

# MAPAS TÉRMICOS PONDERADOS EN CÁSTILLA LEÓN, ESPAÑA

J. VALDECANTOS  
Alvac S.A., Spain  
[jvaldecantos@alvac.es](mailto:jvaldecantos@alvac.es)  
M. VAZQUEZ  
Alauda, Spain  
[mvazquez@alauda.es](mailto:mvazquez@alauda.es)

## RESUMEN

Una de las actividades más críticas en la gestión de carreteras es el tratamiento preventivo para evitar la formación de hielo en el pavimento. Entre las técnicas utilizadas para optimizar la aplicación de esos tratamientos se encuentra la creación de mapas térmicos de carretera. Esta técnica produce unas “huellas térmicas” de la calzada, identificando zonas de la carretera que, en diferentes condiciones, se muestran más frías o más calientes que el resto. Esta información destaca zonas potencialmente peligrosas y, con equipos adecuados, puede emplearse para obtener pronósticos del futuro estado de la carretera.

Este tipo de modelos, por tanto, son eficaces a la hora de alertar a los gestores de carretera sobre las zonas en las que puede haber una acumulación de hielo o nieve en la carretera. No lo son, en cambio, a la hora de interpretar el riesgo que esto representa para el usuario, basado en las características de la carretera. La formación de placas de hielo, por ejemplo, siempre representa un peligro, pero éste es mucho menor en el caso de una recta que cruza una llanura que en una curva delimitada por un barranco.

En la carretera N601 en Valladolid, se creó un proyecto piloto para incluir otras categorías de factores relacionados con la seguridad de la carretera en una aplicación predictiva que utiliza los mapas térmicos. Estos “factores de seguridad vial” se tienen en cuenta a la hora de sugerir al gestor de la carretera las zonas que priorizar en los tratamientos. Estos factores incluyen variables como el coeficiente de fricción en seco, las pendientes, el trazado, el riesgo de colisión con obstáculos cercanos, la presencia/ausencia de barrera, etc. Cada uno se pondera y se obtiene un coeficiente que se aplica a la predicción de temperatura de aplicación de los mapas térmicos.

## INTRODUCCIÓN

Si uno tuviese que clasificar, por orden de importancia, los cambios que ha habido en el mantenimiento de la vialidad invernal en las últimas décadas, pocos tendrían tanto derecho a encabezar la lista como el auge de las estrategias preventivas sobre las reactivas. Con el paso del tiempo, más y más gestores de carretera han dejado de dedicarse exclusivamente a retirar y fundir nieve cuando ésta cae, empleándose también en la aplicación de tratamientos a la carretera antes de que se vea afectada por la meteorología adversa, reduciendo así su impacto y facilitando la posterior limpieza y retirada de nieves.

Según estas estrategias se han generalizado, han aparecido herramientas cada vez más precisas y sofisticadas de apoyo a la toma de decisiones en la aplicación de tratamientos preventivos, facilitando a los gestores de carretera la identificación de potenciales problemas en el futuro, el momento exacto en el que se esperan, cuándo actuar para

prevenirlos, y qué puntos de la carretera exactamente presentan un mayor riesgo de resentirse por la acción de una meteorología adversa.

La elaboración de mapas térmicos es una de estas herramientas. Estos mapas se elaboran conjuntando información geográfica, información sobre las características físicas de la carretera y datos estadísticos (de temperatura a lo largo del recorrido). Mediante la identificación de la huella térmica de una carretera, conseguimos ver cómo la temperatura de distintos puntos de la carretera varía con respecto a un punto de referencia, permitiéndonos identificar las zonas que tienden a mostrar temperaturas más frías o calientes que ese punto predeterminado. Hecho esto, podemos monitorizar la temperatura en ese punto y proyectar los diferenciales de temperatura observados a todo el tramo para conocer, en el momento, las zonas que están peligrosamente frías.

Desde los 90 las técnicas utilizadas para su obtención han evolucionado, y diferentes factores se han incluido para mejorar los pronósticos: latitud, pendiente, taludes, profundidad óptica, emisividad, rugosidad, factor “Sky view”, etc...

Si se combina esa información con una predicción meteorológica precisa y un modelo de predicción de temperatura de firmes, entonces se pueden obtener herramientas que alerten a los responsables de mantenimiento con antelación sobre las zonas en las que existe riesgo de formación de hielo negro, de placas de hielo causadas por la re-congelación de nieve fusionada o de acumulación de nieve. Un magnífico ejemplo de este tipo de aplicaciones, por ejemplo se puede encontrar en el estudio “Night Icing Potential” (potencial de formación de hielo) presentado por Dellanoy et al. en la conferencia anual de la Asociación de Transportes de Canadá en 2008 [4].

Por muy útil que resulte esta herramienta, sólo suministra información relativa al estado de la calzada, y por lo tanto, el potencial que tienen ciertas áreas de helarse. Un “gestor” de carreteras tiene además que considerar otros factores para asegurarse que la carretera es segura. ¿Es más peligroso dejar de tratar una curva “caliente” en una zona montañosa y sin barrera que en una zona llana y “fría”? ¿Se debería priorizar el tratamiento de un tramo con capa de rodadura más antigua y desgastada sobre otro con una capa de rodadura recién renovada? ¿o una zona de tráfico intenso sobre una de tráfico ligero?

En un proyecto piloto en la N-601 en Valladolid (Comunidad Autónoma de Castilla y León, España central) la empresa de mantenimiento de carreteras Alvac procuró integrar estos factores en una herramienta de predicción meteorológica y de estado de la carretera. La idea básica consistía en “ponderar” los resultados suministrados por la herramienta de predicción con un análisis de riesgo y severidad potencial de accidente de la carretera y sus alrededores.

El sistema, en resumen, integra predicciones meteorológicas y predicciones sobre la temperatura de la carretera para identificar dónde existe el riesgo de que se forme hielo o se acumule nieve. Esta información se combina con el análisis de riesgo de la longitud del tramo, refinando así la predicción de meteorología en carretera, que pasa a incluir también factores de seguridad vial antes de presentar resultados. Veamos ahora, en algo más de detalle, cada uno de los elementos integrados en la herramienta: (1) Mapeo térmico (2) predicción meteorológica local y (3) factores de seguridad vial.

# 1. MAPEO TÉRMICO

## 1.1. INTRODUCCIÓN

Desde la década de los 80, se han presentado diferentes alternativas para analizar y predecir la temperatura de la superficie de la carretera en distintos lugares del planeta: Nueva Escocia, Canadá [4]; Japón [8]; Washington, USA [2]; Dinamarca [7]; Grecia [3]; Valonia, Bélgica [5]; etc. En estos estudios, la longitud del tramo de carretera a estudiar varía desde 140km [2] hasta 20km [8] y desde el nivel del mar [4] hasta una altitud de 800m [3]. A pesar de que las condiciones son bastante diferentes, todos los estudios siguen el mismo esquema para obtener las predicciones. Todos ellos se basan en lo que se conoce como la huella térmica (thermal fingerprint), que es la representación gráfica de la temperatura de la superficie la carretera frente a la distancia para una determinada ruta. Normalmente, la huella térmica se calcula para una serie de situaciones meteorológicas particulares o Tipos de Tiempo (Weather Types, WTs). La huella térmica resultante se utiliza posteriormente para proyectar localmente sobre la carretera (por ejemplo, a una resolución de 1km) las predicciones de temperatura a partir de estaciones meteorológicas existentes, que caracterizan secciones homogéneas de la carretera. El número de estaciones meteorológicas a lo largo de la carretera que se ha utilizado también varía de unos estudios a otros, desde una o dos estaciones en [4]; [9], hasta diez en [2].

En nuestro estudio se analiza un tramo de 50km de la carretera N-601 con una variación en altitud desde 799 hasta 697 m (ver Figura 1). Se dispone de una estación meteorológica a lo largo del tramo de estudio, que mide temperatura del aire, humedad y velocidad del viento (para identificar los distintos WTs), además de la temperatura de la superficie de la carretera, que se utilizan en METRo - junto con los pronósticos meteorológicos - para generar curvas de evolución de la temperatura del firme.

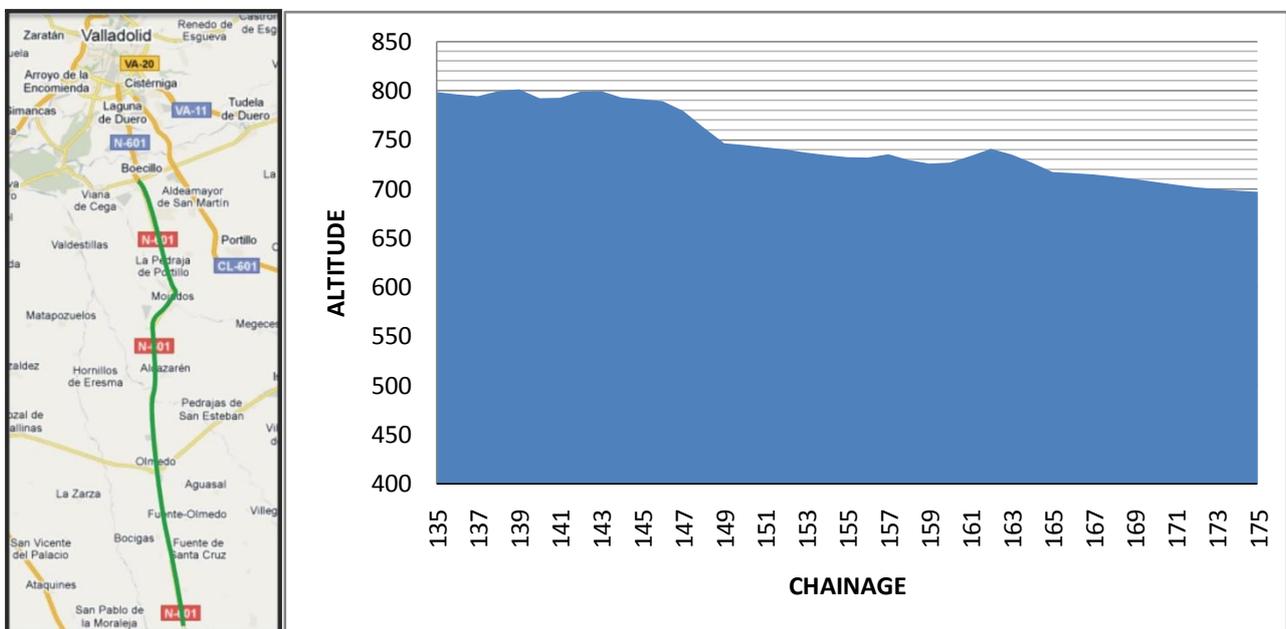


Figura 1 –Localización y perfil de la N601 en Valladolid

## 1.2. CÁLCULO DE LA HUELLA TÉRMICA (THERMAL FINGERPRINT)

El *Thermal mapping* o mapeo térmico es un proceso mediante el cual se mide la variación espacial de la temperatura de la superficie de la carretera, utilizando un termómetro infrarrojo de alta resolución. La toma de medidas se realiza al menos una vez al día (en IP2-Valdecantos-E

los dos sentidos de la autopistas, como en [8]). En general, las medidas se toman solo durante la noche, cerca de la hora a la que suelen registrarse las temperaturas mínimas (sobre las 07 UTC). No existe un consenso sobre la distancia que debe haber entre una medida y la siguiente; por ejemplo, en [3] toman medidas cada 10m, mientras que en [7] lo hacen cada 100m. Además, el número de días disponibles para obtener la huella térmica es muy diferente de un trabajo a otro, desde tan solo 3 días para [3], pasando por los 23 días de [4], hasta los 438 días disponibles en [2].

En nuestro caso, hemos realizado dos tomas diarias de medidas, cada 200m, la primera a las 07 UTC y la segunda a las 13 UTC, para caracterizar el ciclo diario y proporcionar una evaluación continua del riesgo en la carretera. Estas mediciones nos permiten caracterizar la *huella térmica* de la carretera con una resolución de 1km, además de proporcionarnos una estimación de la variabilidad térmica dentro de cada segmento de la carretera (que ha sido utilizada para controlar las heterogeneidades de dichos segmentos).

En general el proceso que se ha utilizado para obtener la *huella térmica*, a partir de las medidas que acabamos describir, se detalla a continuación (ver [4] para más detalles):

1. Configuración: Definir la resolución de la *huella térmica* (por ejemplo 1km) y los correspondientes puntos de control de la carretera, desde el inicial hasta el final.
2. Alineación de los datos: Como las medidas no se realizan exactamente en los mismos puntos de la carretera en cada una de las pasadas, es necesario seleccionar un criterio para determinar qué medida debe ser asignada a los puntos de control de la ruta.
3. Calcular las anomalías de temperatura de cada punto de medida de cada pasada  $\delta_{ri} = T_{ri} - \overline{T}_r$  donde  $T_{ri}$  es la temperatura de la carretera en el punto de control  $i$  para la pasada  $r$  y  $\overline{T}_r$  es la temperatura media de la carretera para esa pasada en particular.
4. Definir el número de WTs que caracterizan las diferentes condiciones meteorológicas que afectan a la carretera, y asignar cada pasada a un WT concreto (el WT que tenga lugar el día de la toma de medidas)
5. Calcular la curva media de las *huellas térmicas* pertenecientes a un mismo WT, como la media de  $\delta_{ri}$  para las pasadas  $r$  asociadas a ese WT.

Por último, la aplicación práctica de la *huella térmica*, para la predicción de la temperatura de la superficie de la carretera, requiere dividir la ruta en secciones homogéneas, asociadas con cada una de las estaciones meteorológicas situadas a lo largo de la carretera.

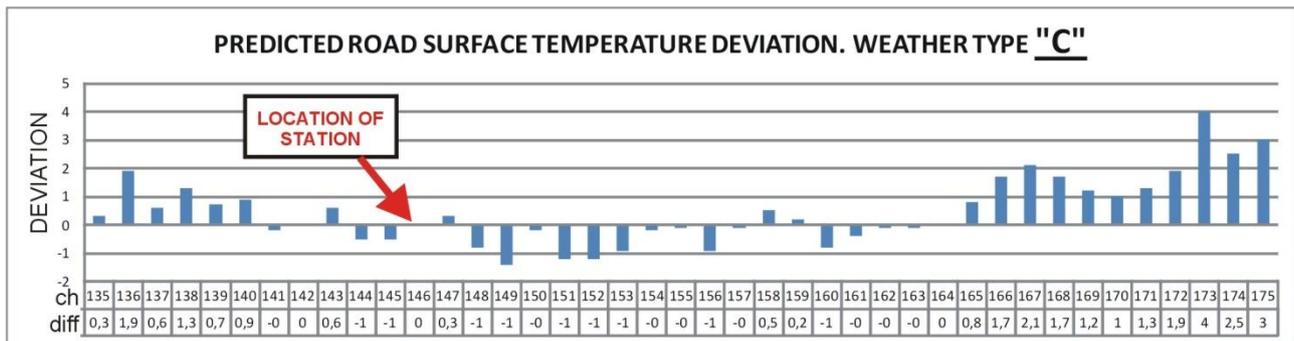


Figura 2 – Ejemplo de huella térmica

### 1.3. TIPOS DE TIEMPO

El paso 4 del esquema presentado anteriormente es un punto crítico del proceso, ya que hay muchas formas de clasificar las situaciones meteorológicas en función de la información disponible (ver [1] Anderberg, 1973, para obtener más información sobre técnicas de clasificación). Varios autores utilizaron una clasificación simple de tres WTs: extremo, intermedio y húmedo, basada en la cobertura nubosa y en la velocidad del viento [4] Otros autores, obtuvieron su clasificación a partir de los tipos de estabilidad de Pasquill, que se basan en la estabilidad atmosférica [8]; otros prefirieron utilizar técnicas objetivas de clasificación basadas en métodos estadísticos estándar, como k-means [6] o técnicas jerárquicas [9].

El algoritmo k-means es uno de los más populares dentro de las técnicas de clasificación, porque es muy sencillo de utilizar, a la par que efectivo. Este algoritmo agrupa n elementos en k clases, donde k es conocido a priori. Cada clase viene representada por la media de sus miembros, que se conoce como centroide. K-means parte de una clasificación aleatoria, con el objetivo de minimizar la distancia intra-clases. Existen diferentes criterios para calcular esta distancia; uno de los más comunes es la desviación estándar dentro de cada clase. En este trabajo empleamos una modificación del algoritmo k-means (Self-Organizing Maps, SOM), que permite ordenar topográficamente los WTs resultantes en una matriz bidimensional, de manera que WTs más similares se situarán más próximos entre sí, dentro de esta matriz bidimensional. Existen muchas aplicaciones interesantes de este orden topográfico desde el punto de vista de la visualización.

Para obtener los WTs, clasificamos las situaciones meteorológicas aplicando una SOM con 9 y 16 centroides, respectivamente, con la intención de evaluar la sensibilidad de los resultados. El estado meteorológico se define teniendo en cuenta los campos de temperatura, humedad y viento del modelo WRF, sobre la región de interés (un dominio de 81x81 km centrado en la carretera, con una resolución de 9km; es decir, un mapa de 9x9 pixeles). Las semejanzas entre dos estados atmosféricos diferentes se definen como la diferencia media de las correspondientes huellas térmicas; es decir, que la clasificación de los estados meteorológicos se realiza en función de la semejanza en las huellas térmicas y no de la semejanza en las situaciones meteorológicas.

## 2. PREDICCIÓN ATMOSFÉRICA

La predicción meteorológica a escala local es uno de los mayores retos en meteorología operacional, desde el punto de vista científico y socioeconómico. Los métodos de IP2-Valdecantos-E

regionalización (downscaling) trabajan post-procesando las salidas de modelos numéricos globales de la atmósfera (por ejemplo, el ECMWF o el modelo GFS) y utilizando modelos regionales adaptados a la región de interés (en este trabajo un dominio de 100x100km cubriendo el dominio de estudio). Aquí utilizamos simulaciones del WRF-UC Iberia 9km, realizadas con el modelo open-source WRF (Weather Research and Forecast), desarrollado por el NCAR (National Center for Atmospheric Research), por el Grupo de Meteorología de la Universidad de Cantabria (en particular, la versión WRF-ARW 3.1.1). Para simular el dominio final de 9km de resolución, corremos dos grids anidados a 27 y a 9km, para una pequeña región del Atlántico Norte y la Península Ibérica, mostrados más abajo. Cada vez que se lanza el modelo, se simulan, diariamente, un total de 108 horas; desde las 12 UTC del día D+0 hasta las 00 UTC del día D+4. En este caso se utiliza la proyección cónica 'Lambert Conformal'. Los resultados se obtienen diariamente para el dominio de 9km que cubre la región de estudio (ver figura 3). Además, también se realiza una interpolación lineal de los resultados a la posición local de la estación meteorológica, para proporcionar las condiciones del aire correspondientes a la localización de dicha estación. La Figura 1 muestra el meteograma correspondiente a la localización seleccionada. En ella se puede ver un 'ensemble' de cinco parametrizaciones físicas diferentes del modelo utilizado en este trabajo y los resultados se comparan con los obtenidos por el modelo HIRLAM a 16km de AEMET (ver <http://www.meteo.unican.es/localForecast> para más detalles).

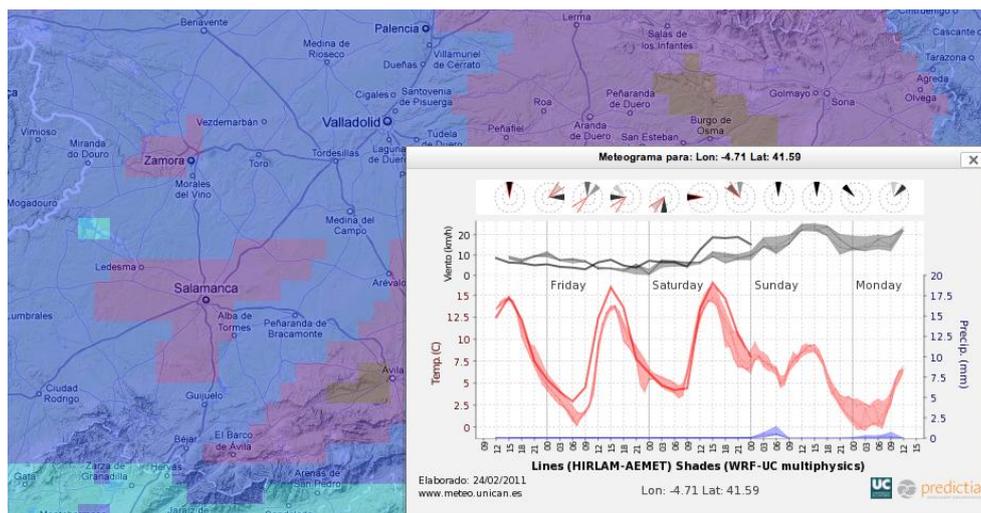


Figura 3 – Meteograma regional

### 3. FACTORES DE SEGURIDAD VIAL

#### 3.1. Descripción de carretera

La carretera objeto del estudio es la N601 en Valladolid: desde el límite con la provincia de Segovia en el punto kilométrico (PK) 135 hasta Boecillo en el PK 175. Se trata de una carretera de calzada única con dos carriles de 3,5m y arcén de 2m.

La carretera está ubicada en la meseta castellana, una región con inviernos fríos y unos requerimientos de mantenimiento de la vialidad invernal exigentes. La carretera discurre en una dirección Sur-Norte y tiene varias rutas de acceso. Las intersecciones más complicadas se gestionan con señalización luminosa y semáforos.

El alineamiento es mayoritariamente recto, con curvas de radio amplio. Las vías de acceso son bastante prolongadas, conforme con la actual legislación española.

El tráfico medio diario varía entre los 4700 vehículos en el extremo meridional de la carretera y 11,000 en el septentrional.



Figura 4 – N601

### 3.2. Indicadores de seguridad de carretera

Para conseguir el objetivo de incluir factores relativos a la seguridad vial por cada kilómetro, se había de elegir una metodología concreta. En la actualidad, los indicadores de seguridad se consideran herramientas objetivas que ofrecen buena información sobre el estado real de la carretera y sus infraestructuras. Hay varios métodos y procedimientos para generar indicadores. Dado que nuestro objetivo es suministrar información que sea de utilidad para que los gestores de carreteras diseñen sus estrategias en situaciones críticas como, por ejemplo, una helada, los indicadores debían ser sencillos y de fácil comprensión. Además, el output de la sección de temperaturas de la herramienta suministra una cantidad discreta de figuras (un margen de  $-4^{\circ}$  a  $6^{\circ}$  C). Los indicadores de carretera también deberían, por tanto, ser un número discreto de factores que tengan un buen encaje con la sección meteorológica del programa. Por estas razones, además de por estar muy extendido, se eligió el sistema de “estrellas” EuroRAP- PPC (puntuación de protección en carretera).

### 3.3. Método de puntuación de protección en carretera (PPC)

El consorcio europeo EuroRAP es el ente que está detrás del índice PPC (puntuación de protección en carretera- [de *Road Protection Score- RPS*]). Tras inspeccionar las infraestructuras de una carretera, se calcula una puntuación de protección en carretera (PPC) por cada tramo de 100 metros. Se evalúan tanto las medidas de prevención de accidentes de la carretera (elementos de seguridad primaria) como la protección frente a lesiones en caso de accidente (seguridad secundaria), resultando en una medida objetiva de la probabilidad de que en un tramo ocurra un accidente y de su severidad. Estas mediciones de PPC se usan como base para generar, mediante tablas normalizadas y algoritmos, una sistema de evaluación por estrellas (análogo a la valoración de seguridad de coches EuroNCAP).

#### 3.3.1. Factores de riesgo primarios (posibilidad de que ocurran accidentes).

Estos factores están relacionados con el equipamiento que tiene la carretera para prevenir accidentes. Elementos como pueden ser la señalización, alineamiento, amplitud de arcenes, etc. que pueden reducir las incidencias y accidentes en la vía. El PPC evalúa elementos asignando puntuaciones, como el ejemplo siguiente, referente a la alineación:

Delineation	Relative Risk
Adequate	1.00
Poor	1.20

Figura 5 – Ejemplo: Factor PPC. Fuente: IRap.net

### 3.3.2. Factores de riesgo secundarios (severidad de accidentes).

Estos factores valoran la “indulgencia” de la carretera para con los accidentes. Es decir, que, en caso de un accidente- como pueda ser una salida del trazado- existan mecanismos que reduzcan su severidad, como pueda ser la existencia de una barrera de seguridad en una zona con caída o la ausencia de obstáculos en los márgenes.



Figura 6 – Ejemplos de presencia y ausencia de barrera de seguridad en la N601

El PPC valora elementos tales como los que se presentan en la siguiente tabla:

Category	Risk Factor
Safety barrier	1.75
Distance to rigid object 5-10m	3.80
Deep drainage ditches and steep embankments	5.00
Cliff	10.00

Figura 7 – Ejemplo: factor PPC. Fuente: IRap.net

Y el listado completo de elementos evaluados es:

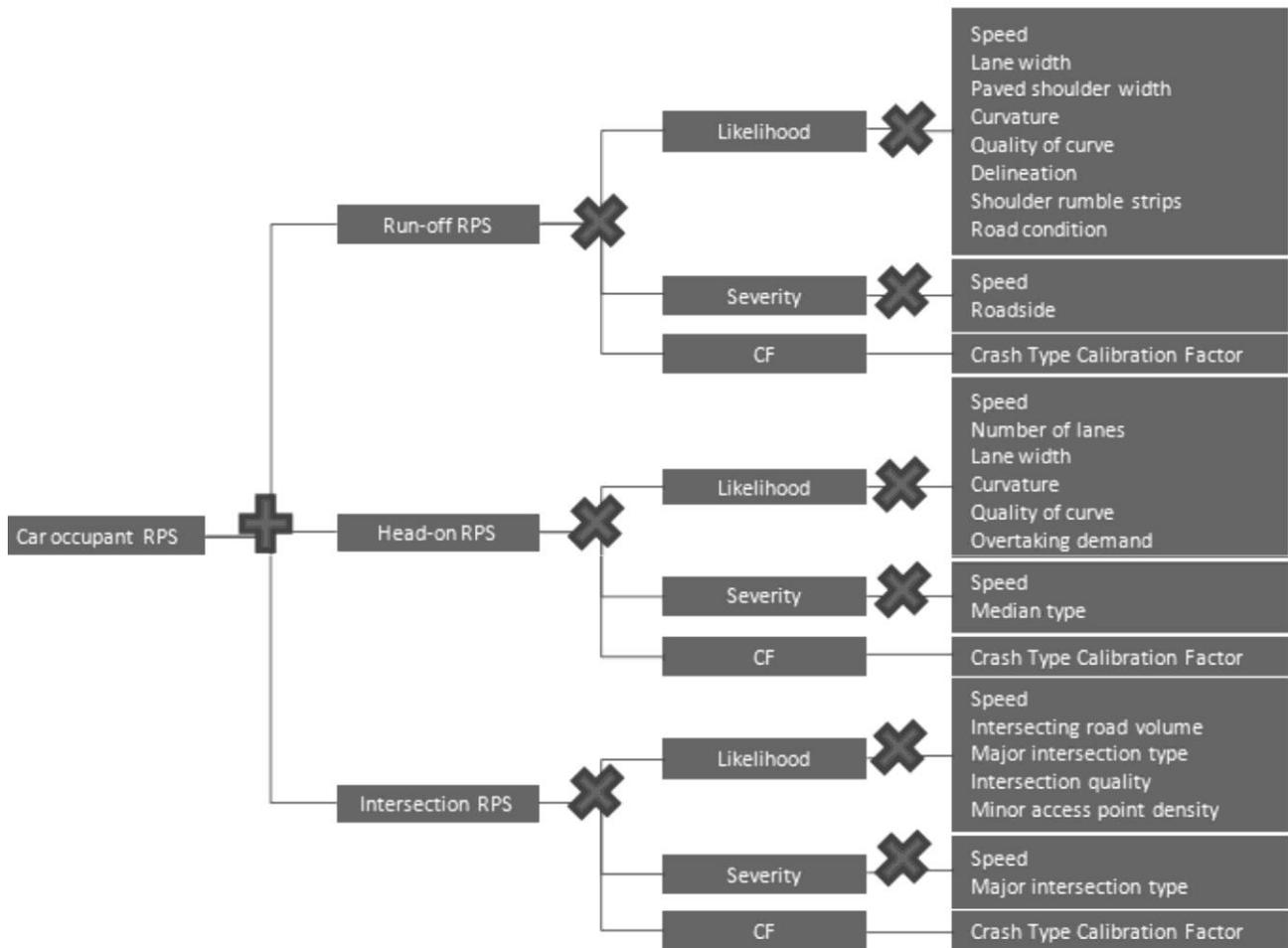


Figura 8 – Ejemplo: RPS para viajeros

Una vez evaluados todos estos elementos, se produce una puntuación por estrellas. Tal como se mencionaba anteriormente, la carretera se analiza en tramos de 100m. La puntuación puede, por tanto, variar a lo largo de la carretera. Dado que la herramienta de predicción de temperatura se desarrolló a una resolución de 1km, empleamos el mismo criterio para las evaluaciones de seguridad: se sacó una media del PPC de cada kilómetro para asignarle una puntuación por estrellas.

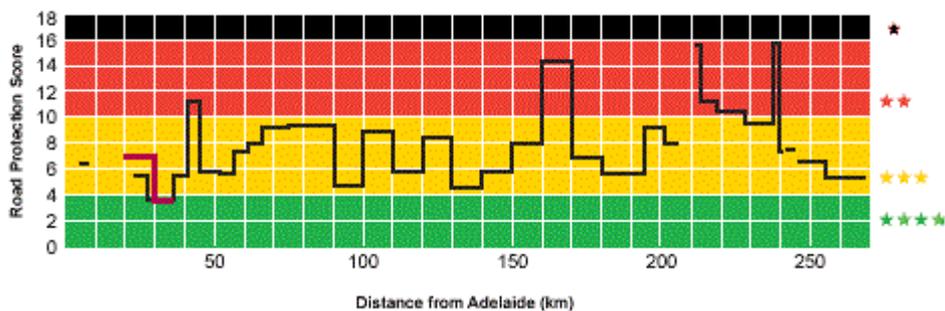


Figura 9 – Ejemplo: Tabla de puntuación por estrellas PPC. fuente: Ausrap.org

### 3.4. Integración de factores de riesgo

Las predicciones producidas por esta herramienta son empleadas tanto para la toma de decisiones tácticas (respuesta inmediata a situaciones) como estratégicas (planificación de respuesta a frentes). Los resultados que produce e informaciones que muestra son

sencillamente, temperaturas y franjas horarias. Un sencillo método para integrar los factores de riesgo con consiste en “restar” una cantidad a la temperatura predicha en función del “ranking de riesgo” de cada kilómetro. De esta manera, se incluye un factor de corrección, asegurándose de que la temperatura predicha errará del lado de la cautela (presentando predicciones más frías) en la secciones de mayor riesgo. La idea detrás de este método de integración de la información es la de no suministrar información adicional al tomador de decisiones, evitando añadir complejidad a sus tareas y simplificando el interfaz y la presentación de información.

El peso asignado (grados “restados” a la predicción por cada kilómetro en función del ranking de estrellas) a cada escenario de riesgo fue el que se muestra en la figura 9. La figura 10 muestra un ejemplo de empleo. Por último, la figura 11 muestra el interfaz operativo de la herramienta.

★★★★	0
★★★	-0.5 °C
★★	-1 °C
★	-2 °C

Figura 10 – Valores de “corrección” de la temperatura de superficie predicha.

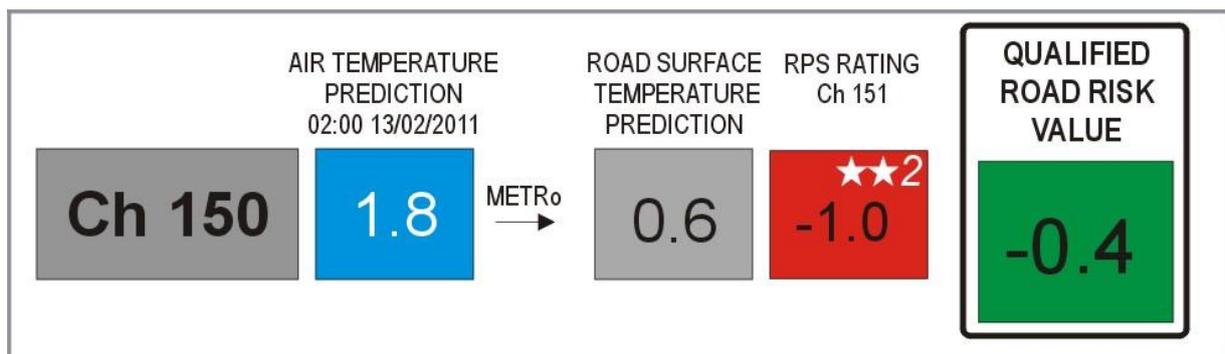


Figura 11 – Ejemplo de integración de la puntuación EuroNRAP con la temperatura predicha en la N601 para el PK 151. Temperaturas en °C.

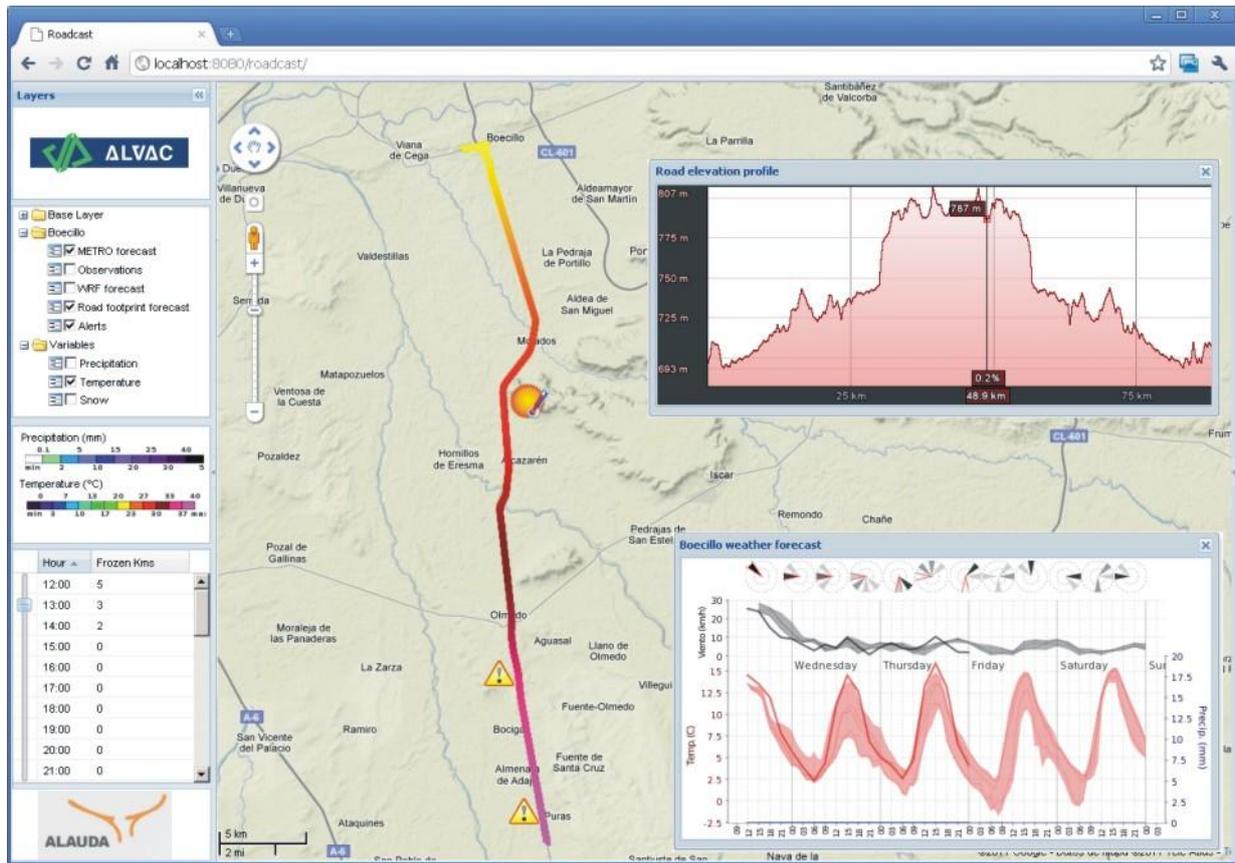


Figura 12 – Display de la herramienta de predicción térmica ponderada.

#### 4. CONCLUSIONES PRELIMINARES

Pendiente de verificación y ajuste de precisión del sistema (a ser realizada en los siguientes meses y, especialmente, a lo largo de la próxima campaña invernal), los gestores de carretera de la N601 han encontrado útil la herramienta tanto desde el punto de vista estratégico (en la planificación de la respuesta a eventos meteorológicos) como en el plano táctico (como herramienta de apoyo a la toma de decisiones durante uno de esos eventos). A los beneficios de predicciones más ajustadas al tramo se añade el sistema de alertas respecto a puntos de potencial riesgo, que les permitió asignar recursos de un modo más efectivo y con mayor confianza. Estos resultados han resultado ya tan prometedores que la compañía se dispone a mapear la red que mantiene en la provincia por completo. Se prevé que este trabajo esté terminado e incluido en el interfaz de la herramienta para el principio de la campaña de invierno 2011-2012.

Uno de los aspectos de mayor provecho del proyecto deriva, precisamente, de la estrecha colaboración de los propios gestores de la carretera. La herramienta se ha ido adaptando a sus necesidades reales y modos de trabajo, tal como se nos comunicaban directamente. Un claro ejemplo de esta colaboración es el desarrollo del display de la herramienta, de la presentación de la información, que evolucionó mucho en respuesta a las sugerencias de los usuarios. El modelo original ofrecía, con gran inmediatez, detalladas explicaciones de las razones por las que ciertos tramos se consideraban de “alta prioridad”. Esta información se fue reduciendo en el display inicial, resultando en una presentación de la información más intuitiva que permite al usuario tener una visión de conjunto con un vistazo, simplifica el procesamiento de información y facilita la toma rápida de decisiones en situaciones de alta tensión.

La decisión acerca de si optar por el interfaz “complejo” o el “simplificado”, eso sí, dependerá en gran medida de los hábitos de trabajo y preferencias del encargado de vialidad que lo emplee. Puede ser, por tanto, que la solución más elegante sea crear un display de tres capas: (1) meteorología+temperatura de carretera, (2) Alertas PPC y (3) capa integrada mediante el método de la “resta” o ponderación de temperaturas. En este modo, la planificación de tratamientos a largo plazo se podría hacer aprovechando las capas 1 y 2, mientras que la respuesta inmediata a eventos en tormenta se podría apoyar en el display integrado.

Otro importante factor a analizar es el método utilizado para definir el riesgo de accidente de los distintos tramos de carretera. Aunque el PPC parece ideal por ser un método numérico basado en datos objetivos y fácilmente observables, tiene la desventaja de ser muy laborioso de producir. Optar por el PPS de EuroRap implica, al fin y al cabo, el análisis de 28 factores por cada 100 metros de carretera. Si es la propia empresa de mantenimiento la que se encarga de esta labor, puede realizarse a un coste reducido, dado que se puede emplear a trabajadores cualificados que ya están trabajando en el tramo a analizar. Pero si se requiriese un análisis externo, el proceso requeriría de un trabajo relativamente intensivo y prolongado que, sin duda, generaría unos sobrecostes elevados.

Este problema se puede evitar en dos maneras. En primer lugar, a lo largo del estudio hemos encontrado que las asociaciones de automovilistas pueden ser una fantástica fuente de información sobre índices de seguridad vial. Las dos principales asociaciones en España, RACE y RACC (Real Automóvil Club de España y Real Automóvil Club de Cataluña, respectivamente), elaboran anualmente informes empleando la metodología EuroRAP. Aunque estas asociaciones no pueden cubrir la totalidad de la red viaria y, además, no siempre pueden facilitar el acceso al análisis detallado (por tramos de 100m) al público, sí que son fuente de una gran cantidad de información fiable con la que ponderar las predicciones.

Una segunda solución podría ser el empleo de los partes de accidentes de un tramo como factor de ponderación. Las estadísticas de accidentes de un tramo a lo largo de un periodo de tres o cuatro años pueden ser representativos de los tramos en los que se registran más accidentes (presencia/ausencia de accidentes por PK), el tipo de accidente (salida de carretera o colisión, con vuelco o sin vuelco...), las condiciones meteorológicas en que sucedieron (seco, lluvia, nieve, visibilidad buena/reducida) y su severidad (sin consecuencias personales, lesión leve, lesión grave o fallecimiento). Esta muestra de datos sería sensiblemente más fácil de obtener y procesar, y seguramente produciría resultados muy similares (de hecho, estos datos son empleados por el propio consorcio EuroRAP para otros ejercicios estadísticos y de evaluación de carreteras), por lo que seguramente sea la vía a tomar si se concluye que la fuerza del sistema reside en la simplificación. Los responsables de este proyecto planean generar un visor con este nuevo factor de riesgo de carretera para correrlo en paralelo con el modelo original y observar las diferencias que pudiese presentar.

Otro camino de mejora vendría de un incremento de la capacidad de verificación y corrección del modelo en tiempo real. Vendría, por ponerlo de otra forma, de un incremento de la cantidad de puntos en los que observar, en el momento, las condiciones meteorológicas y la temperatura de carretera. En este sentido, la integración en el software de los registros de una estación meteorológica móvil en los vehículos de supervisión cuyos datos automáticamente corrigiesen los sesgos predictivos otorgarían

una tremenda fiabilidad al sistema. Pero dista de estar claro si este método sería recomendable, tanto por su costo como por la logística de empleo del aparato: en el primer caso, conviene recordar que uno de los puntos fuertes del sistema es su bajo coste, y cualquier elemento encarecedor debe ser estudiado con cuidado. En el segundo, es poco probable que un gestor de carreteras pueda dedicar recursos a la supervisión de temperaturas durante un episodio de meteorología adversa- todos los medios disponibles se emplearían en las tareas de retirada de nieves y tratamientos curativos.

Una última posibilidad de mejora sería el desarrollo de estaciones meteorológicas de bajo coste. Un buen número de estaciones básicas que suministren poco más que temperatura de aire, calzada, humedad relativa y viento facilitarían la verificación y corrección de predicciones en tiempo real. Aunque, en este caso, al ser fijas y autónomas se elimina el problema de la disponibilidad durante eventos críticos, sigue existiendo el problema del coste. Los autores del proyecto investigan también esta alternativa, aunque, a fecha de presentación de este documento, aún no han encontrado un sistema suficientemente robusto y económico como para ser empleado.

## BIBLIOGRAFÍA

1. Anderberg MR (1973): Cluster Analysis for Applications. Academic Press, New York
2. Berrocal VJ, Raftery AE, Gneiting T and Steed RC (2010): Probabilistic weather forecasting for winter road maintenance. *J. Am. Stat. Assoc.*, 105(490):522{537,doi:10.1198/jasa.2009.ap07184.
3. Bouris D, Theodosiou K, Rados K, Makrogianni M, Koutsoukos K and Goulas A (2010): Thermographic measurement and numerical weather forecast along a highway road surface. *Meteorol. Appl.*
4. DeLannoy PJ, Allan S, Bullock TM, McClintock JD, Moat G, Robbins D, Sayer R, Woodhams P, Richard P and MacDonald B (2008): Night icing potential demonstration project. Fourth National Conference on Surface Transportation Weather; Seventh International Symposium on Snow Removal and Ice Control Technology, Transport Research Circular Number E-C126.
5. Erpicum M, Frederic M, Mabilie G, Nyssen T and Litt S (2005): Real-time regional automatic mapping of nocturnal winter road temperatures: Application of a methodology of analogous situations, case of the Walloon region (Belgium). 15th Conference on Applied Climatology / 13th Symposium on Meteorological Observations and Instrumentation.
6. Gutierrez JM, Cano R, Cofiño AS and Sordo CM (2004): Redes Probabilísticas y Neuronales en las Ciencias Atmosféricas. Monografías Ministerio de Medio Ambiente.
7. Mahura A, Petersen C, Sass B and Holm P (2007): Thermal mapping data for verification of the overall performance of the DMI-HIRLAM Road Weather Modelling System. Technical Report 06-16, 14.
8. Takahashi N, Tokunaga RA and Nishiyama N (2010): A method for predicting road surface temperature distribution using Pasquill stability classes. 15th Standing International Road Weather Commission (SIRWEC) Conference.
9. Weller J and Thornes JE (2001): An investigation of winter nocturnal air and road surface temperature variation in the West Midlands, UK under different synoptic conditions.
10. Star Rating Roads For Safety. The EuroRAP Methodology September 2009. EuroRAP505.04
11. Star Rating Roads For Safety: The iRAP Methodology iRAP504.04 v1.0 July 2009
12. Beltrán Rodat, Guillermo, (2009), Indicadores de seguridad de la infraestructura viaria en los accidentes por Salida de Vía. Revisión de la velocidad límite. Universitat Politècnica de Catalunya