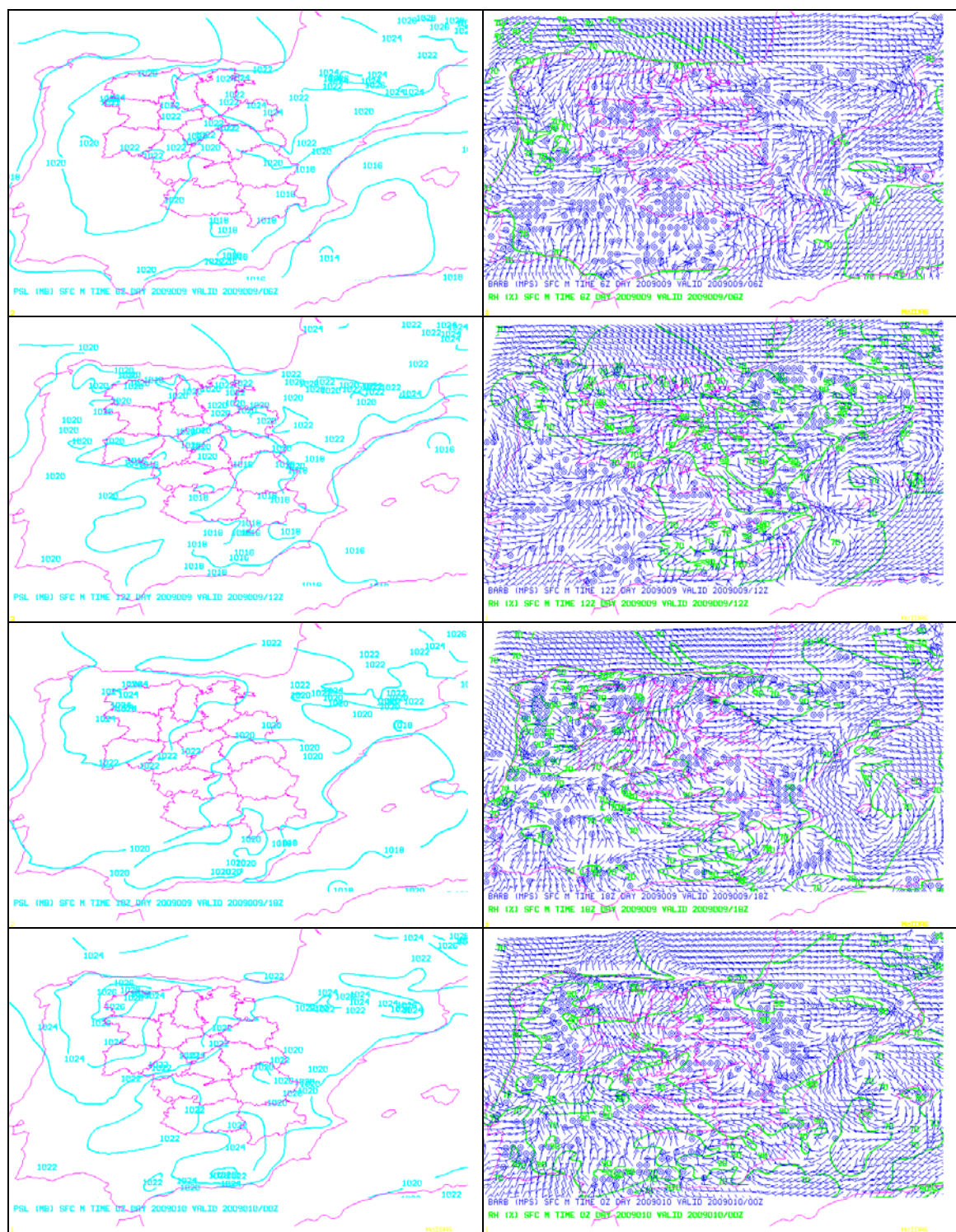


Figura III.2.9. Análisis de superficie del HIRLAM 0.05 presión en hPa (izquierda), y viento y humedad en kts y %, respectivamente (derecha) para las 06 ,12 y 18 UTC del día 9 y a las 00 UTC del día 10, de arriba a abajo.

Durante todo el episodio apenas existen cambios en la presión en superficie, con un débil gradiente isobárico que hace que los vientos en superficie se puedan considerar vientos catabáticos marcados por los grandes desniveles del terreno.

La peculiar orografía de la Comunidad de Castilla y León, con grandes barreras montañosas rodeándola excepto por el suroeste, condiciona a que en muchas ocasiones el flujo dominante en superficie cuando hay escaso gradiente isobárico, sea del nordeste y oeste, siguiendo la cuenca de los grandes ríos Pisuerga y Duero, como se aprecia en el análisis de vientos de superficie de las estaciones automáticas que veremos posteriormente, ver Figura III.2.10.

Datos de estaciones automáticas

Aunque la escasez de datos en la zona de estudio nos impide realizar un estudio mesoescalar detallado, hay indicios de que los cambios de ciertas variables, como por ejemplo el viento, junto con la orografía puedan estar relacionados con la persistencia de las precipitaciones.

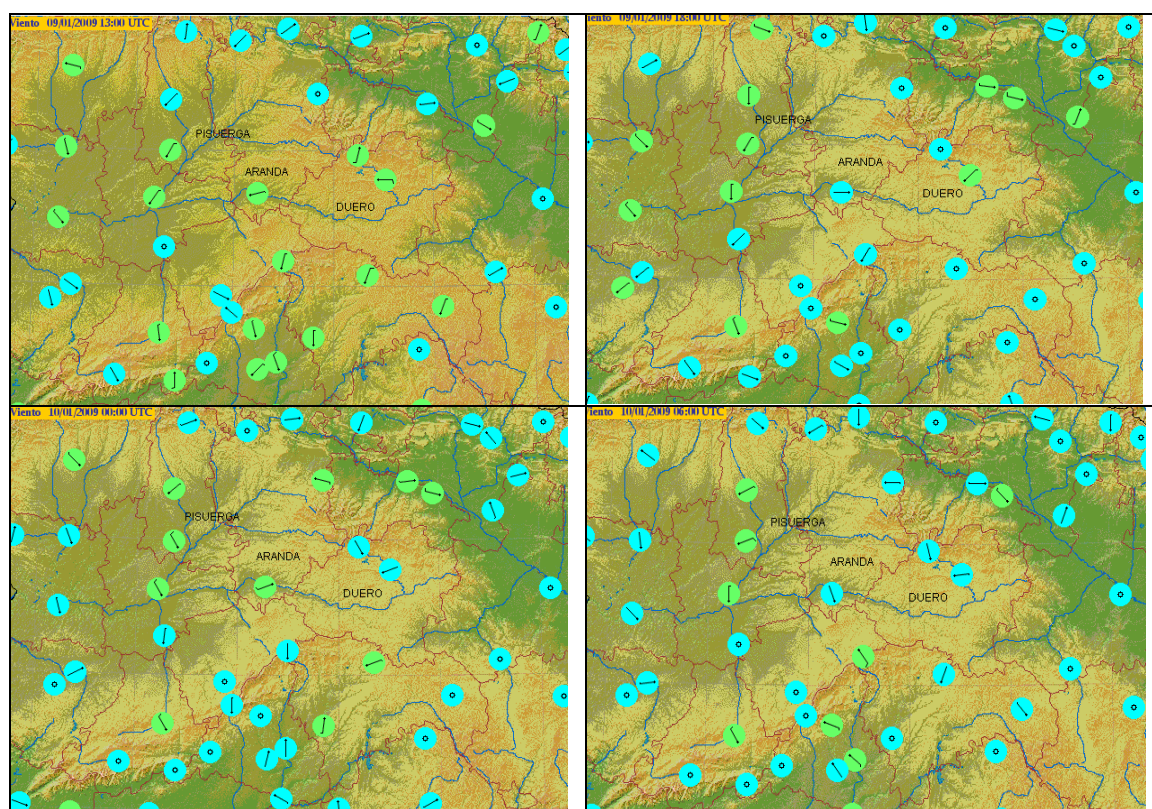


Figura III.2.10. Datos de vientos de las estaciones automáticas a las 12 UTC, 18 UTC del día 9 y a las 00 UTC y 06 UTC del día 10, en kts.

Los datos de las estaciones automáticas nos muestran cómo el viento en superficie sigue la dirección de los grandes ríos: nordeste siguiendo el Pisuerga y oeste siguiendo el Duero. A partir de las 12 UTC el viento cambia a la dirección este en la estación de Aranda del Duero, acompañando la entrada de la segunda banda más activa por el este, que propiciaría una zona de convergencia en el valle del Duero, que se mantendría hasta la madrugada donde se ve como el viento vuelve a cambiar.

En el tema de precipitaciones cabe destacar los datos de Aranda del Duero donde se dispone de la evolución temporal de los datos de superficie, nos permite comparar los registros de precipitación y de viento.

La estación de Aranda de Duero en la provincia de Burgos, situada en una zona llana donde el valle de río empieza a ensanchar (su vertiente más septentrional es mucho más escarpada), es la estación automática más cercana y representativa de la zona donde se registraron las máximas precipitaciones. Teniendo en cuenta que es la persistencia la que marca la diferencia de la precipitación recogida, parece que ésta estaría vinculada con el cambio de viento en superficie.

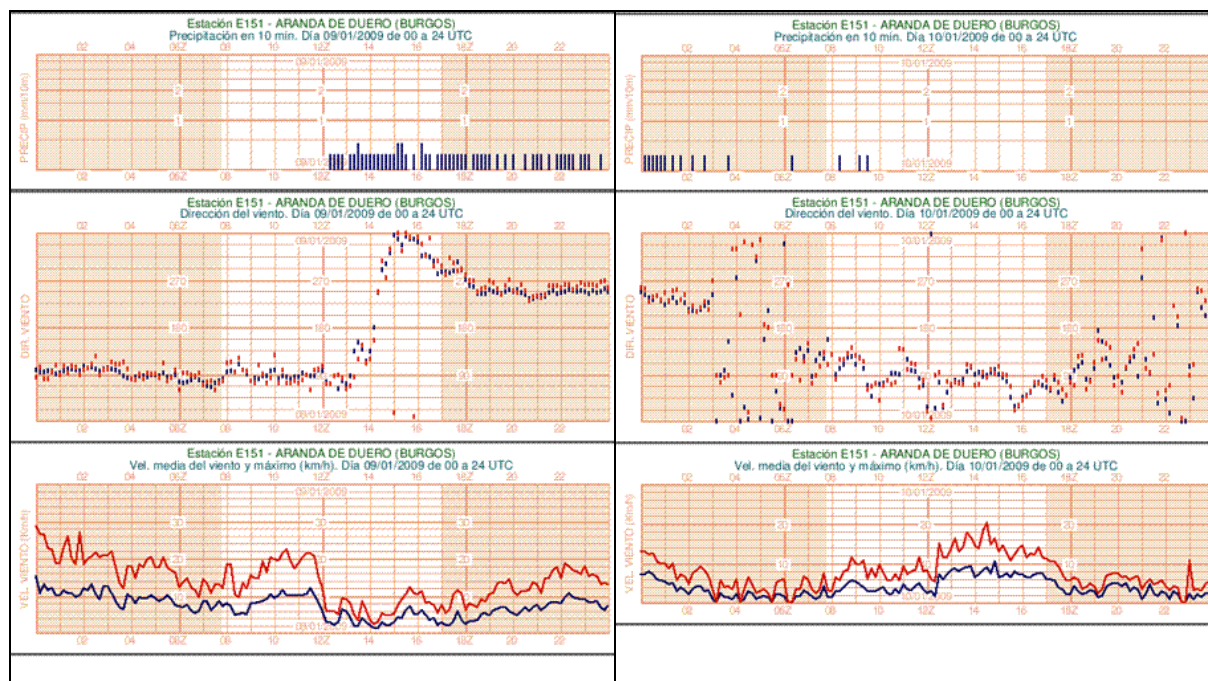


Figura III.2.11. Evolución del viento y de la precipitación en la estación de Aranda de Duero para el día 9 y el día 10. El viento que inicialmente es del este acompañando la entrada de la precipitación, cambia al oeste y se mantiene en esta dirección mientras duran las precipitaciones.

Las siguientes figuras nos muestran la evolución de la distribución de las precipitaciones acumuladas cada seis horas.

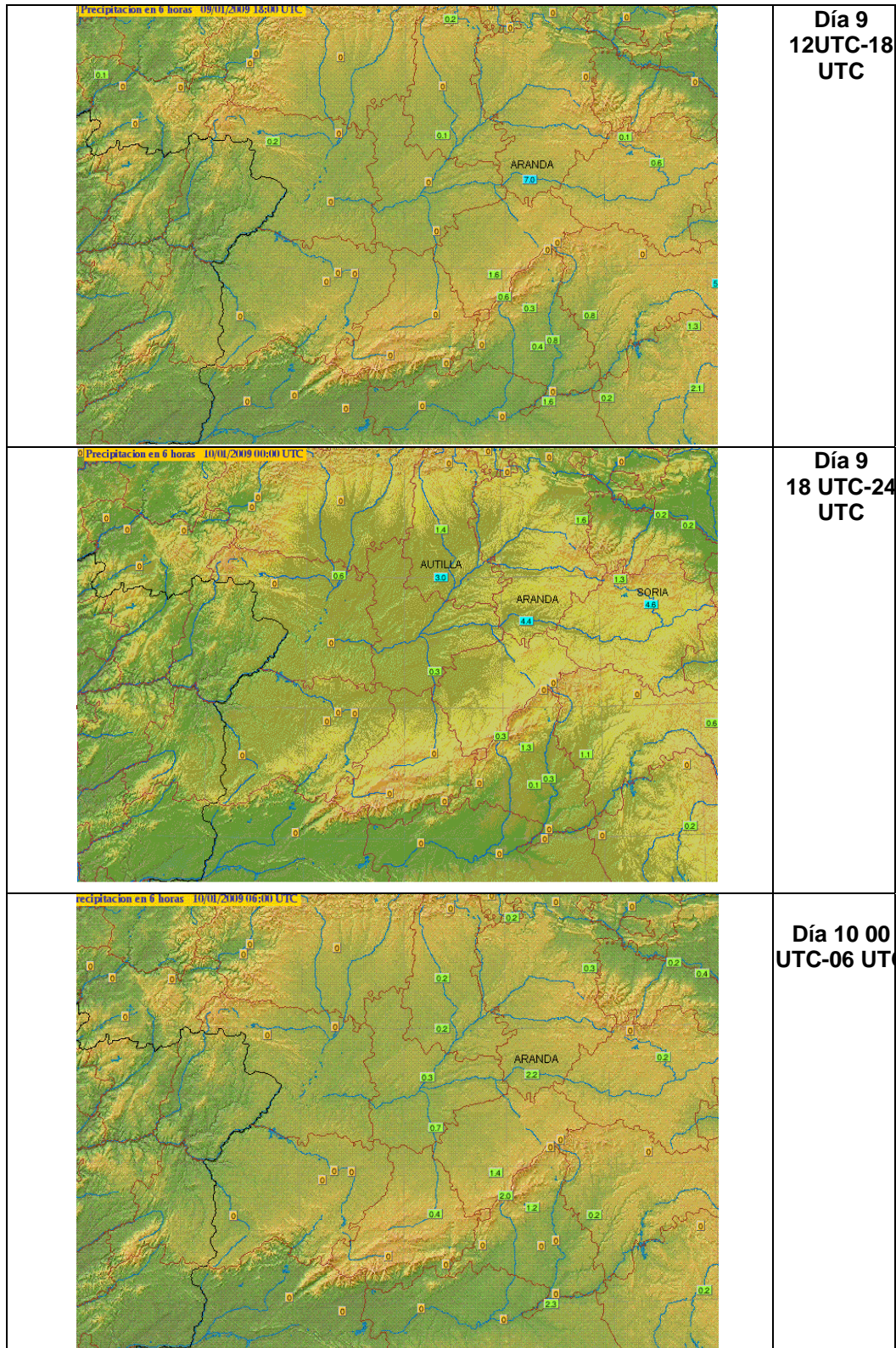


Figura III.2.12. Precipitación acumulada en 6 horas en mm de las estaciones automáticas de 12 UTC-18 UTC, 18 UTC-24 UTC (día 9) y 00 UTC-06 UTC (día 10).

La precipitación es mayor durante las 6 primeras horas (de 12 UTC a 18 UTC), con la entrada de la primera banda de precipitación de sur. En Aranda de Duero se recogieron 7.2 mm, y esta cantidad es mucho mayor que el resto de los registros de las demás estaciones automáticas cercanas. Entre las 12 y las 18 UTC, cuando entra la nueva banda del este, los registros son más similares a las estaciones del entorno.

En las primeras seis horas podemos considerar que el flujo es casi perpendicular a la cadena montañosa sistema Central con altitudes superiores a los 2000 m. Si realizamos un corte vertical en la dirección del flujo (sur-norte) A-B, vemos una correspondencia clara entre el máximo de precipitación y el mínimo de altitud en la orografía.

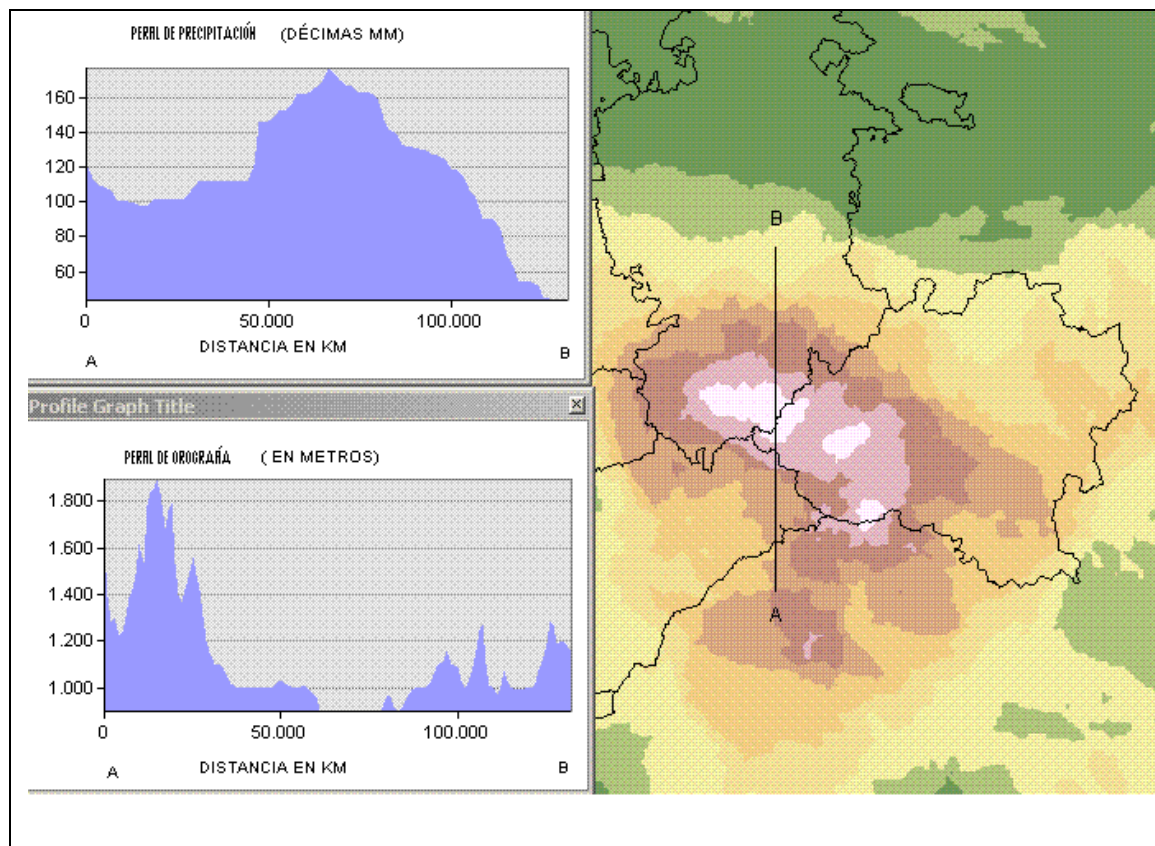


Figura III.2.13. Corte sur-norte (A-B) obtenido con el Arcgis 9.2 de la precipitación acumulada en el episodio y de la orografía.

La comparación de los dos cortes verticales muestra la estrecha relación de la orografía con las precipitaciones, donde el máximo es coincidente con las zonas de altitud más baja (valle del Duero) y a una distancia de unos cincuenta kilómetros de la cadena montañosa y como disminuye de manera drástica al volver a aumentar la altitud.

Se puede pensar que también hubo convergencias en la zona, pero la escasez de datos en superficie nos impide comprobar la hipótesis.

Podríamos concluir que fueron el acoplamiento de unas condiciones sinópticas y mesoescalares propicias (movimiento lento de la DANA, existencia de aire frío en niveles muy bajos, entrada de aire cálido y húmedo en niveles medios-bajos de componente este) junto con la orografía las que hicieron que el episodio fuera singular y las precipitaciones en forma de nieve superaran los 20 cm en una amplia zona.

3.- Análisis de los radiosondeos

Resulta interesante analizar ciertos radiosondeos, en especial los sondeos de Madrid y Murcia ya que se refleja la entrada de la masa de aire del sur-sureste en capas bajas en los días de interés. Así, en el radiosondeo de Murcia de las 12 UTC del día 8, no mostrado aquí, se tiene un flujo definido del oeste en todos los niveles excepto en niveles bajos donde hay levantes con 20 kts en 850 hPa. Este perfil de vientos se reproducirá más tarde en el radiosondeo de Madrid de las 12 UTC.

El aire frío y seco preexistente en capas bajas ocupa un espesor muy marcado por debajo de la isoterma de 0°C. La masa de aire frío en niveles altos de la depresión aislada es también muy notoria. El giro del viento con la altura, en sentido contrario a las agujas del reloj en casi todo el radiosondeo, es señal indirecta de advección fría generalizada, salvo en una delgada capa alrededor de 700 hPa.

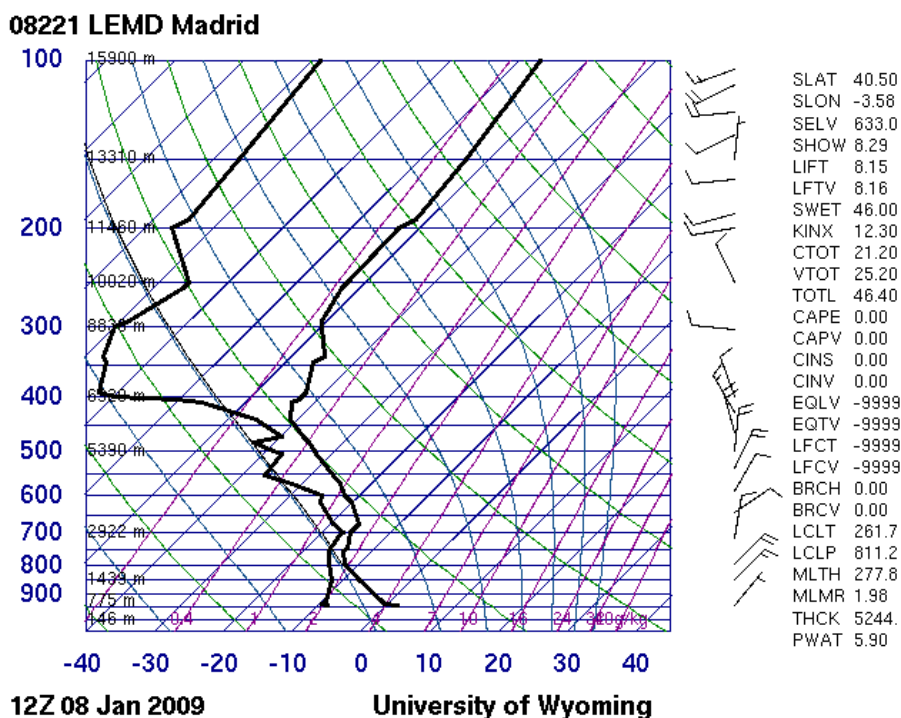
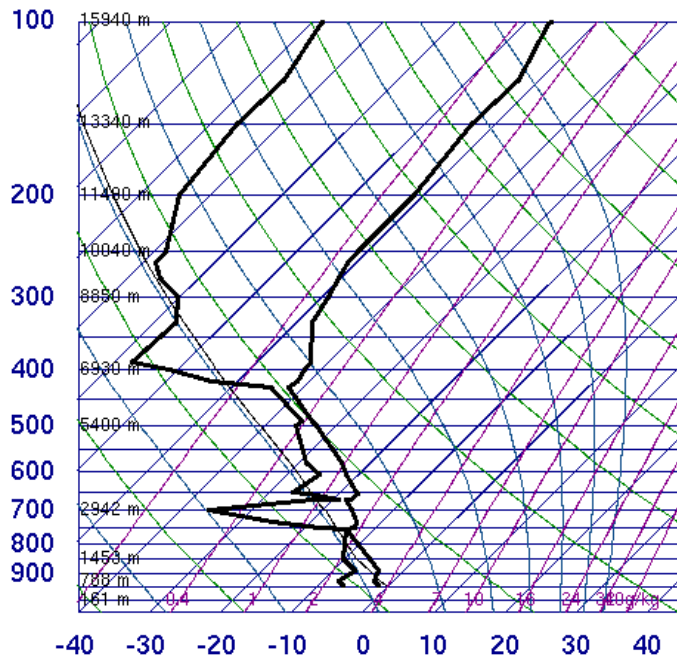


Figura III.3.1. Radiosondeo Madrid-Barajas 12 UTC del 08. Fuente: Universidad de Wyoming.

En el radiosondeo de Madrid de las 12 UTC del día 8, figura III.3.1, hay una capa húmeda entre 1000 y 2400 m con temperaturas entre -12 y -17 °C y un máximo de viento en niveles bajos (800 hPa) de 19 kts del NE. No hay inestabilidad convectiva y el gradiente vertical de temperatura 500-700 hPa no es acusado, con un valor de 7°C. El perfil de viento es homogéneo con componente norte hasta 200 hPa.

08221 LEMD Madrid



SLAT	40.50
SLON	-3.58
SELV	633.0
SHOW	7.04
LIFT	7.92
LFTV	7.94
SWET	33.99
KINX	-4.10
CTOT	22.40
VTOT	26.20
TOTL	48.60
CAPE	0.00
CAPV	0.00
CINS	0.00
CINV	0.00
EQLV	-9999
EQTV	-9999
LFCT	-9999
LFCV	-9999
BRCH	0.00
BRCV	0.00
LCLT	265.0
LCLP	853.9
MLTH	277.2
MLMR	2.44
THCK	5239.
PWAT	6.01

00Z 09 Jan 2009

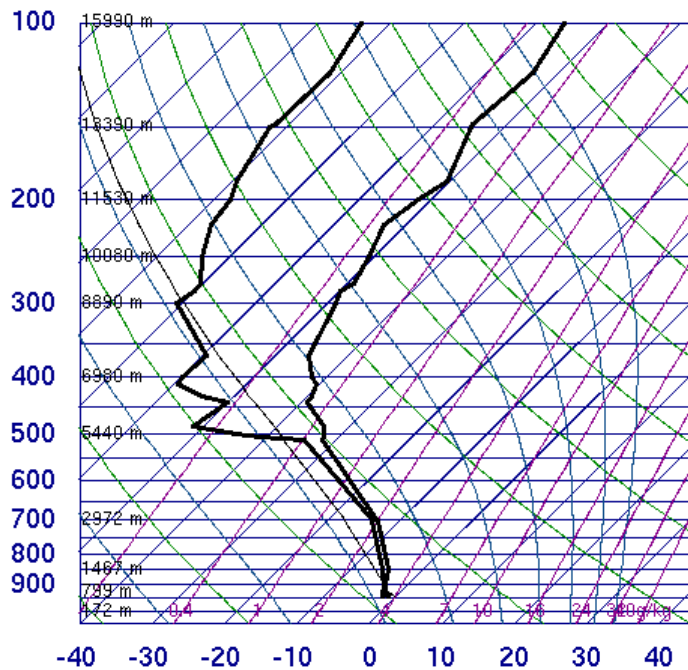
University of Wyoming

Figura III.3.2. Radiosondeo Madrid-Barajas 00 UTC del día 09. Fuente: Universidad de Wyoming.

A las 00 horas del día 9, figura III.3.2, el perfil de viento cambia radicalmente y el flujo del oeste, que en el radiosondeo anterior sólo se presentaba por encima de 300 hPa, desciende hasta 650 hPa tanto por influjo de la propia depresión sinóptica en altura como por la llegada de una onda corta del oeste embebida en dicha depresión, ver apartado sinóptico. En niveles bajos se aprecian el flujo de sureste con un perfil húmedo y una capa muy húmeda entre 220 y 2400 m, con temperaturas de -12 y -14°C, intervalo de temperaturas favorable para las precipitaciones en forma de nieve. Advección cálida en el estrato 750-600 hPa. Destacar el aumento del contenido de humedad en niveles bajos y la presencia de una pequeña capa con cierta inestabilidad potencial. Existe un máximo de viento de 17 kts del SE en 700 hPa.

Ha desaparecido la capa muy seca en niveles inferiores, pero el frío preexistente sigue condicionando que, ahora, todo el perfil del radiosondeo quede por debajo de la isoterma de 0°C. Las precipitaciones que puedan llegar a superficie lo harían en forma de nieve.

08221 LEMD Madrid



Handwritten notes on the right side of the plot, including a vertical line with '0.4', '7', '2', '5', '10', '10', '24', '300g/kg' and other scribbles.

SLAT	40.50
SLON	-3.58
SELV	633.0
SHOW	4.04
LIFT	6.07
LFTV	6.06
SWET	129.9
KINX	21.30
CTOT	26.90
VTOT	27.60
TOTL	54.50
CAPE	0.00
CAPV	0.00
CINS	0.00
CINV	0.00
EQLV	-9999
EQTV	-9999
LFCT	-9999
LFCV	-9999
BRCH	0.00
BRCV	0.00
LCLT	270.1
LCLP	911.1
MLTH	277.4
MLMR	3.37
THCK	5268.
PWAT	8.99

12Z 09 Jan 2009

University of Wyoming

Figura III.3.3. Radiosondeo Madrid-Barajas 12UTC del 09. Fuente: Universidad de Wyoming.

El radiosondeo de las 12 UTC del día 9 muestra un perfil próximo a la saturación hasta 650 hPa, debido a las precipitaciones, y muy húmedo hasta 500 hPa. La tropopausa ha bajado como consecuencia de la reubicación de la depresión fría de altura. Significativos son el chorro de 35 kts alrededor de 700 hPa, el flujo del sur de niveles bajos-medios- reflejo más acorde con el movimiento de sur a norte de las estructuras nubosas en las imágenes de satélite- y la advección fría entre 700 y 550 hPa y cálida entre 500 y 350 hPa. El chorro de 35 kts a 3000 metros de este radiosondeo es muy probable que existiera unas horas antes y junto a la frontera mesoescalar tendría un papel fundamental en el realce de las precipitaciones. Sigue la componente norte en superficie. Nuevamente todas las temperaturas del radiosondeo quedan por debajo de la isoterma de 0°C

Estos flujos tan marcados en niveles medios-bajos, húmedos y relativamente cálidos, tan al este y centro de la Península no fueron capturados en las predicciones por los modelos numéricos de predicción operativos a corto plazo en los niveles citados de 700 y 850 hPa. El resultado fue, posiblemente, la subestimación general en la cobertura y la intensidad de las nevadas en zonas tan al oeste de lo que se preveía inicialmente.

IV. COMPORTAMIENTO DE LOS MODELOS DE PREDICCIÓN Y HERRAMIENTAS OPERATIVAS

1.- Medio plazo: VarEPS

2.- Corto plazo

- Modelos deterministas
- Modelo experimental probabilístico SREPS-AEMET

3.- Productos de postproceso

- Temperaturas extremas
- Precipitación según Análogos-EPS
- Cota de nieve potencial
- Mapas de probabilidad de nevadas por el método de Análogos

4.- Herramientas específicas de los GPV implicados

- GPV de Madrid
- GPV de Valladolid

Se analizan en este apartado las distintas herramientas y productos disponibles operativamente y otros experimentales elaborados para este estudio de nevadas. Se inicia con el comportamiento del modelo probabilista VarEPS del CEPPM y se termina con las herramientas específicas utilizadas en los dos GPV afectados. Se realizará una revisión de otras herramientas disponibles en el ATAP que abarcan el corto plazo, salidas de postproceso, etc. Para no alargar la nota se centrará la atención en mapas relacionados con las nevadas y las temperaturas.

1.- Medio plazo: VarEPS

La herramienta que se utiliza para la predicción de medio plazo en la AEMET es el modelo probabilista VarEPS del CEPPM. En la intranet de la AEMET se dispone dentro de la página del ATAP de modelos donde se presentan para el medio plazo diversos productos extraídos directamente de los modelos deterministas y del VarEPS del CEPPM para un rango de predicción desde el D+3 hasta el D+15. Además de los escenarios del VarEPS que se muestran en los productos de “grupos” y “supergrupos” de la citada página, hay un número bastante extenso de productos de probabilidades, calculados considerando la equiprobabilidad de todos los miembros del VarEPS y que distintos predictandos meteorológicos como nubosidad, precipitación, viento, nieve, temperaturas extremas, etc. superen determinados umbrales.

A continuación vamos a mostrar algunos de estos productos de probabilidades del VarEPS para analizar como captó este modelo las nevadas de los días 8, 9 y 10 de enero con una anticipación de al menos hasta cinco días y poder así valorar su comportamiento en la predicción de medio plazo de este episodio.

En un episodio de nevadas es importante predecir no sólo si se esperan precipitaciones en forma de nieve sino si la nieve cuajará o no. Estos episodios tienen mayor impacto social cuando la nieve que cae no se derrite al contacto con el suelo sino que se deposita debido a que el suelo está muy frío o helado hay nieve caída anteriormente. Por ello a continuación vamos a presentar gráficos de probabilidad de precipitación de nieve y de probabilidad de que la T2m máxima sea inferior a determinados umbrales próximos a 0°C.

Para más detalle del modelo probabilístico VarEPS del CEPPM, y su uso en la AEMET para la predicción de medio plazo, consultar la bibliografía al final de este documento técnico.

1.a.- Probabilidad de nevadas VarEPS

Se presentan a continuación cinco gráficos de probabilidad de precipitación de nieve, para las pasadas de los días 3, 4, 5, 6 y 7 de enero del 2009. La diferencia de estos con respecto a los disponibles en los días de primeros de enero de 2009 es que, en los que aquí presentamos, se han añadido los mapas autonómicos y la línea de probabilidad del 2%.

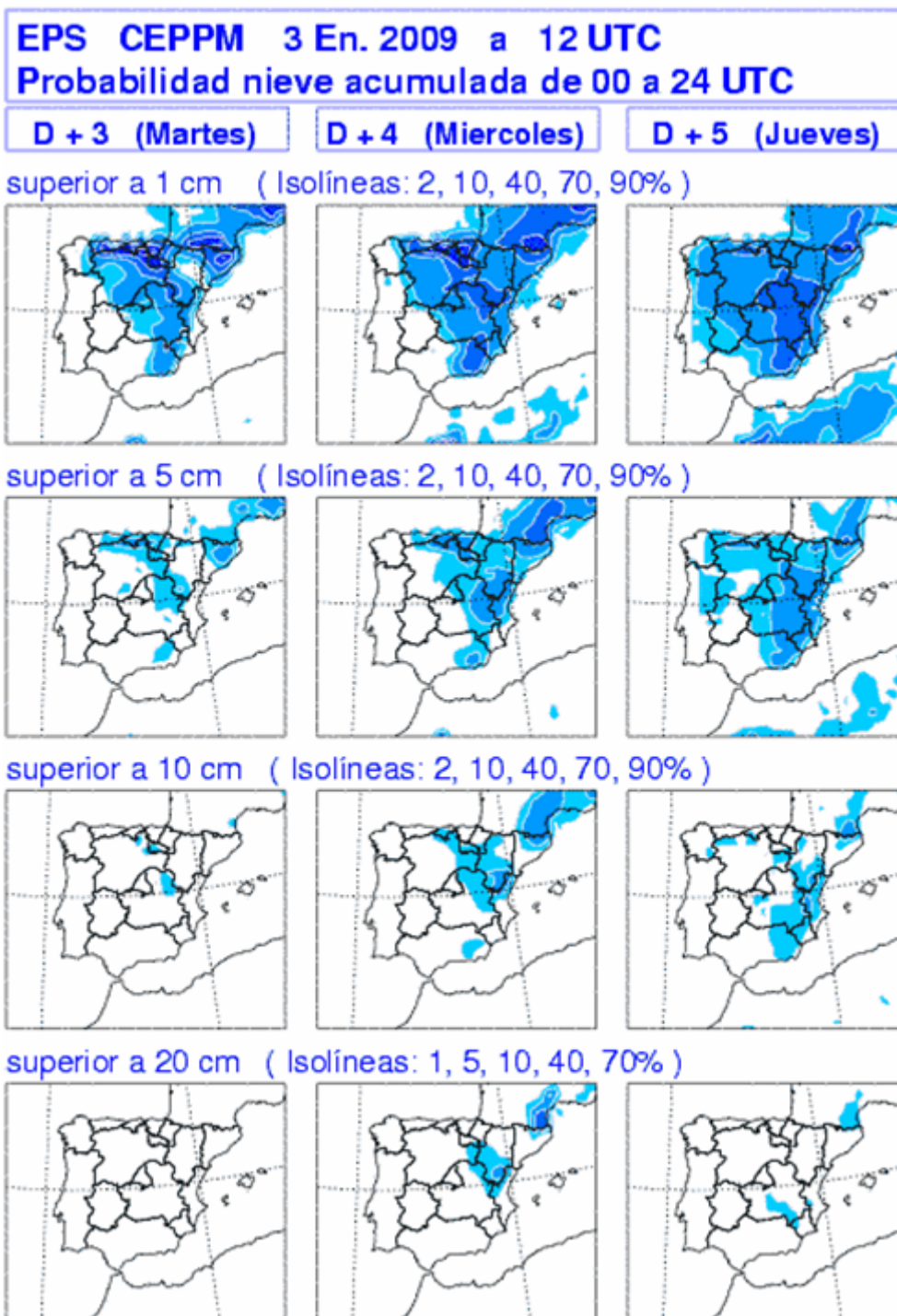


Figura IV.1.1. Mapas de probabilidad de nieve acumulada en 24 horas, superior a los umbrales de 1, 5, 10 y 20 cm, pasada del día 3 de enero de 2009 de 12 UTC para el D+3 (martes, día 6), D+4 (miércoles, día) y D+5 (jueves, día 8).

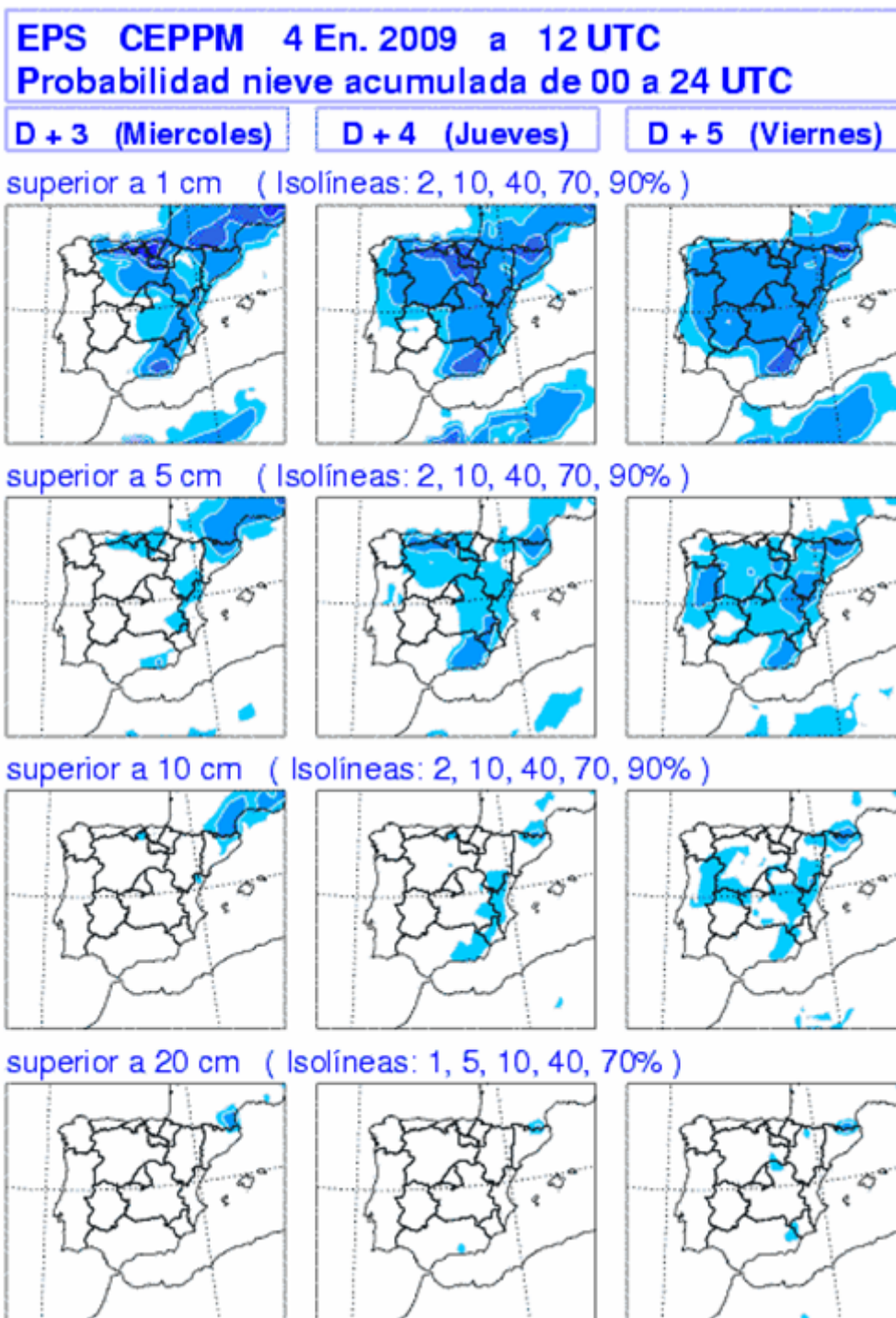


Figura IV.1.2. Mapas de probabilidad de nieve acumulada en 24 horas, superior a los umbrales de 1, 5, 10 y 20 cm, pasada del día 4 de enero de 2009 de 12 UTC para el D+3 (miércoles, día 7), D+4 (jueves, día 8) y D+5 (viernes, día 9).

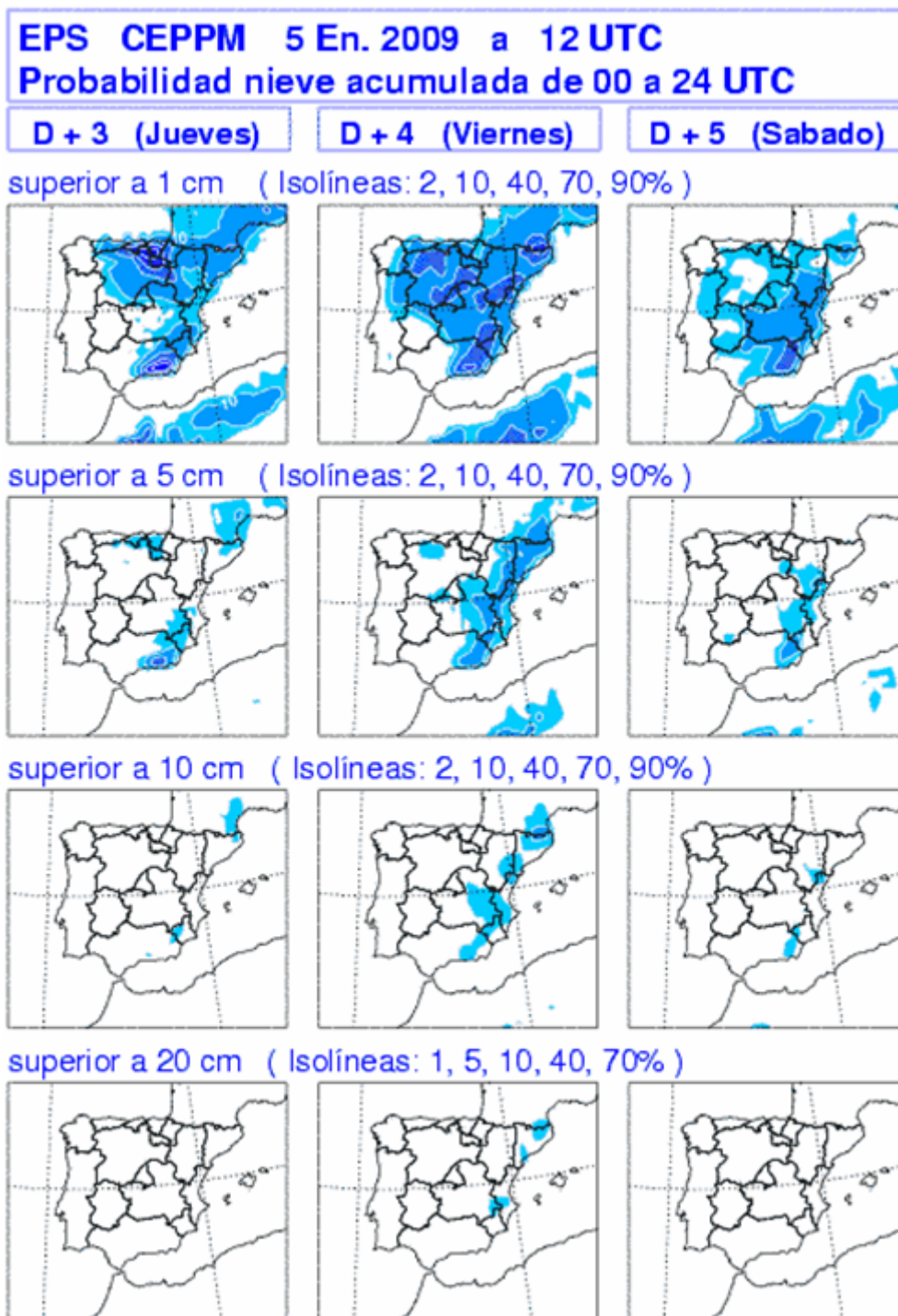


Figura IV.1.3. Mapas de probabilidad de nieve acumulada en 24 horas, superior a los umbrales de 1, 5, 10 y 20 cm, pasada del día 5 de enero de 2009 de 12 UTC para el D+3 (jueves, día 8), D+4 (viernes, día 9) y D+5 (sábado, día 10).

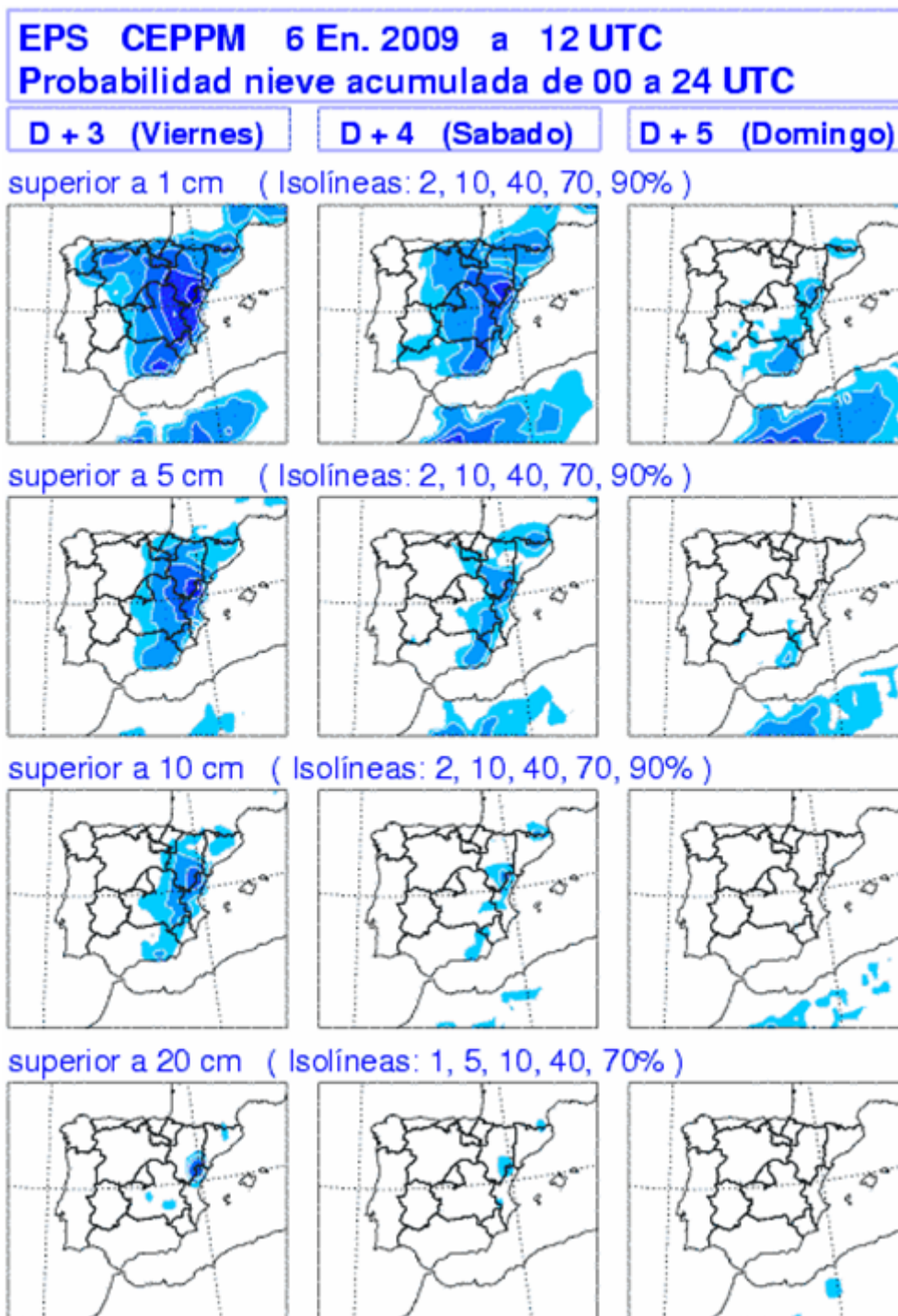


Figura IV.1.4. Mapas de probabilidad de nieve acumulada en 24 horas, superior a los umbrales de 1, 5, 10 y 20 cm, pasada del día 6 de enero de 2009 de 12 UTC para el D+3 (viernes, día 9), D+4 (sábado, día 10) y D+5 (domingo, día 11).

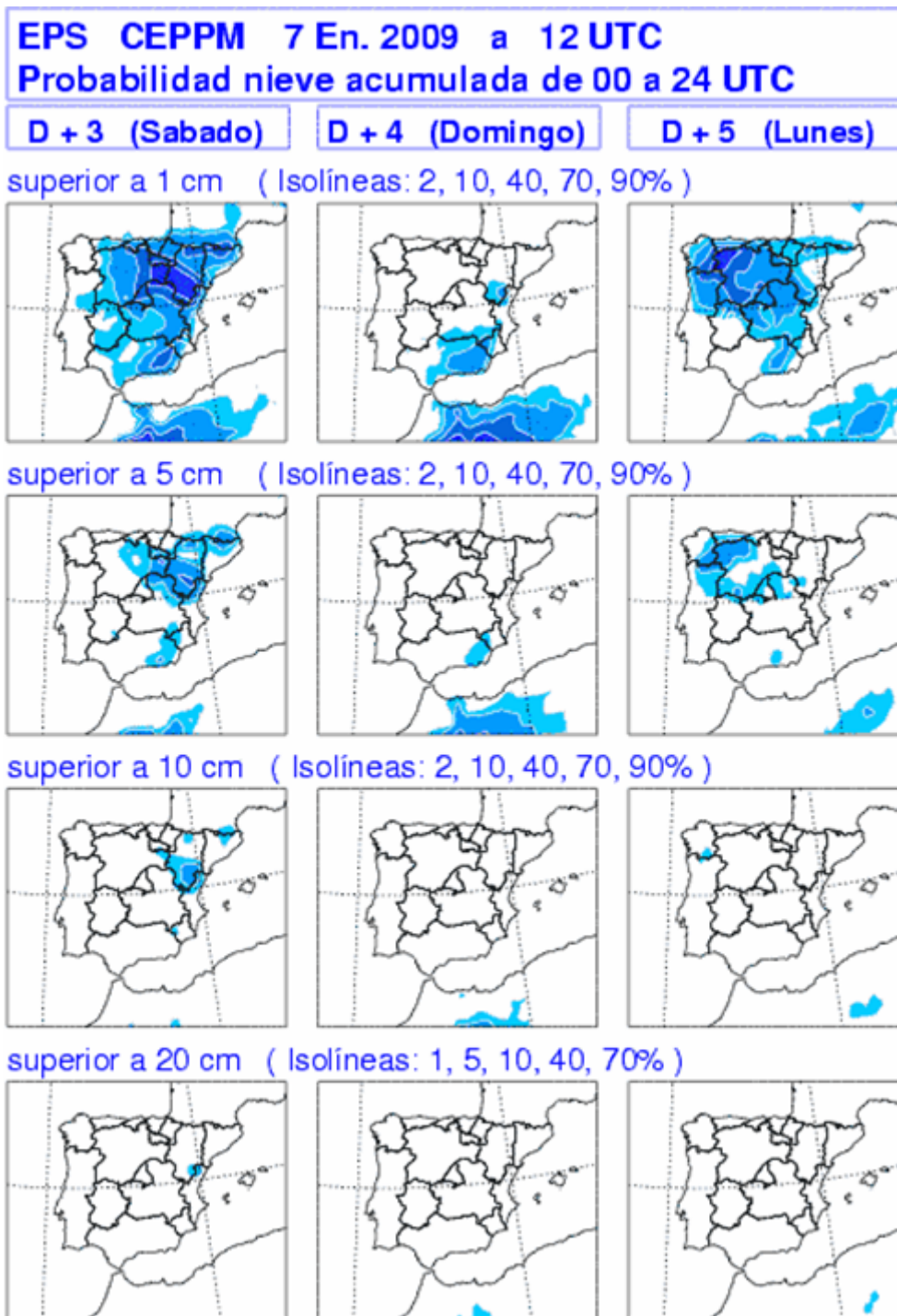


Figura IV.1.5. Mapas de probabilidad de nieve acumulada en 24 horas, superior a los umbrales de 1, 5, 10 y 20 cm, pasada del día 7 de enero de 2009 de 12 UTC para el D+3 (sábado, día 10), D+4 (domingo, día 11) y D+5 (lunes, día 12).

Vamos a comparar a continuación las señales que había en el VarEPS con las nevadas más significativas que se produjeron en distintas zonas los días 8, 9 y 10 de enero de 2009.

Jueves, día 8 de enero de 2009

Las precipitaciones más significativas durante el jueves día 8, en la zona Centro, se circunscriben a la provincia de Albacete donde se registraron nevadas importantes.

En la figura siguiente se presenta de nuevo el mapa con las precipitaciones recogidas de 00 a 24 del día 8 de enero para una comparación más rápida con los mapas de probabilidad del VarEPS.

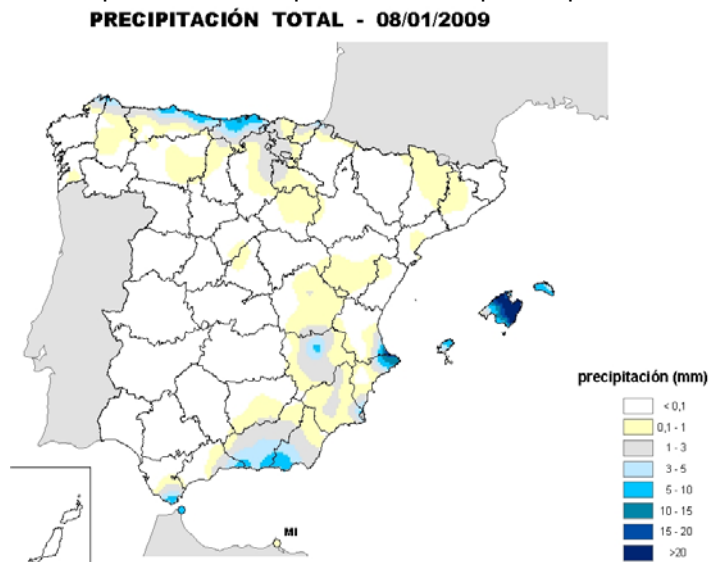


Figura IV.1.6. Mapa de precipitaciones diarias de 00-24, correspondiente al día 8. Las temperaturas muy frías en el interior y en capas bajas garantizan la caída de la nieve.

Comparando este mapa con los anteriores de probabilidad de nieve de las pasadas de los días 3, 4 y 5 de enero para el D+5 (jueves), D+4 (jueves) y D+3 (jueves) respectivamente, vemos que el VarEPS se ajusta bastante bien al patrón de precipitaciones que hubo el jueves día 8, si bien todas las precipitaciones caídas no fueron de nieve.

En Albacete, se registraron precipitaciones, considerándolas de nieve, de entre 0,1 y 5 cm con un máximo muy local superior a 5 e inferior a 10 cm. El VarEPS indicaba probabilidades medias-bajas para el umbral de las nevadas observada en Albacete.

Resumimos los datos observados y las probabilidades previstas por el VarEPS para Albacete en la tabla siguiente

ALBACETE (jueves 8 de enero de 2009)				
Umbrales pcp(mm)/nieve (cm)	1 - 5	5 - 10	10 - 20	> 20
Prob. VarEPS D+5	>40% < 70%	>10% <40%	>2% <10%	>1% <5%
Prob. VarEPS D+4	>10% <40%	>2% <40%	>2% <10%	0
Prob. VarEPS D+3	>10% <40%	>2% <10%	0	0
PCP observadas	SI	SI	NO	NO

Viernes, día 9 de enero de 2009

Durante el viernes día 9 se registraron importantes nevadas principalmente en la mitad oriental de la meseta norte, destacando las nevadas de un corredor orientado de sur a norte que va desde la parte nororiental de la provincia de Toledo, pasando por el tercio este de la Comunidad de Madrid hasta la confluencia de las provincias de Burgos, Palencia, Valladolid y Soria. Otras zonas de montaña de Cuenca, Teruel y Guadalajara también se vieron afectadas por la nieve.

En la figura siguiente se presenta el mapa con las precipitaciones recogidas de 00 a 24 horas del viernes día 9 de enero.

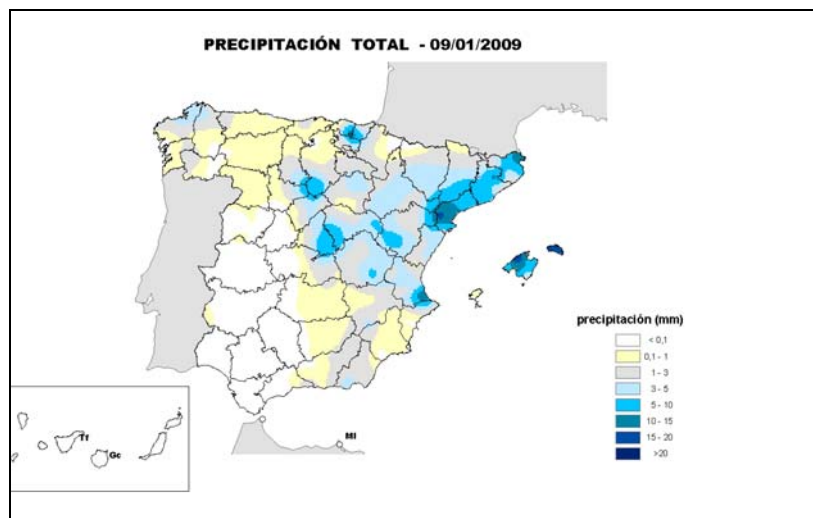


Figura IV.1.7. Ídem que la figura anterior pero para el día 9.

Si comparamos este mapa con los de probabilidad de nieve para el D+5 (viernes), D+4 (viernes) y D+3 (viernes) respectivamente, podemos observar de nuevo un buen ajuste entre el VarEPS de las pasadas de los días 4, 5 y 6 de enero y el patrón de precipitaciones que se registraron el viernes día 9.

En el este de Guadalajara y Cuenca, se registraron nevadas entre 3 y 10 cm, en el este de Madrid, entre 3 y 10 cm y en Teruel, entre 1 y 10 cm. El VarEPS, en general, indicaba probabilidades medias-bajas para el umbral de las nevadas observadas.

Resumimos los datos observados y las probabilidades previstas por el VarEPS en las tablas siguientes:

TERUEL (viernes 9 de enero de 2009)				
Umbral pcp(mm)/nieve (cm)	1 - 5	5 - 10	10 - 20	> 20
Prob. VarEPS D+5	>10% <40%	>10% <40%	>2% <10%	0
Prob. VarEPS D+4	>40% <70%	>2% <40%	>2% <10%	2%
Prob. VarEPS D+3	>70% <100%	>40% <70%	>10% <70%	>1% <70%
PCP observadas	SI	SI	NO	NO
Este de MADRID (viernes 9 de enero de 2009)				
Umbral pcp(mm)/nieve (cm)	1 - 5	5 - 10	10 - 20	> 20
Prob. VarEPS D+5	>10% <40%	>2% <10%	0	0
Prob. VarEPS D+4	>10% <70%	0	0	0
Prob. VarEPS D+3	>40% <70%	>2% <10%	0	0
PCP observadas	SI	SI	NO	NO
GUADALAJARA (viernes 9 de enero de 2009)				
Umbral pcp(mm)/nieve(cm)	1 - 5	5 - 10	10 - 20	> 20
Prob. VarEPS D+5	>10% <40%	>2% <40%	>2% <10%	>1% <5%
Prob. VarEPS D+4	>10% <70%	>2% <10%	<2%	0
Prob. VarEPS D+3	>40% <90%	>10% <70%	>2% <40%	0
PCP observadas	SI	SI	NO	NO
CUENCA (viernes 9 de enero de 2009)				
Umbral pcp(mm)/nieve(cm)	1 - 5	5 - 10	10 - 20	> 20
Prob. VarEPS D+5	>10% <40%	>2% <40%	>2% <10%	0
Prob. VarEPS D+4	>10% <70%	>2% <40%	>2% <10%	0
Prob. VarEPS D+3	>40% <90%	>10% <70%	>2% <40%	0
PCP observadas	SI	SI	NO	NO

Sábado, día 10 de enero de 2009

Las nevadas del sábado día 10 quedaron restringidas a la meseta norte y tercio norte de la sur y Comunidad de Madrid. Las más significativas afectaron a zonas altas de las citadas áreas. En la figura siguiente se presenta un mapa con las precipitaciones recogidas de 00 a 24 horas del sábado día 10 de enero.

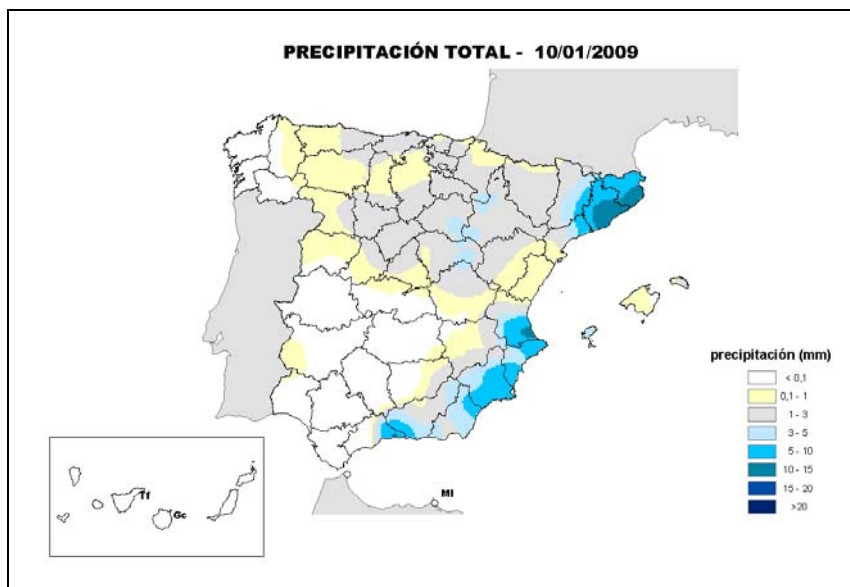


Figura IV.1.8. Ídem que la figura anterior pero para el día 10.

Si comparamos este mapa con los de probabilidad de nieve podemos observar un buen ajuste entre el VarEPS de las pasadas de los días 5, 6 y 7 de enero para el D+5 (Sábado), D+4 (Sábado) y D+3 (Sábado) respectivamente, y el patrón de precipitaciones que se registraron el sábado día 10.

En Burgos, se registraron nevadas de entre 0,1 y 3 cm y en el este de Soria y de Guadalajara, se registraron nevadas de entre 3 y 5 cm. El VarEPS, en general, indicaba probabilidades medias-altas para el umbral de las nevadas observadas.

Resumimos los datos observados y las probabilidades previstas por el VarEPS en las tablas siguientes:

BURGOS (sábado 10 de enero de 2009)				
Umbral pcp(mm)/nieve(cm)	1 - 5	5 - 10	10 - 20	> 20
Prob. VarEPS D+5	>2% <10%	0	0	0
Prob. VarEPS D+4	>10% <40%	0	0	0
Prob. VarEPS D+3	>40% <70%	>2% <10%	0	0
PCP observadas	SI	NO	NO	NO
SORIA (sábado 10 de enero de 2009)				
Umbral pcp(mm)/nieve(cm)	1 - 5	5 - 10	10 - 20	> 20
Prob. VarEPS D+5	>2% <10%	0	0	0
Prob. VarEPS D+4	>40% <70%	>2% <10%	0	0
Prob. VarEPS D+3	>70% <90%	>10% <40%	>2% <10%	0
PCP observadas	SI	NO	NO	NO
GUADALAJARA (sábado 10 de enero de 2009)				
Umbral pcp(mm)/nieve(cm)	1 - 5	5 - 10	10 - 20	> 20
Prob. VarEPS D+5	>2% <40%	0	0	0
Prob. VarEPS D+4	>10% <70%	2%	0	0
Prob. VarEPS D+3	>10% <70%	>2% <40%	2%	0
PCP observadas	SI	NO	NO	NO

A continuación indicamos “*las señales*” que son importantes destacar, con carácter general, en estos mapas de probabilidad de nevadas del VarEPS.

1. Hay señales bastante claras de probabilidad de nevadas en las zonas donde nevó al menos desde cinco días anteriores al episodio. Aparecen señales de probabilidades altas o medias para el umbral de hasta 5 cm y probabilidades bajas o medias para umbrales superiores.
2. El episodio de nevadas podía durar hasta 5 días en algunas zonas, con lo cual los espesores acumulados de nieve podían ser significativos si la nieve no se fundía al contacto con el suelo.
3. El que aparezcan señales en el umbral superior a 20 cm es muy poco frecuente e indica que el episodio de nevadas puede ser importante. Esta es una señal clara de alerta o llamada de atención temprana.
4. Aumenta la certidumbre cuando, según nos acercamos al día de la predicción, se mantienen o se incrementan las probabilidades y aparecen nuevas señales para umbrales mayores aunque sean de probabilidades bajas.
5. Cuando en tres o más sucesivas pasadas disminuyen las probabilidades en una zona para un día determinado, disminuye igualmente la certidumbre pero no se debe

descartar el posible episodio, sino que hay que señalar este con la probabilidad que indique el VarEPS.

1.b.- Probabilidad de temperaturas máximas inferiores a umbrales cercanos a 0°C

Al realizar este estudio nos hemos dado cuenta de que los gráficos de probabilidad de que la T2m máxima sea inferior a los umbrales de 20°C, 15°C, 10°C y 5°C, de los que disponemos operativamente, no eran adecuados para episodios de nevadas donde es importante analizar las temperaturas próximas a 0°C.

Por ello se presentan a continuación los mapas de Probabilidad de que la **T2m máxima** sea inferior a umbrales cercanos a 0°C para las pasadas de los días 4 y 5 de enero del 2009. La diferencia con respecto a los disponibles en los días de primeros de enero de 2009 es que en estos se han cambiado los umbrales y se han añadido los mapas autonómicos y la línea de probabilidad del 2%.

También disponemos de este mismo producto para las pasadas de los días 3, 6 y 7 pero no se muestran aquí para no alargar en demasía esta nota y porque las señales son similares a las que muestran los gráficos anteriores.

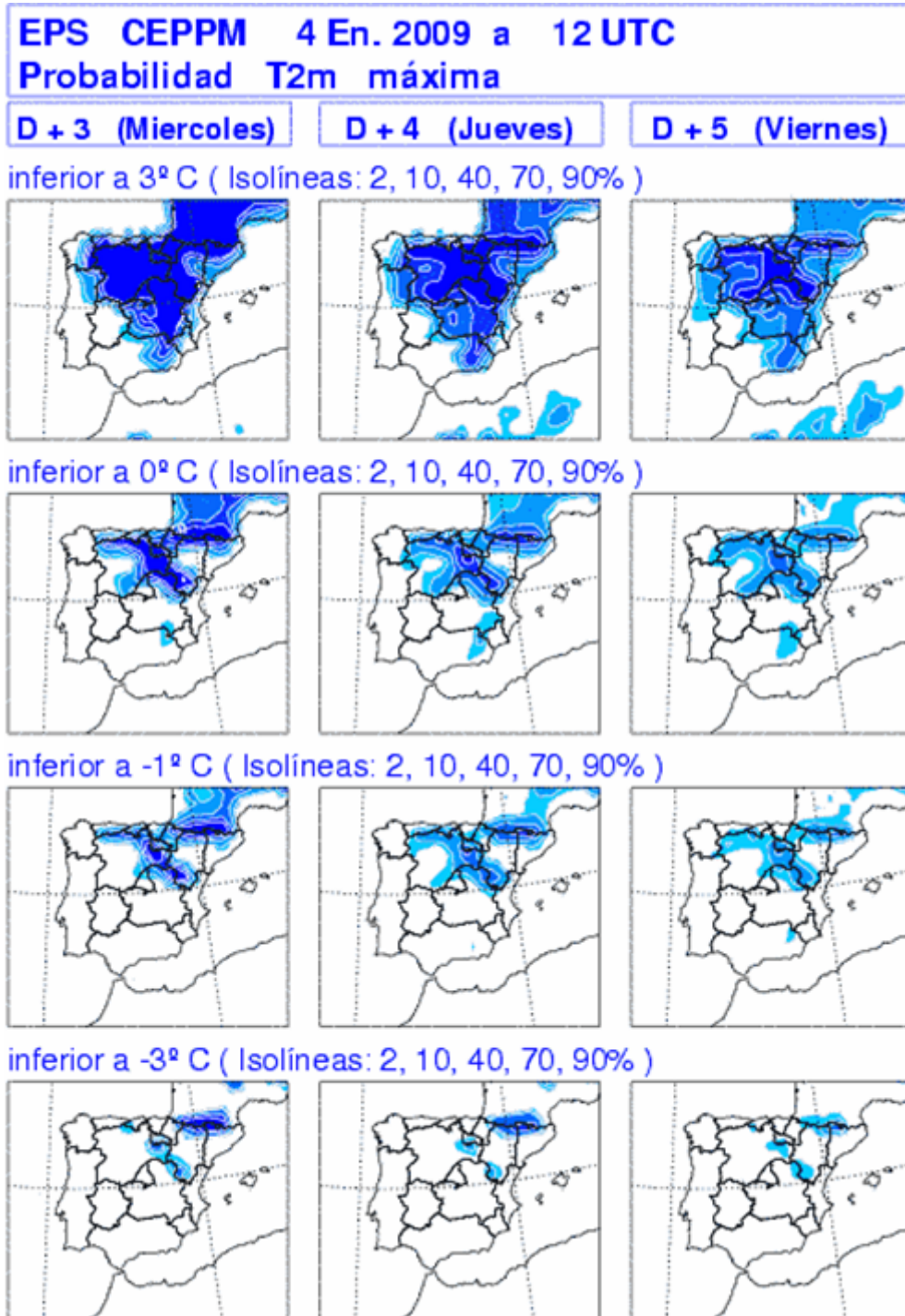


Figura IV.1.9. Mapa de probabilidad de que la T2m máxima sea inferior a los umbrales de 3^oC, 0^oC, -1^oC y 3^oC pasada del día 4 de enero de 2009 de 12 UTC para el D+3 (miércoles, día 7), D+4 (jueves, día 8) y D+5 (viernes, día 9).

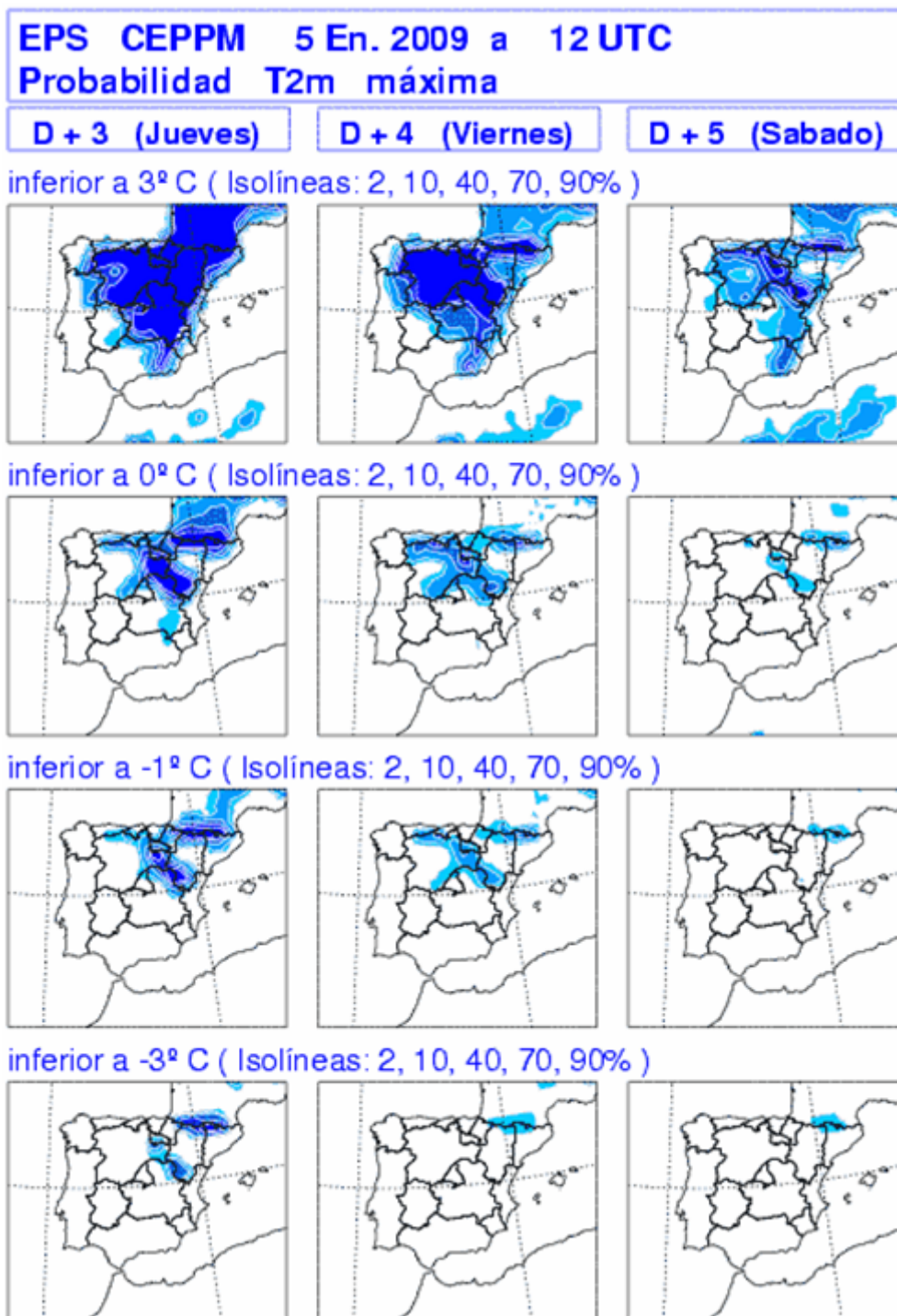


Figura IV.1.10. Mapa de probabilidad de que la T2m máxima sea inferior a los umbrales de 3^oC, 0^oC, -1^oC y 3^oC pasada del día 5 de enero de 2009 de 12 UTC para el D+3 (jueves, día 8), D+4 (viernes, día 9) y D+5 (sábado, día 10).

Resumimos los datos observados y las probabilidades previstas por el VarEPS de T2m máximas en las tablas siguientes

Jueves, día 8 de enero de 2009

ALBACETE (jueves 8 de enero de 2009)				
Umbrales T2m máxima	< 3°C	< 0°C	< -1°C	<- 3°C
Prob. VarEPS D+4	>70% <90%	>2% <10%	0	0
Prob. VarEPS D+3	>90%	>2% <10%	0	0
Tmax obs.	SI	SI	SI	NO

Viernes, día 9 de enero de 2009

TERUEL (viernes 9 de enero de 2009)				
Umbrales T2m máxima	< 3°C	< 0°C	< -1°C	<- 3°C
Prob. VarEPS D+5	>40% <100%	>2% <40%	>2% <40%	0%
Prob. VarEPS D+4	>70% <100%	>2% <70%	>2% <40%	0%
Tmax obs.	SI	SI	SI	NO
ESTE DE MADRID (viernes 9 de enero de 2009)				
Umbrales T2m máxima	< 3°C	< 0°C	< -1°C	<- 3°C
Prob. VarEPS D+5	>40% <100%	>2% <40%	>2% <10%	0%
Prob. VarEPS D+4	>70% <100%	>0% <40%	>0% <10%	0%
Tmax obs.	SI	NO	NO	NO
GUADALAJARA (viernes 9 de enero de 2009)				
Umbrales T2m máxima	< 3°C	< 0°C	< -1°C	<- 3°C
Prob. VarEPS D+5	>70% <100%	>0% <40%	>0% <40%	>0% <10%
Prob. VarEPS D+4	>70% <100%	>0% <40%	>0% <40%	0%
Tmax obs.	SI	SI	SI	NO
CUENCA (viernes 9 de enero de 2009)				
Umbrales T2m máxima	< 3°C	< 0°C	< -1°C	<- 3°C
Prob. VarEPS D+5	>40% <70%	>0% <10%	0%	0%
Prob. VarEPS D+4	>40% <100%	0%	0%	0%
Tmax obs.	SI	NO	NO	NO

Sábado, día 10 de enero de 2009

BURGOS (sábado 10 de enero de 2009)				
Umbrales T2m máxima	< 3°C	< 0°C	< -1°C	<- 3°C
Prob. VarEPS D+5	>40% <100%	>0% <2%	0%	0%
Tmax obs.	SI	SI	SI	NO

SORIA (sábado 10 de enero de 2009)				
Umbrales T2m máxima	< 3°C	< 0°C	< -1°C	<- 3°C
Prob. VarEPS D+5	>70% <100%	>0% <40%	0%	0%
Tmax obs.	SI	SI	SI	NO

GUADALAJARA (sábado 10 de enero de 2009)				
Umbrales T2m máxima	< 3°C	< 0°C	< -1°C	<- 3°C
Prob. VarEPS D+5	>2% <90%	>0% <2%	0%	0%
Tmax obs.	SI	SI	SI	NO

Resaltamos “**las señales**” más importantes de los gráficos anteriores de probabilidad de que las **T2m máximas** sean inferiores a valores cercanos a 0°C:

1. El episodio de temperaturas máximas próximas a los 0°C podía durar varios días en algunas zonas, con lo cual la masa de aire y el suelo en contacto con ella estaban muy fríos.
2. Aumenta la certidumbre cuando según nos acercamos al día de la predicción se mantienen o se incrementan las probabilidades.

Los gráficos EFI (*Extrem Forecast Index*) del CEPPM son también una herramienta útil para detectar señales de sucesos poco frecuentes respecto a la climatología del modelo VarEPS. Presentamos a continuación un gráfico del EFI combinado para un D+3, calculado a partir de la pasada del día 5, válido para el 8 de enero, donde puede observarse una señal muy significativa de temperaturas muy bajas sobre la península ibérica. Este gráfico muestra una información en la misma línea y a la vez complementaria de la que hemos observado en los gráficos de probabilidades de la T2m máxima.

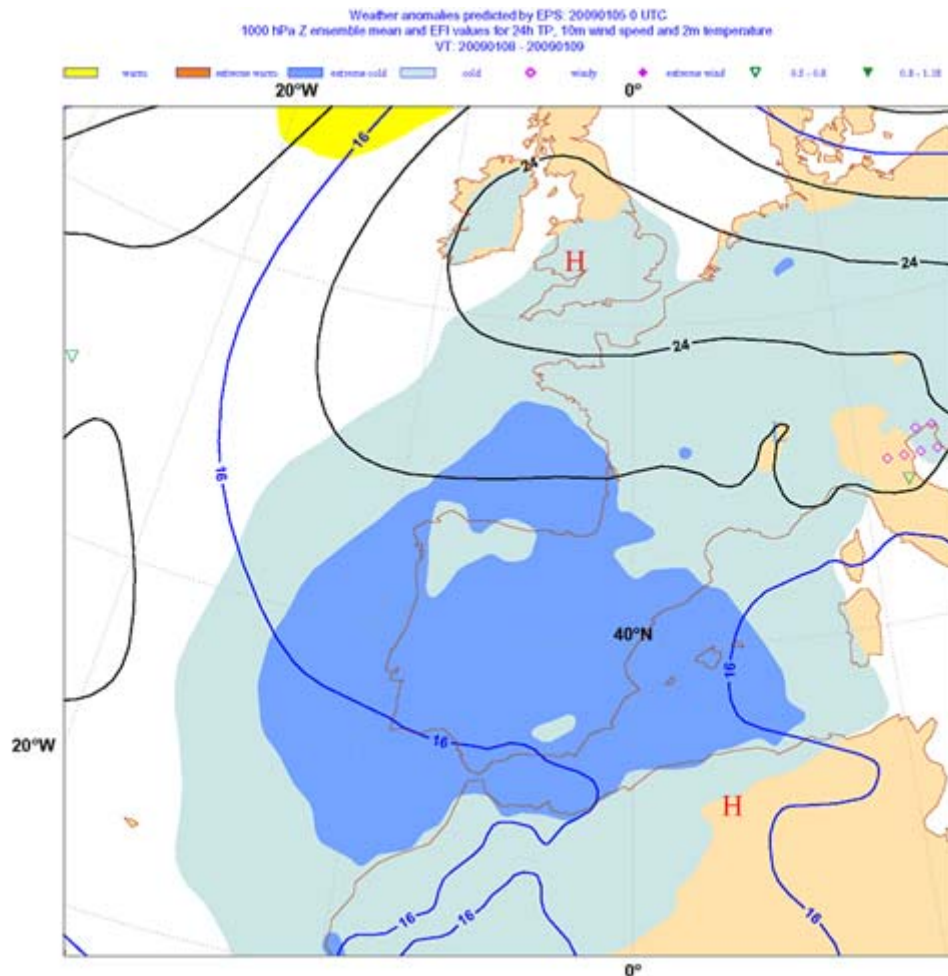


Figura IV.1.11. EFI combinado en 24 horas para diferentes variables de superficie. Especialmente es significativa la señal de la temperatura a 2 m según la pasada del 5 a las 00 para un D+3, día 8-9 de enero. Valores “raros” de frío y muy frío sobre península y Baleares en celeste y azul, respectivamente. El geopotencial de 1000 hPa de la media de VarEPS en línea continua negra. Figura proporcionada por Antonio García Méndez del CEPPM.

Comparando la información del VarEPS de los gráficos de probabilidad de nevadas con los de probabilidad de T2m máximas próximas a 0°C podemos concluir que el VarEPS fue una buena herramienta para llamada de atención en este episodio de nevadas en zonas del interior peninsular. En los gráficos anteriores hemos visto que desde un D+5, al menos, se señalan zonas donde se preveían probabilidades medias y altas tanto de precipitaciones de nieve como de temperaturas máximas próximas a los 0°C por lo cual era probable que la nieve prevista no se fundiese en contacto con el suelo sino que el espesor aumentase con la persistencia de la nevada.

Por último queremos resaltar que probabilidades bajas para nevadas superiores al umbral de 20 cm, y probabilidades medias o altas para el umbral de 5 cm, son importantes “**señales de atención**” sobre todo en situaciones de nevadas con espesores que se acumulen y que afecten a áreas de alto impacto social.

2.- Corto plazo

Como complemento a lo expuesto en apartados anteriores, y en particular en el apartado de diagnóstico de la situación, se presenta a continuación una visión somera de las nevadas, tomando como referencia algunos productos de predicción operativos disponibles en esas fechas en alguno de sus diferentes rangos temporales y espaciales. Aunque se presentan algunos mapas, las predicciones de días anteriores marcaban las mismas tendencias que los mapas mostrados aquí.

Modelos deterministas

Los modelos deterministas operativos, en sus versiones de HIRLAM y CEPPM, subestimaron la entrada de levante que, sobrevolando la masa fría subyacente y con el forzamiento dinámico oportuno (Borrasca fría aislada y vaguada móvil del oeste afectando a dicha zona), predecían nevadas más al este que las observadas.

Como ejemplos básicos se presentan algunas salidas deterministas de precipitación de los modelos operativos del CEPPM y HIRLAM a plena resolución, para dos periodos diferentes.

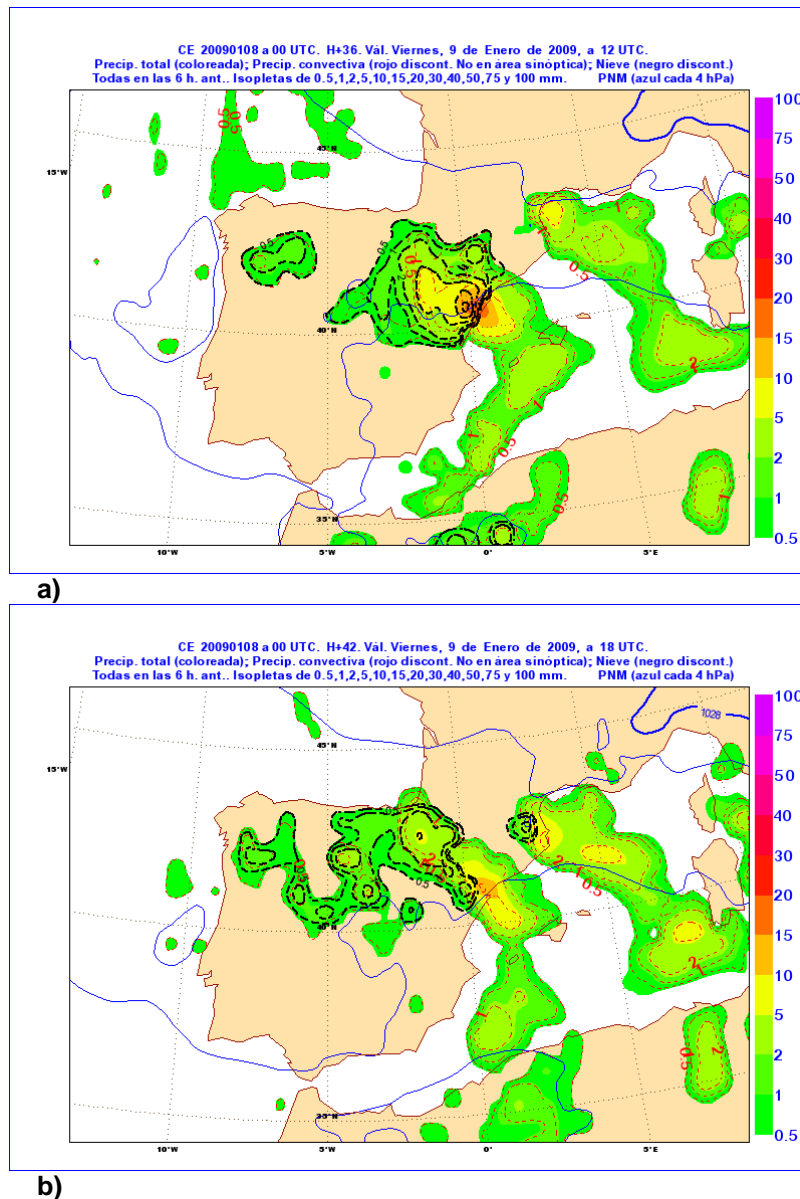
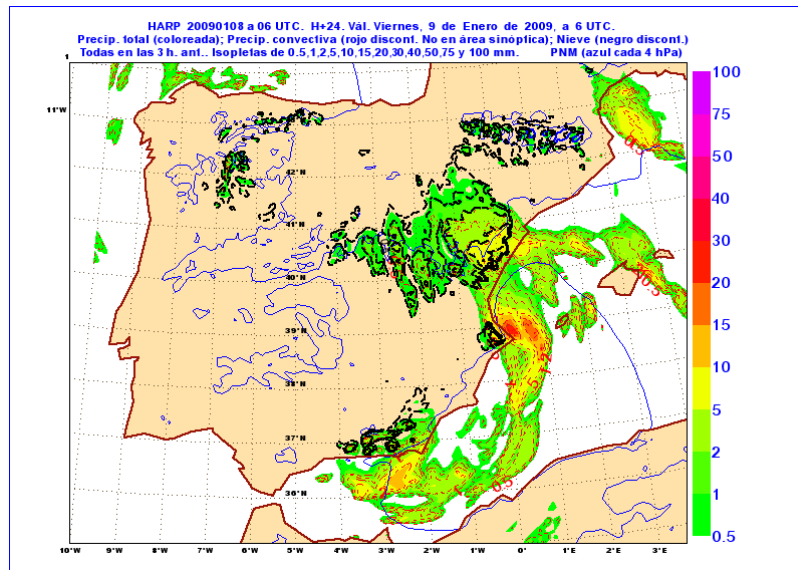
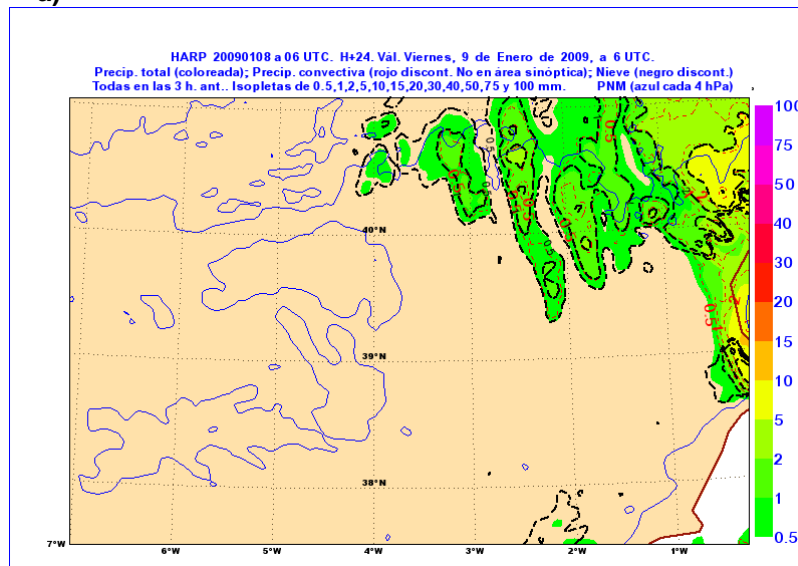


Figura IV.2.1. Mapas de precipitación previstos por el modelo determinista del CEPPM, pasada del día 8 de enero a las 00 UTC válidos para el día 9 de enero a las: a) 12 UTC y b) 18 UTC. (Precipitación acumulada en las 6 horas previas, coloreada según escala adjunta; zonas de nevadas en línea negra discontinua; presión en superficie, línea azul continua)



a)



b)

Figura IV.2.2. Mapas de precipitación previstos por el modelo determinista HIRLAM0.05, pasada del día 8 de enero a las 06 UTC válidos para el día 9 de enero a las 06 UTC: a) Zona Península y Baleares y b) Detalle de la zona Centro.

Como se puede observar, los dos modelos deterministas daban señales muy significativas de lluvias y nevadas en zonas del este peninsular, pero la penetración hasta la zona centro fue subestimada por los dos modelos.

La entrada cálida y húmeda de levante en capas bajas en la zona centro peninsular fue recogida por los modelos deterministas operativos pero limitada a sus zonas más orientales. Las zonas de inestabilidad convencional quedaron circunscritas a las zonas del Mediterráneo y costas adyacentes. La irrupción de levante en el tercio este de la zona Centro quedó subestimada a todas luces. Aparentemente, la intensidad de los flujos en capas bajas 850-700 hPa fue subestimada en las predicciones.

Aunque los modelos deterministas operativos no fueron capaces de reflejar con la deseada bondad lo ocurrido en la zona centro los días 8, 9 y 10, y en especial el día 9 de enero, es necesario poner de manifiesto la importancia de trabajar con ellos en situaciones adversas gracias a su adecuada resolución espacio-temporal. A la vista del grado de sofisticación de dichos modelos, pero a la vez de sus limitaciones en la bondad para reproducir con exactitud situaciones de alto impacto meteo-social, el papel del "predictor" pasa por dos aspectos básicos que se deben realizar en la rutina diaria de cualquier sistema de predicción:

-Validar y evaluar la bondad de las salidas de precipitación y nevadas, en este caso, en cortos periodos de tiempo, cada 3-6 horas, identificando los aciertos y desviaciones respecto a los datos observados en superficie y a los datos de teledetección. En el caso que nos ocupa, cuando se comparan las salidas numéricas previstas de forma categórica con los datos de radar y datos convencionales de superficie, se observa que las precipitaciones estimadas por radar penetraban más al este de lo esperado por los modelos.

- Uso adecuado y complementario de las salidas probabilísticas que soporten, o no, al escenario de evolución determinista. Ver los apartados correspondientes, IV.1 y IV.3.

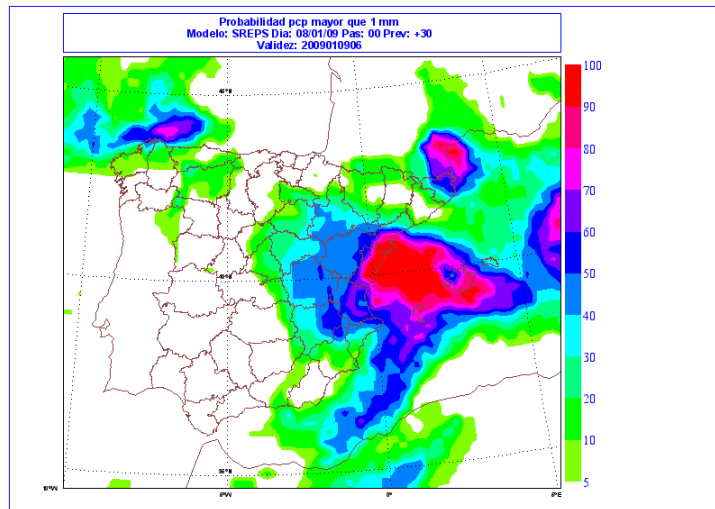
Modelo experimental probabilístico SREPS-AEMET

Como complemento a las salidas numéricas convencionales y operativas en aquellas fechas, se presentan las correspondientes a las del sistema probabilista de corto plazo de AEMET basado en la técnica multi-modelo y multi-condiciones de contorno: SREPS-AEMET. Dicho modelo estaba disponible en fase experimental. Para más detalles sobre el modelo se puede consultar la bibliografía correspondiente García y otros (2009).

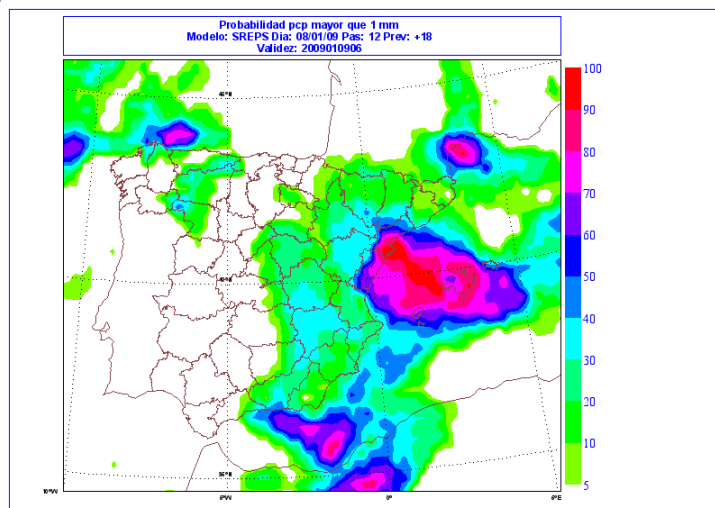
Este modelo se ejecuta dos veces al día, a las 00 y a las 12 UTC. Con él se realiza una predicción por conjuntos de corto plazo basada en la técnica multi-modelo y multi-condiciones de contorno (Mummub) multi-modelo y multi-condiciones de contorno. En particular, se usan cinco modelos de área limitada: High Resolution Limited Area Model (HIRLAM, del consorcio europeo del mismo nombre en el que participa AEMET), High resolution Regional Model (HRM, del Deutsche Wetterdienst DWD), Mesoscale Model version 5 de Penn State University and NCAR (MM5), Unified Model (UM, del United Kingdom Meteorological Office UKMO), COSMO Model (LM, del consorcio europeo Consortium for Small-scale Modeling). Se toman así mismo condiciones iniciales y de contorno de cuatro modelos globales: Integrated Forecast System (IFS, del Centro Europeo de Predicción a Plazo Medio), UM (del UKMO), Global Forecast System (GFS, del National Center for Environmental Predictions NCEP), Global Model (GME del DWD).

La resolución espacial final de las salidas del SREPS-AEMET es del orden de 25 Km y se dispone de mapas de probabilidad de precipitación y nevadas elaborados con sus 20 miembros, cada seis horas en esta fase experimental. Más detalles se pueden ver en la Bibliografía específica.

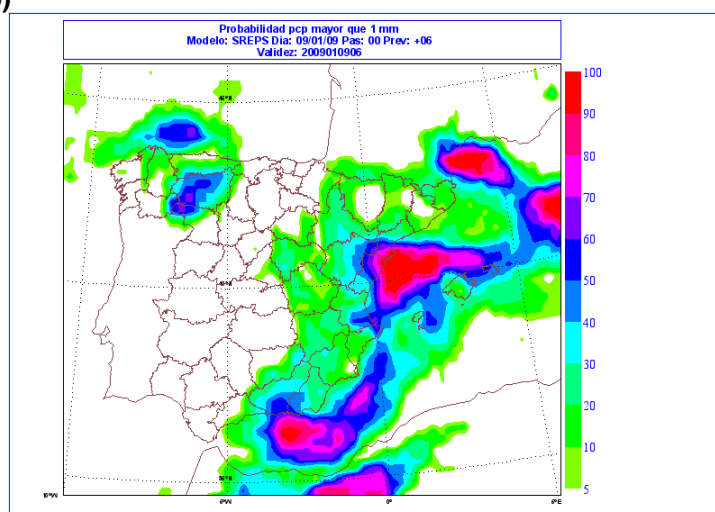
Se analizan a continuación las salidas del modelo SREPS del día 8 de enero a las 00 y a las 12 y del 9 de enero a las 00 para el día 9 entre las 00 y las 24 horas.



a)



b)

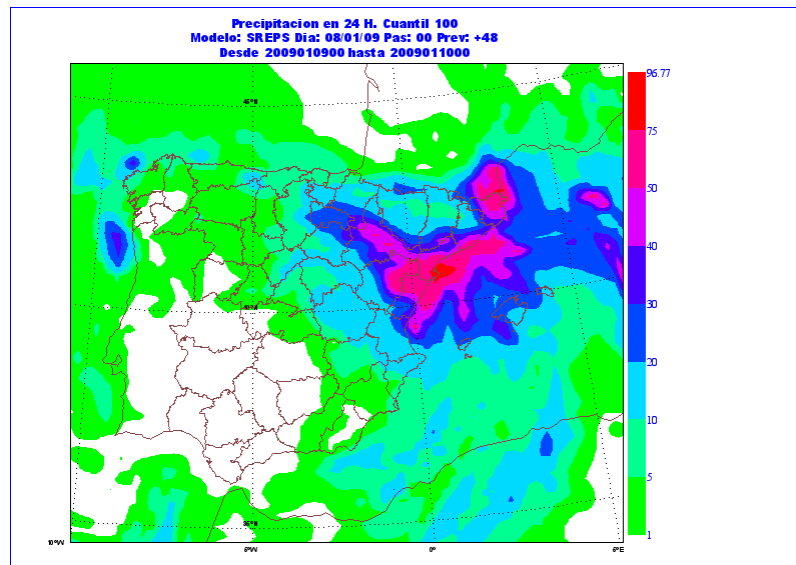


c)

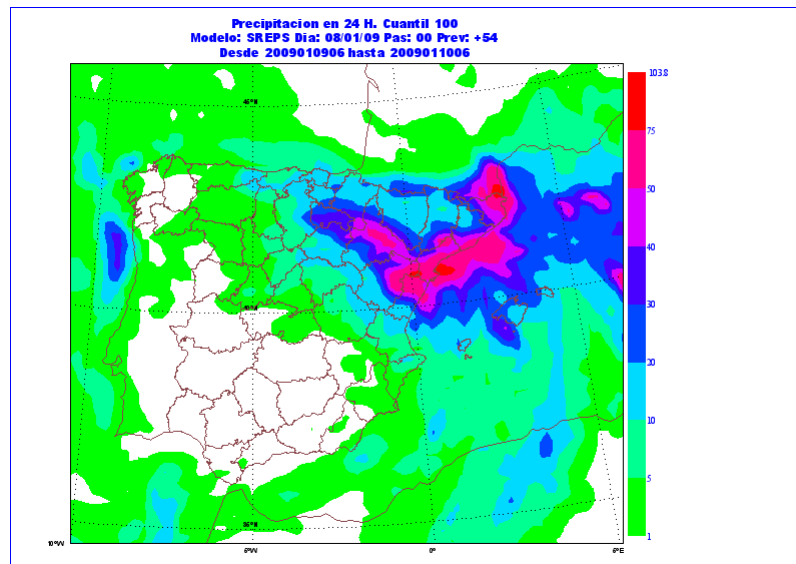
Figura IV.2.3. Mapas de probabilidad de precipitación superior a 1 mm del modelo SREPS-AEMET para el 9 de enero de 2009 entre las 00 y las 06 horas para: a) para las pasadas de 8 a las 00, b) 8 a las 12 y c) 9 a las 00.

Los mapas que se han analizado son de probabilidad de que se superen los umbrales de 1, 5, 10 y 20 mm en las 6 horas anteriores para las 06, 12, 18 y 24 horas del día 9, con base en las pasadas de 00 y 12 del día 8 y 00 del día 9.

También se ha analizado la mediana (quantil 50) de la precipitación acumulada, el máximo de precipitación (quantil 100) y el mapa conjunto con la mediana y el rango intercuartílico (Q75-Q25) entre las 00 y las 24 horas del día 9 y entre las 06 horas del día 9 y las 06 del día 10, sólo con la pasada de las 00 del día 8.



a)



b)

Figura IV.2.4. Mapas de precipitación máxima (quantil 100), en mm, del modelo SREPS-AEMET para el 9 de enero de 2009 para: a) el periodo 00-24 (izquierda) y b) periodo de 06-06 UTC.

Del análisis de las predicciones del SREPS-AEMET y su comparación con los análisis de precipitación acumulada en forma de nieve de 00 a 24 del 9 de enero y de precipitación acumulada 06 del día 9 a 06 del día 10 se pueden extraer algunas conclusiones provisionales:

- En general, hay **consistencia entre las distintas pasadas del modelo** a las 00 y 12 horas del día 8 y a las 00 horas del día 9, aunque para el periodo de 00 a 06 horas del día 9 la pasada de las 00 del día 8 da mayores probabilidades de precipitación que la de las 12 del mismo día, que a su vez da más probabilidad que la de las 00 del día 9. En cualquier caso, la zona de mayor probabilidad se encuentra en el Levante, con dos máximos separados: uno en Castellón y otro al Norte de Girona. El primero de ellos da una probabilidad superior al 40% de que la precipitación supere los 20 mm. Durante ese periodo la probabilidad de precipitación en el este de la Meseta Sur, incluyendo la Comunidad de Madrid, es bastante alta, aunque disminuye según las pasadas se acercan al periodo de predicción.
- Durante los siguientes periodos, y teniendo sólo en cuenta lo que ocurre en el interior peninsular, se observa como la zona de **máxima probabilidad de precipitación según las tres pasadas del modelo SREPS se va introduciendo a modo de cuña por el Valle del Ebro, con valores decrecientes hacia ambos lados: Pirineos y Sistema Ibérico**. En el Sistema Central y Meseta Sur, la probabilidad de superar el umbral de 1 mm en los periodos de predicción 00-06, 06-12 y 12-18 es importante, entre el 10 y el 40%, pero no la de superar 5 mm, que sólo aparece de modo significativo en el periodo 00-06 de la pasada de las 00 del día 8, como ya hemos dicho. En el periodo 18-24 la probabilidad de precipitación ya se limita al Valle del Ebro y las montañas que lo circundan, llegando hasta el Cantábrico.
- En cuanto a los mapas de distribución de la probabilidad, se tiene que la mediana, la máxima y el rango intercuartílico de la distribución en el periodo correspondiente al día civil (de 00 a 24 horas del día 9) coincide bastante bien con el correspondiente al día pluviométrico (de 06 horas del día 9 a 06 horas del día 10), aunque extiende algo más la zona de precipitación por el este de Madrid y de Castilla-La Mancha, donde el modelo daba mayor probabilidad de precipitación entre las 00 y las 06. En conjunto, los valores son mayores en el periodo 00-24 que en el 06-06.
- En este primer estudio, **los análisis de precipitación, tanto de 00 a 24 como de 06 a 06, son similares a la mediana de la distribución del SREPS en la zona del Valle del Ebro, Pirineos, Sistema Ibérico y Cantábrico**. Los máximos del Levante, en Castellón y en Girona, aparecen bien reflejados en la predicción del SREPS, aunque con valores algo diferentes. Hay **discrepancias importantes** en cuatro zonas:
 - En Murcia el análisis de 00-24 da una precipitación acumulada de entre 4 y 6 mm, muy por encima de la mediana, que está en 1 mm o menos, y próxima al máximo de la distribución.
 - En Galicia la precipitación recogida es mayor de 1 mm en casi toda la Comunidad, algo que no refleja la mediana de la distribución, aunque sí el máximo.
 - En el centro de la Meseta Norte, al sur de Burgos, aparece otro máximo de entre 10-15 mm (mapa de 00-24 horas) ó 5-10 mm (mapa de 06-06 horas), que tampoco aparece reflejado en la mediana, aunque sí en el del máximo.
 - En el sureste de Madrid hay otro máximo de entre 6-8 mm (mapa de 00-24) ó 5-10 mm (mapa de 06-06) que tampoco se refleja en la mediana pero que parece corresponder con el máximo.

Aunque las salidas del **SREPS-AEMET** reflejan la entrada de levante de forma consistente en los campos de precipitación y nevadas, **subestiman su intensidad y acumulación en zonas de alto**

impacto social. Estas estimaciones a la baja en los campos medios de los mapas de probabilidad se ven suavizadas e incluso levemente ajustadas espacialmente cuando se analizan los campos máximos y en menor medida los del rango intercuartílico, Q75-Q25.

La resolución de los modelos empleados, respecto a los fenómenos acaecidos, y la rareza del evento, ponen de manifiesto la buena respuesta relativa, a pesar de la dificultad, que daba el SREPS-AEMET para manejar esta situación extrema del 9 de enero, subestimando la entrada de levante más hacia el interior y sur de la comunidad de Castilla-La Mancha y Madrid de lo que realmente ocurrió.

3.- Productos de postproceso

En este apartado se analizarán los productos de postproceso del ATAP en relación con las nevadas del 9 de enero. No se ha podido hacer lo mismo con los productos correspondientes al 8 y 10 del mismo mes, pero las ideas, usos y limitaciones de dichos productos, así como su utilidad en la cuantificación de la incertidumbre de fenómenos de alto impacto social, pero con baja probabilidad, son comentados en este apartado.

Temperaturas diarias extremas

La presencia de una **masa de aire frío relativamente espesa y persistente** garantiza la existencia de **uno de los ingredientes** para las nevadas junto con el aumento de los espesores de la nieve caída mientras persista la precipitación. Los valores y la evolución de las temperaturas en superficie, especialmente a las horas que se esperan las nevadas, son fundamentales para predecirlas.

En este apartado se analiza la predicción de las temperaturas extremas a 2m., a D+1, para el viernes 9 de enero de 2009, dada por el método de postproceso actualmente operativo en el ATAP en relación con las nevadas que tuvieron lugar en la zona centro. También se muestran los mapas de temperaturas extremas observadas dicho día.

Del análisis de los mapas, de los cuales se muestran los más relevantes, se concluye:

- Se predice que las temperaturas a lo largo del día están en el intervalo $[-4, 6]$ (°C) en la Meseta Sur y $[-6, 4]$ (°C) en la Meseta Norte. La predicción es muy similar para las dos últimas pasadas.
- La variación respecto al día anterior, es en general de aumento ligero de las temperaturas, esto supone que el día anterior, 8, también fue frío, por lo que el suelo superficial llevaba al menos dos días con fuertes heladas nocturnas y temperaturas del aire cercanas al suelo que no superaron prácticamente los 4°C.
- Las mínimas finalmente observadas se corresponden bastante bien con las previstas como se puede ver en el mapa de errores. Las máximas observadas son inferiores a las previstas por lo que hay zonas de error de hasta 6 °C, particularmente en el Centro donde las observadas no superaron los 2 °C lo que puede atribuirse al efecto de la nevada.

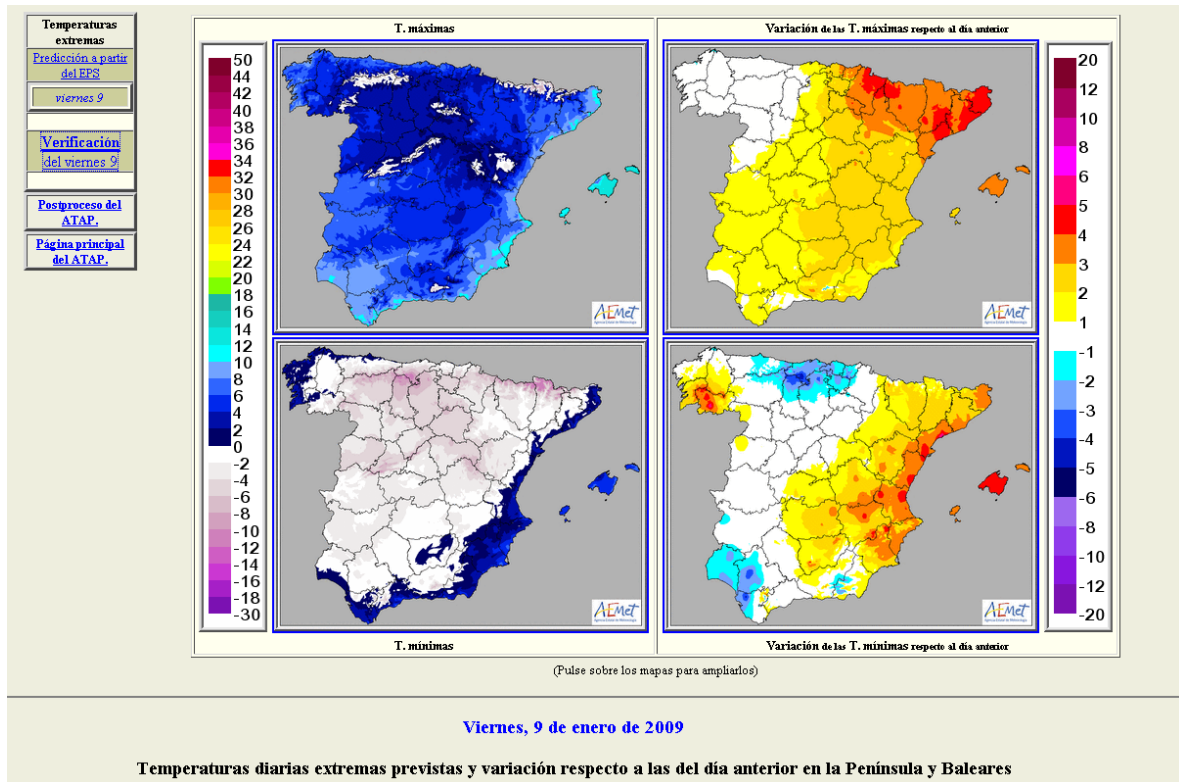


Figura IV.3.3. Temperaturas diarias extremas para el día 9: temperatura máxima y variación en 24h anteriores, parte superior, y temperaturas mínimas y variación en 24h, respecto al día anterior.

Precipitación según Análogos-EPS

Actualmente la predicción del modelo Análogos-EPS se actualiza una vez al día -sobre las 6 UTC- y se basa en la pasada de las 12 UTC del EPS del día anterior.

Se analiza en este documento únicamente la previsión que, con validez para el día pluviométrico (7 a 7 UTC del día siguiente) del viernes, 9 de enero de 2009, dan las 3 últimas pasadas del modelo (D-3, D-2 y D-1 en la notación) con los mapas de las probabilidades de precipitación de superar los 0, 5, 10 y 20 mm en dicho día pluviométrico. También se dispone de los mapas con valores medio y máximo de la distribución de análogos, pero no son presentados aquí.

Del estudio de los mapas, se concluye:

- **La consistencia** en las señales de precipitación de las tres pasadas que indican una situación asociada a 'flujo de levante'
- **Profundización**, con la cercanía de las pasadas, de esta situación de levante. La "señal" en la Comunidad Valenciana aumenta las probabilidades, a la vez que se desplaza hacia el norte y se extiende al interior peninsular - se puede apreciar también en los mapas de la media -. Es también significativa la profundización de la señal de la precipitación en Girona.
- La experiencia en el análisis de este modelo muestra que siempre que haya **señal de superar los 10 mm**, aunque sea con probabilidades inferiores al 10%, es prácticamente seguro que haya

precipitación significativa. Los mapas de precipitación media sirven también de guía para la precipitación esperada.

- Relacionado con todo lo anterior, y como caso particular, es de resaltar en el mapa de 10mm de D+1 la zona aislada de probabilidad 10-15 % de la Sierra Norte madrileña.

Día pluviométrico 07-07 UTC del 9 de enero.

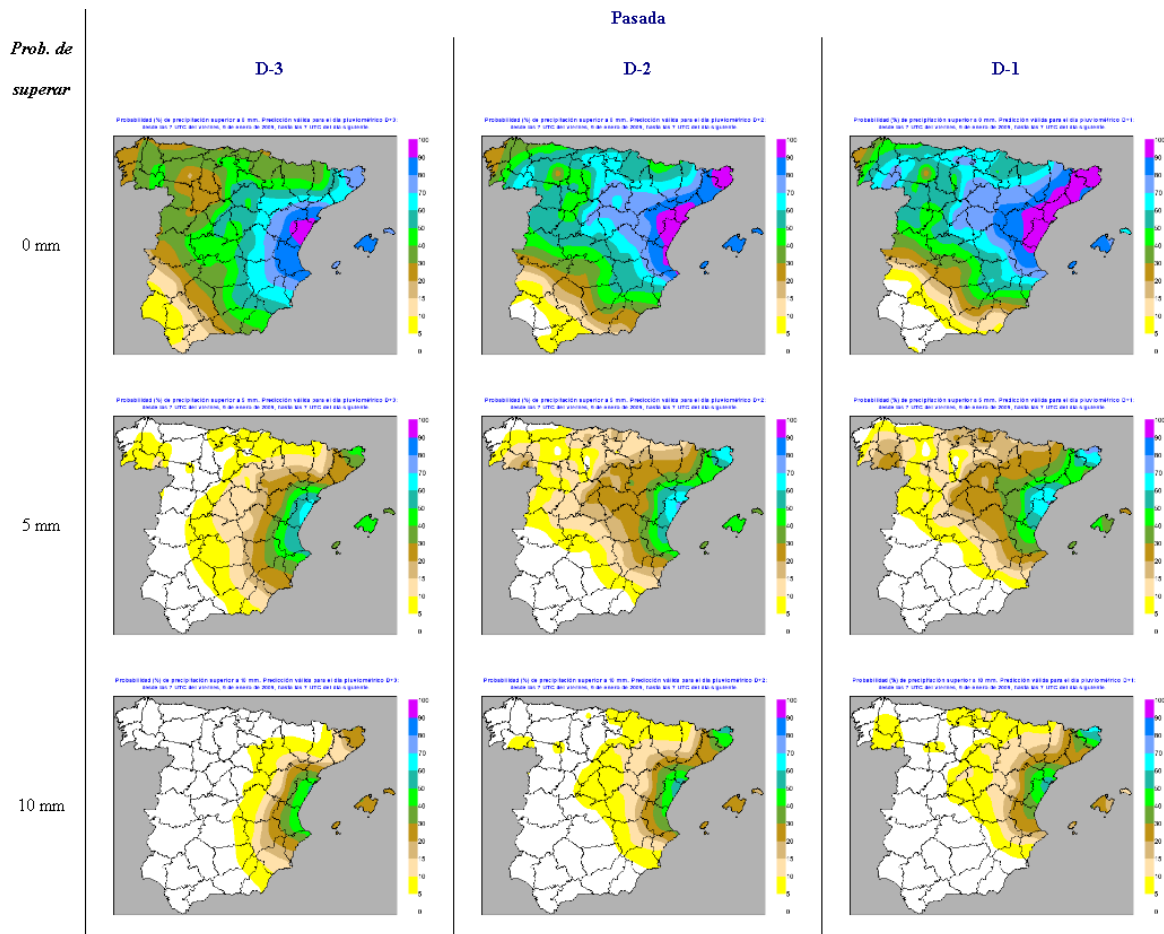


Figura IV.3.2. Mapas de precipitación según Análogos-EPS, para el periodo 07-07 del día 9 de enero. En este sentido cabe destacar las señales de las pasadas del D-2 y D-1 donde se manifiesta de forma llamativa la señal asociada a la “entrada de levante” en los mapas de precipitación superior a 10 mm. Ver texto para más detalles.

Como puede verse, la entrada de levante se agudiza a medida que se acortan los plazos de predicción, cuantificando la certidumbre de potenciales precipitaciones significativas en ambientes con temperaturas previstas muy frías. Estos mapas son la base para la generación de los correspondientes a la probabilidad de nevadas, que se verán seguidamente.

Cota de nieve potencial

La presencia de una masa de aire frío relativamente espesa y persistente en capas bajas garantiza la existencia de uno de los ingredientes para nevadas. Además este hecho puede contribuir al aumento de los espesores de nieve mientras que persista la precipitación. Unos de los mapas que pueden reflejar estas características son los de cota de nieve potencial.

Método ATAP aplicado a HIRLAM (salidas gráficas): Los mapas de cota de nieve del día 7 previstos para el día 9, elaborados mediante técnicas de postproceso del ATAP a partir de la temperatura y el geopotencial de 850 hPa del modelo HIRLAM pasada de 00 UTC, muestran valores muy bajos en toda la Península, sobre todo a primeras horas del día.

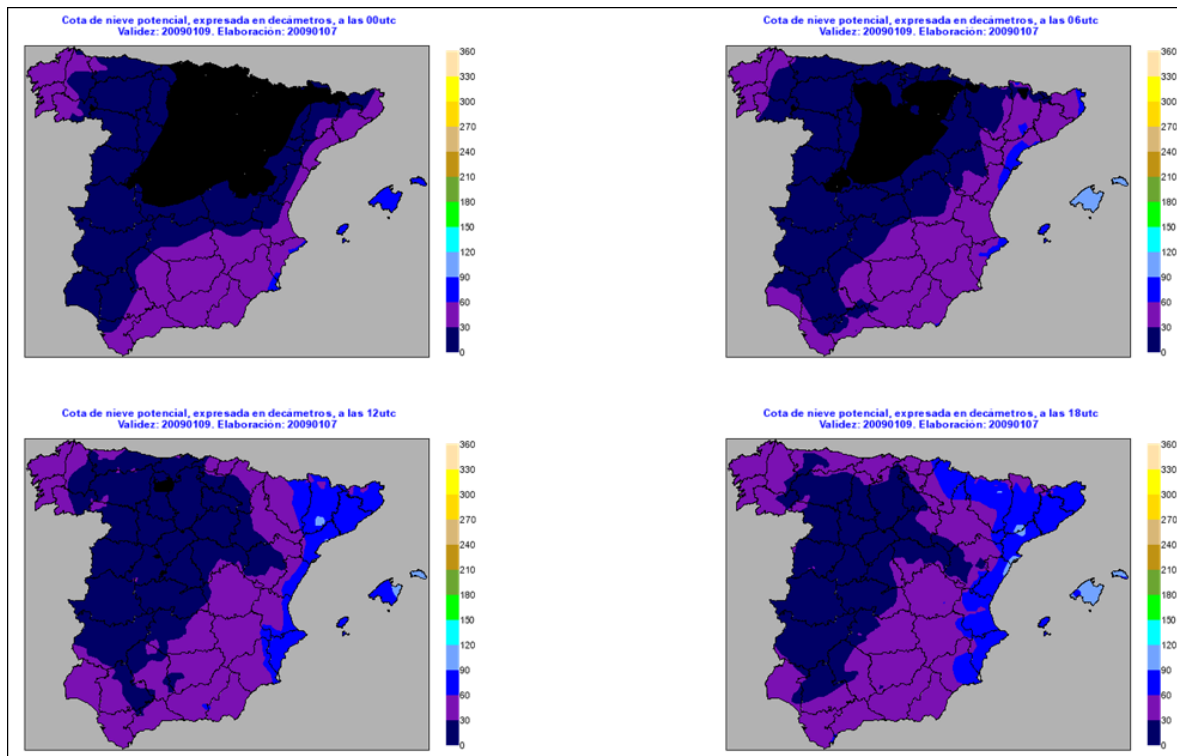


Figura IV.3.4. Mapas de “Cota de nieve potencial” elaborados el 7-1-2009, válidos para las 00, 06, 12 y 18 UTC del día 9-1-2009, obtenidos a partir de las técnicas de postproceso de ATAP.

También los mapas correspondientes elaborados los días 8 y 9 siguieron apuntando en la misma dirección, siendo consistentes con éstos.

Método ATAP aplicado a ECMWF (salidas tabuladas): Este hecho de valores muy bajos de cota de nieve también se dejaba sentir, durante los 7 días previos al episodio, en las salidas tabuladas de cota de nieve provincial que se obtienen mediante este mismo método aplicado a las salidas del modelo de alta resolución del CEPPM.

La siguiente tabla, elaborada el día 2-1-2009, muestra la predicción de cota de nieve potencial por provincias, en hectómetros, de 6 en 6 horas, válida para los días 3 al 9 de enero.

COTAS DE NIEVE EN HECTOMETROS PREVISTAS CADA 6 HORAS. FECHA Y PASADA DEL ANÁLISIS: 2009010212
VALIDEZ DESDE EL
20090103 HASTA EL 20090109

	D+1			D+2			D+3			D+4			D+5			D+6			D+7										
	00	06	12	18	00	06	12	18	00	06	12	18	00	06	12	18	00	06	12	18	00								
01 Álava	16	15	15	11	11	11	13	15	15	13	9	5	2	-1	-5	-5	-4	-4	-3	-4	-4	-2	-2	-4	-4	-3	-2	0	1
02 Albacete	17	17	14	12	12	11	11	11	11	11	11	9	8	9	7	4	0	1	3	2	3	3	3	2	1	3	4	3	3
03 Alicante/Alacant	18	17	16	13	12	11	11	11	12	14	13	11	9	9	6	3	2	2	4	5	3	2	1	3	3	3	3	3	3
04 Almería	19	20	20	17	16	14	14	11	12	12	12	14	12	12	12	12	9	6	7	6	4	5	6	5	4	3	4	4	5
05 Ávila	15	15	15	14	13	11	12	13	14	13	12	11	7	5	4	1	-4	-5	0	0	-2	-3	1	2	-3	-5	0	2	4
06 Badajoz	19	17	15	14	15	15	15	13	13	12	10	10	9	9	8	6	5	3	3	4	4	6	6	5	4	2	1	1	5
07 Balears (Illes)	14	13	13	12	11	8	9	10	12	13	14	12	10	8	7	6	4	2	1	0	0	1	1	1	2	4	4	4	4
08 Barcelona	13	12	11	11	10	10	10	13	14	15	14	12	7	4	0	-1	-2	-2	-3	-1	2	3	1	1	1	2	2	4	5
09 Burgos	15	15	14	12	11	11	12	14	14	13	9	7	4	1	-2	-5	-4	-4	-1	-3	-4	-2	1	-3	-4	-4	-1	1	2
10 Cáceres	18	17	14	15	15	15	14	13	13	12	10	9	8	7	6	6	4	1	2	4	5	5	5	4	4	1	0	3	6
11 Cádiz	20	19	17	15	14	15	15	16	14	14	13	13	12	12	12	10	10	9	8	8	7	7	8	7	6	5	4	5	4
12 Castellón/Castelló	15	15	14	13	12	10	9	12	13	15	16	15	12	8	5	2	0	-1	0	2	3	4	3	1	-1	0	1	3	4
13 Ciudad Real	17	18	16	14	14	13	13	13	12	12	10	11	9	7	7	6	2	0	0	3	4	2	2	1	0	0	0	3	4
14 Córdoba	19	19	15	14	14	14	14	13	13	12	11	11	10	8	8	7	6	4	4	5	5	6	5	4	3	2	2	2	4
15 Coruña (A)	16	15	15	15	17	17	17	17	15	12	7	6	5	5	3	3	1	1	2	4	6	6	6	6	9	9	8	10	12
16 Cuenca	15	14	15	15	13	12	12	13	12	11	11	10	8	6	6	4	-2	-3	1	2	1	1	1	2	-2	-1	1	3	3
17 Girona	13	12	12	10	9	9	11	13	14	14	14	10	5	1	-2	-3	-3	-4	-3	-2	-1	-1	-2	-1	2	1	2	3	4
18 Granada	19	19	18	14	13	13	14	12	12	13	13	11	9	12	10	8	6	7	6	5	5	7	5	4	3	6	5	4	4
19 Guadalaajara	15	14	13	13	12	10	10	12	13	12	11	10	8	4	3	-1	-5	-4	1	0	-2	-2	1	0	-5	-3	0	3	3
20 Guipúzcoa	16	16	15	11	11	11	13	15	15	13	9	4	1	-2	-6	-6	-5	-5	-5	-4	-2	-2	-5	-4	-2	-1	0	0	0
21 Huelva	20	18	16	15	15	15	16	14	14	13	12	12	11	11	10	9	6	5	5	5	6	6	7	7	6	4	3	2	5
22 Huesca	16	15	13	12	11	11	12	15	16	16	15	12	8	3	0	-2	-3	-3	-1	1	2	1	1	0	2	2	4	5	5
23 Jaén	18	18	16	14	13	13	13	13	12	12	11	12	10	8	9	8	5	3	3	4	4	5	4	3	2	1	3	5	4
24 León	14	13	13	12	12	14	14	15	12	10	8	6	3	2	-1	-3	-2	0	0	1	3	3	1	1	3	5	6	6	6
25 Lleida	14	13	12	11	9	11	14	15	15	12	8	2	0	-3	-3	-4	-3	-1	0	0	-1	-1	2	3	4	5	5	5	5
26 La Rioja	15	14	15	12	10	9	11	13	14	13	11	7	4	0	-3	-5	-4	-4	-2	-4	-4	-3	-1	-4	-5	-4	0	0	1
27 Lugo	16	14	14	14	16	16	16	16	15	11	7	6	5	5	2	1	0	0	1	3	4	4	4	5	7	6	7	9	11
28 Madrid	16	14	14	14	13	12	12	12	13	12	10	8	6	3	0	-3	-3	0	2	0	0	1	2	-2	-3	0	0	3	3
29 Málaga	20	19	17	15	15	15	14	13	13	12	12	12	10	9	8	8	7	8	6	6	7	8	6	7	6	5	4	4	4
30 Murcia	18	18	18	16	14	12	11	11	11	12	13	13	12	10	10	10	7	3	4	3	2	4	5	4	3	2	3	3	4
31 Navarra	16	15	14	11	11	11	12	15	15	14	10	6	2	-2	-6	-6	-5	-5	-4	-2	-2	-4	-2	0	1	0	1	0	1
32 Ourense	15	14	14	14	15	15	15	14	11	8	7	6	6	4	4	2	0	1	4	4	5	5	6	6	5	6	7	9	9
33 Asturias	16	14	14	13	12	14	15	15	14	11	8	6	4	2	0	-3	-2	-1	-1	-1	1	2	2	1	1	4	6	7	7
34 Palencia	14	14	12	13	13	12	13	14	14	13	10	8	5	1	0	-3	-4	-3	0	-2	-2	0	3	0	-2	-2	0	2	3
35 Palmas (Las)	31	29	29	29	28	28	28	29	28	28	27	25	23	22	23	25	25	26	25	25	24	23	23	21	20	20	21	22	22
36 Pontevedra	16	14	14	15	17	17	16	16	14	12	7	6	7	5	6	5	3	3	5	7	7	6	7	9	8	8	9	11	
37 Salamanca	16	16	14	13	13	14	15	15	13	11	9	7	5	3	3	-2	-3	-2	1	1	0	1	3	0	-3	-1	3	6	7
38 Santa Cruz de Tenerife	30	29	29	29	29	28	28	29	28	28	26	24	22	23	23	25	26	26	25	25	24	22	22	20	20	20	21	22	22
39 Cantabria	16	16	14	11	11	11	14	15	14	12	8	5	3	1	-3	-4	-3	-3	-2	-4	-3	0	1	-2	-2	-1	0	2	2
40 Segovia	15	15	14	13	12	11	11	12	13	13	11	9	6	3	2	-3	-5	-5	0	-1	-4	1	-1	-4	-5	-1	1	2	2
41 Sevilla	19	19	16	14	14	14	15	13	13	12	12	11	11	10	8	7	6	6	6	6	7	7	7	5	4	3	3	5	5
42 Soria	14	14	14	13	10	9	10	12	13	13	11	9	5	1	1	-4	-4	0	-2	-4	-3	0	-3	-5	-4	0	2	2	2
43 Tarragona	14	14	13	12	11	10	9	13	14	15	15	14	10	6	2	-1	-2	-2	0	2	3	1	0	1	1	3	4	5	5
44 Teruel	15	14	14	14	11	9	9	11	13	13	14	12	7	3	2	-2	-5	-5	-2	-2	-4	-3	-1	-2	-4	-2	1	2	1
45 Toledo	16	16	15	15	14	13	12	13	13	12	11	10	8	7	5	5	-1	-1	0	3	3	2	2	4	0	-2	-1	2	3
46 Valencia/València	17	16	14	14	12	11	11	11	12	14	15	14	10	7	7	6	1	-2	0	1	1	3	2	2	0	0	1	3	3
47 Valladolid	15	14	14	13	13	12	13	15	13	11	9	7	3	2	-1	-4	-4	-1	0	-1	-1	2	2	-3	-3	0	2	3	3
48 Vizcaya	16	16	15	12	11	11	14	15	15	13	8	4	1	-1	-4	-4	-4	-3	-4	-4	-1	-1	-3	-4	-2	-2	1	1	1

Tabla IV.3.1. "Cota de nieve potencial" por provincias cada 6 horas, válida para los días 3 al 9 de enero de 2009, obtenida a partir de las técnicas de postproceso de ATAP aplicadas a la pasada de 12 UTC del 2-1-2009 del modelo de alta resolución del CEPPM.

A continuación se muestra en detalle, a partir de la tabla anterior, los valores de cota de nieve potencial, elaborados el día 2-1-2009, previstos para las 0, 6, 12, 18 y 24 UTC del día 9 en algunas provincias de España.

	00	06	12	18	24
Madrid	-200	-300	0	300	300
Soria	-500	-400	0	200	200
Burgos	-400	-400	-100	100	200
Valladolid	-300	-300	0	200	300
Castellón	-100	0	100	300	400

Tabla IV.3.2. Detalle de los valores de cota de nieve potencial en hectómetros, elaborados el día 2-1-2009, previstos para las 0, 6, 12, 18 y 24 UTC del día 9 en algunas provincias de España.

Es importante recordar que la estimación de la cota de nieve, en la página de postproceso del ATAP para un determinado alcance de predicción, se realiza mediante una sencilla regla práctica, que, a pesar de su simplicidad, proporciona unos valores bastante aproximados a las cotas observadas según se desprende de las verificaciones realizadas: con un error absoluto medio entorno a 100 m o algo inferior a este valor, un error cuadrático medio entorno a 150 m y prácticamente sin sesgo (7 m). A partir de los datos previstos de temperatura y altura del geopotencial, ambos de 850 hPa, se calcula, para cada punto, la altitud a la que se encontrarían los +3°C en el supuesto de que el gradiente vertical de temperatura fuera igual al de la atmósfera normal, es decir, de 0,65°C/100m. Esta altitud, así obtenida, es el valor estimado para la cota de nieve. Este valor es potencial, es decir, sólo tiene sentido

cuando existe alguna probabilidad de precipitación, y, por tanto, para tener una estimación de la probabilidad de que se produzcan nevadas es necesario considerar, además, la probabilidad de precipitación. Los valores de cota de nieve por provincias se obtienen haciendo la media aritmética de los valores correspondientes a los puntos de grid de cada provincia.

Consistencia de las predicciones: En las siguientes figuras se muestra mediante algunos ejemplos la consistencia que tuvieron estas predicciones de cota de nieve potencial por provincias durante los 7 días previos al 9 de enero de 2009, elaboradas con el método de postproceso del ATAP aplicado al modelo de alta resolución del CEPPM, y además, y fundamentalmente, que durante estos 7 días previos estas predicciones indicaban que las precipitaciones que se produjeran serían en forma de nieve con, prácticamente, toda seguridad.

En el ejemplo de Madrid, la cota potencial de nieve en promedio prevista mediante este método durante los días previos era grosso modo de unos 200 m. Considerando, como se ha dicho antes a partir de las verificaciones, que el error cuadrático medio es de 150 m y el sesgo prácticamente despreciable, la probabilidad de que la cota de nieve se situara por encima de la altitud de Madrid (650 m) sería tan sólo de un 0,35 %. Es decir podía afirmarse casi con plena seguridad, atendiendo a esta técnica, que cualquier precipitación que se produjera sería en forma de nieve. La misma afirmación era válida para el resto de los ejemplos que se ilustran, así como para la mayoría de las zonas del centro peninsular objeto de este estudio. Las precipitaciones en caso de que se produjeran serían sin duda de nieve. Estas gráficas se han elaborado a partir de las salidas tabuladas de cota de nieve potencial por provincias.

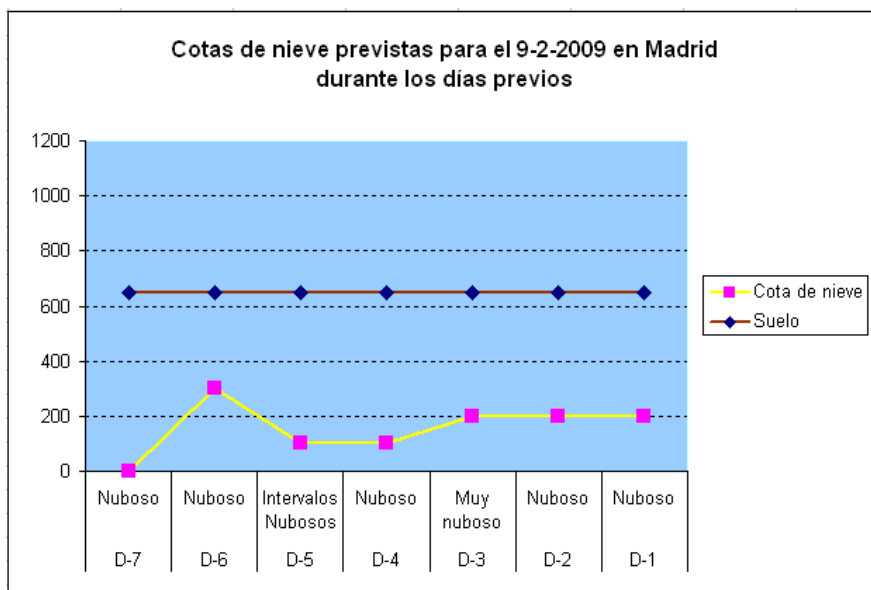


Figura IV.3.5. Evolución temporal de las predicciones de cota de nieve potencial para Madrid.

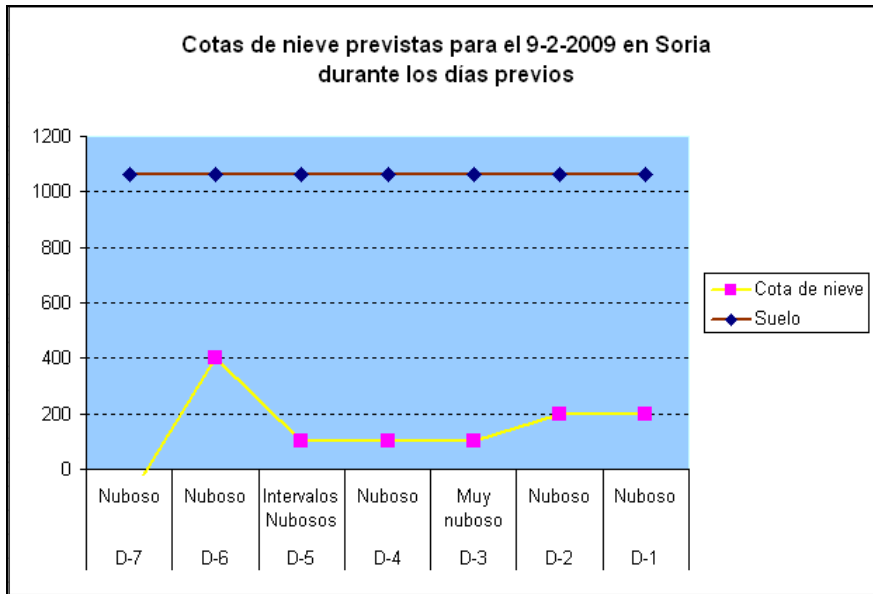


Figura IV.3.6. Evolución temporal de las predicciones de cota de nieve potencial para Soria.

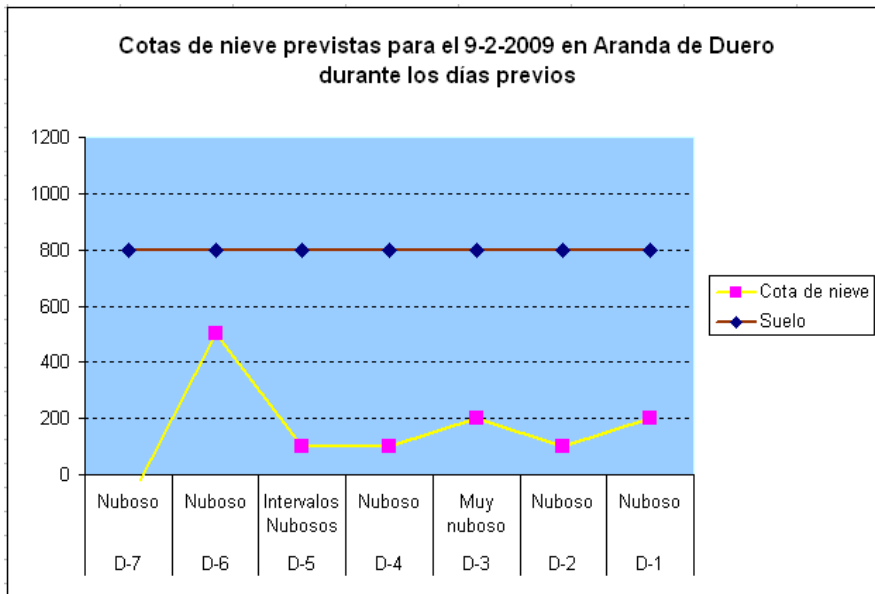


Figura IV.3.7. Evolución temporal de las predicciones de cota de nieve potencial para Aranda del Duero.

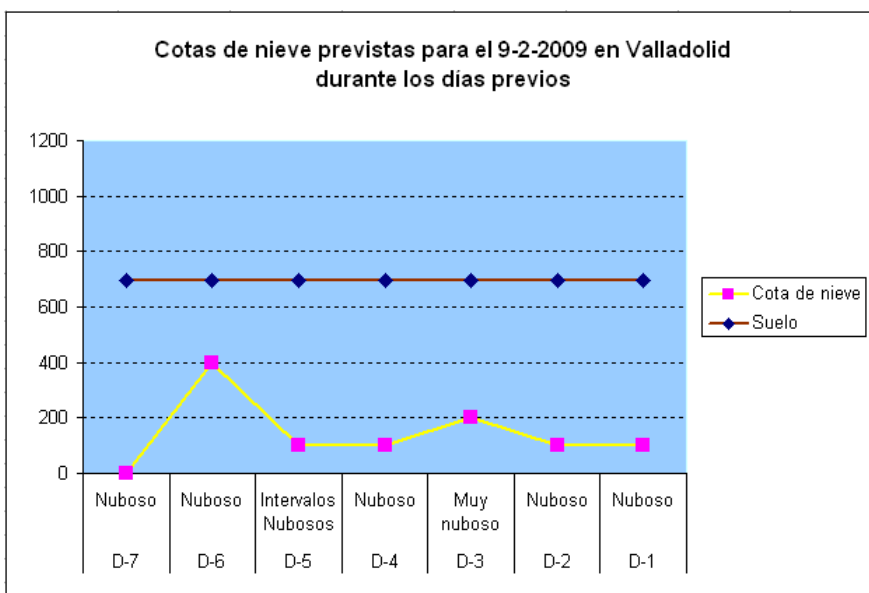


Figura IV.3.8. Evolución temporal de las predicciones de cota de nieve potencial para Valladolid.

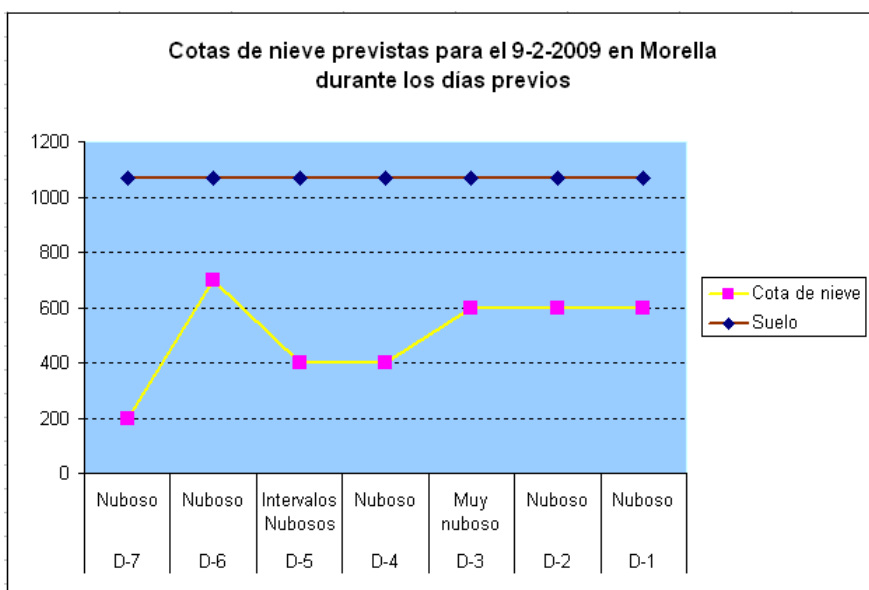


Figura IV.3.9. Evolución temporal de las predicciones de cota de nieve potencial para Morella.

Probabilidad de precipitación por el método de Análogos aplicado al Determinista del CEPPM

En los mapas elaborados con la pasada del día 6, es notorio que la señal de probabilidad de precipitación superior a 2 mm y a 10 mm llega al este de las comunidades de Castilla-La Mancha, Castilla y León y Comunidad de Madrid. Se tiene la no desdeñable probabilidad del **50-80 %** de precipitación superior a 2mm (más de 2 cm de nieve) y de 5-20% para 10 mm en zonas de la

Comunidad de Madrid. Las mismas consideraciones valdrían para las zonas de más al este de Castilla-La Mancha y sureste de Castilla y León.

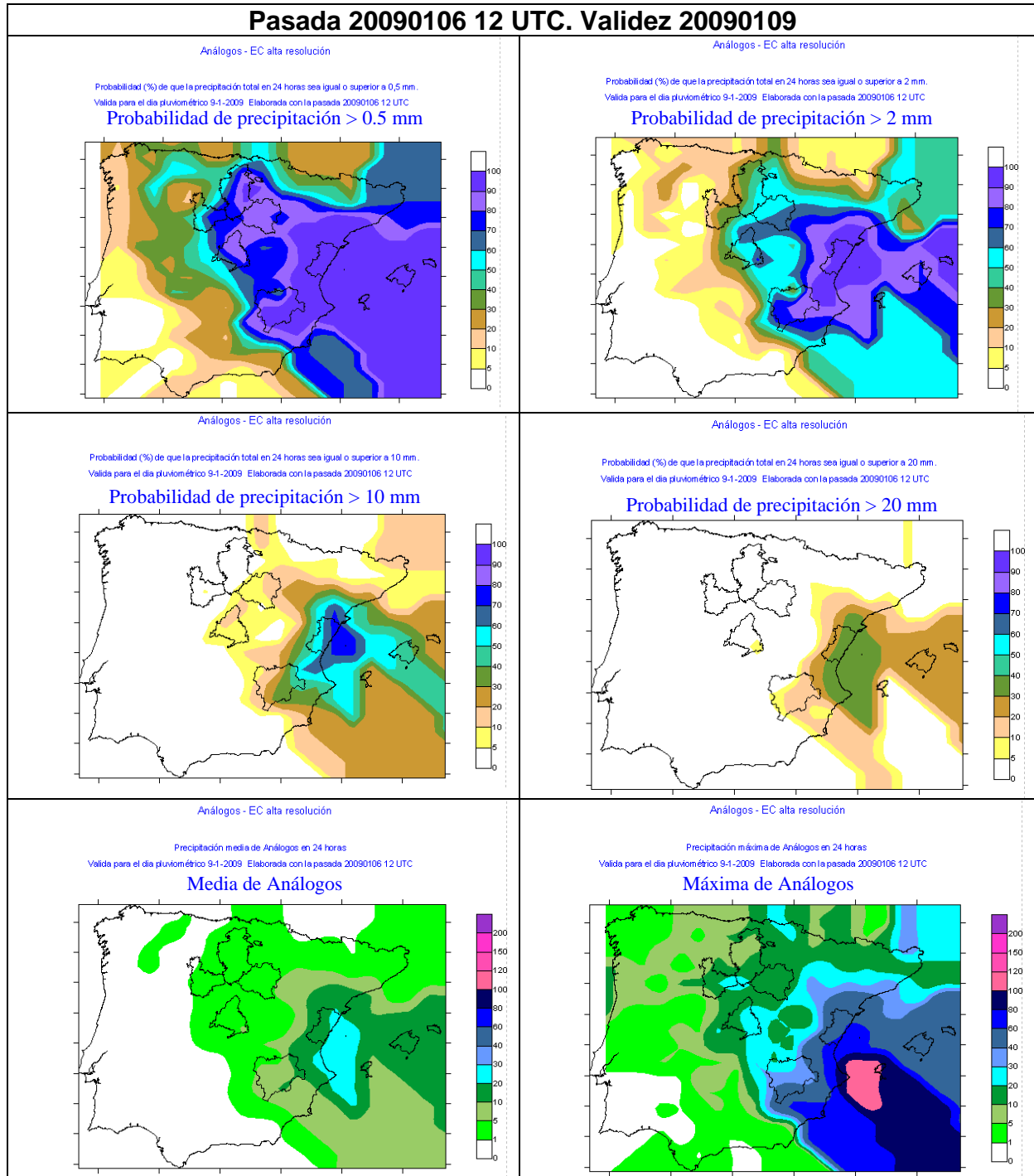


Figura IV.3.10. Reproducción de las salidas del método de Análogos aplicado al modelo de Alta Resolución del CEPPM (pasada del 6-1-2009 a las 12 UTC). Válidas para el día pluviométrico 9-1-2009. Probabilidad de precipitación mayor de 0.5, 2, 10 y 20 mm; y precipitaciones máxima y media de Análogos.

Los mapas elaborados con las pasadas de los días siguientes, que se muestran en la figura IV.3.11, indican la consistencia de las predicciones durante los días 7 y 8.

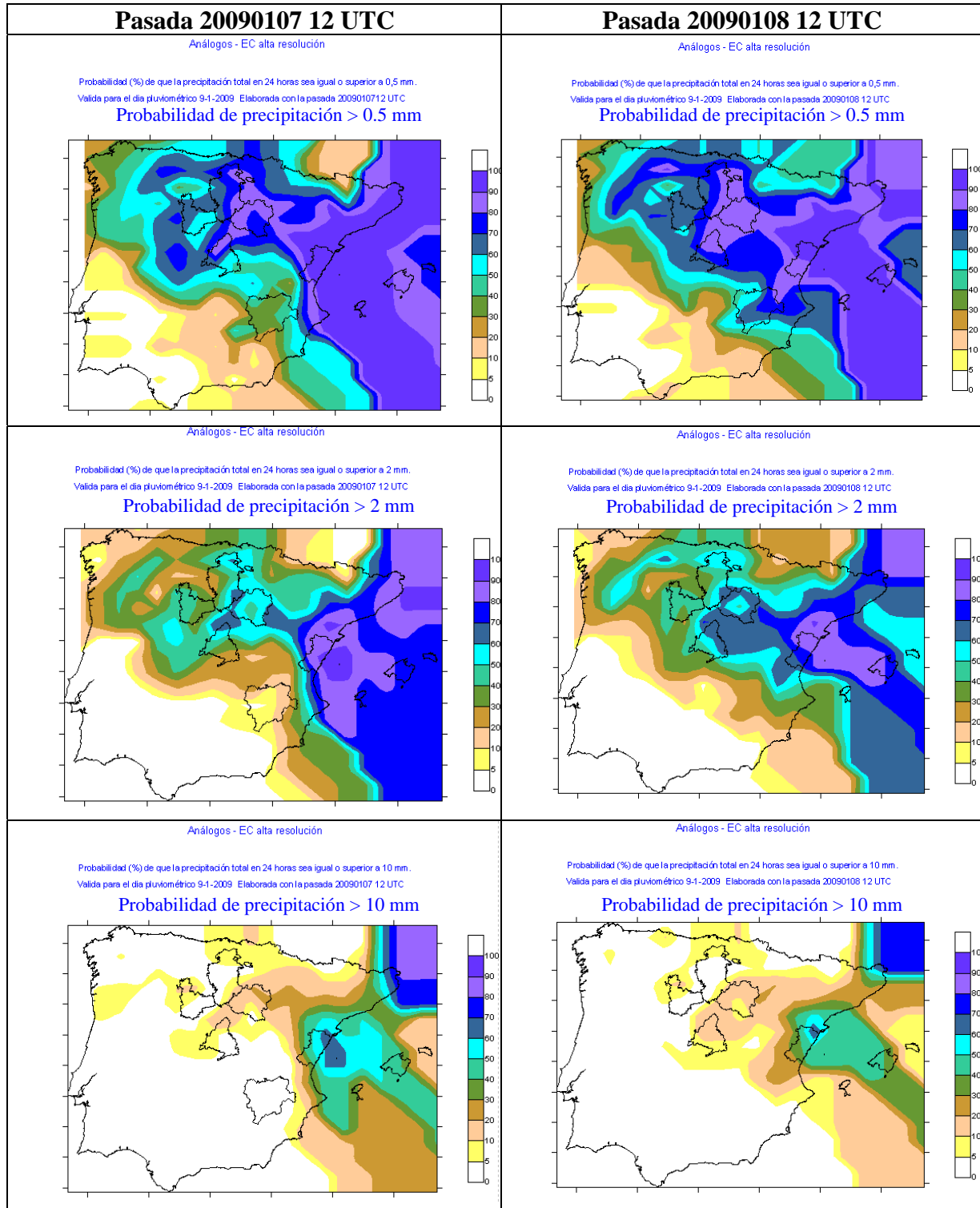


Figura IV.3.11. Reproducción de las salidas del método de Análogos aplicado al modelo de alta resolución del CEPPM (pasadas del 7 y 8 de enero de 2009 a las 12 UTC). Válidas para el día pluviométrico 9-1-2009. Probabilidad de precipitación mayor de 0.5, 2 y 10 mm.

Probabilidades de precipitación por el método de Análogos – EPS: Evolución temporal durante los 7 días previos

A partir de los datos numéricos del Análogos-EPS, se han elaborado las siguientes figuras, que muestran la evolución de los valores de probabilidad de precipitación en algunos puntos seleccionados del interior peninsular durante los 7 días previos al día 9, y nos dan una idea bastante clara del comportamiento de este método.

A pesar de que estos valores son algo más suavizados que los obtenidos con el método de Análogos-Alta Resolución, siguen indicando precipitaciones “probables” o “posibles” superiores a 2 mm (2 cm de nieve). Por ejemplo, para Madrid el día 9, probabilidades entre el 30 y 40 % de superar 2 mm en las pasadas de los días D-6 a D-3, y valores alrededor de un 55% los obtenidos con las pasadas del D-2 y el D-1; y probabilidades entre un 5 y un 10 % de superar 10 mm en las pasadas de los 7 días previos.

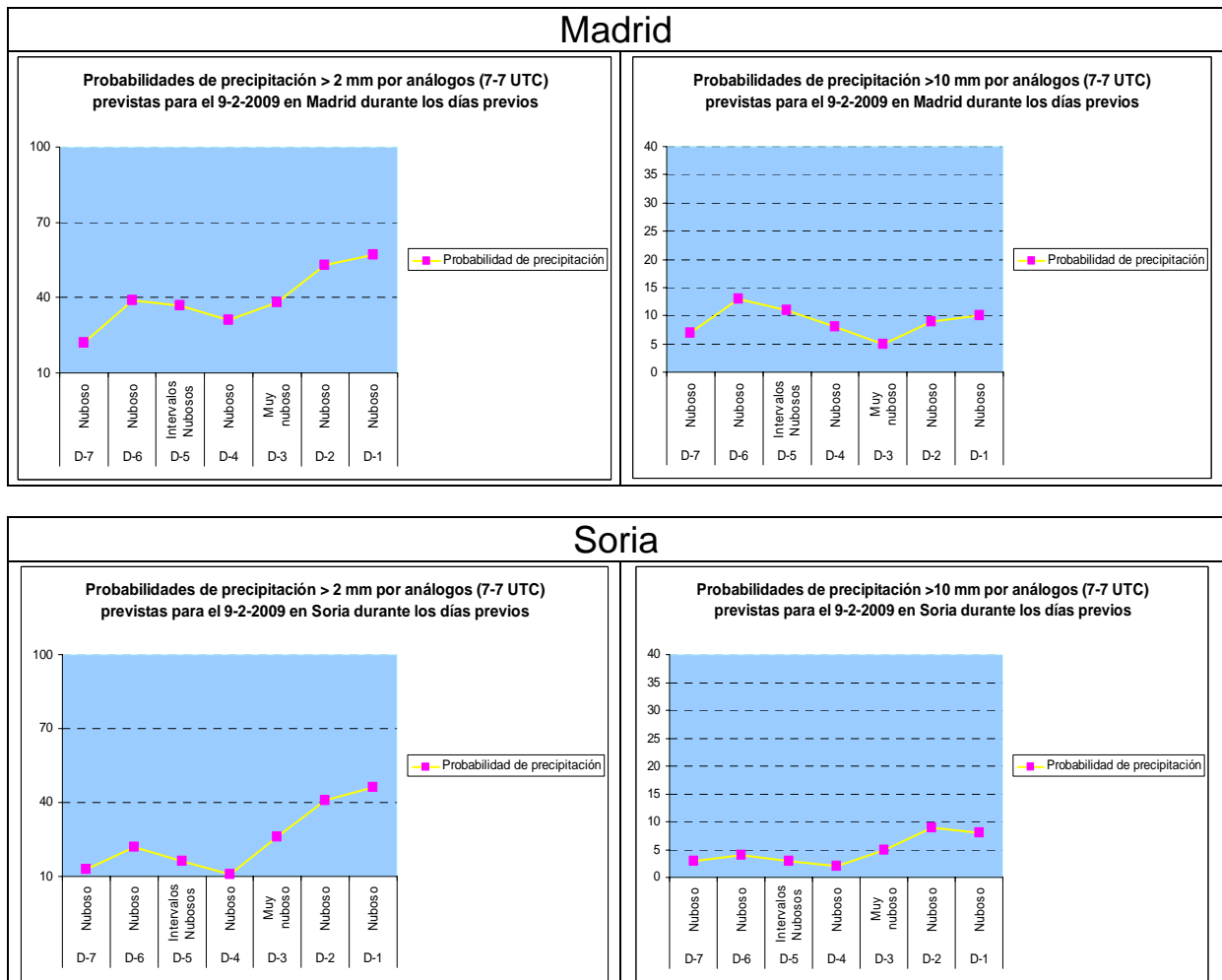
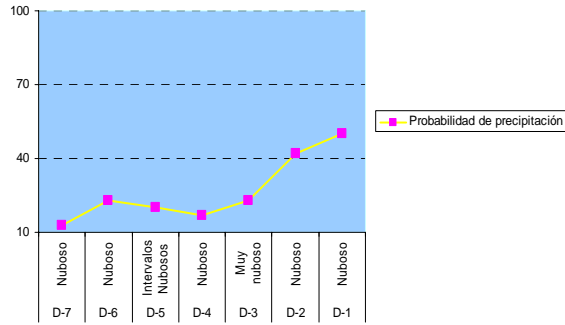


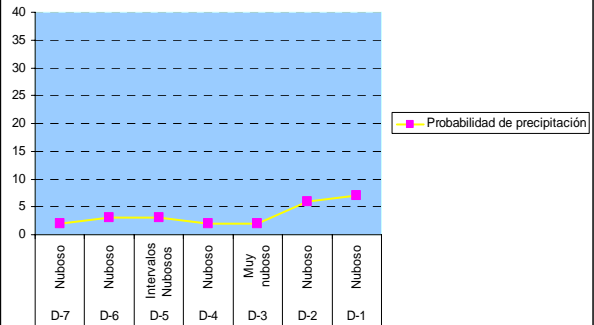
Figura IV.3.12. Evolución temporal de las probabilidades de precipitación (Análogos-EPS) superiores a 2 mm (izquierda) y 10 mm (derecha), previstas para el 9-1-2009, durante los 7 días previos para Madrid y Soria, para el período 07-07 UTC.

Aranda de Duero

Probabilidades de precipitación > 2 mm por análogos (7-7 UTC) previstas para el 9-2-2009 en Aranda Duero en los días previos

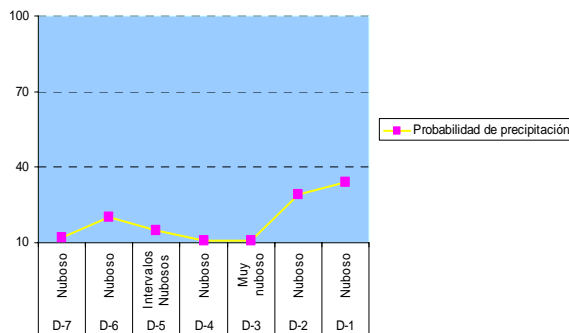


Probabilidades de precipitación > 10 mm por análogos (7-7 UTC) previstas para el 9-2-2009 en Aranda Duero en los días previos

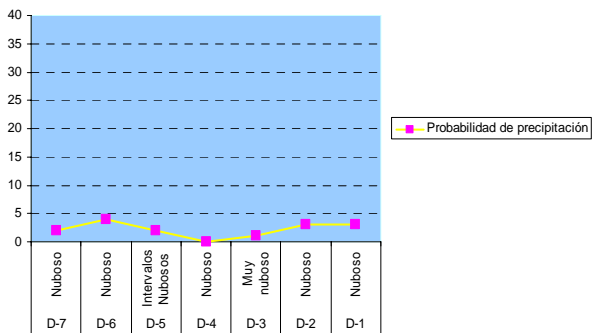


Valladolid

Probabilidades de precipitación > 2 mm por análogos (7-7 UTC) previstas para el 9-2-2009 en Valladolid durante los días previos

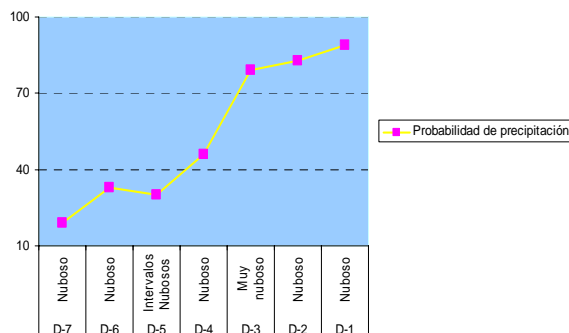


Probabilidades de precipitación > 10 mm por análogos (7-7 UTC) previstas para el 9-2-2009 en Valladolid durante los días previos



Morella

Probabilidades de precipitación > 2 mm por análogos (7-7 UTC) previstas para el 9-2-2009 en Morella durante los días previos



Probabilidades de precipitación > 10 mm por análogos (7-7 UTC) previstas para el 9-2-2009 en Morella durante los días previos

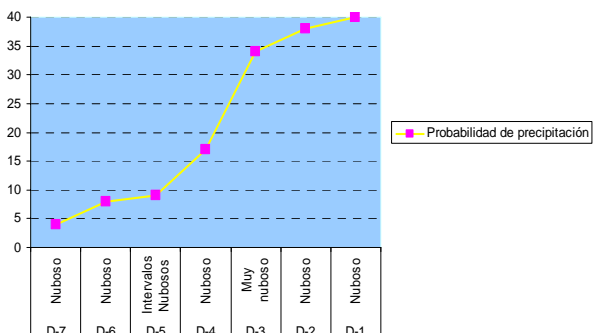


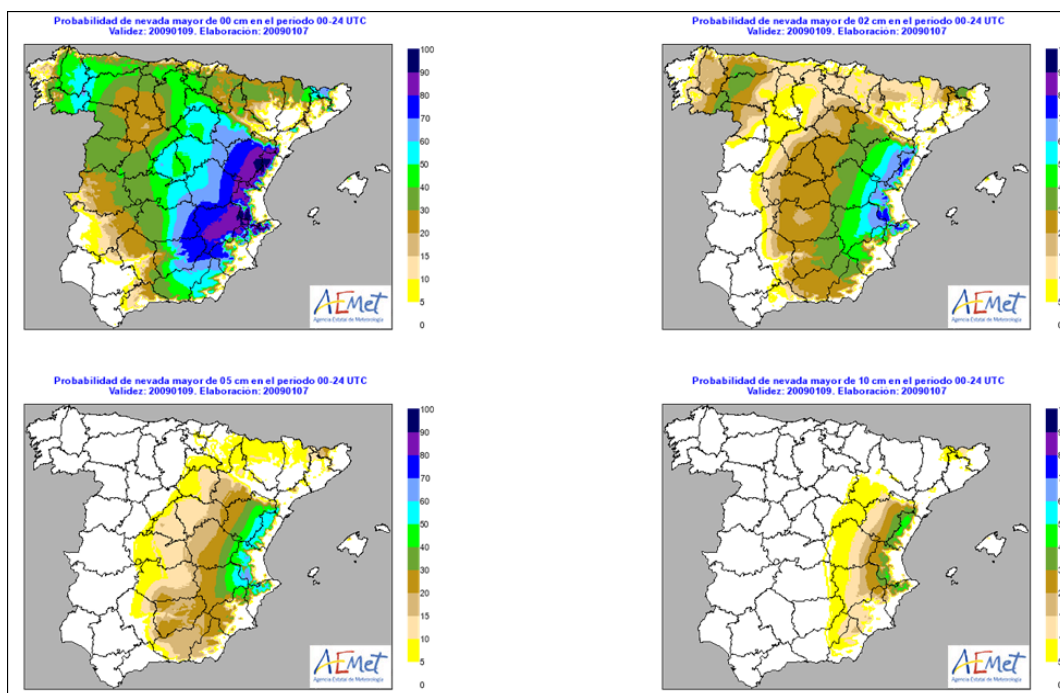
Figura IV.3.13. Evolución temporal de las probabilidades de precipitación (Análogos-EPS) superiores a 2 mm (izquierda) y 10 mm (derecha), previstas para el 9-1-2009, durante los 7 días previos para Aranda de Duero, Valladolid y Morella, para el período 07-07 UTC.

Mapas de probabilidad de nevadas: cuantificación de la incertidumbre de fenómenos adversos y de alto impacto

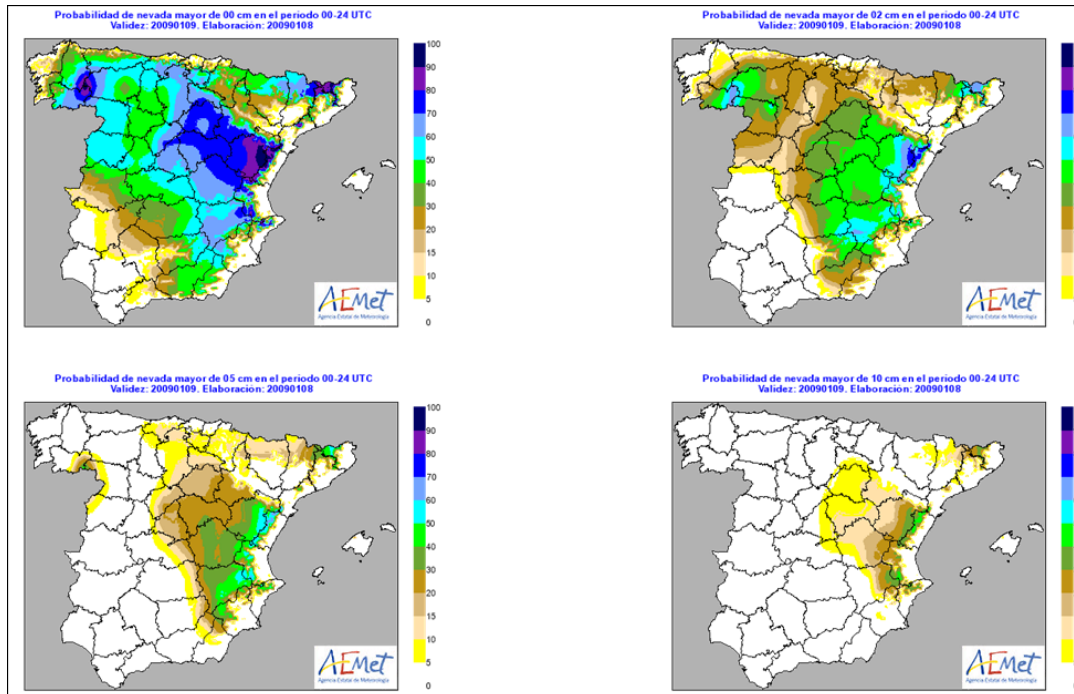
Los mapas de probabilidad de nevadas obtenidos en la página de postproceso del ATAP del día 7 y 8 para el 9 muestran de nuevo la entrada de levante en gran parte de la zona oriental peninsular.

La señal de probabilidad de nevadas superiores a 2 cm y 5 cm llega al este de las comunidades de Castilla-La Mancha, Castilla y León y Comunidad de Madrid, especialmente en las salidas del día 8. Usando esta “pasada” se tiene la no desdeñable probabilidad del 30-50 % de nevadas superiores a 2 cm y de 15-30% para 5 cm en zonas de la Comunidad de Madrid. Las mismas consideraciones valdrían para las zonas de más al este de Castilla-La Mancha y sureste de Castilla y León.

Para situaciones de fuerte impacto social, por los graves perjuicios que pueden causar a un gran número de personas que se concentran en áreas metropolitanas grandes como es la Comunidad de Madrid, se debe contemplar la baja pero significativa posibilidad de que en algunas zonas del este las nevadas pudieran alcanzar 10 cm a los largo del día 9, con una probabilidad de entre el 5-10 %. Situaciones adversas, y de alto impacto social, deben contemplar este grado de incertidumbre bajo pero muy importante desde el punto de vista de fenómeno “raro” e impactante socialmente. Estos datos son fundamentales para la toma de decisiones en las autoridades y gestores de Protección Civil, DGT, ADIF, etc., o aquellos usuarios especiales.



a) Mapas elaborados el día 7. Validez: 9-1-2009



b) Mapas elaborados el día 8. Validez 9-1-2009

Figura IV.3.14. Mapas de probabilidad de nevadas superiores a 0, 2, 5 y 10 cm, para el día 9, con las predicciones del método de postproceso del ATAP del día: a) día 7 y b) 8.

Consideraciones sobre la predicción por localidades de la web externa

Las predicciones relativas a nevadas que aparecen en la predicción por localidades de la web externa de AEMET son: cota de nieve provincial obtenida mediante el método estudiado anteriormente, probabilidad de precipitación (umbral 0.5 mm) del método de Análogos aplicado al determinista CEPPM, e icono de nevadas, el cual aparece cuando la cota es inferior a la altitud de la localidad y la probabilidad de precipitación es igual o superior al 50%.

Por tanto, en las predicciones automáticas por localidades de la zona de estudio, las cotas de nieve que se dieron para el día 9 fueron muy bajas desde los 6 días previos (las correspondientes a la tabla de cotas de nieve provinciales mostrada más arriba), las probabilidades de precipitación fueron las correspondientes a los mapas de Análogos mostrados anteriormente (umbral 0 mm), y los iconos de nevada aparecieron siempre que la probabilidad de precipitación fue del 50% o superior (por ejemplo, para Madrid durante los 2 días previos al episodio y desde primeras horas del mismo día 9), ya que la cota siempre estuvo por debajo de la altitud del suelo en las zonas de estudio.

En el momento actual no están disponibles los iconos de predicción por localidades, tal como se facilitaron en la web externa pública, por lo que no ha sido posible presentarlas en este estudio.

4.- Herramientas específicas de los GPV implicados

GPV de Madrid

Del estudio, “Análisis de la cota de nieve por situaciones en la Comunidad de Madrid” 2004. J.I. Palacio, D. Espada, E. Ayensa, las situaciones de nevadas en Madrid son, básicamente, de dos tipos:

- **Situación Fría.**- Aire frío en superficie y 850 hPa. Poca precipitación.
- **Situación cálida.**- Intrusión aire frío en superficie y advección cálida del E o SE en 850 hPa. Precipitación > 3 mm.

Los campos relacionados con estas situaciones son los que se analizan para establecer la posibilidad de nevada y la importancia de la misma. El último tipo (situación cálida), es la que se dio en las nevadas de los días 8 y 9 de enero de 2009.

En cuanto a las técnicas específicas del GPV de Madrid, habría que hablar más bien de “presentaciones específicas”, esto es, presentaciones particulares de paneles de diversos campos de los distintos modelos numéricos. Estas presentaciones específicas, desarrolladas en el propio GPV, son el resultado de la discusión y puesta en común de predictores, Equipo Técnico y jefatura del GPV. Algunos ejemplos, relacionados con la predicción de nevadas se pueden ver en las siguientes figuras.

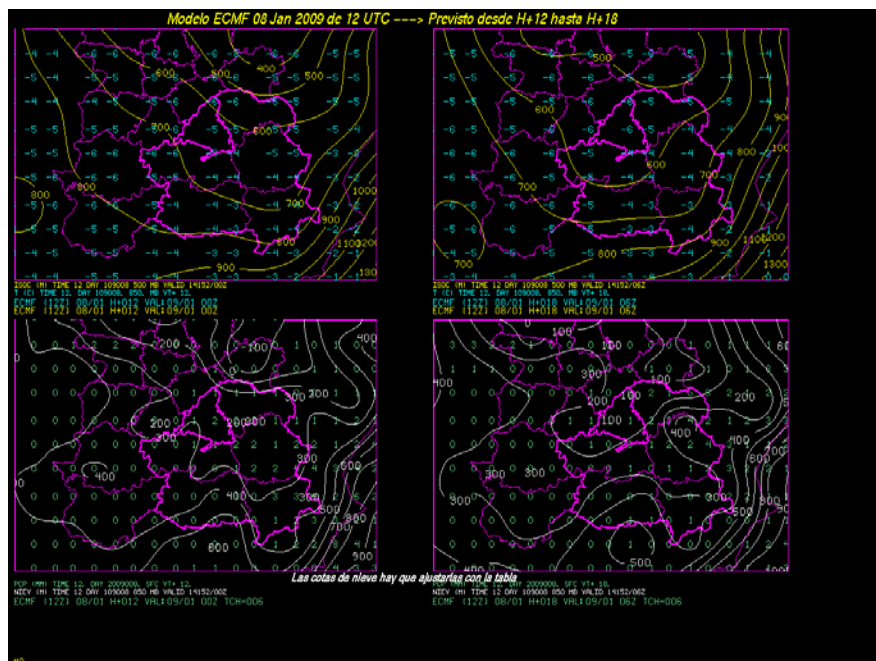


Figura IV.4.1. Ejemplo de campos específicos para la predicción de nevadas en paneles: Precipitación, altura de la isocero, cota de nieve y temperatura en 850 hPa. En este caso se ha utilizado las salidas del CEPPM.

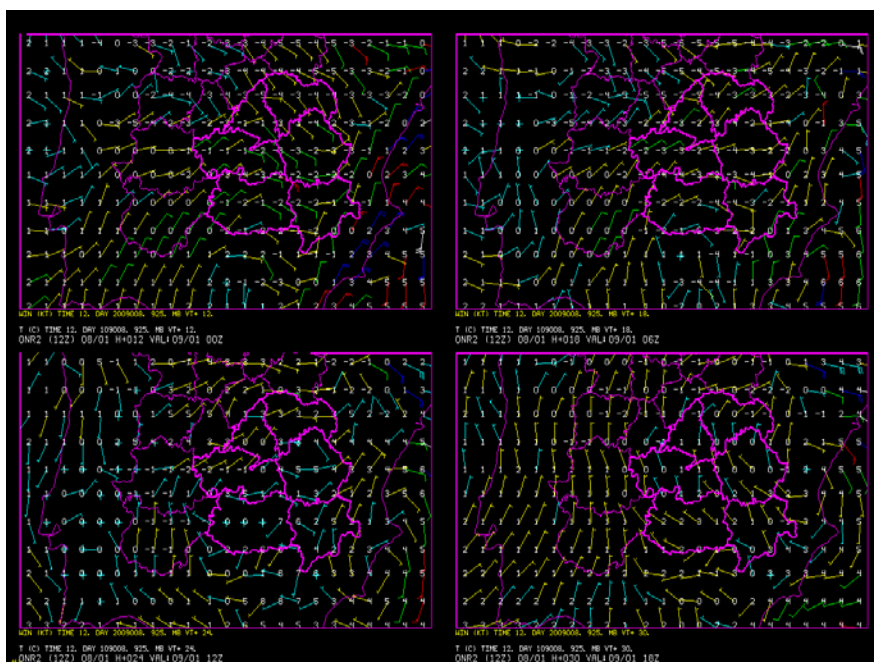


Figura IV.4.2. Idem que el caso anterior pero para: Viento y temperatura en 925 hPa, cada 6 horas. Salidas utilizadas con el modelo HIRLAM-ONR2.

Además de las presentaciones específicas, para las tareas de vigilancia en el caso de nevadas se consultan, además de nuestros datos (synop, metar, estaciones automáticas, satélite, radar, sondeos.), los datos de la Dirección General de Tráfico (sobre todo cámaras) y los datos de precipitación de la red de las Confederaciones Hidrográficas.

Para las posibles nevadas en la sierra de Madrid, el GPV dispone de una red de colaboradores, coordinados por el observatorio de Navacerrada, que diariamente, a primera hora de la mañana, nos envían información termoplumiométrica de diversos puntos de la sierra.

Con toda la información citada, la predicción y avisos (si proceden) se establecen en el *briefing* que diariamente se celebra a las 8 de la mañana, entre el Jefe del GPV, el predictor de servicio y el miembro del equipo técnico que está de semana.

GPV de Valladolid

Aunque las nevadas es un fenómeno relativamente frecuente a finales de otoño y principio de invierno, tienen relevancia, cuando se registran en poblaciones y en el caso de que sean lo suficientemente intensas y afecten a grandes extensiones, que son las que dificultan la circulación por carretera, ya que la comunidad autónoma de Castilla y León, además de soportar el tránsito interno, sirve de paso a todas las comunidades del norte España, y conexión con los demás países de Europa.

Una de las situaciones típicas de grandes nevadas en la Comunidad ocurre con la entrada de aire relativamente cálido, con una masa de aire frío preexistente, por ejemplo en invierno con la entrada de un frente cálido después de días de aire frío, suelen producirse grandes nevadas en toda la meseta. La dificultad en estos casos radica, en el cálculo de la altura de la nieve, porque la cantidad de precipitación suele estar bien recogida y reflejada por los modelos.

La altura de la nieve se calcula tanto para el modelo numérico HIRLAM-ONR como para el modelo determinista del CEPMM, según una fórmula empírica de Gabriel Buendía (2005), relacionada con la temperatura en 850 hPa y la probabilidad asignada:

$$A_{p=0,5} = 132 T_{850} + 964$$

Siendo $A_{p=0,5}$ la altitud de la nieve considerando el nivel de probabilidad 0,5. Ese nivel es donde el 50 % de las precipitaciones son de nieve. La altitud A viene expresada en metros y la temperatura en 850 hPa en grados Celsius. El problema es detectar cuando se pasa de lluvia a nieve, que actualmente se hace mediante vigilancia de estaciones automáticas.

Otro tipo de situaciones que producen problemas menos generalizados, pero no así importantes porque pueden bloquear la circulación hacia el norte, son las de flujo del norte persistente, que da lugar a nevadas importantes en la cordillera norte y en el nordeste de la Comunidad. Suelen tener lugar con la estrada de aire marítimo polar, se resume en los siguientes puntos:

- Circulación meridiana con advección de aire polar marítimo.
- Corriente en chorro de dirección norte-sur hacia la Península.
- Tropopausa muy baja
- Elevado gradiente térmico vertical
- Vientos del norte en superficie y en capas superiores con valores altos de cizalladura vertical

En estas situaciones la orografía condiciona la distribución y la cantidad de precipitación. Todos los días para el *briefing* se calculan los siguientes parámetros, para compararlos con una nevada importante ocurrida el 25-26 de diciembre del 2004 donde se midió 62 cm de nieve en el observatorio de Villafraía (Burgos).

Situación típica	Valores en la nevada de Burgos (25-26 de diciembre de 2004)				Predicciones
Circulación meridiana con advección de aire polar marítimo					Vientos en 300,500,700 y 850 hPa
Corriente en chorro de dirección norte-sur hacia la Península Ibérica					
Vientos del norte en superficie y en capas superiores con valores altos de la cizalladura vertical	Coruña		Norte de Burgos		Cortes verticales de viento
	300 hPa	130-150 KT	300 hPa	70 KT	
	700 hPa	40-45 KT	700 hPa	30 KT	
	850 hPa	30 KT	850 hPa	30 KT	
Tropopausa baja	Valores de 7.500 m e inferiores				Tropopausa
Elevado gradiente térmico vertical	500 hPa	-36 °C	850 hPa	-4 °C	Cortes verticales de temperatura
Valores negativos del parámetro de estabilidad estática húmeda	En el litoral cantábrico de -10 en superficie y -2 en 850 hPa		En el norte de Burgos -2 en 925 hPa y entre 0 y -1 en 850 hPa		Cortes verticales de ESTW


IV. Modelos y herramientas

Estudio de las nevadas del 8-10 de enero de 2009 en la zona centro peninsular.

V. VIGILANCIA METEOROLÓGICA

1.- El radar en situación de nevadas: el caso del radar de Autilla del Pino (Palencia)

2.- Singularidades en los datos de teledetección: estrías en las imágenes del radar de Madrid

	AEMET	Edición: 1.0
	Estudio de las nevadas del 8, 9 y 10 de enero de 2009 en la zona centro peninsular	Fecha: 30/09/09
	Capítulo V Vigilancia meteorológica	Página: 2

En situaciones de nevadas amplias y generalizadas los datos radar constituyen un elemento importante de cara a la vigilancia meteorológica ya que permiten conocer en primera instancia donde se están registrando las precipitaciones. Ya se ha hecho uso de las imágenes radar en la diagnosis mesoescalar de la situación. Ahora el estudio se centrará en varios aspectos relevantes. En el primero de ellos se utilizarán los datos e imágenes del radar de Palencia y en el segundo será el de Madrid. En este caso se tratarán de explicar ciertas estructuras detectadas por dicho radar.

En este episodio se observaron señales en los datos de teledetección de difícil interpretación y que serán tratados en el segundo apartado de este capítulo.

1. - El radar en situación de nevadas: el caso del radar de Autilla del Pino

En este apartado se va a hacer una breve revisión de cómo utilizar los datos radar en situaciones de nevadas. Los principales motivos radican en la disponibilidad reciente de los productos de estimación de precipitación en superficie de los radares modernizados, en particular del radar de Autilla del Pino en Palencia. Este nuevo módulo está instalado en todos los radares regionales de AEMET. Por otra parte, merece la pena recordar los usos y limitaciones de los datos radar en situaciones de nevadas de cara a la vigilancia de tal fenómeno por las especiales características reflectoras de dichos blancos. Se comenzará por este punto y posteriormente se analizará la utilidad del módulo SRI (Surface Rainfall Intensity).

Uso y limitaciones de los datos de radar regional: aplicación al radar de Autilla del Pino (Palencia)

La vigilancia y el estudio de precipitaciones regionales con una densidad relativamente escasa de datos directos de superficie llevan consigo la utilización intensiva de los datos de radar a nivel regional y nacional. Analizaremos los datos del radar de Palencia en esta situación de nevadas. Se enfatizarán las limitaciones que tienen los radares a la hora de poner de manifiesto las zonas de nevadas.

Si comparamos la precipitación acumulada estimada por el radar de Autilla del Pino (Palencia) de 07 del día 9 a 07 del día 10, con la recogida por las estaciones termo-pluviométricas, TP (Cap II, figura II.5), vemos que tienen una estructura bastante similar aunque con menor intensidad y extensión. En la provincia de Soria, podemos apreciar una amplia zona siguiendo el valle del río Duero, con precipitaciones incluso superiores a los 15 mm, que no se reflejan en la precipitación acumulada y estimada por el radar.

No es extraño en este tipo de situaciones que aparezcan estructuras poco definidas en los límites de la cobertura radar, en este caso a 240 Km, mientras que cuando éstas se acercan aparezcan reforzadas aumentando tanto en intensidad como en extensión. La extensión de los ecos de precipitación está relacionada por una parte con la elevación del haz del radar y la parte iluminada por las zonas de precipitación (su espesor) y, por otra, de la relación Z/R.

Elevación del haz del radar

El haz del radar de Autilla se eleva por encima de los 4500 m en la zona de precipitaciones máximas en la provincia de Soria, teniendo en cuenta la orografía por encima de los 3500 m de altitud (Figura V.2.1), en este tipo de estructuras suele ocurrir que las precipitaciones se encuentran por debajo de esta altitud, como podemos comprobar en las imágenes de echotop donde los ecos se sitúan por debajo de 4.5 Km, por lo que como era de esperar en este episodio, no se aprecian las precipitaciones en la mitad oriental de la provincia de Soria.

Los ecos detectados por radar dependen, por lo tanto, de su espesor en la vertical y de su ubicación respecto al radar.

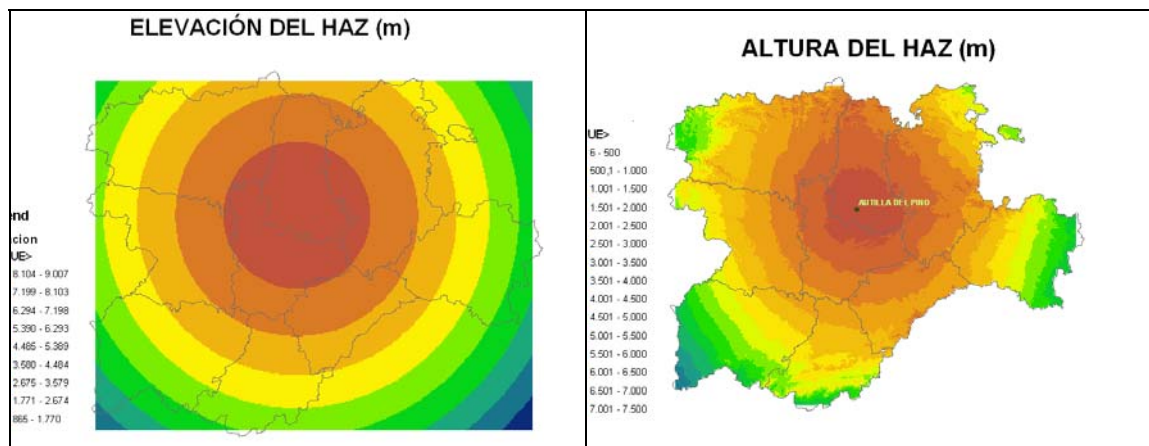


Figura V.2.1. Radar de Autilla del Pino: a) Elevación del haz en una atmosfera estándar en metros y b) Altura del haz en metros en una atmósfera estándar, obtenida de restar la elevación de la orografía de resolución de 50 m con el Arcgis9.2

Relaciones Z/R

Como es sabido el módulo de acumulación en el caso de nuestros radares, calcula la precipitación acumulada cada 10 minutos, utilizando el CAPPI más bajo y la relación de Marshall-Palmer:

$$Z=200 \cdot R^{1.6}$$

Ésta suele ser apropiada para el caso de estructuras de ecos radar ligadas a lluvias de tipo estratiforme.

La precisión de la conversión de Z en R requiere un conocimiento exacto de la distribución por tamaños de las gotas y de la velocidad vertical del viento, que varían tanto en el espacio como en el tiempo. Por consiguiente, no pueden encontrarse simples y únicas relaciones Z-R que den resultados precisos para cada situación. Por el contrario, existen gran número de relaciones experimentales, que se ajustan para cada caso.

Con la relación anterior se tiende a sobrestimar la precipitación para las nubes convectivas (donde hay una gran proporción de gotas grandes), y en las estructuras nubosas con gotas pequeñas se infravalora.

La nieve y las partículas de hielo, tienen un índice de refracción y una velocidad de caída significativamente distinta que las de las gotas de lluvia. Una relación típica es del tipo:

$$Z=2000 R^{2.0}$$

La propia y baja capacidad reflectora de la nieve, los umbrales para representar las precipitaciones y esta relación implican, que en ocasiones en nuestros radares no detecten, estimen o representan las precipitaciones débiles de nieve, por lo que sería necesario el cambio de la relación Z/R o utilización de otros productos para poder apreciar dichas precipitaciones.

En las siguientes figuras están comparadas las precipitaciones acumuladas durante 1 h a las 18 UTC obtenidas con el CAPPI y con el SRI (producto de estimación de la intensidad de precipitación en superficie), todos ellos elaborados a partir del nuevo sistema IRIS de los radares regionales modernizados entre 2007- 2009 de AEMET. En este último se ve como las precipitaciones que se están registrando en el este de Soria, podrían ser similares a las registradas en la estación automática de Aranda de Duero, único dato que disponíamos a esa hora, por lo que **el SRI puede ser más útil en este tipo de situaciones**, como analizaremos en el siguiente apartado.

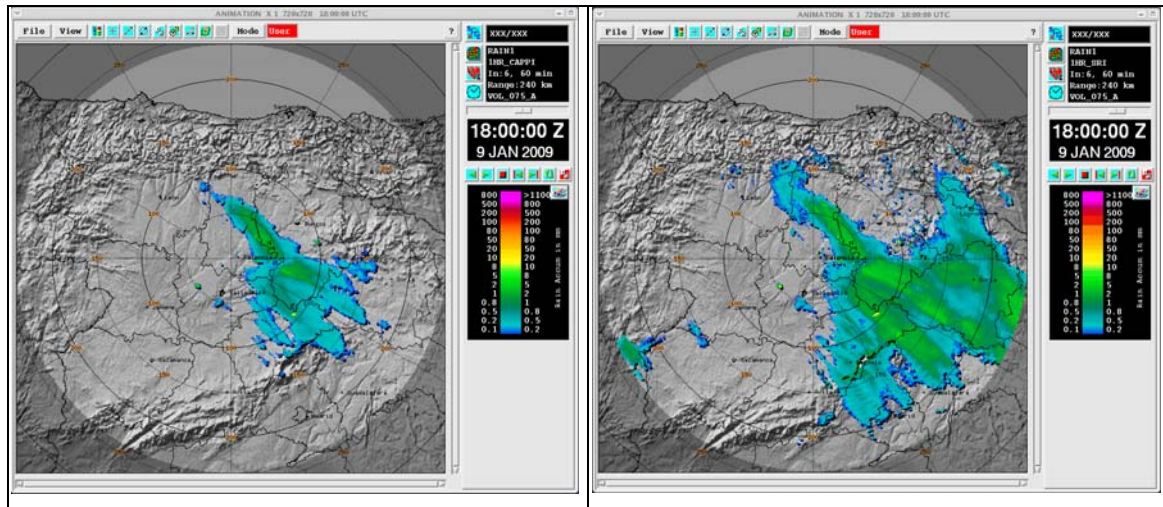


Figura V.2.2. Comparación de la precipitación acumulada horaria, en mm, a las 18 UTC del día 9 de enero obtenidas a partir de: a) CAPPI y b) SRI (Intensidad de precipitación en superficie).

Banda brillante

En nuestras latitudes con frecuencia las precipitaciones que llegan al suelo en forma de lluvia, en niveles altos eran nieve o hielo dentro de la propia nube. Cuando los cristales de hielo caen, se mezclan con el agua líquida en el nivel de fusión. La reflectividad en la imagen radar de esta zona es mucho mayor que la nieve de los niveles altos o la lluvia de los niveles más bajos. A esta banda de alta reflectividad se la conoce como banda brillante: la reflectividad en esta zona puede aumentar unos 6 dBZ. En el caso de una zona de precipitaciones estratiformes la lluvia aparece como una estructura en forma de arco o anillo rodeando al radar: es la banda brillante, BB. Esta señal puede rodear a todo el radar, y entonces parecería como una circunferencia completa, o aparecer en trozos o segmentos. La presencia de la banda brillante asegura nieve a determinadas alturas sobre el radar. Si dicha BB se hace mas pequeña, es señal que la altura de fusión se acerca a tierra y la nieve puede caer sobre la superficie a la altura del radar.

En este episodio las temperaturas en superficie, en Castilla y León se mantuvieron por debajo de los 0°C, por lo que no se pudo apreciar la banda brillante.

En la figura V.2.3, se ve bien formada la banda brillante, en otro episodio posterior del día 1 de febrero del 2009, en una imagen de radar de composición nacional, sobre una zona de Extremadura y alrededor del radar de Cáceres.

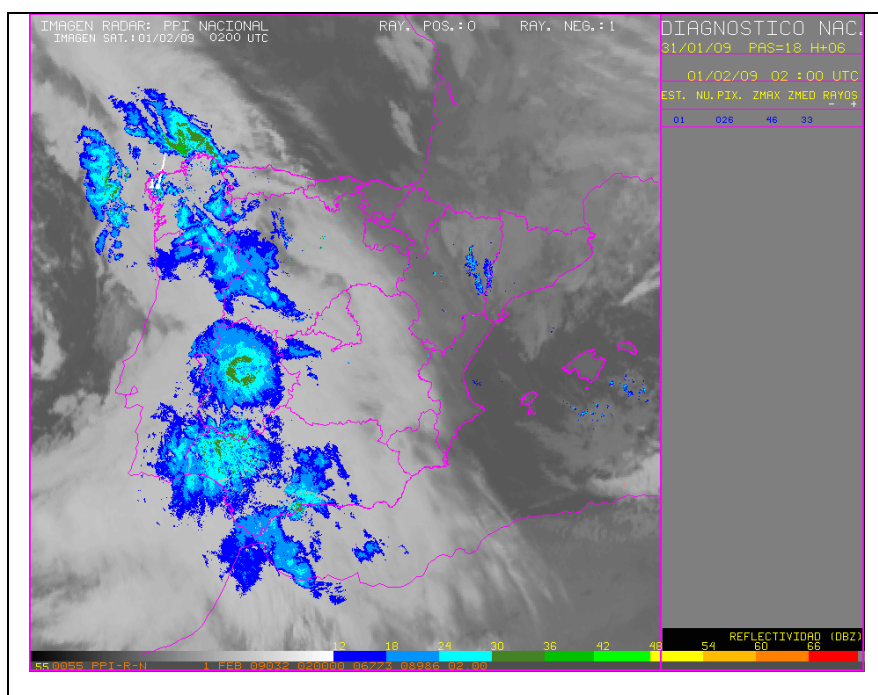


Figura V.2.3 Composición de satélite y radar mosaico nacional obtenido del 1 de febrero del 2009 a las 02 UTC donde se observa la banda brillante sobre el radar de Cáceres.

Atenuación de la precipitación ecos de tierra

La existencia de obstáculos orográficos de suficiente entidad, como en nuestro caso el Sistema Central, conlleva a la atenuación de la precipitación estimada o real que en muchas ocasiones es difícil discernir.

Por una parte, la eliminación de ecos de tierra en general subestima la precipitación en los lugares donde han sido suprimidos. Por otra parte, la barrera montañosa produce en muchas ocasiones una disminución de la precipitación a sotavento. El poder distinguir entre una situación y otra es complicado y solamente es posible comparando las imágenes con datos reales, difíciles de conseguir en el momento.

A veces la utilización de secuencias de imágenes, nos permiten distinguir entre ecos de tierra y zonas de débil precipitación. Con el SRI (producto de estimación de intensidad de superficie) donde se corrige la reflectividad en el suelo teniendo en cuenta un perfil vertical, que explicaremos en el siguiente apartado, de las 11:00 UTC, 11:10 UTC, 11:20 UTC y 11:30 UTC del día 9 de enero, vemos un ejemplo de esta situación, muy útil cuando no disponemos de datos de tierra en tiempo real. En este caso la relación Z/R ha sido la de Marshall-Palmer.

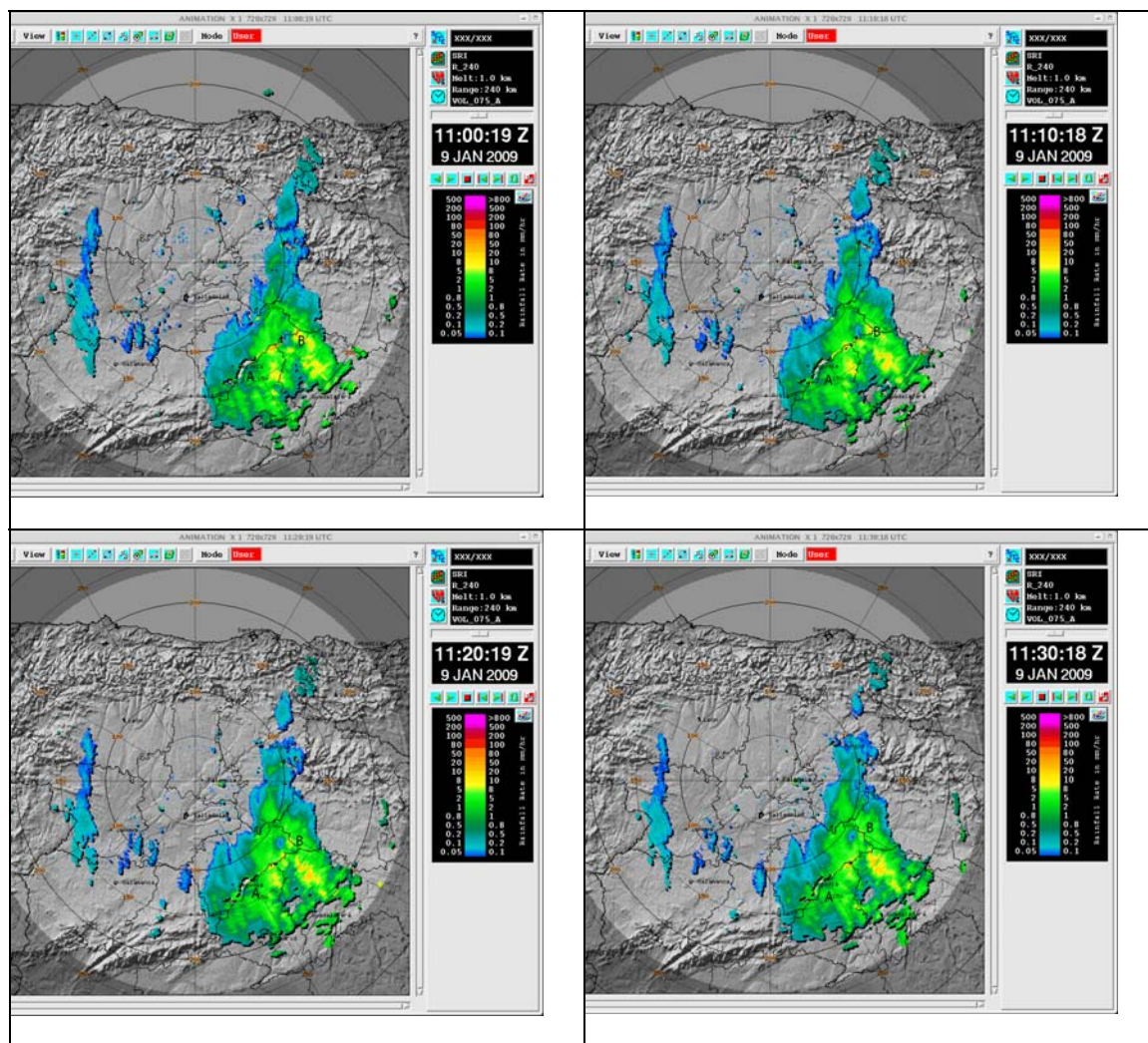


Figura V.2.4. Imágenes del producto SRI a las 11:00 UTC, 11:10 UTC, 11:20 UTC y 11:30 UTC. Punto A ecos fijos en la provincia de Segovia, punto B mínimo de precipitación moviéndose de sur a norte.

Se aprecian por una parte los ecos fijos del sistema Central en la provincia de Segovia (A), pero también un mínimo de precipitación más hacia el este (B), pero que se mueve hacia el norte, como quedará reflejado posteriormente en la precipitación acumulada de las estaciones TP.

El radar meteorológico es la herramienta más útil para la estimación de las zonas de nevadas, sobre todo en situaciones donde la escasa densidad de datos de superficie es notoria en tiempo real. Las limitaciones del radar se agudizan a la hora de detectar la nieve por su escaso poder reflector, así como por otras razones inherentes a la toma de medidas del propio sistema radar. El predictor debe ser conciente de todo ello y de alguna manera se debería recordar de forma normalizada al principio de cada estación fría donde se esperen nevadas.

Utilización del SRI: estimación de la intensidad de Precipitación en Superficie en el caso de nevadas

Aunque son numerosos las técnicas y estudios relacionados con la estimación de la precipitación en superficie a partir de los datos radar, en general se obtienen medidas razonables solamente en el caso de precipitaciones extensas y a distancias entre 50 -100 Km entorno a su ubicación. Como hemos visto con los ejemplos anteriores, incluso en el caso de elevación más baja de nuestro radar (0.5 °), el haz se encuentra bastante elevado sobre la superficie. La asignación del valor Z de la exploración más baja, en puntos alejados del radar lleva casi siempre a una subestimación de la intensidad y las zonas de precipitación en superficie. La principal fuente de error, en los climas fríos y templados es el perfil vertical de reflectividad, ya que éste no se refleja en la imagen PPI radar, que proyecta la elevación más baja sobre la horizontal, como si en dicha columna el valor de la reflectividad fuera constante.

Los diferentes tipos de procesos ligados a la precipitación, con variedad en la distribución de tamaños de partículas, la presencia de diferentes fases del agua, el ritmo de crecimiento de las partículas precipitantes, el movimiento vertical del aire, etc., dan lugar a infinitas formas del perfil vertical de reflectividad. Las partes más altas de la nube suelen dar ecos más débiles que las bajas, excepto en las zonas de fusión donde el eco es mucho más fuerte. Así surge la necesidad de una corrección para estimar la intensidad de la precipitación caída.

Koistinen y Puhakka (1986) propusieron corregir una parte del sesgo usando datos del perfil vertical de reflectividad representativo del sistema de precipitación. Desde entonces, la llamada corrección por perfil vertical ha sido incorporada a la operación de varias redes de radar meteorológico como la suiza (Joss, 1995) o la española incorporando el producto **SRI (Surface Rainfall Intensity)** en los nuevos radares de AEMET.

Aunque lo ideal sería usar para cada dato de la imagen un perfil diferente y representativo de las condiciones locales, la dificultad de obtenerlo y el hecho de que el perfil sea razonablemente constante dentro de los límites geográficos y temporales de la exploración radar, aconseja el uso de un perfil de tipo climatológico o de alguno calculado con los propios datos del radar.

Un elemento a tener en cuenta en el caso de precipitaciones estratiformes frías es la existencia de la banda brillante aunque en general no es muy ancha y produce distorsiones importantes en la estimación de la precipitación en superficie. La banda brillante se suele presentar justo debajo de la isoterma de 0 ° C.

El perfil de reflectividad y de estimación del nivel de congelación puede no ser perfecto, pero mejora la estimación de la precipitación caída comparando con la que no lleva corrección. La corrección obtenida depende de la altitud de la isocero, distancia al radar y ángulo de elevación.

Para nuestro radar el ajuste del perfil debido a la reflectividad y a la altura de referencia se realiza usando cinco parámetros en dicho perfil:

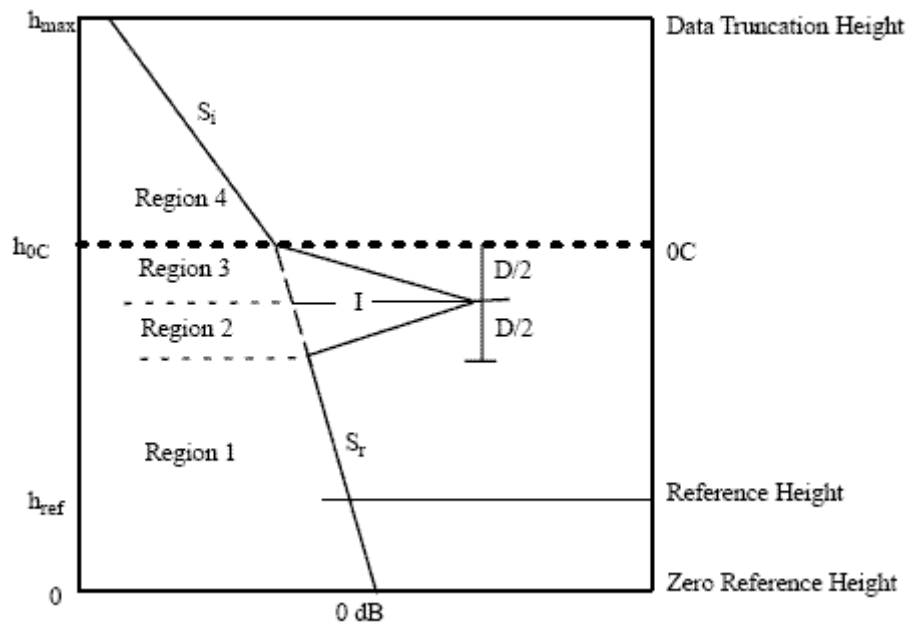


Figura V.2.5 Perfil vertical de reflectividad usado en SRI (IRIS Product and Display Manual, January 2006)

- Gradiente de reflectividad sobre la capa de fusión 7 dBZ/Km (región 4).
- Gradiente de reflectividad debajo de la capa de fusión 1 dBZ/Km (región 1).
- Altura de la capa de fusión (dado en decenas de Km).
- Espesor de la capa de fusión.
- Pico en la intensidad de la capa de fusión (7 dBZ).

La altura de la isocero se introduce en el radar con el modelo cada 6 horas, la prevista cada hora. El SRI utiliza una altura de referencia base de 1 Km en el caso del radar de Palencia.

A pesar de que las observaciones de precipitación mediante el radar nos muestran gran variedad de tipos de ecos y sus perfiles asociados, dentro de éste perfil general podemos agrupar en 5 grandes clases dependiendo del tipo de precipitación:

1- Lluvia en niveles bajos. Esta clase incluye toda la lluvia estratiforme o llovizna, cuando el ecotop está por debajo de la isoterma de 0 °C.

Gradiente de reflectividad es el debajo de la capa de fusión de 1 dBZ/Km. (región 1).

2- Lluvia con la presencia de banda brillante. Es el más común en precipitaciones estratiformes en invierno, el perfil sería similar al de la figura, con las 4 regiones.

3- Lluvia a hielo compacto (nieve granulada) con un perfil similar pero sin banda brillante. Aparece cuando hay convección, debido a que en la zona de fusión se compensan con el de las corrientes ascendentes.

4- Cuando está nevando no hay capa de fusión. Entonces el perfil llega a ser una línea descendente definida por los siguientes parámetros (región 4):

- Gradiente de reflectividad sobre la capa de fusión 7 dBZ/ Km.
- Altura de la capa de fusión 0 Km.

5- Convección. Tiene gran variabilidad tanto en el tipo de ecos como la altura de los mismos.

Los perfiles 3 y 5 no se ajustarían al definido en la figura V.2.5. En el caso 1, cuando las zonas precipitantes son de tipo estratiformes, la precipitación en muchas ocasiones se evapora antes de llegar al suelo y se produce una sobreestimación de las mismas.

En el caso 2, cuando existe banda brillante, la estimación de la precipitación mediante el perfil fijado suele producir distorsiones importantes.

El ajuste es mucho mejor en el caso 4 donde el perfil es más similar a lo que está ocurriendo, como podemos ver comparando el PPI con las imágenes de SRI del radar de Palencia a partir las 17 UTC del día 9, donde se observa la intensidad de la nevada al este de Soria es similar a la de Aranda de Duero y ésta no se detecta en las imágenes del PPI. Hay que tener en cuenta que ese día no se disponía de datos de superficie en tiempo real en la provincia Soria.

El SRI, se usa principalmente como entrada dentro del producto RAIN1, para obtener una estimación mejor de la precipitación acumulada del radar incluso en los alcances más largos del radar.

En el SRI de los radares de AEMET se distingue casos convectivos, así como precipitaciones estratiformes a gran escala y se aplica corrección solamente en esta última, mientras que en el caso de la precipitación convectiva se representa el valor en el nivel más bajo como en el caso del PPI.

En resumen, el SRI permite al usuario aplicar sus conocimientos locales para introducir los perfiles tanto teóricos como reales de reflectividad y de esta manera mejorar la estimación de la precipitación mediante el radar, sobre todo en puntos alejados y en el caso de precipitaciones en forma de nieve.

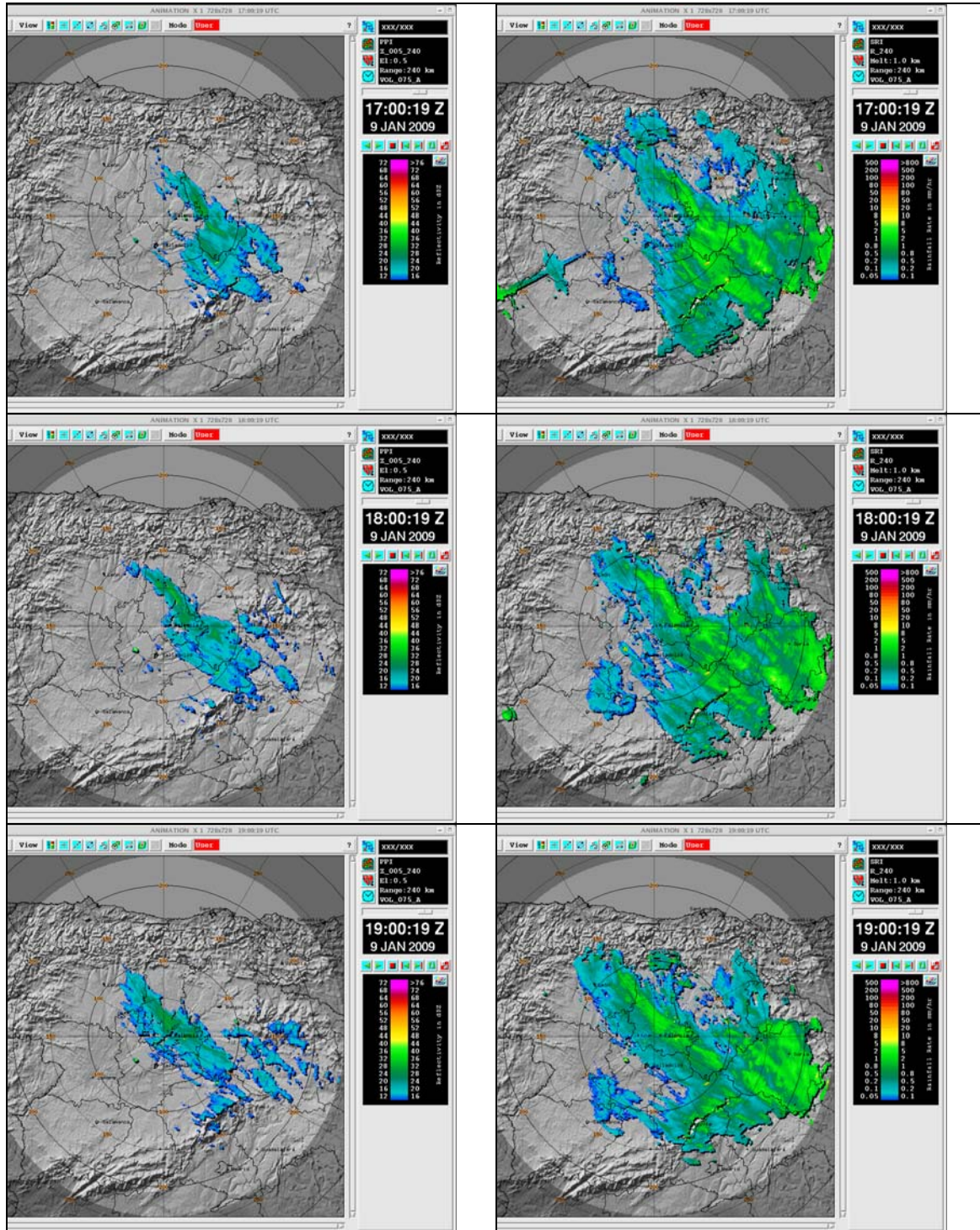


Figura V.2.6. Comparación del PPI a las 17, 18 y 19 UTC (derecha), en unidades de reflectividad, con el SRI de las mismas horas (izquierda), en intensidad de precipitación, usando la relación Z/R de Marshall-Palmer.

2.- Singularidades en los datos de teledetección: Estrías en las imágenes del radar de Madrid

En este episodio de nevadas se han observado unas estructuras curiosas en las imágenes de radar de Madrid que se han tratado de analizar. Son unas estrías ondulatorias detectadas a primeras horas del día 9.

En las imágenes radar entre las 22UTC del día 8 y las 3UTC del día 9, los ecos de precipitación aparecen en bandas formando una especie de estrías. A partir de las 03 UTC, estas bandas se van difuminando y desde las 05UTC la zona de precipitación es continua volviendo a apuntar, aunque de manera mucho más difusa, precipitación en bandas a partir de las 18Z. La forma de estas bandas es la que se aprecia en la imagen de la 01UTC.

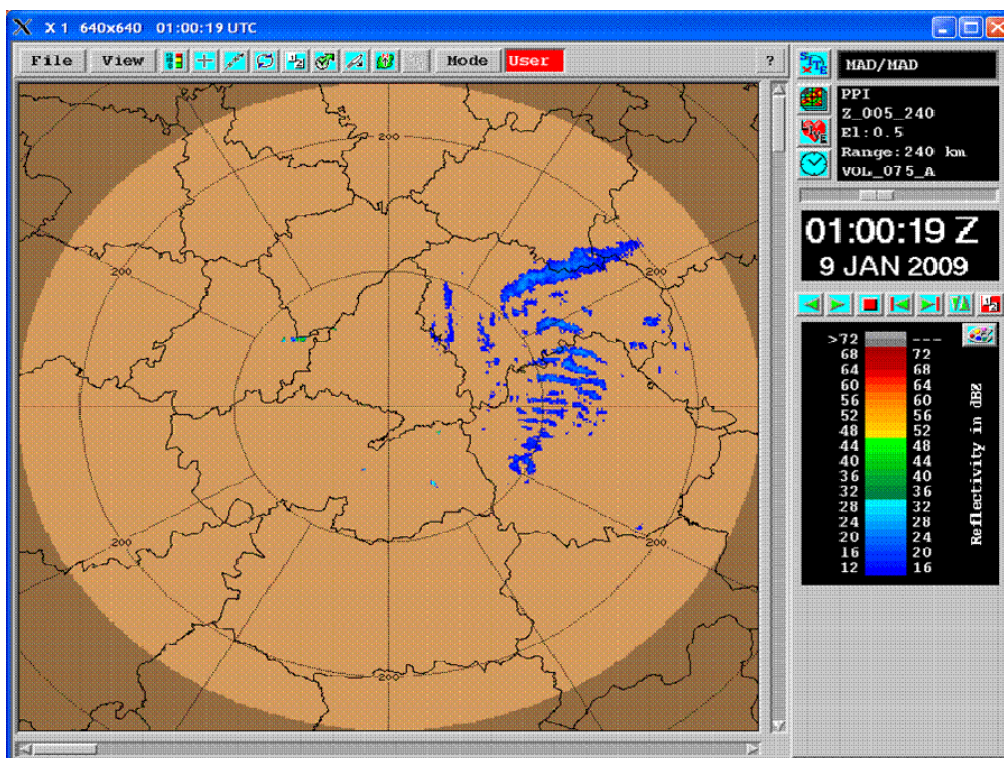


Figura V.2.1. Estructura ondulatoria observada en el radar de Madrid correspondiente a la exploración más baja, PPI a 0.5 °, a la 1 UTC del día 9 antes de las nevadas intensas al este de la Comunidad de Madrid.

Se ha buscado documentación acerca de la precipitación en bandas mesoscales. De la bibliografía consultada hemos deducido que lo más probable es que estas bandas se deban a zonas de inestabilidad simétrica (o inestabilidad isentrópica inercial o inestabilidad por desplazamiento oblicuo). La inestabilidad simétrica o inestabilidad por desplazamiento oblicuo se produce por combinación de las fuerzas de gravitación en la vertical y de las de Coriolis en la horizontal. Esta inestabilidad se puede producir aún cuando haya estabilidad estática e inestabilidad inercial. En la literatura científica (por ejemplo, Schultz and Schumacher, 1999) se definen diversos tipos de inestabilidad simétrica:

- Inestabilidad simétrica seca (SI en sus siglas en inglés).- La temperatura potencial (θ) disminuye con la altura a lo largo de isolíneas de momento geostrófico (Mg). Mg se define como $Mg = Vg + fx$, donde Vg es el viento geostrófico, f es el parámetro de Coriolis y x la componente según el eje X

- Inestabilidad potencial simétrica (PSI en sus siglas en inglés).- La temperatura potencial equivalente (θ_e) disminuye con la altura a lo largo de isolíneas de momento geostrófico (Mg).
- Inestabilidad condicional simétrica (CSI en sus sigla en inglés). En este caso es la temperatura potencial equivalente saturada (θ_e^*) la que disminuye con la altura a lo largo de isolíneas de momento geostrófico (Mg).

Es esta última, la inestabilidad condicional simétrica CSI, la posible responsable de las bandas que aparecen en el radar.

El problema operativo para visualizar la CSI es que su cálculo no es inmediato, sino bastante complicado y habría que desarrollar alguna macro específica para ello (hay que estimar, en un corte vertical, la variación con la altura de la temperatura potencial equivalente saturada θ_e^* , a lo largo de isolíneas de momento geostrófico).

Debido a esta complicación, la estimación de la CSI es muy engorrosa desde el punto de vista operativo. En cualquier caso, y si se estimara oportuno, se tratará de profundizar en este tema e intentar desarrollar algún método de cálculo que nos permita confirmar las sospechas aquí expuestas pero fuera del ámbito de este documento técnico.

VI. SIMULACIONES NUMERICAS CON HIRLAM

Se han realizado un conjunto básico de simulaciones numéricas para analizar el comportamiento de los modelos HIRLAM, operativos y no operativos, de AEMET. Como se verá al final de este apartado, las **condiciones de contorno iniciales son fundamentales** a la hora de reproducir el evento de forma más fiable utilizando las predicciones del HIRLAM operativo en esas fechas. Como se ha indicado anteriormente, los modelos deterministas, tanto HIRLAM como el del CEPPM, subestimaron la entrada de las precipitaciones sólidas en la zona centro, en especial su intensidad.

1.- Versiones HIRLAM6.2, operativa, vs HIRLAM7.0, experimental

Desde el punto de vista de la simulación numérica, se muestran los resultados de los modelos **HNR** (modelo operativo en esos días de alta resolución 0.05° versión HIRLAM6.2) y **ONW** (modelo experimental de resolución 0.16° versión HIRLAM7.0) en el episodio de nevadas que tuvo lugar en España durante los días del 8 al 10 de enero de 2009.

La principal diferencia, entre los modelos **HNR** y **ONW**, se encuentra en **el refresco de las condiciones iniciales**. En la versión 7.0, se rehace el campo previo utilizando el análisis de altura del Centro Europeo y el análisis de superficie del modelo HIRLAM, y como consecuencia se mejora el análisis de esta versión. Por otra parte, dentro del modelo **ONW**, **la pasada de las 18 UTC se actualiza con las condiciones de contorno e iniciales del modelo del Centro Europeo de la pasada de las 12 UTC**, lo que favorece a esta pasada frente a la de las 12 UTC del modelo ONW que utiliza las condiciones de contorno e iniciales del modelo del Centro Europeo de la pasada de las 00 UTC.

Precipitaciones

Analizando y comparando las pasadas del 08/01/2009 a las 12 UTC y a las 18 UTC, por ser las más representativas del comienzo del episodio a predecir, se observa que el modelo HNR tiene un comportamiento muy parecido en ambas pasadas. Sin embargo, el modelo **ONW** presenta un significativo cambio entre ambas pasadas. **Este modelo recoge bastante mejor la situación**, que posteriormente se observó, en la pasada del día 8 a las 18 UTC. Además, si comparamos los dos modelos, HNR y ONW, fijándonos en los campos de precipitación total y nieve acumulada, los campos del **ONW representan mejor los valores observados** y la zona por la que se propagó el sistema nivoso, **a pesar de tratarse de un modelo de resolución más baja** que el HNR.

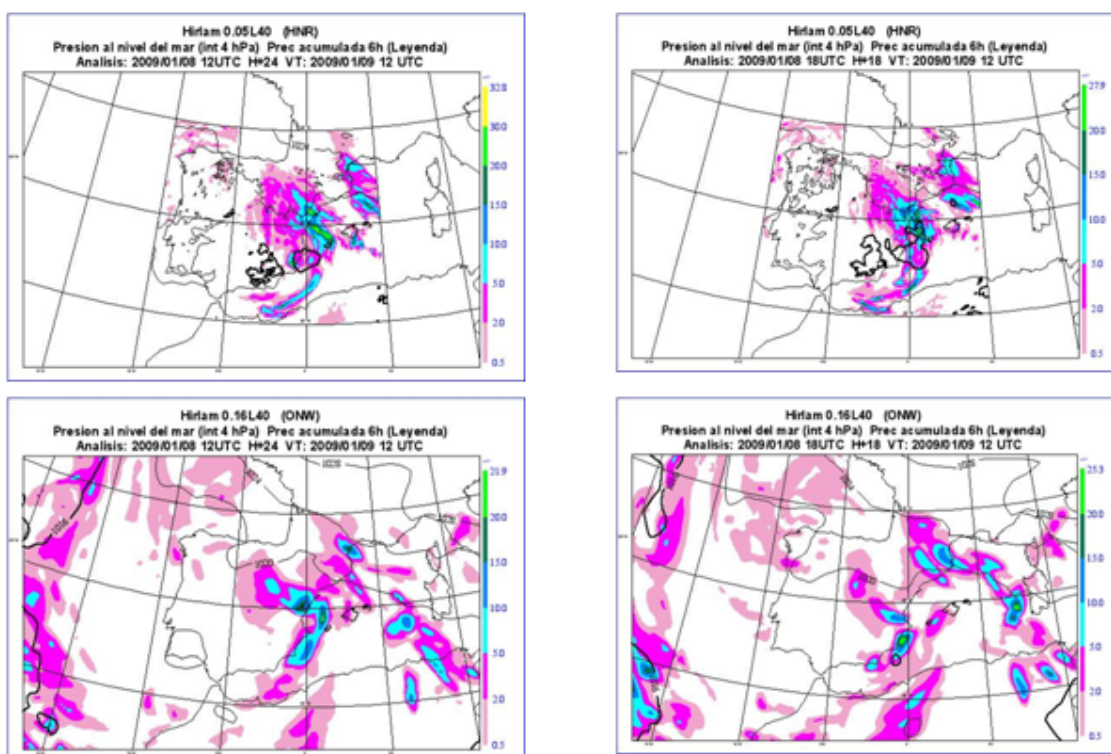


Figura VI.1. Comparación del campo de precipitación acumulada en las 6 horas, en mm, anteriores de los modelos ONW Y HNR a las 12Z del día 9 de enero. A la izquierda, la pasada del día 8 a las 12 UTC y a la derecha, la pasada del día 8 a las 18 UTC.

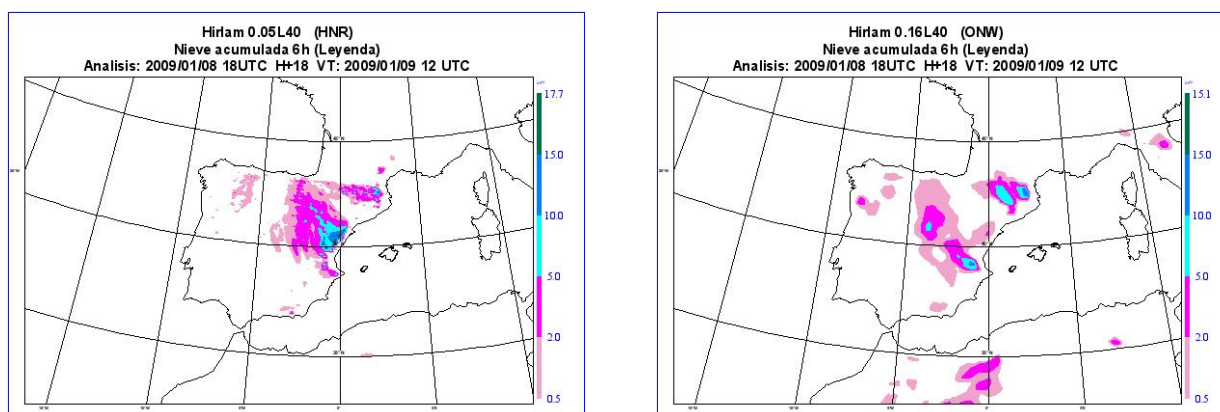


Figura VI.2. Comparación del campo de nieve acumulada en las 6 horas anteriores de los modelos HNR (izquierda) y ONW (derecha) a las 12 UTC del día 9 de enero, en cm.

En cuanto a las cantidades de precipitación recogidas en 24 horas, podemos comparar los valores observados con los previstos por los modelos ONW y HNR para los días 9 y 10 de enero (véanse la Figura VI.3). **El modelo ONW reproduce mejor que el HNR** la precipitación recogida el día 9 de enero. Las cantidades recogidas como la posición de la precipitación del día 10 están mejor simuladas por el modelo HNR en la pasada del día 9 a las 12 UTC (en esa pasada, el modelo ya ha recogido en el análisis el episodio de nevadas; no tenemos el modelo ONW de la pasada del día 9 a las 12 UTC para comparar).

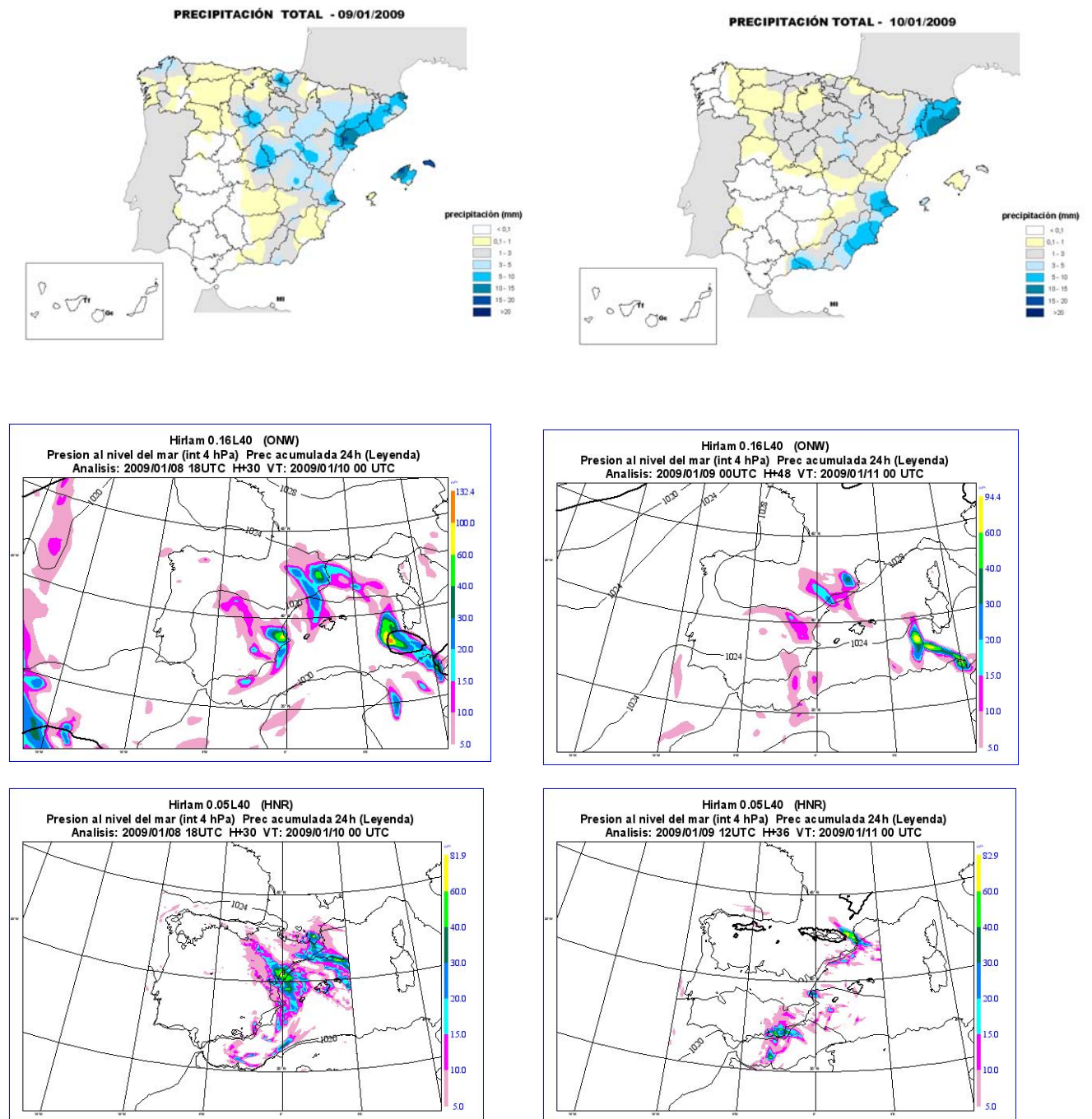


Figura VI.3. Comparación de los campos observados y previstos de precipitación acumulada en 24 horas para los días 9 (izquierda) y 10 (derecha) de enero, en mm. Arriba, los campos observados. En el centro, los campos previstos por el modelo ONW. Abajo, los campos previstos por el modelo HNR.

Viento en 850 hPa

Como se indicó en los apartados del estudio sinóptico-mesoescalar, la intensidad del viento en 850 hPa fue un factor importante ya que pudo condicionar la advección de las precipitaciones más hacia la zona centro. La intensidad de dicho flujo pudo estar subestimada por los modelos.

El comportamiento del HNR y del ONW es muy similar en los campos de viento, aunque hay algunas diferencias que pueden **soportar la entrada más hacia la zona centro** de las áreas de precipitación. En la figura VI.4 aparece vientos algo más intensos de levante a las 12 UTC del 9 en la pasada del ONW que en la pasada del HNR en 850 hPa. Este hecho es aparentemente más realista. La aportación y advección de humedad y temperatura a ese nivel es más significativa en las salidas del ONW que en la salida del HNR. Estos hechos, pueden contribuir a que los procesos de frontogénesis mesoescalar en la zona de levante fueran más significativos que los previstos por el modelo HIRLAM operativo, HNR, reflejando mejor los procesos que se desarrollaban por el modelo ONW.

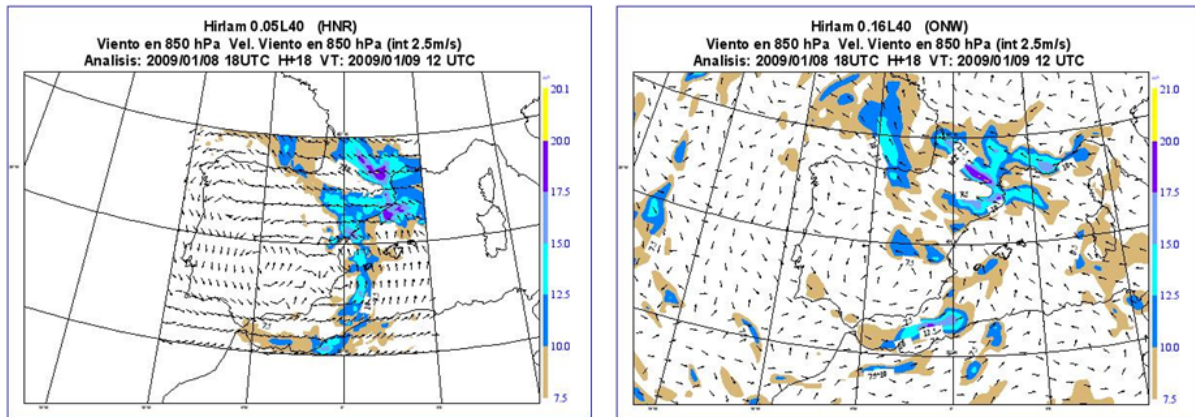


Figura VI.4. Comparación del campo de viento en 850 hPa de los modelos HNR (izquierda) y ONW (derecha) a las 12 UTC del día 9 de enero, según pasada del 8 a las 18 UTC. Las flechas indican la dirección y los colores la intensidad de la velocidad en m/s.

Asimismo, estudiando los meteorogramas de varios puntos en la zona centro de la península ibérica (Barajas, Retiro, Ciudad Universitaria y Guadalajara, no mostrados aquí), se observa que el modelo ONW da valores más significativos de precipitación que el HNR, y la pasada de las 18 UTC cantidades mayores que la de las 12UTC, recogiendo muy bien el comienzo del episodio nivoso en ese área (el día 9 de enero entre las 06UTC y las 09 UTC) y el máximo de precipitación (entre las 09 UTC y las 12UTC del mismo día).

Como conclusión, se destacaría el buen comportamiento del modelo experimental ONW (modelo de resolución 0.16° versión HIRLAM7.0) en la pasada del día 8 de enero a las 18 UTC, tanto espacial como temporalmente en la descripción del episodio de nevadas. Las cantidades previstas de nieve son una aproximación a las observadas, pues nunca se puede esperar que dichos valores sean exactamente los valores reales.

VII. CONCLUSIONES

Las nevadas adversas y de alto impacto social de los días 8, 9 y 10 de enero de 2009 supusieron un gran reto en materia de predicción y vigilancia. El hecho de que los modelos deterministas subestimaran su intensidad y extensión, fue subsanado en parte por la vigilancia y predicción meteorológica a corto plazo realizada durante esos días, pero no cabe duda de que estas actividades son siempre potencialmente mejorables. A lo largo de este estudio se han puesto de manifiesto la necesidad de optimizar y mejorar ciertas tareas y procesos dentro del sistema de vigilancia y predicción de nevadas, o de cualquier otro fenómeno adverso, así como la necesidad de transmitir de forma eficiente TODA la información probabilística disponible en situaciones adversas y de alto impacto social a ciertos usuarios específicos.

En el aspecto meteorológico, estas **nevadas** se caracterizaron por ser **conducidas y condicionadas por flujos del este** en capas bajas-medias. Estos flujos dieron lugar a una **advección cálida y húmeda** en la mitad oriental peninsular que afectó a zonas donde reposaba aire muy frío preexistente proveniente de una entrada polar continental en los días anteriores. Este aire frío dio lugar a temperaturas muy bajas, tanto las máximas como las mínimas, que garantizaban que las precipitaciones iban a ser en forma de nieve e iban a perdurar en tierra bastante tiempo.

Al tener procedencia mediterránea, las **entradas del este** suelen ser **bastantes eficientes** en cuanto a precipitación. El aire húmedo y, relativamente, cálido se ve obligado a interactuar y ascender, primero sobre la compleja orografía peninsular y luego sobre el embolsamiento de aire frío en superficie y niveles muy bajos, ligado a una baja fría de tipo polar continental. En esta situación, los ingredientes típicos de nevadas (aire frío, humedad y forzamientos) estaban presentes de forma clara y continua durante varios días a nivel sinóptico.

Los fuertes contrastes de masas de aire que se producen con las entradas del este con flujo cálido y húmedo, sobre aire más frío y seco preexistente, generan unos procesos mesoescalares tendientes a realzar las corrientes ascendentes y descendentes, así como las precipitaciones. Este hecho no se suele dar con otro tipo de entradas tan marcadamente como las de levante. La muy probable **frontogénesis mesoescalar** que se pudo generar en estas condiciones, por diversos y potenciales factores (zona de deformación frontogenética, procesos ligados a la propia nevada intensa, posible existencia de inestabilidad condicional, etc.,) no fueron reproducidas con toda la exactitud requerida por los modelos numéricos de predicción operativos. Las eficientes precipitaciones recogidas en estas condiciones, sólidas o líquidas, no sólo afectaron a zonas de montaña, como es habitual, sino también a zonas llanas de la costa y del interior.

Los **modelos numéricos deterministas de predicción** operativos **pronosticaron dicha entrada de levante, pero se quedaron “cortos”** en el grado e intensidad de la intrusión en la zona centro, extendiéndose realmente más allá de lo previsto. Los modelos también subestimaron la cantidad de nieve en dicha área. La hora de inicio de las nevadas, a primeras horas de la mañana en algunos puntos, fue otro de los elementos claves de su impacto económico, social y mediático.

Desde el **punto de vista probabilístico** las salidas de postproceso **Análogos-EPS** y los mapas derivados de probabilidad de nevadas del **VarEPS**, **sí contemplaban la posibilidad** de nevadas en el centro peninsular, con **probabilidades significativas para los umbrales de precipitación superior a los 2 cm**. También fue notorio la **“llamada de atención”** de los mapas y productos de nevadas de más de 5 y 20 cm en ciertas zonas del interior con bajas probabilidades. No se puede desdeñar estas bajas probabilidades en casos de fenómenos adversos, tanto desde el punto de vista meteorológico como, y sobre todo, desde el punto de vista de su potencial impacto social, útil para la toma de decisiones.

Las simulaciones realizadas con el modelo experimental HIRLAM7.0 a 16 km, usando en parte las condiciones de contorno iniciales del CEPPM para la pasada de las 18 UTC, muestran que las predicciones del modelo se ajustan mejor que los previstos del HIRLAM6.2 a 5 km operativo para esas fechas, especialmente en la extensión y en menor medida en la intensidad de las nevadas, así

como en la fuerza del flujo del este en 850 hPa en la mitad este, fundamental para aumentar el contraste térmico de las dos masas de aire y reforzar así circulaciones locales ligadas a la frontogénesis mesoescalar.

BIBLIOGRAFÍA

Álvarez Alonso, Juan Pablo, Mora García, Manuel Antonio, Garrido del Pozo, Nieves, 2006. Episodio de Nevadas Extraordinarias en Castilla y León del 25 y 26 de Diciembre de 2004. V Asamblea de Geofísica.

Buendía Moya, Gabriel, 2005. "Estudio de las Nevadas en Castilla y León". Nota Técnica N° 2 del CMT en Castilla y León, INM.

Del Hoyo García, José, 2008. "Un método de predicción de cota de nieve y su aplicación en la estimación de probabilidad de nevadas". XXX Jornadas Científicas de la Asociación Meteorológica Española.

Elizaga, Fermín, 1992. "Consideraciones sobre la predicción de nevadas. Resultados de la campaña 1991-92". Nota Técnica N° 6 STAP.

García-Moya, J. A; Callado, A; Santos C., Santos-Muñoz, D, y Simarro, J., 2009: Predictability of Short-Range Forecasting: A Multi-model Approach. Predictability Group. Nota Técnica 1 del Servicio de Predecibilidad y Predicciones Extendidas (NT SPPE-1), AEMET, Madrid, Spain.

IRIS Product and Display Manual, 2-14 January 2006. Ver 8.10. SIGMET (Vaisala Group).

Joss, J. R. and Lee, R. 1995: The Application of radar Gauge Comparisons to Operational Precipitation.

Jurewicz, M. L., and M. S. Evans, 2004: A comparison to two banded, heavy snowstorms with very different synoptic settings. Wea. Forecasting, 19, 1011-1028.

Koistinen J., and Puhakka T., 1986: Can we calibrate radar with raingauges? Geophysica, 22, pp 119-129.

Market, P. S., and D. Cissell, 2002: Formation of a sharp snow gradient in a Midwestern heavy snow event. Wea. Forecasting, 17, 723-738.

Martin, J. E., 1998: The structure and evolution of a continental winter cyclone. Part II: frontal forcing of an extreme snow event. Mon. Wea. Rev., 126, 329-348.

Moore, J. T., and T. E. Lambert, 1993: The use of equivalent potential vorticity to diagnose regions of conditional symmetric instability. Wea. Forecasting, 8, 301-308.

_, C. E. Graves, S. Ng, and J. L. Smith, 2005: A process oriented methodology toward understanding the organization of an extensive mesoscale snowband: A diagnostic case study of 4-5 December 1999. Wea. Forecasting, 20, 35-50.

Nicosia, D. J., and R. H. Grumm, 1999: Mesoscale band formation in three major Northeastern United States snowstorms. Wea. Forecasting, 14, 346-368.

Palacio, José Ignacio; Cano, Darío y Ayensa, Eugenio, 2004. "Análisis de la cota de nieve por situaciones en la Comunidad de Madrid". Publicación interna del INM.

Profile Corrections. Journal of Applied Meteor. AMS, 1995. Vol 34. pp 2612-2630.

Riesco, Jesús; Núñez, José Ángel, y Alcover, Víctor, 2005. "Nevadas en la Comunidad Valenciana" Nota Técnica, GPV Valencia.

Santurette, Patrick, y Georgiev, Christo, 2005. "Weather Analysis and Forecasting". Elsevier. Academic Press.

Schultz, D. M., and P. N. Schumacher, 1999: The use and misuse of conditional symmetric instability. Mon. Wea. Rev., 127, 2709-2732.




Schumacher, P. N., 2003: An example of forecasting mesoscale bands in an operational environment. Preprints, 10th Conf. on Mesoscale Processes. Portland, OR, Amer. Meteor. Soc.,

Seltzer, M. A., R. E. Passarelli, and K. A. Emanuel, 1985: The possible role of symmetric instability in the formation of precipitation bands. J. Atmos. Sci., 42, 2207-2219.

VarEPS. Implementation of VarEPS. Página web del CEPPM.

<http://www.ecmwf.int/products/changes/vareps/>

The new ECMWF Variable Resolution Ensemble Prediction System (VarEPS): methodology and validation.

- [ECMWF Technical Memorandum No. 499 \(July 2006\)](#) 
- The ECMWF Variable Resolution Ensemble Prediction System (VarEPS) [ECMWF Newsletter No. 108 \(pp14-20\) - Summer 2006](#) 
- [Computation of accumulated fields in VarEPS](#) 

Wiesmueller, J. L., and S. M. Zubrick, 1998: Evaluation and application of conditional symmetric instability, equivalent potential vorticity, and frontogenetic forcing in an operational forecast environment. Wea. Forecasting, 13, 84-101.

ANEXOS

1.- Otros mapas de análisis de los modelos numéricos de predicción

2.- Algunas imágenes de satélite

3.- Otros productos del CEPPM

a.- EFI: Extreme Forecast Index

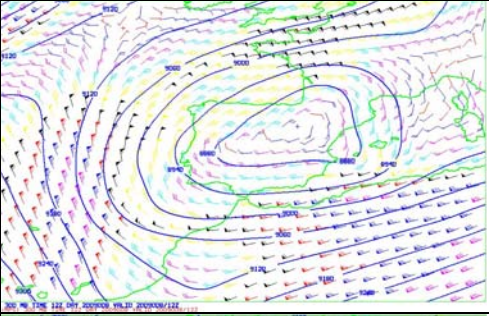
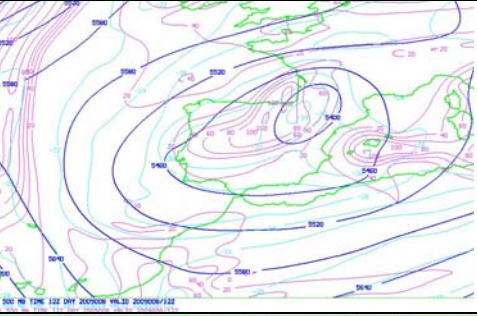
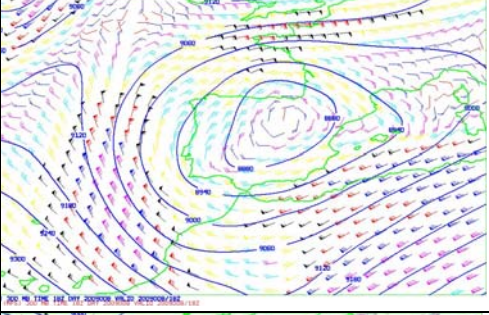
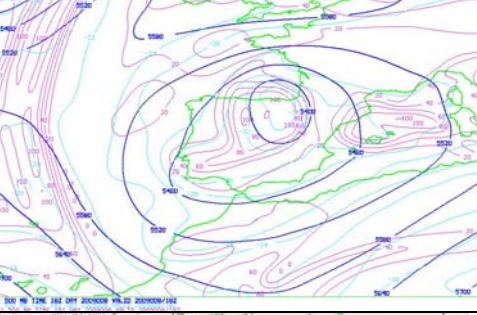
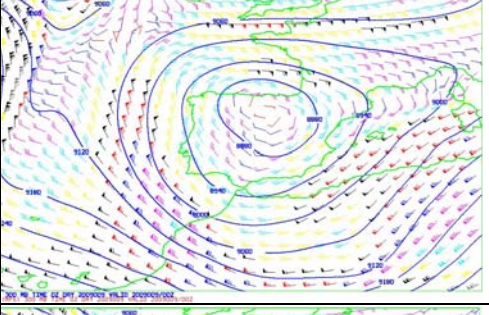
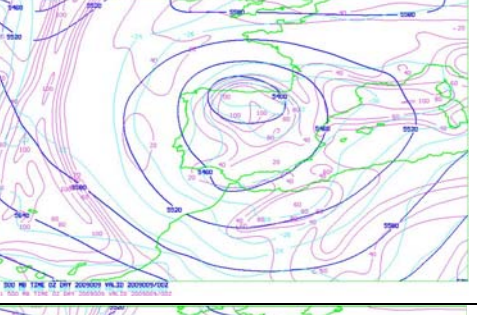
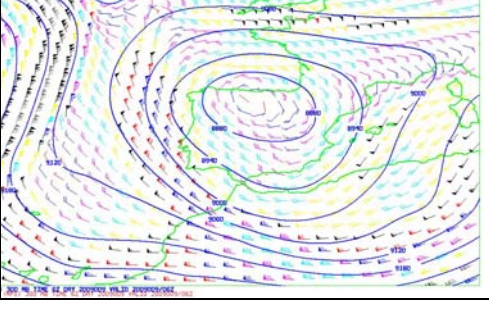
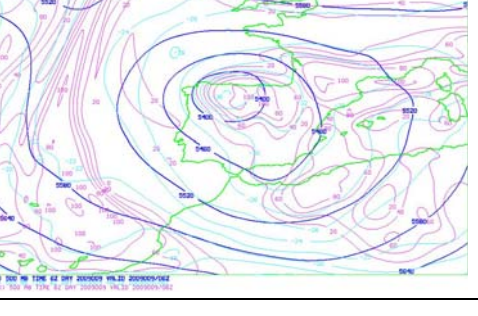
b.- VarEPSgramas

c.- Mapas de probabilidad de las pasadas de 00 UTC

4.- Mapas de precipitación diaria de 07-07 h, días 8, 9 y 10

1. – Otros mapas de análisis de los modelos numéricos de predicción

Como complemento a los campos básicos y derivados mostrados en el apartado sinóptico, se presentan algunos campos convencionales básicos de los días de interés, tanto del modelo HIRLAM como del CEPPM.

Análisis objetivo modelo HIRLAM-ONR1		
300 hPa: geopotencial y viento	500 hPa: geopotencial, temperatura y humedad	
		Día 08 12UTC
		Día 08 18UTC
		Día 09 00UTC
		Día 09 06UTC

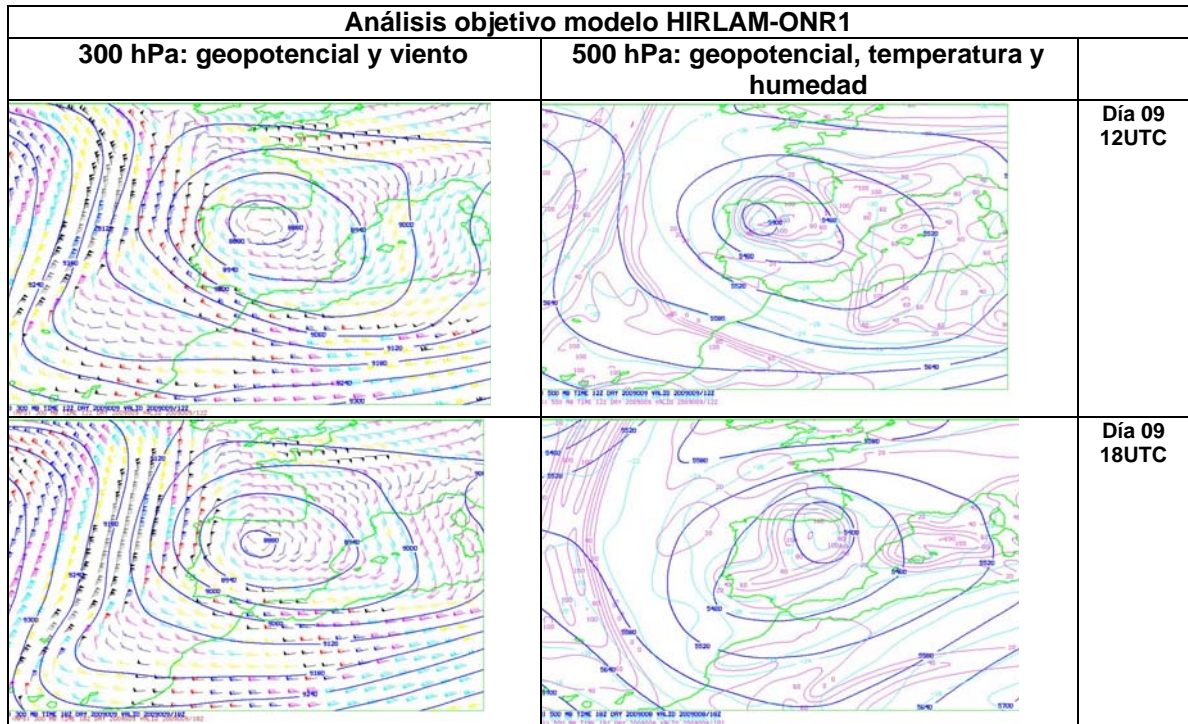
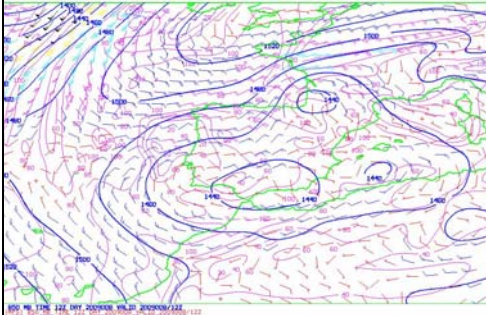
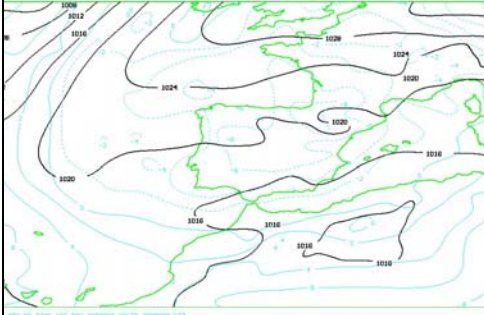
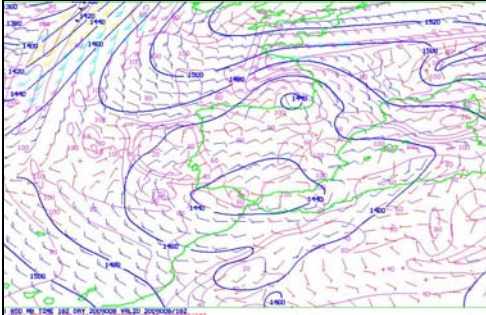
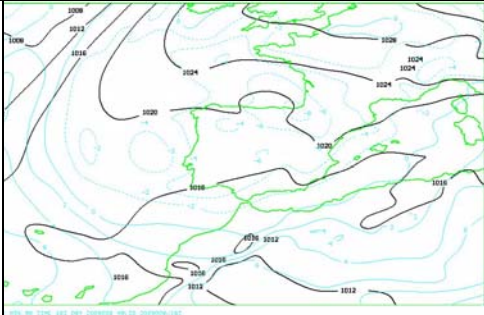
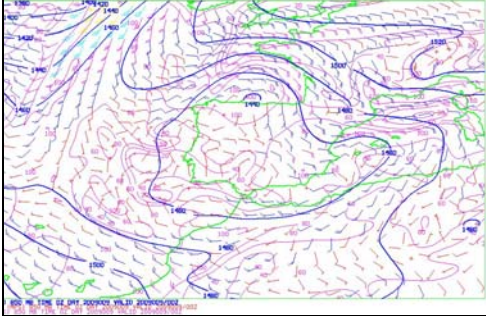
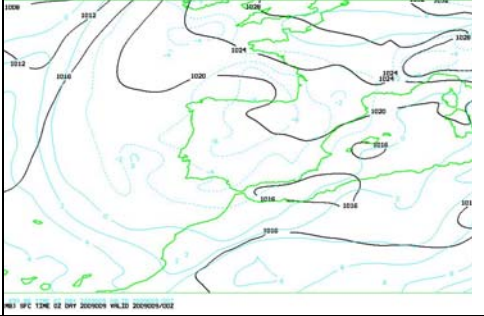
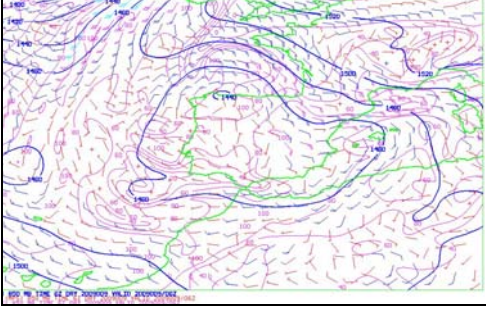
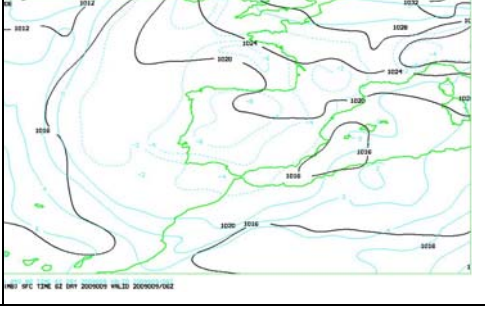


Figura A.1.1. Campos básicos de los análisis objetivos del modelo y fechas indicadas. Unidades estándares.

Análisis objetivo modelo HIRLAM-ONR1		
850 hPa: geopotencial, viento y humedad	presión a nivel del mar y temperatura en 85 hPa	
		Día 08 12UTC
		Día 08 18UTC
		Día 09 00UTC
		Día 09 06UTC

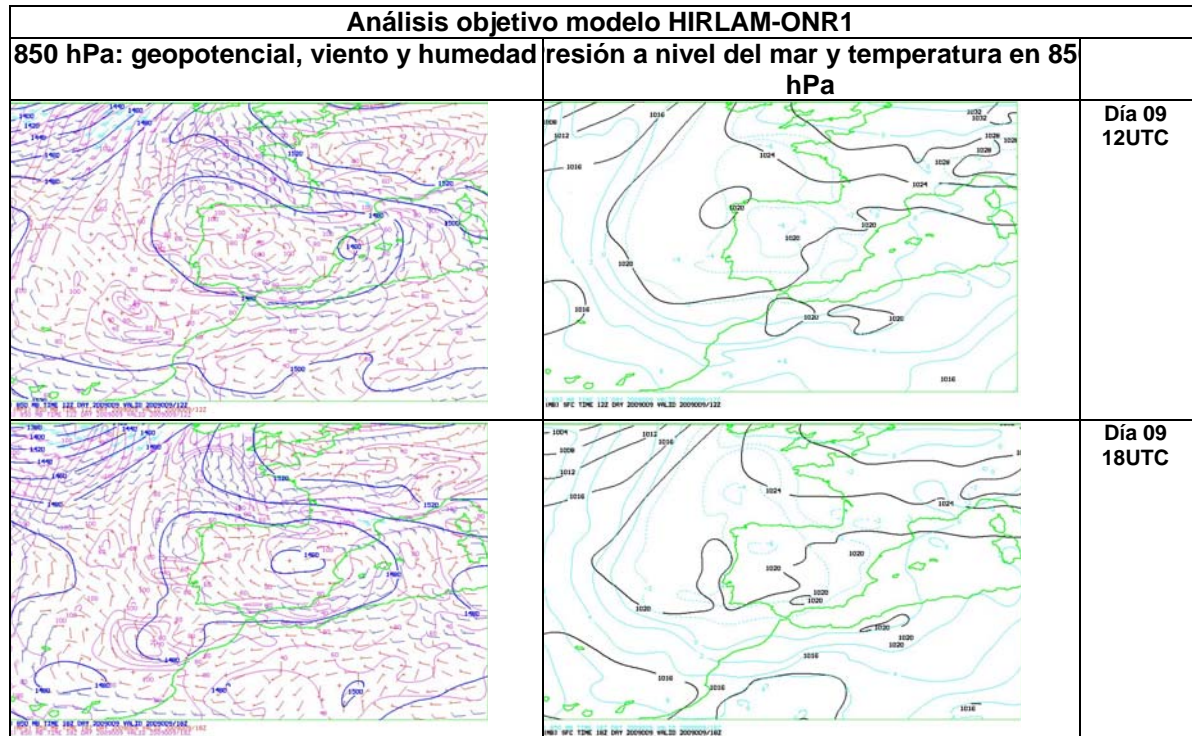


Figura A.1.2. Campos básicos de los análisis objetivos del modelo y fechas indicadas. Unidades estándares.

Gráficos obtenidos de la página Satrep Online. Campos de análisis del modelo CEP-PM.

Altura de la PV=1	Adv T en 700 hPa	W, Omega en 700 hPa	
			Día 08 12UTC
			Día 08 18UTC
			Día 09 00UTC
			Día 09 06UTC

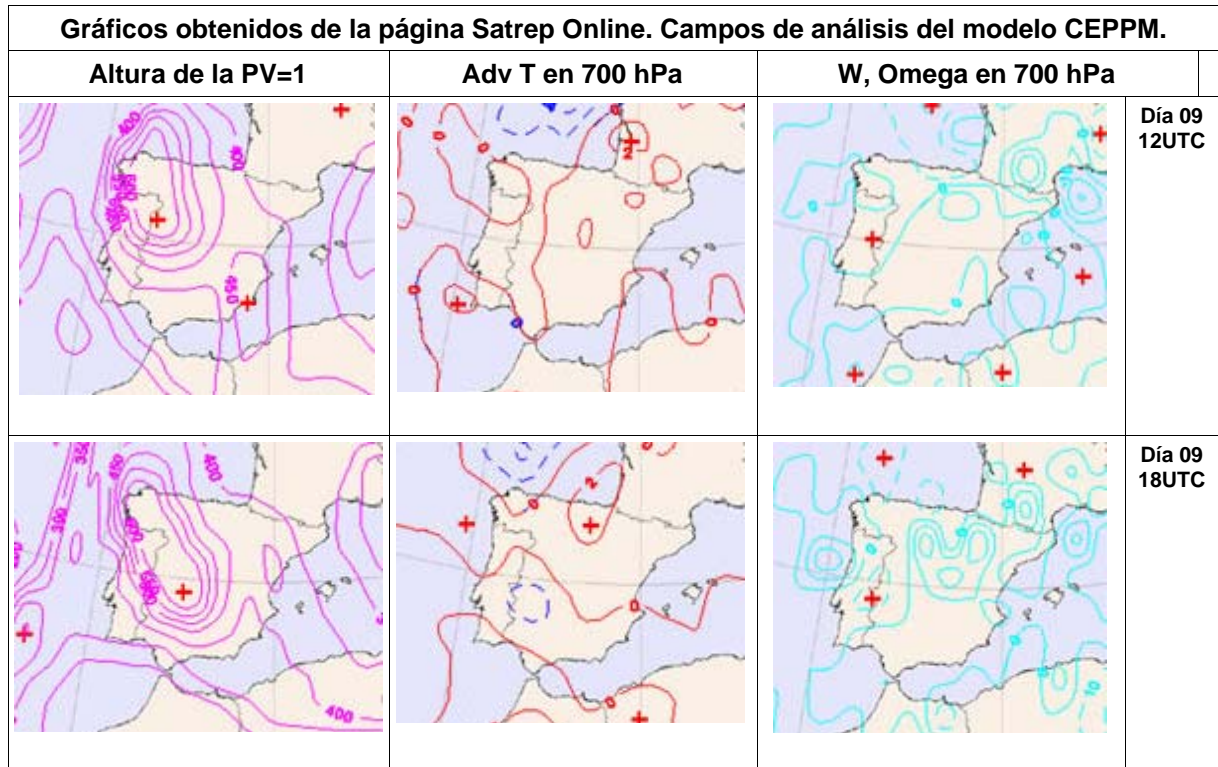
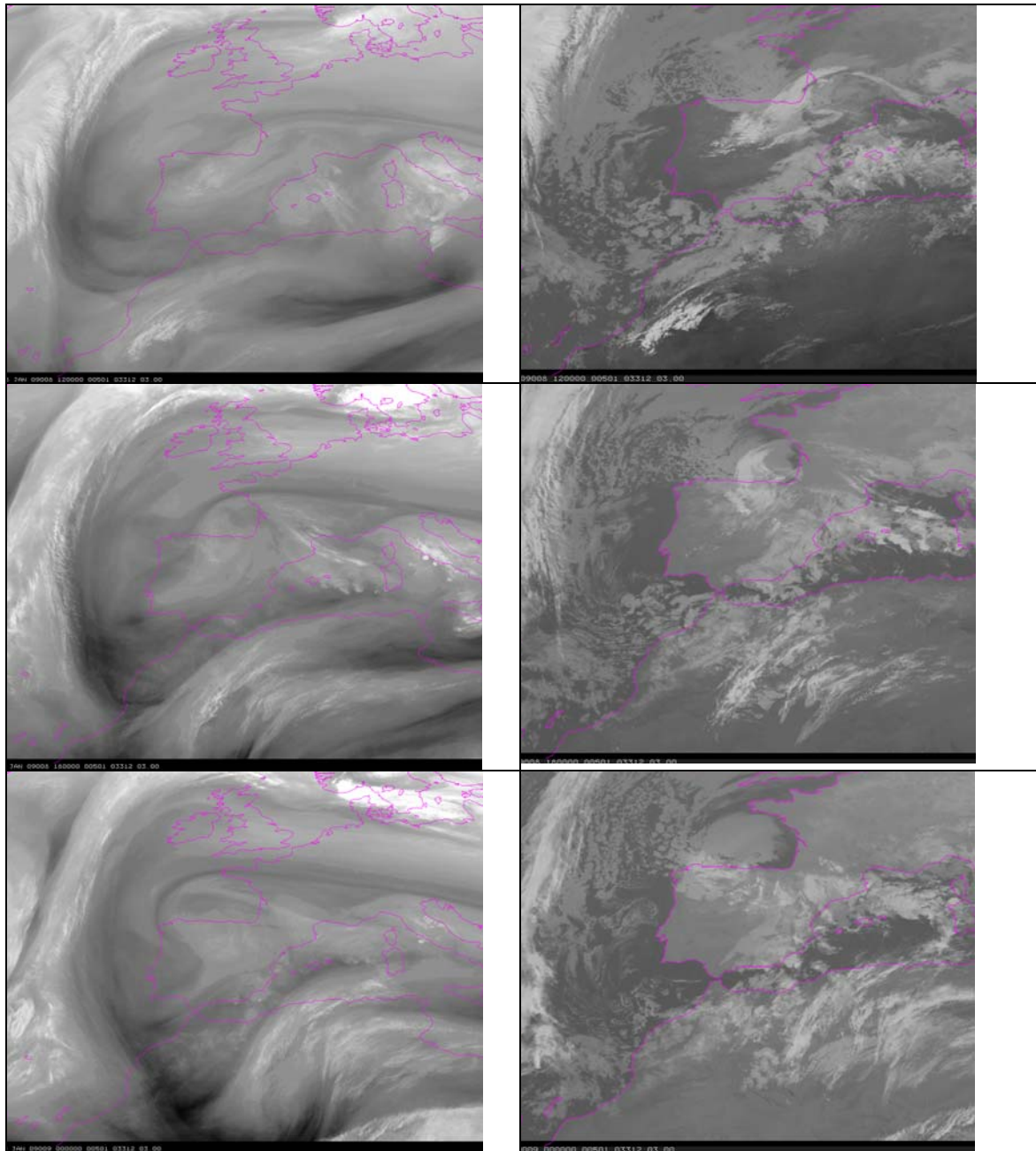


Figura A.1.3. Campos de apoyo según los análisis del modelo determinista del CEPPM obtenidos de la página Satrep, para los días y fechas señaladas. Unidades convencionales asociadas a los campos. Fuente: Satrep.

2.- Algunas imágenes de satélite

Resulta interesante observar ciertas imágenes de satélite, sin campos sobrepuestos, para resaltar con claridad la evolución nubosa.



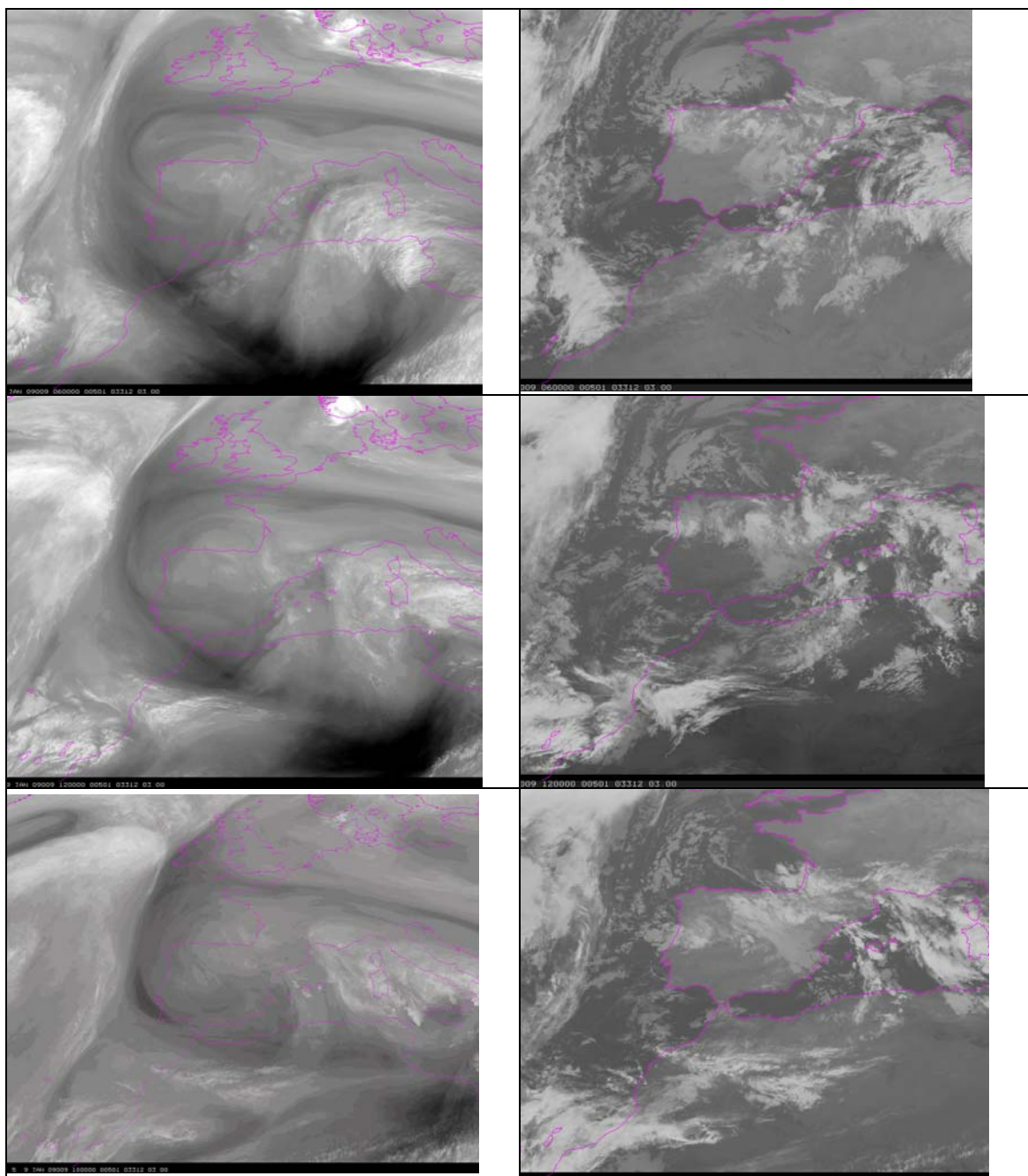


Figura A.2.1. Imágenes de referencias de satélite utilizadas en el análisis subjetivo del apartado sinóptico: columna de la izquierda imágenes de vapor de agua, WV06.2, y columna de la derecha infrarrojas, IR10.8. Fecha y hora a pie de cada figura.

3.- Otros productos del CEPPM

a. - EFI: Extreme Forecast Index

El modelo VarEPS del CEPPM genera campos en los que se estima el grado de "rareza" de una variable, o parámetro, respecto a la climatología del mismo modelo: el EFI. Este índice no mide la intensidad o grado de adversidad de una variable concreta o fenómeno asociado. Los campos de EFI disponibles están asociados al viento y rachas a 10 m., temperatura a 2 metros, precipitación, y alguno más. El mapa siguiente muestra los datos del EFI para el viento a 10 m y T a 2 m, junto con la media del VarEPS de 1000 hPa de los días analizados.

Como se puede observar, la única señal clara y consistente es, y dada con bastantes días de antelación, la de las temperaturas a 2 m que quedaban bastante por debajo de la climatología del modelo. Las temperaturas a 2 m eran muy frías o extremadamente frías. Este hecho sí se puede suponer que es marcadamente raro desde el punto de vista climatológico. Nada relevante aparece en los mapas de EFI en cuanto a la precipitación.

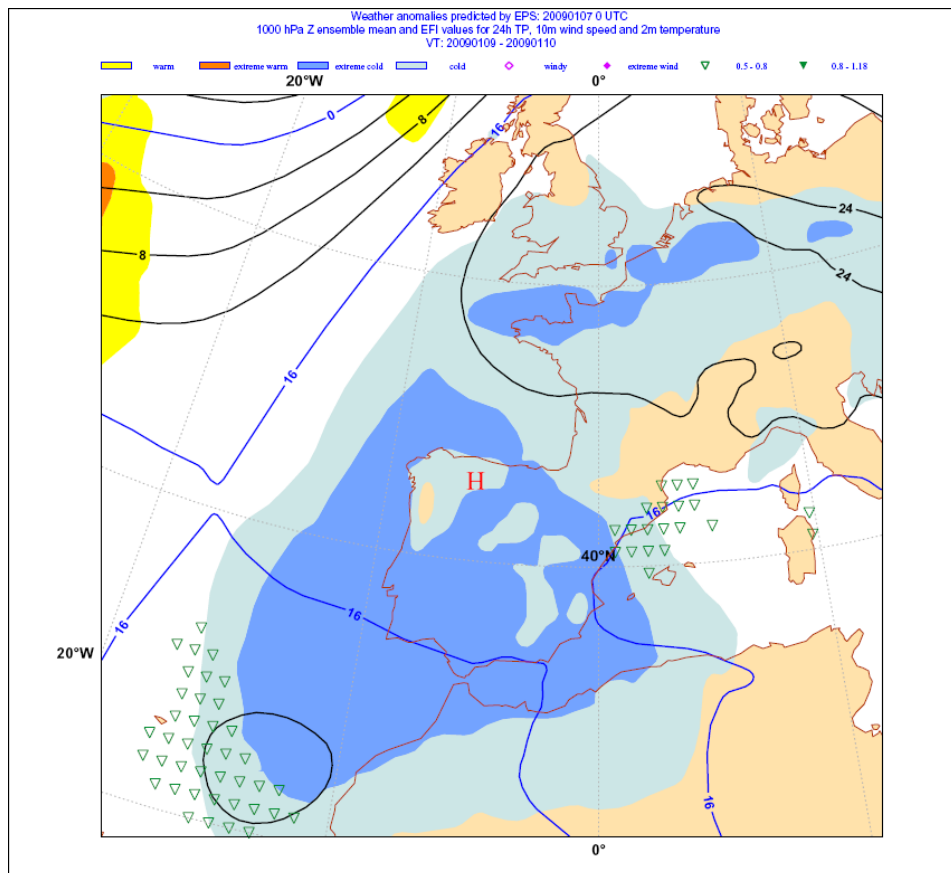
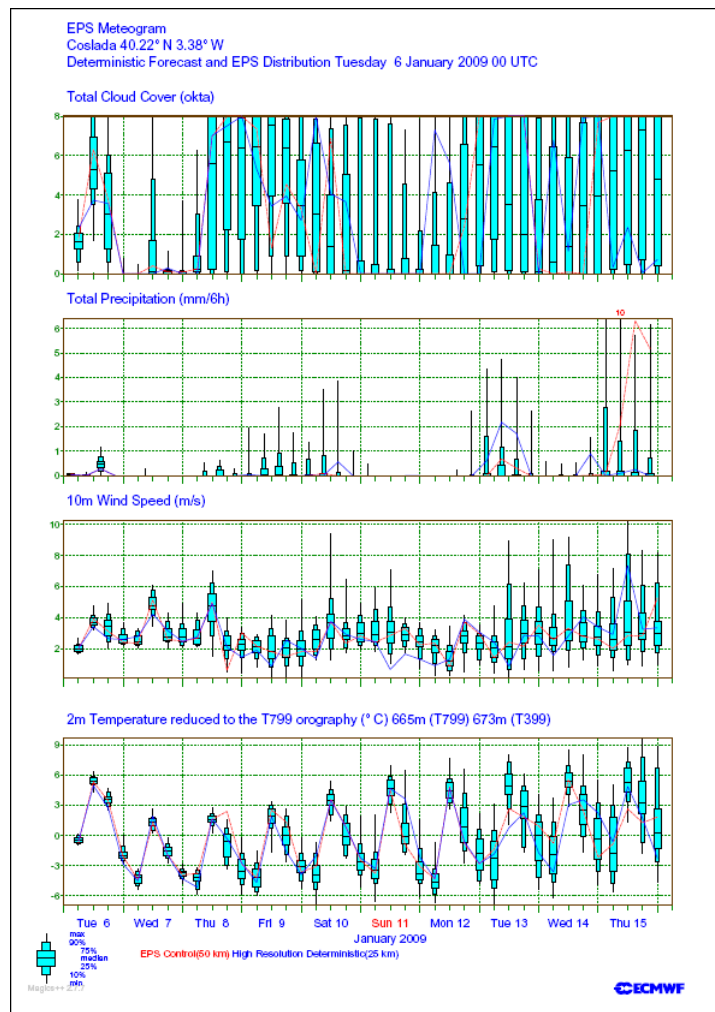


Figura A.3.1. Mapa de EFI combinados para la T a 2m y viento a 10 m, para la pasada del día 07 a las 00Z para 24 h, entre el 09 y 10 de enero. Anomalías muy frías en azul, frías en celeste. Líneas continuas representa la media del VarEPS de 1000 hPa. Fuente: CEPPM.

Estas señales eran muy similares en otras pasadas del modelo.

b.- VarEPSgramas

La zona este de la Comunidad de Madrid se manifiesta como una zona extremadamente sensible para las nevadas según la pasada del modelo, 00 ó 12 UTC, de forma que la consistencia en la probabilidad de nevadas entre significativas y débiles no estaba asegurada en el medio plazo para la zona. Este grado de incertidumbre se pone de manifiesto según las pasadas utilizadas. Así por ejemplo, si tomamos las pasadas del día 6 a las 00 y 12UTC se tienen salidas de precipitación en dicho punto que difiere en las salidas de los modelos determinista (línea azul) y las predicciones del VarEPS.



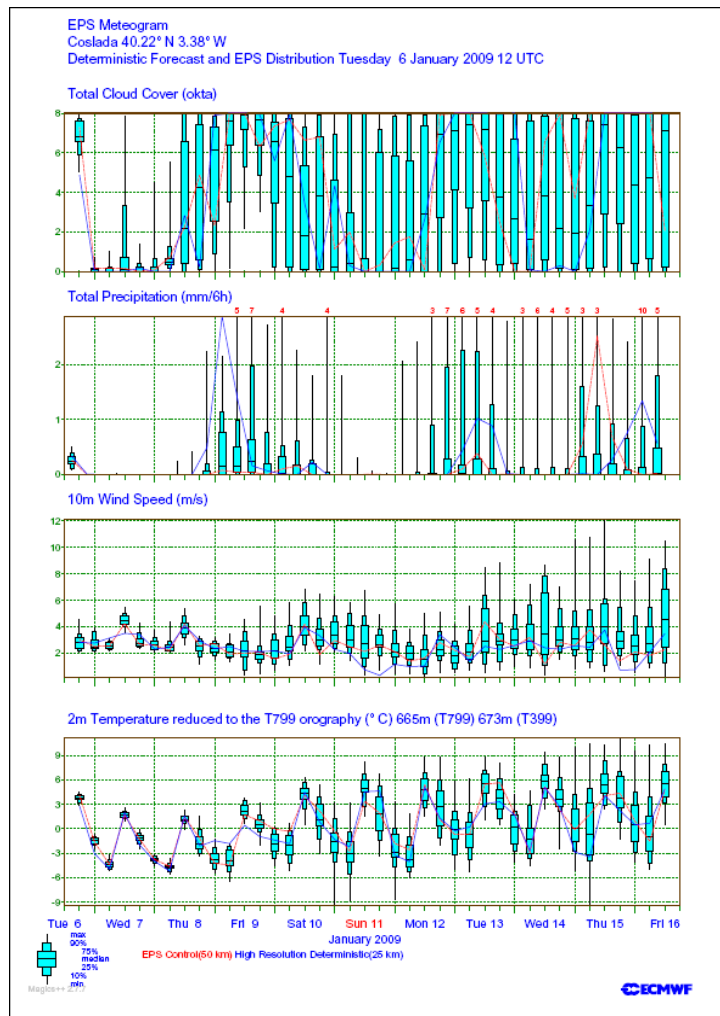
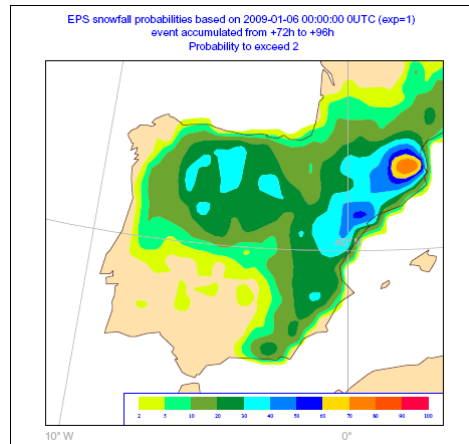


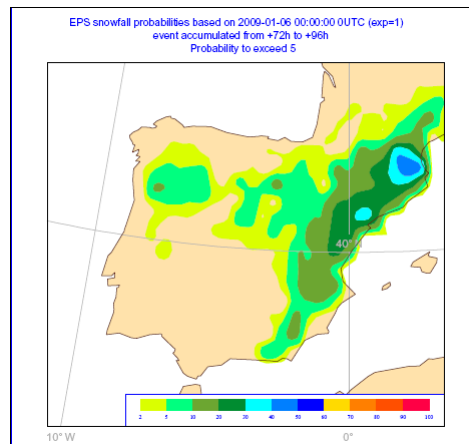
Figura A.3.2. VarEPSgramas para Coslada según las salidas del VarEPS para las pasadas del día 6 a las 00 UTC y a las 12 UTC. Nótese las marcadas diferencias entre los campos de precipitación entre ambas pasadas, tanto en las predicciones del modelo de alta resolución, línea azul, control, en rojo, y el resto de los escenarios. La pasada de 12 UTC es más “pesimista” que la de 00 UTC. Fuente: CEPPM.

Para situaciones de alto impacto social, es fundamental trabajar con “toda la gama” de probabilidades, tanto más baja cuanto mayor sea dicho impacto social. Los VarEPSgramas muestran ciertas probabilidades, con los escenarios asociados, que podrían dar nevadas significativas en la zona asociada. Otra forma de verlo, espacialmente, es mediante los mapas de probabilidad ajustados a umbrales para destacar fenómenos de características adversas, como se aprecia en las siguientes figuras.

c.- Mapas de probabilidad nevadas



a)



b)

Figura A.3.4. Mapas de probabilidad de nieve acumulada en 24 horas para la pasada del modelo VarEPS del CEPPM, según pasada del 6 a las 00 UTC: a) para 2 cm y b) para 5 cm. La escala inferior está ajustada a intervalos equivalentes. Fuente CEPPM.

Figuras proporcionadas por Antonio García Méndez del CEPPM.

4.- Mapas de precipitación diaria de 07-07 h, días 8, 9 y 10

Se han generado, *a posteriori*, los mapas de precipitación de los días de interés teniendo en cuenta todos los datos disponibles de estaciones principales, automáticas, termo-pluvios, etc., de 07- 07h. Como se indicó en el Apartado II, sobre los datos de nevadas, la mayoría de la precipitación caída en la zona centro se puede considerar que lo hizo en forma de nieve por las bajas temperaturas alcanzadas en dichos días en capas bajas y superficie.

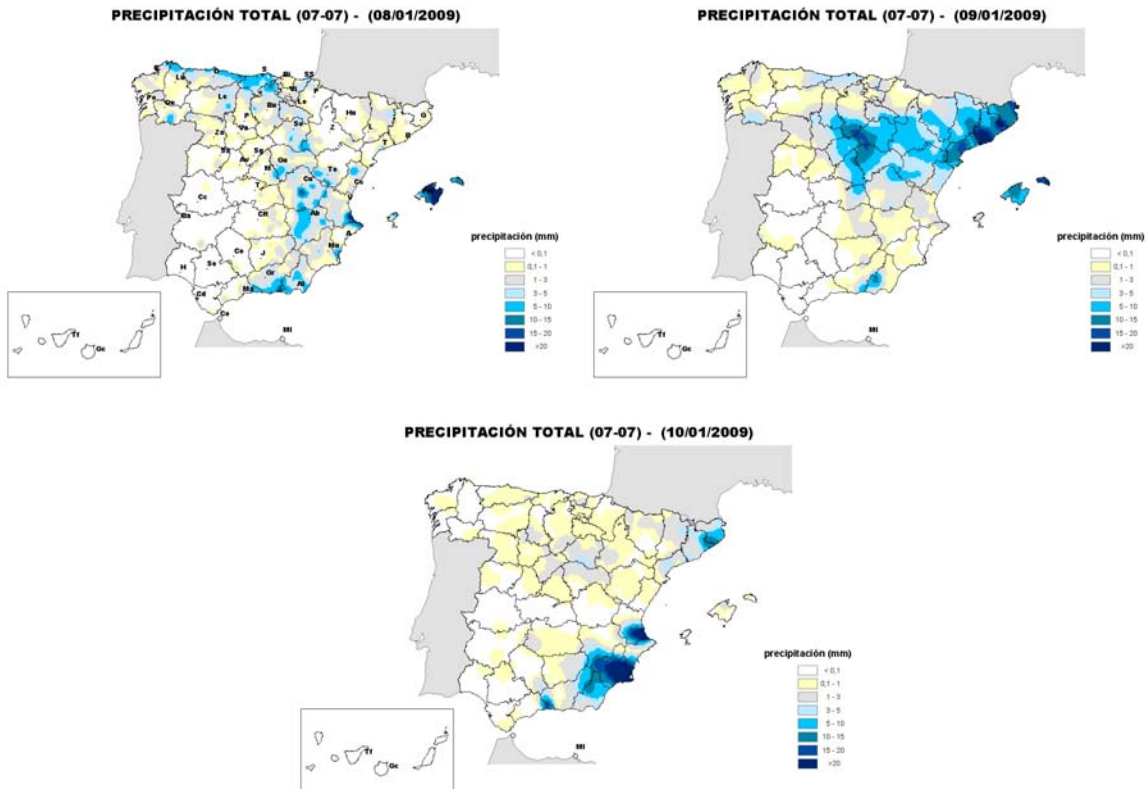


Figura A.4.1. Precipitaciones diarias registradas de 07-07 horas para los días 8, 9 y 10 de arriba a bajo, respectivamente, en mm, y según la escala adjunta. Las capitales de provincia y ciudades autónomas se indican en el primer mapa.

Figuras proporcionadas por María Esperanza Avello Miranda, Área de Climatología y Aplicaciones Operativas, Departamento de Producción de AEMET.