

# **SISTEMAS DE INFORMACIÓN METEOROLÓGICA PARA LA GESTIÓN DE OPERACIONES PREVENTIVAS DE VIALIDAD INVERNAL**

José M. Pardillo Mayora  
Dr. Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos

## **Operaciones de prevención de la formación de hielo en la calzada**

La extensión sobre el pavimento de productos químicos depresores de la temperatura de congelación en los primeros momentos de una nevada o poco antes de que se inicie, impide que la nieve o el hielo se adhieran a la superficie de la calzada. Este efecto puede mantenerse mediante aplicaciones periódicas de los fundentes con dosificaciones moderadas. Estas operaciones constituyen la base de los que se denominan programas preventivos de la formación de hielo (anti-icing programs), por contraposición a los programas tradicionales de despeje de la nieve y el hielo acumulados (de-icing programs), en los que se espera a que se acumule una cierta cantidad de nieve sobre la calzada antes de iniciar el extendido de fundentes y la operación de las máquinas quitanieves. Las ventajas principales de este sistema según la experiencia obtenida en los Estados Unidos y en los países del Norte de Europa, son que permite mantener las mejores condiciones posibles de vialidad durante la tormenta, a la vez que reduce notablemente los costes de la conservación invernal.

El desarrollo eficaz de los programas preventivos exige que las operaciones se organicen teniendo en cuenta el objetivo básico de evitar la adherencia de la nieve o el hielo a la calzada. Con este fin, resulta esencial que los responsables de la conservación cuenten con una información precisa de la situación meteorológica y su evolución prevista, así como con una sistemática de análisis de la información que les permita adoptar las decisiones adecuadas para iniciar las operaciones de conservación invernal en los momentos oportunos.

La carencia de información detallada e inmediata sobre las condiciones meteorológicas locales del entorno de la carretera y sobre el estado real del pavimento, fuerza a menudo a los responsables de la conservación invernal a actuar guiados por la intuición. Al no conocer la trayectoria exacta o la intensidad de las tormentas, no les resulta posible optimizar la actividad de las cuadrillas quitanieves. En cambio, si cuentan con la información adecuada pueden iniciar la aplicación de fundentes inmediatamente antes de la tormenta, evitando así que la nieve o el hielo se adhieran al pavimento, lo que facilita mucho el despeje y reduce los costes y los retrasos del tráfico. Por otra parte si las previsiones indican que la temperatura del pavimento no va a descender por debajo del punto de congelación, el tratamiento resulta innecesario, y por tanto puede evitarse con el consiguiente ahorro.

Este planteamiento de las operaciones de vialidad invernal resulta muy adecuado para las redes de carreteras de mayor nivel de servicio, ya que la vigilancia y la rapidez de respuesta necesarias para desarrollarla requiere unos medios, que habitualmente sólo están disponibles en las vías de la red principal. Como contrapartida, la naturaleza

preventiva de esta política permite proporcionar a los usuarios los mejores niveles de servicio, ya que en muchos casos se evita la formación de capas de nieve sobre el pavimento durante la tormenta, y en caso de que por la intensidad de la misma se produzca la formación, se minimiza el tiempo de despeje de la calzada tras la tormenta.

### **Sistemas de información meteorológica**

Los sistemas de información meteorológica vial (Road Weather Information Systems, RWIS) se han convertido una importante herramienta para la gestión de la conservación invernal. Los RWIS constan de un conjunto de sensores especializados, un sistema de comunicaciones y un soporte informático que permiten controlar la temperatura del aire y del pavimento y predecir si la precipitación se helará sobre el pavimento.

Un sistema de información meteorológica incluye:

- Las predicciones generales y las imágenes de satélite y radar que facilita el Centro Meteorológico Nacional para la zona de operación, complementadas con un análisis de la evolución prevista de los parámetros relevantes para el desarrollo de las operaciones de vialidad invernal realizada específicamente para el Centro de Conservación Invernal y adaptada a las necesidades del sistema.
- Una serie de estaciones de captación de datos (Remote Processing Units, RPU), que incluyen sensores que registran las condiciones atmosféricas (dirección y velocidad del viento, temperatura del aire, humedad relativa o punto de rocío y existencia de precipitaciones), las condiciones del pavimento (temperatura, estado seco o mojado, presencia y concentración de fundentes) y las condiciones del terreno (temperatura del terreno bajo la carretera), un procesador de la información y un sistema de transmisión de la misma al ordenador central.
- Un Procesador Central que recibe la información enviada desde las distintas RPU, la introduce en el modelo de predicción de las condiciones del pavimento y proporciona la información necesaria para establecer el plan de acción.
- Un sistema de comunicaciones entre los distintos elementos del sistema y entre el Centro de Control y los conductores y usuarios de la carretera.

### **Predicciones meteorológicas**

La decisión de cuando iniciar el tratamiento preventivo de la calzada para evitar la formación de hielo y de qué tipo de tratamiento aplicar sólo puede adoptarse adecuadamente si se dispone de una buena información sobre la situación y la evolución prevista del tiempo, incluyendo la predicción de cuando se iniciará la precipitación en cada zona, qué forma tendrá, las temperaturas previstas del aire, la evolución de las mismas durante y después de la tormenta y la dirección y velocidad del viento.

La fuente principal de información en el ámbito nacional y regional es el Servicio Meteorológico Nacional de cada país. Sin embargo, las predicciones de estos centros cubren una amplia gama de necesidades y como consecuencia no son suficientemente

específicas para soportar las decisiones de un programa de prevención de la formación de hielo. Para suplir esta falta de especificidad los responsables de la conservación deben contar con un servicio especializado, propio o contratado, que elabore predicciones locales adaptadas a sus necesidades a partir de los datos facilitados por el Servicio Meteorológico Nacional.

La organización y el funcionamiento de los servicios meteorológicos varía de un país a otro. La Organización Mundial de Meteorología, patrocinada por la ONU establece los estándares y las normas necesarias para conseguir la compatibilidad entre la información de los distintos centros. Esta se distribuye a todo el mundo a través del Sistema Global de Comunicaciones (SGC). El Centro Europeo de Predicción Meteorológica a Medio Plazo localizado en el Reino Unido conecta más de 160 países con la red del SGC. Otros centros continentales están situados en Washington, Moscú, Nueva Delhi, Melbourne y Tokio. En cada uno de los centros un supercomputador integra y digitaliza las observaciones meteorológicas de la zona, y esta información, junto con las imágenes de los satélites y el radar sirven de base para prácticamente todas las predicciones.

La predicción meteorológica se realiza a partir de las observaciones disponibles mediante la aplicación de modelos de simulación del comportamiento de la atmósfera. La información histórica acumulada se utiliza para establecer y calibrar los modelos y desarrollar la sistemática de elaboración de las predicciones y los procedimientos de alerta. Al establecer los modelos se tiene en cuenta también el conocimiento existente de los patrones locales de evolución del tiempo

Los sistemas de modelos de predicción del tiempo constan de modelos globales, regionales, locales y puntuales. Los primeros incluyen todo el mundo y normalmente se ejecutan cada 12 horas, proporcionando datos de partida para los modelos de menor nivel. El modelo global está basado actualmente en una malla de definición de 200 km de lado, y proporciona una predicción de hasta 10 días y avances para un periodo de 30 días.

Los modelos regionales, elaborados y explotados por los Centros Meteorológicos Nacionales, están conectados al modelo global y permiten establecer predicciones más precisas para la zona de interés, para un período de hasta 5 días con una definición de unos 80 km de lado.

Los modelos locales se utilizan para realizar el seguimiento de circunstancias excepcionales con una malla del orden de 20 km de lado. Los modelos puntuales de malla más fina se utilizan actualmente para predecir la velocidad y dirección del viento y el volumen de precipitación de agua o nieve en zonas muy concretas. Estos modelos pueden conectarse con radares meteorológicos y estaciones de observación sobre el terreno.

Las necesidades desde el punto de vista de organización de las operaciones de vialidad invernal se concretan en tres tipos de predicciones:

- Inmediatas (0-4 horas): Los responsables de las cuadrillas de conservación necesitan disponer de predicciones detalladas y precisas a corto plazo para minimizar el desfase

entre el momento en que llaman al personal de conservación y el momento en que es necesario iniciar el extendido de fundentes y las operaciones de despeje.

- A corto plazo (4-24 horas): Este período es importante para efectuar la programación de actividades del día en función de las condiciones del tiempo, disponer la alerta del personal, planificar las actividades nocturnas o de madrugada y las necesidades de horas extraordinarias del personal, preparar los equipos y el material y advertir a los usuarios de la carretera de las condiciones previstas y las posibles limitaciones a la circulación.
- A medio plazo (1-5 días): Las predicciones con esta duración son la base para establecer la programación de los trabajos durante la semana, prever las necesidades de personal y material y establecer los turnos de trabajo.

### **Estaciones de captación de datos**

Además de contar con una información detallada de la evolución prevista del tiempo, para planificar las operaciones de conservación invernal preventiva resulta necesario conocer el estado del pavimento en cada instante. Los productos químicos fundentes deben formar una solución en el agua para reducir la temperatura de congelación. Como la solubilidad de los fundentes disminuye con la temperatura, la temperatura del pavimento determina si el producto químico puede formar una capa intermedia fundida que evite la adherencia del hielo o la nieve al pavimento. La temperatura del pavimento resulta por ello el factor clave del proceso. La temperatura del aire es menos importante en el momento de la aplicación del tratamiento e inmediatamente después, ya que existe un desfase entre los cambios de temperatura atmosférica y su efecto sobre la de la superficie pavimento. Sin embargo, al cabo de un cierto tiempo, la temperatura del pavimento sigue la evolución de la del aire, dependiendo el desfase del viento y la radiación solar existentes y las características de la carretera y del entorno.

La información se obtiene mediante la instalación de estaciones de captación de datos (RPU) en puntos significativos del itinerario. Los parámetros más importantes que se miden son la temperatura del pavimento, si está seco o mojado y la concentración del producto químico aplicado. También se vigilan las condiciones atmosféricas y la temperatura del terreno bajo la carretera.

Las RPU se instalan generalmente sobre una torre en el margen de la carretera en la que se alojan los sensores atmosféricos. Estas torres están dotadas de un antena si la transmisión de la información se efectúa por radio, o de un módem si la transmisiones por cable telefónico. Los sensores del pavimento se instalan en su superficie en las cercanías de la torre, a la que se conectan mediante un cable, al igual que el sensor que mide la temperatura por debajo de la superficie.

Los datos registrados por las RPU se utilizan para tres fines: predicción, detección y seguimiento. Los sensores registran en tiempo real la temperatura del aire y del pavimento, el punto de rocío, la humedad relativa, la velocidad y dirección del viento, la precipitación y las condiciones superficiales de calzada, incluyendo la presencia de hielo, escarcha, nieve o agua y la concentración de fundentes a partir de la medición de la

conductividad. Estos datos se combinan con la información de los servicios meteorológicos, y es analizada por un sistema experto integrado en el programa de ordenador que gestiona el RWIS, y que predice las temperaturas del pavimento en un área concreta a lo largo de 24 horas.

La localización de los sensores es crítica, y se realiza con la ayuda del análisis térmico de la carretera, mediante el que se obtiene el perfil de temperaturas de ésta y se identifican los puntos más fríos, en los que se deben colocar los sensores.

Las predicciones se transmiten al ordenador del centro de mantenimiento invernal (CPU), en el que se realiza el análisis de la información y la programación de las operaciones. Los responsables de la conservación en cada sector o zona pueden utilizar transmisores de radio u ordenadores portátiles conectados mediante un módem con el ordenador central para vigilar las condiciones y actuar en consecuencia.

### **Análisis térmicos de la carretera**

El análisis térmico o termografía es el proceso por el que se determinan los perfiles térmicos de la superficie de la calzada utilizando sensores de infrarrojos. Esta información permite estimar las temperaturas del pavimento en los tramos en los que no existen sensores mediante un algoritmo de interpolación que utiliza como datos de partida las temperaturas medidas por los sensores de las RPU. El análisis térmico también se utiliza para determinar la localización más adecuada de las RPU.

En Gran Bretaña, los modelos de análisis térmico se han utilizado también para establecer previsiones de la temperatura del pavimento a lo largo de la carretera a partir de las previsiones de la temperatura del aire en determinados puntos del recorrido, y estimar así las zonas de formación de escarcha o hielo.

La puesta a punto de un modelo de análisis térmico generalmente se realiza a partir de la información obtenida por un vehículo instrumentado para medir las temperaturas del pavimento en los tramos de la red que se incluyen en el modelo. En la toma de datos se registran también las características de la carretera y de su entorno que pueden afectar a la temperatura del pavimento como por ejemplo las estructuras de paso o la existencia de árboles, edificaciones o terraplenes en las márgenes.

En teoría, la temperatura del pavimento tiende a seguir patrones similares bajo cuando las condiciones ambientales son parecidas. El análisis térmico de la carretera se realiza para distintas situaciones, con cielo despejado o cubierto y carretera mojada o seca. Las temperaturas del pavimento se miden durante la madrugada, cuando tienden a alcanzar sus valores mínimos.

Una parte importante de un RWIS es la base de datos histórica, que incluye la información registrados por los sensores durante varios años, junto con las predicciones del Centro Meteorológico y las copias de las predicciones elaboradas por el RWIS para los centros de conservación invernal. Esta información se utiliza para mejorar los modelos de predicción y para documentar las actividades de conservación y las decisiones adoptadas en caso de reclamaciones.

Los mapas térmicos de la carretera reflejan el resultado del análisis térmico y se utilizan identificar los tramos en los que se puede producir la formación de hielo y mejorar la asignación y localización de los medios de conservación disponibles y establecer los recorridos de despeje más eficaces.

### **Planes de actuación**

La primera operación de prevención de la formación de hielo es frecuentemente la aplicación de un producto químico depresor del punto de congelación antes de que la capa de nieve acumulada alcance un espesor que impida que el producto químico penetre hasta el pavimento. Sin embargo, antes de adoptar la decisión de iniciar esta operación es necesario que el responsable de las operaciones de conservación reciba información sobre las naturaleza y las características previstas de la tormenta.

La información que se considera para adoptar la decisión de iniciar las operaciones preventivas incluye las previsiones meteorológicas, los datos de radar y el satélite, las condiciones locales y la información elaborada por el RWIS, las previsiones de temperatura del pavimento y la información disponible de los RWIS de zonas adyacentes a la de operación. A la vista de esta información el responsable debe adoptar la decisión de cuando iniciar las operaciones teniendo en cuenta el momento en que se prevé que la precipitación se iniciará, qué forma y duración tendrá, las temperaturas previstas del aire y el pavimento, las condiciones del cielo, la dirección e intensidad del viento.

A partir de la primera aplicación de productos químicos, y en función de las características de la tormenta y la temperatura del pavimento se desarrollan operaciones sucesivas de extendido de fundentes y despeje con máquinas quitanieves. Para facilitar la labor de los responsables de la operación existen planes de acción preestablecidos que sirven como referencia para la organización de los trabajos. La tabla 1 es un ejemplo de plan de acción para el caso de una tormenta de nieve entre moderada e intensa.

RANGO DE TEMPERATURA DEL PAVIMENTO Y TENDENCIA	OPERACION INICIAL				OPERACIONES SUCESIVAS			COMENTARIOS
	Estado del pavimento al inicio de la operación	Acción de conservación	Dosificación del fundente (kg/carril-km)		Acción de conservación	Dosificación del fundente en seco (kg/carril-km)		
			Líquido	Sólido o prehumedecido		Líquido	Sólido o prehumedecido	
Superior a 0°C Estable o subiendo	Seco, mojado, agua-nieve o ligera capa de nieve	Ninguna, ver comentarios			Ninguna, ver comentarios			1) Vigilar si la temperatura del pavimento desciende a 0° o por debajo 2) Tratar las placas de hielo si existen con una dosificación de 28 kg/carril-km; despejar con quitanieves si resulta necesario
Superior a 0°C, Inminente descenso a 0° , o  -1° a 0°C, estable	Seco	Aplicar fundente en disolución o prehumedecido	28	28	Despejar la nieve acumulada y reaplicar fundente	28	28	1) Si la frecuencia de despeje y extendido de fundente no puede mantenerse, la dosificación se puede aumentar a 55 kg/carril-km para permitir ciclos más largos 2) No aplicar fundente en disolución sobre nieve compacta o con espesores grandes
	Mojado, agua-nieve o ligera capa de nieve	Aplicar fundente en disolución o sólido	28	28				
-4° a -1°C Estable	Seco	Aplicar fundente en disolución o prehumedecido	55	42-55	Despejar la nieve acumulada y reaplicar fundente	55	55	1) Si la frecuencia de despeje y extendido de fundente no puede mantenerse, la dosificación se puede aumentar a 55 kg/carril-km para permitir ciclos más largos 2) No aplicar fundente en disolución sobre nieve compacta o con espesores grandes
	Mojado, agua-nieve o ligera capa de nieve	Aplicar fundente en disolución o sólido	55	42-55				
-10° a -4°C Estable	Seco, mojado, agua-nieve o ligera capa de nieve	Aplicar fundente prehumedecido		55	Despejar la nieve acumulada y reaplicar fundente prehumedecido		70	1) Si la frecuencia de despeje y extendido de fundente no puede mantenerse, la dosificación se puede aumentar a 140 kg/carril-km para permitir ciclos más largos 2) Si la humedad es suficiente se puede aplicar fundentes sólidos sin prehumedecer
Inferior a -0°C Estable o descendiendo	Seco o ligera capa de nieve	Despejar con quitanieves			Despejar la nieve acumulada			1) No se recomienda aplicar fundentes en este rango de temperaturas 2) Se pueden extender abrasivos para favorecer la tracción

**Tabla 1. Plan de acción para las operaciones preventivas de vialidad invernal con tormenta moderada o intensa.**

## **Aplicación de fundentes**

Los fundentes se aplican tanto en forma sólida, secos o prehumedecidos, como en disoluciones líquidas. A temperaturas superiores a  $-5^{\circ}\text{C}$  puede resultar ventajoso utilizar soluciones, ya que esto permite distribuir el producto uniformemente sobre la calzada a velocidades relativamente altas y la posibilidad de iniciar el tratamiento antes del inicio de la tormenta para evitar la adherencia de la nieve al pavimento o la formación de hielo. Sin embargo este tipo de tratamiento solo es posible mientras que la capa de nieve no ha alcanzado una espesor tal que impida que la disolución alcance el pavimento con una concentración mínima. Las disoluciones se pueden utilizar también para temperaturas inferiores a  $-5^{\circ}$  aumentando la dosificación. En estos casos es necesario analizar la relación coste-eficacia del tratamiento en comparación con las alternativas de utilización de fundentes sólidos.

La extensión de fundentes sólidos requiere que haya suficiente humedad o acumulación de nieve sobre el pavimento. En muchos casos resulta conveniente mojar la sal en el momento de extenderla, de forma que se favorece su disolución y se evita que el viento la retire de la calzada si no existe el grado de humedad o la acumulación de nieve necesarias para fijarla.

El cloruro sódico es el producto utilizado más habitualmente debido a su eficacia en derretir la nieve y el hielo y a su relativo bajo coste. Sin embargo, la eficacia del sal baja cuando la temperatura desciende por debajo de los  $-4^{\circ}\text{C}$ . Por debajo de esta temperatura, la sal puede mezclarse con otros productos químicos sólidos como el cloruro cálcico, o con disoluciones de cloruro cálcico o magnésico. En algunos casos se mezcla también la sal con abrasivos para aumentar el coeficiente de fricción y compensar la menor eficacia de la acción del fundente a bajas temperaturas.

El cloruro cálcico presenta la ventaja de que es higroscópico, por lo que absorbe agua cuando la humedad relativa es superior al 42%, lo que ayuda a que los granos de sal se mantengan sobre el pavimento y no sean barridos por el viento.

Otros productos químicos utilizados en las operaciones de vialidad invernal en los Estados Unidos son el acetato de magnesio y calcio y el acetato de potasio, que presentan las ventajas de no resultar corrosivos y de tener un menor efecto contaminante, aunque su coste es sensiblemente más alto que el del cloruro sódico. En el Reino Unido se han utilizado también la urea y el poliglicol en casos especiales, como por ejemplo en pistas de aeropuertos, aunque sus precios son también muy elevados en comparación con la sal.

Todos estos productos o sus combinaciones tienen límites de temperatura por debajo de los cuales nos resultan eficaces. Se denomina concentración eutéctica de una solución a aquella para la que la mezcla presenta un punto de fusión inferior al de cualquier otra solución de los mismos componentes con concentraciones distintas. La tabla 2 refleja las concentraciones eutécticas y los puntos de fusión correspondientes a los fundentes más frecuentes.



<b>FUNDENTE</b>	<b>TEMPERATURA EUTÉCTICA (°C)</b>	<b>CONCENTRACIÓN EUTÉCTICA (%)</b>
Cloruro sódico	-21	23,3
Cloruro cálcico	-51	29,8
Cloruro magnésico	-33	21,6
Acetato de calcio y magnesio	-27,5	32,5
Acetato potásico	-60	49

**Tabla 2. Temperatura y concentración eutéctica de los fundentes más comunes.**

En la práctica, los fundentes dejan de ser eficaces para temperaturas superiores a la correspondientes al punto de fusión de la concentración eutéctica, ya que la dosificación necesaria para que tengan efecto resulta demasiado alta e imposible de alcanzar. Si la temperatura del pavimento es demasiado baja, los fundentes pueden no evitar la adherencia de la nieve al mismo o la formación de hielo. En consecuencia, es necesario que las decisiones de los productos a aplicar en cada operación se adopten en función de los datos y las previsiones de las temperaturas mínimas que alcanzará el pavimento. Además de los datos de temperatura, los sensores de las RPU facilitan información sobre la concentración real de los fundentes una vez aplicados estos, lo que permite decidir sobre la necesidad de extender nuevas capas de fundentes y su dosificación.

### **Despeje con máquinas quitanieves**

La función principal de las máquinas quitanieves en las operaciones de prevención de la formación de hielo es retirar la mayor cantidad de nieve posible antes de la extensión de los productos químicos para evitar que se produzca una disolución excesiva de los mismos. Si el pavimento y la nieve están secos y fríos, y la nieve en las rodadas nos está adhiriéndose al pavimento, el despeje con máquinas quitanieves es suficiente para evitar la acumulación.

Si el residuo de fundente o la temperatura del pavimento son suficientemente altos para formar algo de líquido y mojar la nieve, entonces es conveniente utilizar palas quitanieves especiales para eliminarlo. Estas palas que han sido desarrolladas en Suecia y en Finlandia tienen dos hojas. La hoja delantera tiene un borde cortante de acero, mientras que la posterior está rematada con una borde de caucho. Este diseño es muy eficaz cuando la consistencia del hielo varía. La presión de la hoja posterior sobre el pavimento se mantiene mediante la acción de resortes o de gatos hidráulicos.

### **Sistema de comunicaciones**

Un elemento clave de los RWIS es el sistema de comunicaciones, que incluye:

- La transmisión de la información desde los sensores de la RPU al procesador central del centro de conservación;
- La conexión del centro de conservación con el servicio meteorológico en tiempo real;
- La conexión del centro de conservación con los sectores y cuadrillas;
- La transmisión de la información sobre el estado de la carretera y las condiciones de circulación previstas a la policía de carretera y a los conductores y usuarios.

Las comunicaciones de los RWIS pueden establecerse a través de redes dedicadas propias o de los sistemas de comunicaciones abiertos. Las redes dedicadas emplean formatos de la información, protocolos de comunicaciones y programas informáticos particulares para el intercambio de datos, mientras que si se emplean los sistemas abiertos, la transmisión de la información se realiza utilizando formatos y protocolos estándar.

La transmisión de información entre las RPU y la CPU puede realizarse por radio o por línea telefónica. Los usuarios de la carretera necesitan recibir información sobre los problemas de vialidad existentes o previstos antes del viaje y durante el mismo. La información sobre desvíos, retrasos potenciales y restricciones a la circulación debe ser comunicada puntual y eficazmente a los conductores para reducir al mínimo las incidencias en los desplazamientos y los problemas de tráfico.

La clave es proporcionar la información tan pronto como está disponible. En la actualidad las emisoras de radio de información vial (Highway Advisory Radio) pueden cumplir esta función muy eficazmente. Los paneles de mensaje variable se utilizan también para transmitir mensajes a los conductores, pero presentan limitaciones en cuanto a la extensión y el contenido de los mismos.

### **Experiencia en los Estados Unidos**

En Estados Unidos, la precipitación de nieve supera los 300 mm al año en 36 Estados. El coste de las operaciones de vialidad invernal supera los 2.000 millones de dólares (300.000 millones de pesetas) al año. Desde 1962, diversos Estados americanos han estudiado la eficacia de los sistemas de detección de hielo y de diversos sistemas de predicciones meteorológicas para el apoyo a las operaciones de vialidad invernal. Después de tres décadas de desarrollo tecnológico, en la actualidad los equipos de detección proporcionan un alto nivel de fiabilidad.

Los RWIS se emplean en la actualidad en 27 Estados. El coste de un RWIS en una zona depende del área a cubrir y otra variables. El sistema más simple tiene un coste aproximado de 35.000 dólares, sin incluir el coste del ordenador y de los programas necesarios. De acuerdo con la experiencia de algunos Estados, estos costes se pueden recuperar en plazos muy breves con el ahorro que se consiguen en los costes de conservación.

Entre 1988 y 1993 la Administración Federal de Carreteras (Federal Highway Administration, FHWA) evaluó los resultados de los sistemas de información meteorológica en cuanto a la mejora de la eficacia de las operaciones de vialidad invernal y a de la seguridad vial (FHWA-SA-93-053 Ice Detection and Highway Weather Information Systems). En el estudio se analizaron los resultados obtenidos en quince Estados, en el Distrito de Columbia y en el Servicio de Parques Nacionales. Las conclusiones del estudio fueron que la utilización de los sistemas de información meteorológica permiten reducir los costes de personal, material y equipos y mejorar la eficacia de las operaciones de vialidad invernal, reduciendo los tiempos de despeje y el potencial de accidentes debido a la existencia de hielo sobre la superficie de la calzada. Otra de las ventajas encontradas en el estudio es la disminución de la cantidad de productos químicos que resulta necesario utilizar en las operaciones lo que reduce la contaminación ambiental que originan y los problemas de corrosión de los vehículos. Sin embargo, en el estudio se puso de manifiesto que es necesario contar con un período de aprendizaje tras la puesta en servicio de un sistema de este tipo, durante el cual los usuarios se familiarizan con el sistema y aumentan su confianza en el mismo. Las ventajas del sistema se van consiguiendo gradualmente a lo largo de este período.

Un estudio económico desarrollado por el Texas Transportation Institute estimó los ahorros potenciales si se implementase la política de conservación invernal preventiva en todo el país entre un 3 y un 5 %, en costes directos de conservación invernal. Teniendo en cuenta la reducción de las demoras y accidentes debida a la mejora en los tiempos de despeje y de las condiciones del pavimento, el ahorro de coste social podría alcanzar entre el 11 y el 21% de los costes de conservación.

## **REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS**

- [1] Atkinson, K. (1994): Manual de Conservación de Carreteras (versión española). Thomas Telford y Asociación Técnica de Carreteras
- [2] Boselly, E. y Ernst, D. (1993): Road Weather Information Systems. Strategic Highway Research Program. National Research Council, SHRP-H-351
- [3] Chollar, B. (1996): A Revolution in Winter Maintenance. Public Roads, Winter 1996. Washington D.C. Estados Unidos.
- [4] Federal Highway Administration (1993): Ice Detection and Highway Weather Information Systems. FHWA-SA-93-053
- [5] Federal Highway Administration (1997): Snow and Ice Control. Road Savers, FHWA-SA-97-035. Washington D.C. USA.
- [6] Ketcham, S. et al. (1996): Manual of Practice for an Effective Anti-Icing Program. FHWA-RD-95-202. Federal Highway Administration. Washington D.C. USA.