

Implantación de un Sistema de Prognosis Meteorológica para los usuarios de las Carreteras

Ángel J. Muñoz Suárez,

ICCP. Subdirección General de

Tráfico y Movilidad.

Dirección General de Tráfico.

Resumen

La implantación de una red de Sensores de Variables Atmosféricas en Carretera (SEVAC), en la red nacional de carreteras y autovías, posibilita conocer el estado de la meteorología de forma pormenorizada. Tomando como soporte las captaciones de archivo y puntuales, y complementándolas con el soporte de la evolución de la atmósfera a gran escala facilitadas por un modelo matemático (Modelo de Predicción Numérica -MPN-), se puede conseguir la realización de la gestión puntual y la de predicción de las variables atmosféricas. Este desarrollo se ha efectuado como prueba piloto en el entorno del Puerto de Somosierra en la autovía A-1 y, posteriormente, se ha extendido al tramo Madrid-Miranda de Ebro, lo que suministra una información y prognosis avanzada sobre el estado del pavimento por efectos meteorológicos. Los resultados se presentan en una interfaz web, que también incluye un acceso directo al denominado “entorno de nowcasting”

Palabras clave: SEVAC, prognosis, meteorología, carretera, alerta.

1. Introducción

Determinadas condiciones meteorológicas afectan de forma notable a

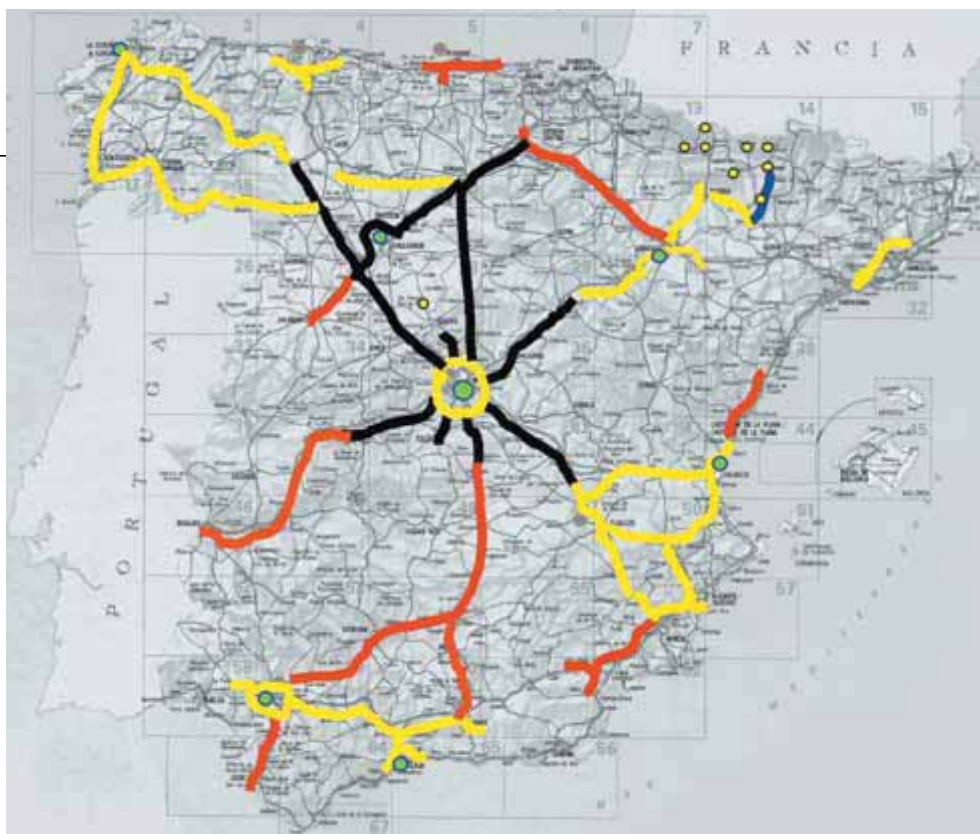


Figura 1. Mapa de ubicación de SEVAC.

la seguridad en los desplazamientos por carretera. La influencia del tiempo atmosférico se manifiesta a través de pérdida de adherencia al firme, disminución de la visibilidad y empujes laterales imprevistos por parte del viento. La pérdida de adherencia puede estar ocasionada por la presencia de hielo, nieve o agua en la calzada. La disminución de la visibilidad está provocada, fundamentalmente, por precipitación y niebla.

Con el objeto de conocer, en cada momento, el riesgo para la circulación que suponen los citados factores, la Dirección General de Tráfico (DGT), realizó en el periodo 1996/2000, un primer proyecto de implantación de un conjunto de sensores de variables atmosféricas en ca-

rrertera (SEVAC) en las vías radiales emanantes de Madrid, más la N-620, tramo Burgos-Valladolid (tramos en negro en la figura 1.)

A este proyecto le han seguido varios más, de modo que actualmente la red de SEVAC dependientes de la DGT es de más de 400 unidades con una distribución según se indica en la figura 1.

La DGT recibe en sus diferentes Centros de Gestión, procedentes de la red de SEVAC, los datos captados y registrados de las variables que denominaremos “atmosféricas” (viento, presión, temperatura y humedad del aire, radiación, precipitación, visibilidad) y las variables de estado del firme (temperatura en superficie y a -5 cm, altura de agua y salinidad).

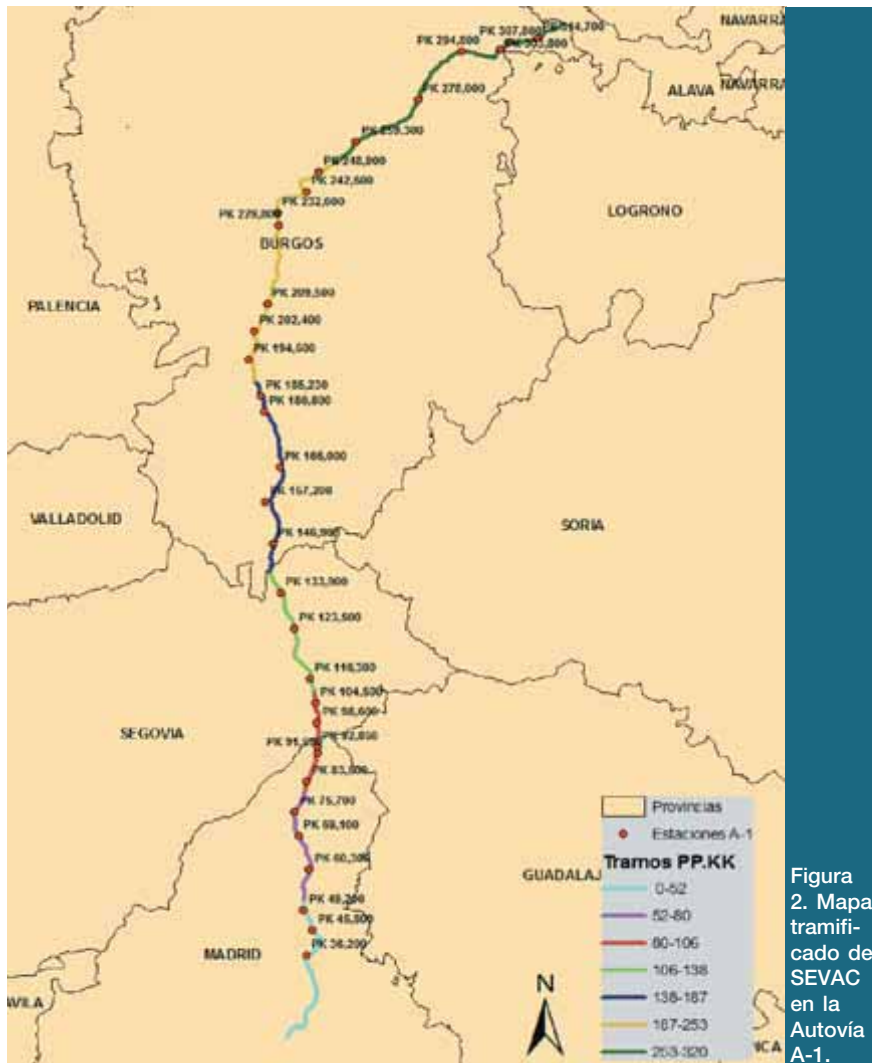


Figura 2. Mapa tramificado de SEVAC en la Autovía A-1.

Como quiera que es posible incrementar notablemente el contenido informativo que ofrece esta red de estaciones mediante la generación de predicciones, diarias y para los próximos días, de las distintas variables meteorológicas y de pavimento, la DGT ha contratado con la compañía Meteorológica el desarrollo y prestación de un servicio de pronosis y predicción para las estaciones de la A1 (ver figura 2 en la página siguiente).

Este servicio ha entrado en funcionamiento a principios de enero de 2009, como prueba piloto en la zona del entorno del Puerto de Somosierra y actualmente, desde enero de 2010, se está extendiendo a toda la A-1, desde Madrid hasta Miranda de Ebro.

Estas predicciones ayudarán a planificar las actividades mitigadoras de los fenómenos adversos (cortes en la circulación, distribución de fundentes, retirada de nieve...). También serán

empleadas para avisar a los usuarios de los riesgos de los desplazamientos con suficiente antelación a través de la web pública de la DGT, (días u horas antes de los desplazamientos).

A continuación se describen sus principales características funcionales.

2. Tecnología empleada en la predicción para estaciones

La calidad esperable de las predicciones está avalada por la tecnología empleada en la generación de las mismas, que se describe brevemente a continuación.

Para realizar las predicciones de variables meteorológicas, específicas para cada estación, se emplearán tres fuentes de información:

- Las observaciones “de archivo” (observaciones realizadas por la estación durante toda su vida operativa).

- Las observaciones en tiempo real.

- Las predicciones de evolución de la atmósfera a gran escala facilitadas por un Modelo de Predicción Numérica (MPN).

La evolución en las próximas horas y días de las variables atmosféricas en un punto concreto (estación) del territorio depende de la evolución a gran escala de la atmósfera. Para la previsión de la evolución atmosférica, en un horizonte superior a las 2 ó 3 horas, se utilizan los denominados Modelos de Predicción Numérica (MPNs). Son modelos matemáticos operados en superordenadores que representan el sistema climático mediante una malla tridimensional que abarca la atmósfera y las capas más superficiales de mares y continentes.

Entre puntos contiguos de esa malla se calculan flujos de energía, masa y cantidad de movimiento y se integran en el tiempo para predecir los estados atmosféricos futuros. El espaciado entre los puntos de la malla (la resolución espacial de la misma) es, por motivo de limitaciones en la velocidad de computación actualmente disponible, insuficiente para describir algunos elementos del mundo real, como la geomorfología, que influyen decisivamente sobre las condiciones meteorológicas cercanas a la superficie terrestre. Este espaciado, que es en la actualidad del orden de decenas de km (en el mejor de los casos de algunos km), obliga al MPN a representar, por ejemplo, la geomorfología real, de una forma muy simplificada, lo que limita la calidad de sus predicciones en zonas de relieve complejo, como la mayor parte del territorio español.

Por lo expuesto anteriormente, para obtener previsiones de calidad específicas para un punto (estación) concreto es preciso realizar un proceso denominado “reinterpretación” del MPN. En la reinterpretación son necesarias observaciones “de archivo” realizadas por una estación situada en el punto de interés. El MPN ofrece la información sobre la evolución futura

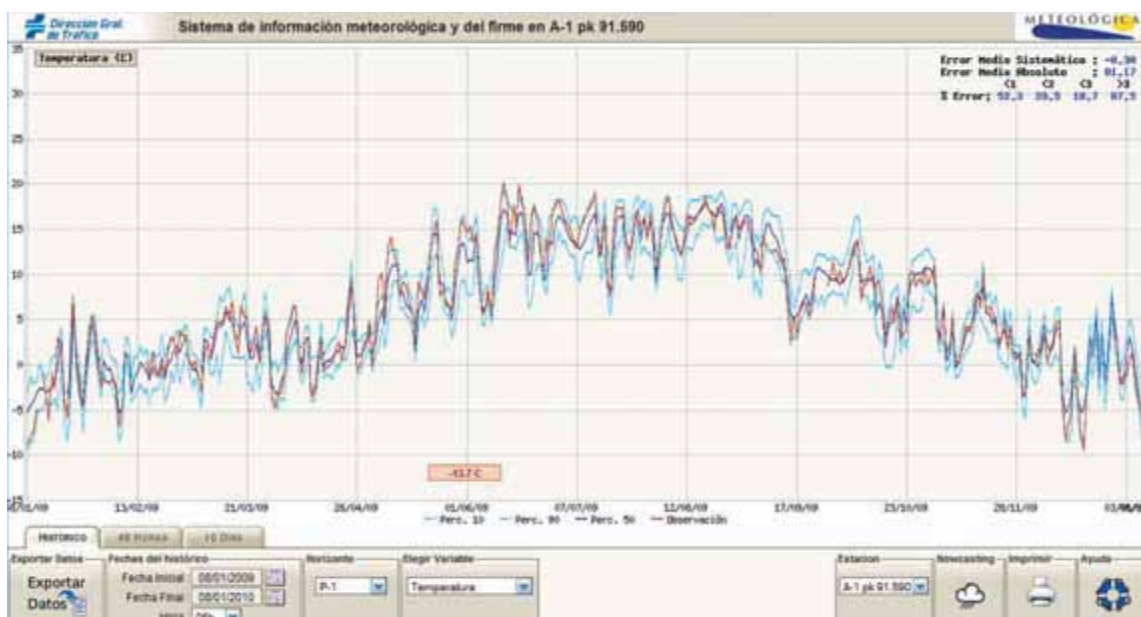


Figura 3. Contraste y análisis de error entre predicción - observación de temperatura, para 06:00 realizadas con un horizonte de 24 horas, para la estación meteorológica p.k. 91,590 durante el periodo de 08/01/2009 hasta el 08/01/2010, donde se muestra un error medio absoluto en la predicción de 1,17 °C.

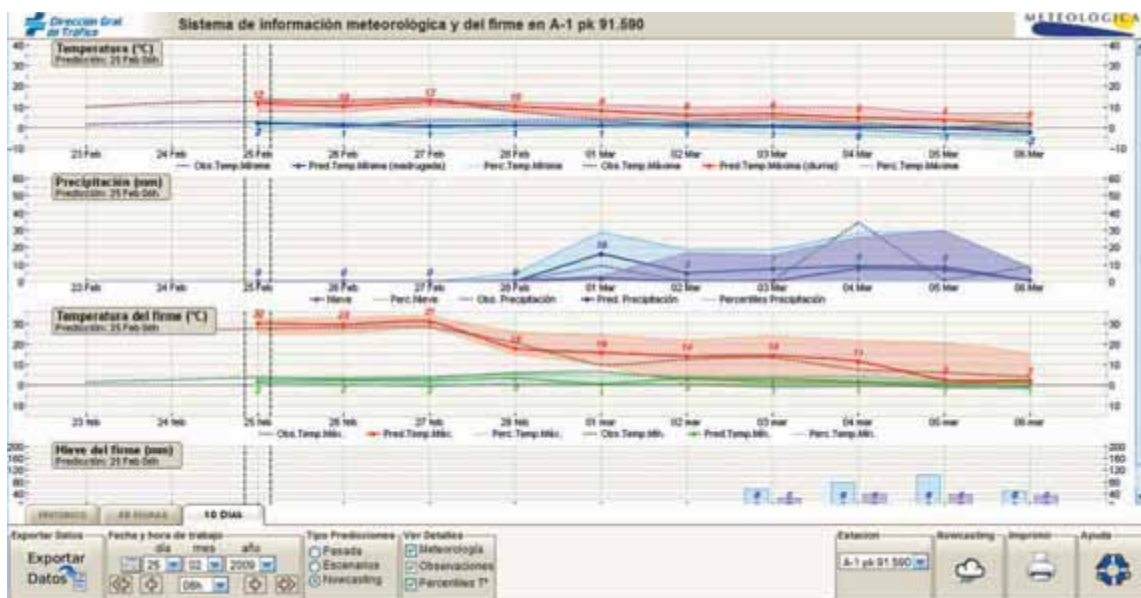


Figura 4. Predicción y observación meteorológica con resolución diaria para la estación meteorológica p.k. 91,590.

a gran escala de las condiciones atmosféricas, y las observaciones de la estación permiten su ajuste a la realidad local. Para ello se emplea un modelo empírico, específico para cada estación y variable, que relaciona con las observaciones de la estación los valores predichos por el MPN en la vertical del punto en cuestión. El modelo empírico se calibra utilizando bancos de datos históricos con períodos coincidentes de predicciones del MPN y de observaciones (de "archivo") de la estación.

Las observaciones en tiempo real de cada estación se emplean para corregir continuamente las predicciones (en las primeras horas de alcance de las mismas).

En el servicio se emplean predicciones de los dos MPNs con mayor calidad de predicción para la Península: el MPN del *European Center for Medium Range Weather Forecasting* (con un alcance de predicción de 10 días y una resolución espacial de 25 km) y el MPN de la Agencia Estatal de Meteorología (AEMet) HIRLAM 0,05° (con menor alcance temporal que el del ECMWF, son sólo 36 horas, pero mucha mayor resolución espacial, 5 km).

3. Características de las predicciones

El sistema de predicción suministra predicciones meteorológicas es-

pecíficas para cada una de las estaciones de la red, con las siguientes características:

- Variables: viento (velocidad y dirección), temperatura y humedad del aire, nubosidad, precipitación (cantidad y naturaleza -lluvia, nieve-).

- Alcance: 10 días. Desde H+00 hasta H+240.

- Resolución temporal: horaria (predicciones para las próximas 240 horas).

- Actualización: cada hora.

- Expresión: probabilística, incorpora la incertidumbre asociada a la predicción.

- Formato: tablas, gráficos y textos en una interfaz web de acceso restringido para el cliente, así como

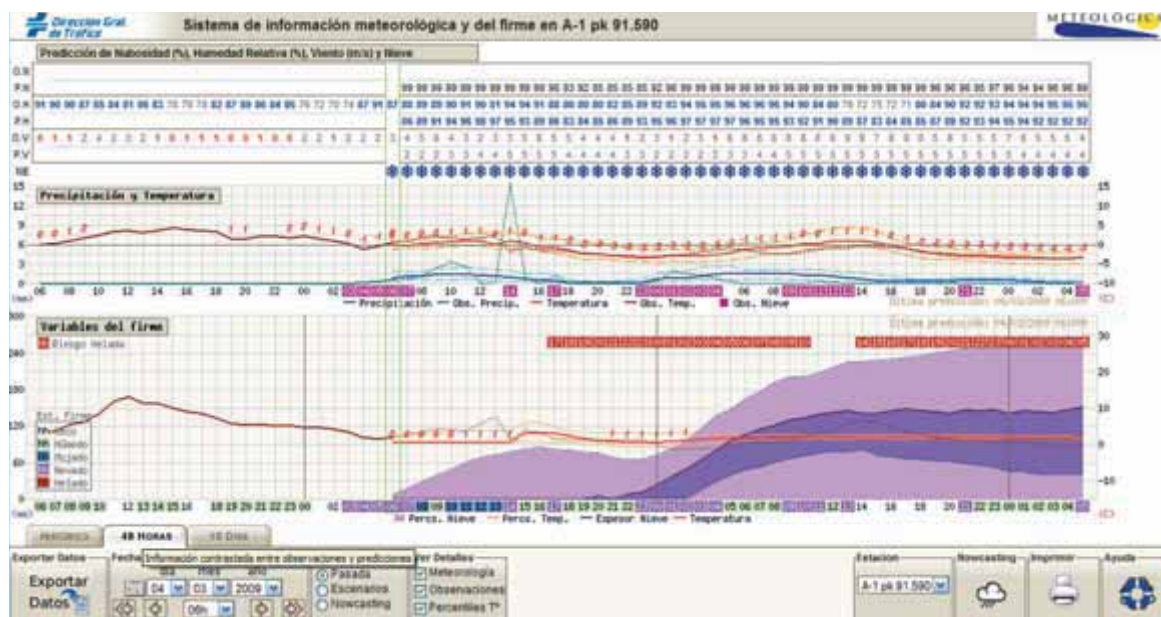


Figura 5. Predicción horaria para la estación p.k. 91,590, en un episodio de acumulación de nieve en calzada, el día 04/03/2009.

envíos de ficheros de predicción, vía FTP/mail.

■ **Control de calidad:** la interfaz permite el contraste, para cualquier período del pasado, de las observaciones de cada estación (y cada variable) con las predicciones realizadas (con distintos alcances). El contraste se puede realizar visualmente (mediante gráficos) y con tablas que resumen la calidad según diversos índices de utilización internacional.

La calidad de predicción es muy elevada. En las figuras 3 y 4 se muestran ejemplos gráficos, obtenidos del propio entorno de análisis de calidad de la interfaz web. Se trata de predicciones de temperatura a las 06 de la mañana para una de las estaciones de la A1, concretamente la situada en el p.k. 92,590, situada en el puerto de Somosierra.

En la figura 3 se muestra el gráfico de contraste y análisis de error entre predicción y observación de temperatura; y en la figura 4 se ofrece el gráfico de las predicciones realizadas con un día de antelación (predicciones realizadas la madrugada de hoy para la madrugada de mañana). La predicción probabilística se expresa mediante los percentiles 10 y 90. Cuando la predicción probabilística es correcta ("fiable") el percentil 10 de la predicción superará el valor finalmente observado aproximadamente en un 10% de los casos. El

percentil 90 lo hará en un 90% de los casos. El valor observado se hallará entre ambos percentiles con un 80% de probabilidad. Por tanto, la mayor o menor separación de los percentiles 10 y 90 es una medida de la incertidumbre asociada a cada caso concreto de predicción. El percentil 50 se toma como valor central o valor categórico de la predicción.

Para permitir que la incertidumbre asociada a la predicción meteorológica se incorpore a las predicciones de pavimento, el sistema suministra la predicción meteorológica en forma de 100 escenarios. Cada escenario constituye un futuro meteorológico posible completo (datos de todas las variables meteorológicas cada hora para las próximas 240 horas), y tiene la misma probabilidad de ocurrencia que los demás (escenarios equiprobables). Considerados en su conjunto además representan la incertidumbre asociada a la predicción meteorológica probabilística de la que proceden. Por ejemplo, pongamos el caso de una predicción que para cierta estación y para el horizonte D+5 (para el quinto día del alcance) ofrece una probabilidad de helada del 70%. Para que los 100 escenarios guarden coherencia con esta predicción probabilística, en ese mismo día D+5, en 70 de ellos ha de encontrarse una temperatura mínima igual o inferior a 0°C, y los 30 restantes deben presentar temperaturas

mínimas positivas.

Además de las características de equiprobabilidad y coherencia con la predicción probabilística, los escenarios han de tener otras dos características: coherencia intervariable y coherencia temporal.

4. Tecnología empleada en la predicción de variables de pavimento

Para la predicción de las variables del pavimento se emplea un modelo de firme. Es un modelo unidimensional de balance de masa y energía que incorpora los últimos avances en materia de predicción del comportamiento de pavimento, incluyendo formación de hielo y manto de nieve. El modelo se alimenta con las predicciones de variables meteorológicas y devuelve predicciones de las variables del firme.

En cada ejercicio de predicción, para cada estación, el modelo se ejecuta con cada uno de los 100 escenarios meteorológicos futuros generados por el sistema de predicción y produce a su vez 100 escenarios futuros de estados del pavimento. De esta forma, la incertidumbre correctamente cuantificada de la predicción meteorológica se refleja en la incertidumbre de la predicción del estado del firme.

Para la calibración del modelo de pavimento son necesarios datos so-

bre el tipo de perfil del firme (materiales y profundidad de las distintas capas) en el punto donde está la estación, e información microtopográfica (mapa 1/5 000) para conocer la insolación esperable en la calzada (zonas en umbría total o parcial,...) y el horizonte óptico del punto que afecta a la *ratio* de emisión de radiación infrarroja (p.e. a igualdad de otros factores el enfriamiento nocturno es menor en puntos con horizontes ópticos reducidos (carreteras en trinchera o rodeadas de edificios o árboles) ya que parte de la radiación emitida es devuelta al pavimento por estos obstáculos en vez de perderse en el firmamento).

5. Características de las predicciones de pavimento

Las predicciones de pavimento suministradas por el servicio tienen las mismas características de alcance, resolución temporal, frecuencia de actualización expresión y formato que las predicciones meteorológicas. Las variables de estado del pavimento son altura de la capa de nieve, presencia de hielo en calzada y temperatura de la superficie de firme.

El sistema está mostrando una gran eficacia en la previsión de los eventos de acumulación de nieve en el pavimento. Por ejemplo, el día 04/03/2009 en la estación meteorológica p.k. 91,590 se muestra la predicción de acumulación de nieve en la calzada horaria, cuantificando la incertidumbre (percentiles: bandas de color moradas) con las observacio-

nes (estimaciones: recuadros morados en cada hora). (Ver figura 5).

6. Interfaz de trabajo y alarmas

La interfaz de trabajo del servicio es accesible vía Internet, y para su emisión y estudio se ha dividido la A-

bajo de la Dirección.

7. Interfaz web predicciones para estaciones

En el **entorno de predicción**, se facilita la información de lo ocurrido **las últimas 24 horas y las próximas**

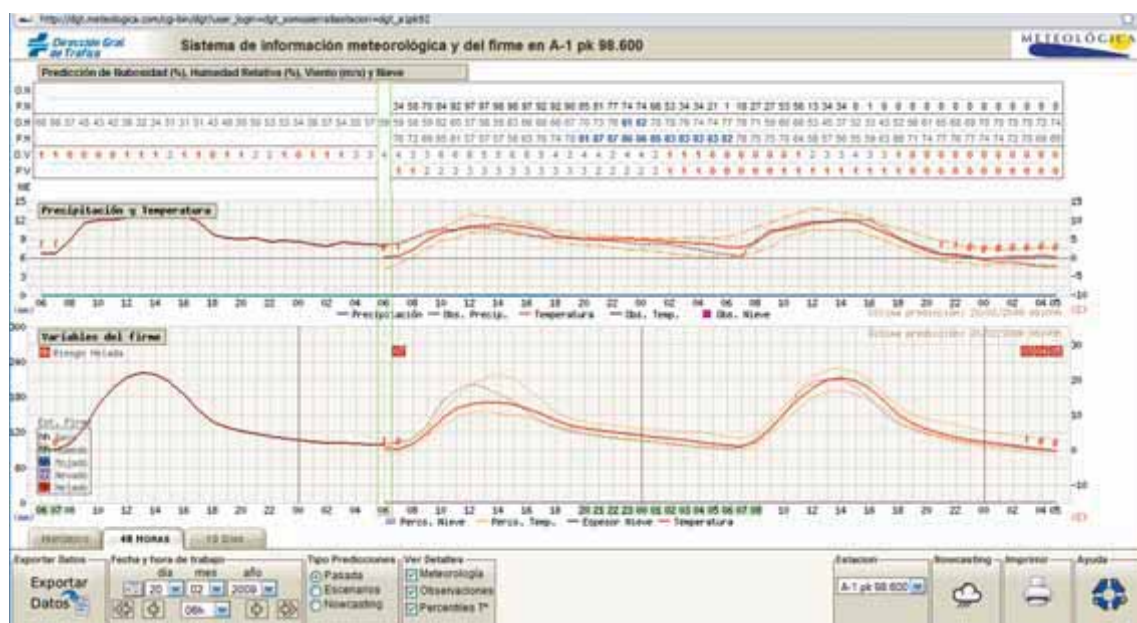


Figura 6 : Entorno de predicción meteorológica horaria y variables del firme.

1 en tramos, a los que se les ha asignado grupos de SEVAC, como estaciones representativas de tales tramos.

La página consta de cuatro entornos diferentes.

- Interfaz web con detalle de las predicciones para cada estación.

- Boletín resumen para tramos del trazado.

- Mapas resumen para la totalidad del trazado.

- Entorno de "Nowcasting" o predicción inmediata.

Además se incluye un sistema de alarmas por e-mail y SMS, el cual permite que la atención del equipo de la DGT a los factores meteorológicos se limite a los contextos (momentos y ámbitos geográficos) en los que estos factores afectan claramente a las actividades de esta Dirección General. El sistema permite seleccionar variables, niveles de intensidad y probabilidades de ocurrencia para ajustar las alarmas al entorno de tra-

48 horas ó 240 horas. El usuario puede elegir la fecha y hora de acceso y si selecciona una fecha del pasado, los gráficos superponen sobre la predicción las observaciones que se realizaron, pudiéndose determinar el grado de acierto en esa situación concreta.

La figura 6 adjunta es un ejemplo de la pantalla del **Entorno de predicción**, en este caso con un alcance de 48 horas.

Como puede verse, el tercio superior de la misma se dedica a las variables meteorológicas, y los dos tercios inferiores se utilizan para expresar las variables del firme.

El **entorno "histórico"** permite seleccionar, para cada estación, un período del pasado, una variable (meteorológica o de pavimento), una hora y un alcance, y visualizar la evolución de dicha variable a la hora en cuestión durante el período seleccionado. También aparecen las predicciones correspondientes realizadas con el al-



Figura 7.



Figura 8. Interfaz resumen de los tramos de la A-1.

cance elegido. Esto **permite contrastar la calidad de las predicciones**. Además aparecen algunos índices de calidad calculados con los datos de observación y predicción. En el ejemplo de la figura 7 puede verse (en rojo) la evolución de la temperatura del aire a las 06:00 durante el período 01-11-2007 al 01-03-2008, en la estación denominada p.k. 92,850 en el Puerto de Somosierra. En azul las predicciones realizadas con 24 horas de anticipación.

8. Boletín resumen por tramos

El servicio de predicción presenta un entorno resumen de las situacio-

nes meteorológicas previstas para los próximos diez días en cada estación y agrupadas por tramos; identificando las condiciones atmosféricas y de pavimento en cada estación. Se presenta un entorno visual amigable e intuitivo a través de un perfil longitudinal de la carretera, tal como indica la figura 8.

La información por tramos muestra el episodio meteorológico previsto para cada día de alcance y estación, mediante iconos representativos que se activan en función de la categoría del fenómeno atmosférico y su repercusión en el firme. La gama de iconos y colores de los mismos permite tener una visión rápida de la situación en el tramo y para cada día

(acumulaciones de nieve en calzada, temperaturas por debajo de 0°C, nevadas moderadas o fuertes,...). Se muestran también las temperaturas máximas y mínimas del día, tanto del aire como del pavimento.

Además se incorpora una ventana de generación de comentarios automáticos sobre la situación prevista (Alertas).

El interfaz permite introducirse en el entorno técnico para cada estación, pinchando en el icono de cada estación.

9. Entorno de predicción inmediata

La interfaz web también incluye un acceso directo al denominado “**entorno de nowcasting o predicción inmediata**” (ver figura 9) o predicción para las próximas 1 ó 2 horas. Contiene, por una parte, información en tiempo real de distintos telesensores: satélite, radar y detectores de descargas eléctricas, y adicionalmente, predicciones de modelos mesometeorológicos como el modelo HIRLAM 0,05 del INM. Frecuencia de actualización de la información:

- Observaciones de rayos, cada 5 segundos.
- Observaciones de satélite, cada 15 minutos.
- Observaciones radar, cada 30 minutos.

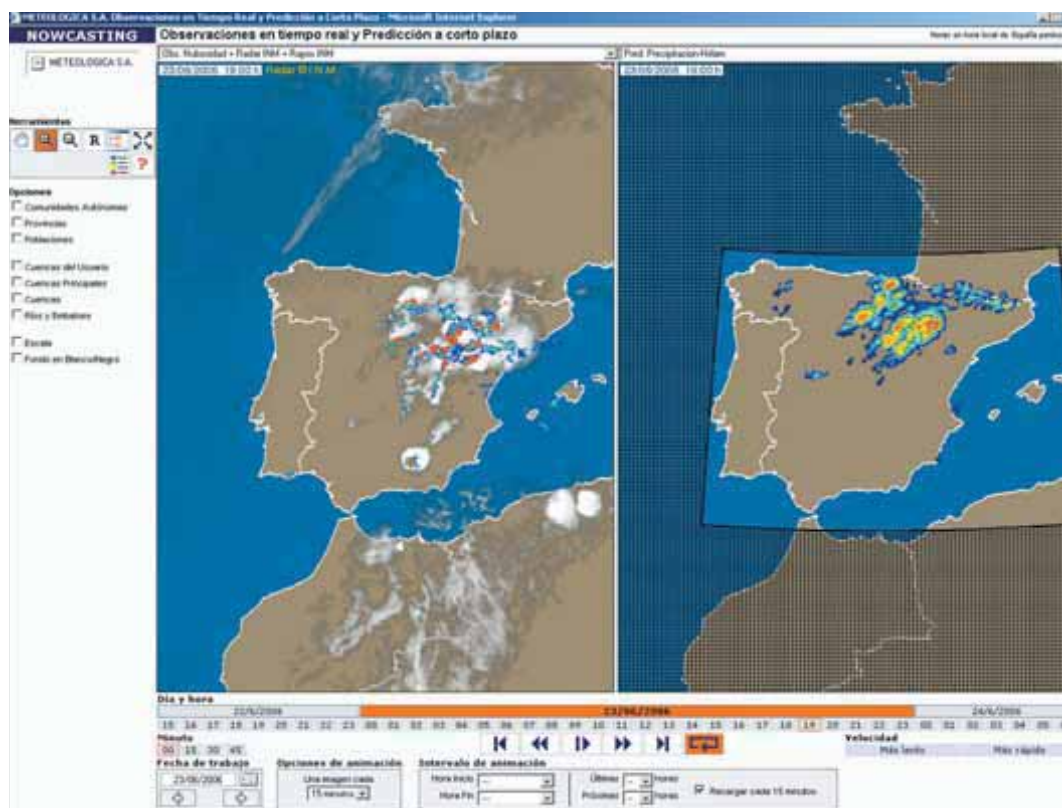


Figura 9. Entorno de observaciones en tiempo real y predicción a corto plazo (Now Casting o predicción inmediata).

percentiles, a partir de los cuales se pueden establecer los escenarios de mayor riesgo de un fenómeno atmosférico o de pavimento para poder emitir una alarma concreta.

Las alertas se muestran a través de los iconos en el “Boletín Resumen por Tramos”, así como en la generación automática de comentarios. De igual forma se pueden realizar envíos de las alarmas vía MAIL y SMS.

11. Incremento de prestaciones

En futuras versiones se pueden incorporar mejoras adicionales al sistema:

■ Considerar el **Efecto del tráfico** sobre las variables de pavimento: el modelo SNTherm RT permite considerar la densidad de tráfico sobre la temperatura del firme y la ocurrencia de hielo o nieve en calzada. Se podría habilitar esta función y considerar los valores de tráfico medidos en tiempo real (si existe dicha

información) o esperados para cada hora o día del año.

■ **Modelo de toma de decisiones** que permite actualizar la situación de las distintas estaciones, tras las actuaciones de mantenimiento (retirada de nieve o aplicación de fundentes).

■ **Extensión de la cobertura espacial.**

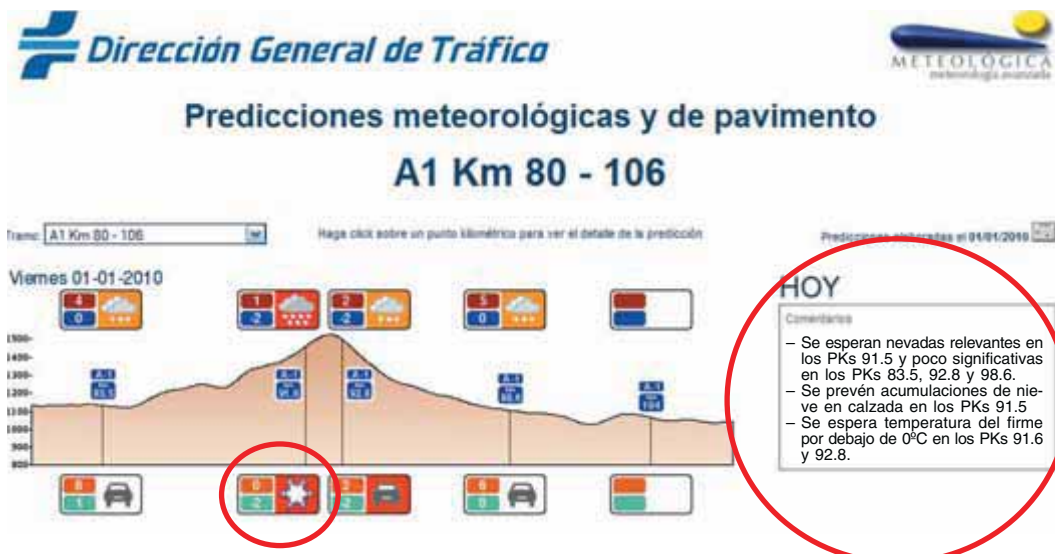


Figura 10. Entorno resumen con alertas mediante iconos y comentarios para un episodio de nevadas en el tramo del puerto de Somosierra (km 80-106).

■ Predicciones HIRLAM, cada 6 horas (nieve, lluvia, viento, temperatura, nubosidad).

10. Servicio de alarmas

El servicio de predicción contempla un sistema de alarmas para poder determinar rápidamente una

situación o episodio relevante. Las alertas se elaboran a partir de una serie de algoritmos que determinan el tipo de alarma sobre las predicciones generadas diariamente. Las reglas de las alarmas tienen en cuenta los umbrales críticos en cada variable y estación. El sistema de predicción cuantifica la incertidumbre de la predicción mediante