

Hacia la versión 2.0 de los sistemas inteligentes de ayuda a la toma de decisión en la gestión de vialidad invernal.

José Pablo Sáez Villar
Director Gerente de ACEX
(Asociación de empresas de conservación y explotación de infraestructuras)
psaez@acex.ws

RESUMEN

Los sistemas inteligentes, uno de cuyos mejores ejemplos, es el MDSS, han constituido un notable avance en la mejora de la gestión de la vialidad invernal.

Sin embargo las necesidades a cubrir implican la obligada necesidad de avanzar hacia nuevas y ampliadas versiones de dichos sistemas inteligentes.

En la ponencia se expondrán las dos áreas en las que deben centrarse los avances tecnológicos.

El primero es en la necesidad de poder llegar a predecir la existencia de unas condiciones meteorológicas adversas con carácter puntual, en la curva de radio xx,xx de una determinada carretera, o en la zona de umbría del PK xx,xx de otra carretera, o en la entrada o salida del puente del pk xx,xx de aquella otra,...más allá de la actual tecnología que permite determinar cuál va a ser la predicción meteorológica a nivel zonal.

El segundo avance debe centrarse en poder evaluar el mejor tratamiento a realizar, no solo en base a la predicción, a la experiencia adquirida por el propio sistema y a las dotaciones y restricciones establecidas por la propia administración, sino lo que es mucho más importante por el conocimiento real del grado de salinidad de la calzada justo antes del tratamiento preventivo, punto a punto, y sobre la base de ello, a la predicción estimada de precipitación, a la experiencia del propio sistema y a las dotaciones establecidas como teóricas por la administración para cada situación, realizar el tratamiento que mayor eficacia proporcione.

1.- Introducción.

La vialidad invernal constituye una de las actividades de conservación ordinaria con mayor afección en los usuarios.

La generalización del uso de la telefonía móvil ha llevado a que los usuarios contacten con los medios de comunicación, en tiempo real, para expresar sus quejas por la falta de servicio que la presencia de nieve o hielo genera en un determinado punto de la red de carreteras de un país.

Esta presión social hace que las diversas administraciones propietarias de las redes de carreteras hayan incrementado notablemente los recursos mecánicos y humanos para la atención de la vialidad invernal.

No obstante, este incremento de recursos, tiene un límite, máxime cuando la situación económica está imponiendo restricciones a las inversiones de las administraciones.

Por lo tanto el siguiente paso es, razonablemente, avanzar en la optimización y mejora de la eficiencia y eficacia de esos recursos estables.

A lo largo de las últimas dos décadas se ha ido incrementando la aplicación de sistemas de ayuda a la toma de decisiones para operaciones de vialidad invernal, basados en las predicciones de las condiciones meteorológicas en las redes de carreteras de diversos países de Europa y Norteamérica, que están resultando de extraordinaria ayuda en las operaciones de mantenimiento de la vialidad invernal.

La mayor parte de estos sistemas se componen de:

- Redes de estaciones de observación continua del estado del tiempo meteorológico y del pavimento en diversos puntos concretos, aislados y específicos de las carreteras.
- Evaluación de distintas alternativas de modelos para predecir con una determinada antelación las condiciones meteorológicas adversas en la red viaria y su estado una vez realizado uno u otro tratamiento preventivo.
- Mecanismos para comunicar al personal de conservación de las carreteras la información pertinente para activar el operativo que permita ejecutar las adecuadas operaciones preventivas, en principio, y curativas si ello fuese necesario de retirada de nieve sobre la calzada.

La experiencia acumulada a lo largo del periodo en que estos sistemas han estado operativos ha permitido disponer de suficientes evidencias sobre su trascendencia, tanto desde el punto de vista de la seguridad, de la eficiencia medioambiental, así como del de ahorro de costes que su empleo lleva aparejado.

También ha sido posible calibrar la importancia de los beneficios económicos que se derivan de la oportuna aplicación de tratamientos preventivos para evitar la formación de hielo y de la puesta en operación de dispositivos para la retirada de nieve en la calzada de las carreteras, aparte de la consecuente reducción en el número de accidentes.

Así, se ha comprobado que el coste del establecimiento de tales sistemas de ayuda a la toma de decisiones se compensa sobradamente tan solo con el ahorro derivado de una aplicación más optimizada de los operativos de extendido de sal o salmuera con vehículos quitanieves.

Además, las operaciones innecesarias o excesivas de extendido de sal en carreteras no solo deben evitarse por razones económicas, sino también por el impacto ambiental que pueden provocar.

La optimización de las operaciones de tratamiento preventivo de la vialidad invernal sólo puede conseguirse disponiendo de una buena información sobre la evolución prevista del tiempo meteorológico que afecta a la red viaria. Siendo fundamental la concreción geográfica de las previsiones meteorológicas.

Es decir la búsqueda de la eficacia nos lleva a buscar tanto la predicción de una posible nevada, como a determinar la zona geográfica de alto riesgo de potencial nevada. Por tanto, hay que disponer de pronósticos adecuados de temperatura, humedad y precipitación que permitan deducir el riesgo en la formación de hielo o acumulación de nieve sobre la superficie de las carreteras, así como los límites geográficos de las zonas de alto riesgo.

Para ello se pueden aplicar dos estrategias:

- El trabajo manual de un meteorólogo experto en predicción del tiempo que elabore partes de vialidad basados en diversas herramientas meteorológicas (observaciones, predicciones de servicios meteorológicos, conocimiento sobre la climatología local, etc.)
- Un operativo automatizado basado en resultados numéricos de modelos matemáticos deterministas o de tipo estadístico.

En el caso de la extensa red viaria de España, donde además la variedad climática es muy notable, si se optara por la primera estrategia sería necesaria la participación continuada de un equipo compuesto por varios expertos trabajando a turnos. Por ello, es claramente más ventajoso el segundo procedimiento, que de hecho es el que se está aplicando en la mayoría de países europeos y en Norteamérica.

Los sistemas de ayuda a la toma de decisiones que actualmente se utilizan son de dos tipos: Los puramente estadísticos que generalmente se basan en la "lógica difusa" (p.e. Hertl y Schaffar, 1998) y los que utilizan modelos numéricos puramente físicos (p.e. MDSS, 2004; Sass & Petersen, 2004, Crevier & Delage, 2001).

Aunque los métodos estadísticos han mostrado que pueden proporcionar útiles predicciones de la temperatura en la red viaria, generalmente se considera que los modelos que representan los procesos físicos proporcionan mejores resultados, sobre todo en los eventos de transición entre situaciones meteorológicas.

Por ello se ha venido avanzando en la utilización de los denominados sistemas inteligentes de ayuda a la toma de decisión para el mantenimiento de la vialidad invernal. Uno de cuyos mejores ejemplos es el MDSS de la AASHTO (Maintenance Decision Support Systems).

En ellos partiendo de las previsiones meteorológicas que se avanza se van a producir y en función de las diversas posibilidades de tratamiento a realizar en la carretera, desde no hacer nada, a realizar tratamiento preventivo con diversas dotaciones, o con distintos tipos de fundentes,... se genera una predicción temporal de la situación que se puede obtener en cada uno de los casos analizados.

Ello facilita al técnico la toma de la decisión más eficaz con tiempo suficiente para maximizar la eficiencia del tratamiento, bajo dos aspectos de análisis principales, de un lado por la posibilidad de optimización de las dotaciones de fundente que producen una mejora en el medio ambiente y de otro por la mejora que se produce en la seguridad del tráfico por la realización del mejor de los tratamientos posibles a fin de evitar, o cuando menos minimizar, la existencia de situaciones peligrosas para la circulación de los vehículos.

Además estos sistemas se retroalimentan con las experiencias vividas, lo cual implica que su utilización continuada genera una mejora continua en la calidad del servicio que se da al usuario de la carretera.

La pregunta que debemos hacernos es si este tipo de sistemas inteligentes para la ayuda de toma de decisiones son eficaces y generan una mejora con relación a la gestión que se ha venido haciendo por medios tradicionales, basados en la experiencia.

Sin duda alguna la respuesta es positiva. Gestionar la vialidad invernal por medios tradicionales mediante protocolos genera una rigidez y una escasez de alternativas muy elevadas, mientras que los sistemas inteligentes de toma de decisiones presentan alternativas que pueden evaluar de forma conjunta y facilitar distintos planteamientos de actuación que, según el caso, permiten tomar decisiones en las que se han barajado muchas más variables y por tanto, a priori, deben ser más eficaces.

Sin embargo estos sistemas no pueden darse por cerrados. Tienen áreas de mejora y en este documento vamos a presentar dos aspectos que mejorarán notablemente estos sistemas.

Además las demandas de eficacia que se solicita a las diversas administraciones propietarias de las redes de carreteras son cada día mayores, lo que implica la necesidad de avanzar, aún más, hacia nuevas y ampliadas versiones de dichos sistemas de gestión. Es decir, se ha de avanzar en la mejora de los sistemas inteligentes de toma de decisiones en la gestión de la vialidad invernal, se ha de mejorar la actual versión y avanzar hacia una versión 2.0 de estos sistemas.

2.- Primer aspecto a abordar en la versión 2.0

Un primer aspecto que consideramos crítico en el actual nivel de desarrollo de los sistemas inteligentes de toma de decisiones para la gestión de la vialidad

invernal se encuentra en la exactitud y veracidad de las predicciones meteorológicas, en lo referente tanto a la cuantía de las precipitaciones de nieve que se van a producir como al momento temporal en el cual van a suceder, como al lugar en el que se van a suceder.

De hecho, se utilicen este tipo de sistemas inteligentes de toma de decisiones o se realice una gestión tradicional, basada en la experiencia y en el establecimiento de protocolos de actuación, la veracidad y exactitud de las predicciones meteorológicas es fundamental para poder abordar adecuadamente la actividad preventiva.

Sin embargo avanzando en la mejora de la gestión de la vialidad invernal se puede, o mejor se debe, ajustar este tipo de modelos de toma de decisiones a la realidad no ya de cada zona, ni de cada carretera, sino que debería avanzarse en establecer la predicción meteorológica de cada punto kilométrico de la carretera, de cada pendiente, curva, zona de umbría,...

Evidentemente la pregunta es ¿y ello es posible?, o realizando la pregunta con mayor rigor y exactitud ¿y ello es posible a un coste razonable?

En la red de alta capacidad de la Administración Central, se puede establecer una cuantificación de la presencia de estaciones meteorológicas que estaría en el entorno de una estación cada 40 kilómetros de carretera, aproximadamente. Mientras que en la red convencional de esta misma administración la presencia de estaciones meteorológicas podría establecerse en el entorno de una cada 150 kilómetros. Proporción que pasaría a una estación cada 350 kilómetros, de media, para las redes de carreteras de las comunidades autónomas y a una densidad aún menor para el resto de redes del resto de administraciones.

Ello nos presenta un panorama que, aún en el mejor de los casos, la red de alta capacidad de la Administración Central, se demuestra claramente insuficiente para poder establecer una predicción meteorológica para una zona concreta de la red. Ya que cada una de las estaciones meteorológicas solo mide en un punto, por lo que automáticamente se establecen zonas de extrapolación alrededor de dicha estación, abarcando cada una de ellas los 40 kilómetros. Por lo que los niveles de fiabilidad de la predicción que podemos obtener son función de variables tales como cambios de la orografía, la umbría o de la propia ubicación de la estación meteorológica, en aspectos tales como velocidad y dirección del viento.

El planteamiento que nosotros realizamos es la creación de una red inalámbrica de “micro” estaciones de altas prestaciones y bajo coste, de tal forma que cada una de ellas se comunicará con las que le rodean (cuando menos con dos de ellas) creando una red inalámbrica que transporte los datos hasta un “nodo” que permita la comunicación a larga distancia mediante un radio MODEM o un enlace GPRS.

De esta forma tendríamos caracterizada toda una zona geográfica con sus condiciones climáticas puntuales, las cuales se podrían comparar con las más amplia información que nos proporciona la estación meteorológica de toda la

zona y con ello se podría obtener no ya una extrapolación de un único dato, sino, por el contrario, la complementación de los datos reales de las “micro” estaciones en toda la zona con los proporcionados por la estación meteorológica base, lo cual nos llevaría a establecer una predicción local con alto grado de fiabilidad.

La potencia real de la red está en el gran número de muestras que proporciona, generándose así un sólido soporte estadístico que absorberá las interferencias, fallos y “ruidos de fondo” en el proceso de medición, logrando una estabilidad y fiabilidad en el suministro de los datos, que sería inalcanzable desde la perspectiva de utilización de estaciones meteorológicas aisladas, y todo a un coste razonable.

El Planteamiento es ubicar las “micro” estaciones en el pavimento del firme de la carretera, a una distancia entre ellas que, según la orografía del terreno, estaría comprendida entre los 500 metros y los 1000 metros, pudiendo disminuir esta distancia en zonas de orografía complicada o de umbrías hasta los 100 o 150 metros.

Una vez obtenidos los datos específicos que nos proporcionarían las “micro” estaciones, se deben de transmitir a un centro de control, al cual también se transmitirán los datos, más amplios, que nos proporcionan las estaciones meteorológicas fijas. En el centro de control tendremos que aplicar mediante técnicas de inteligencia computacional y la utilización del modelo meteorológico, y mediante la comparación con los datos más amplios obtenidos de la estación meteorológica fija, la predicción puntual de precipitación meteorológica a 36 horas.

La asociación de empresas de conservación y explotación de infraestructuras de España, ACEX, está trabajando en el desarrollo de un proyecto de investigación que valide el planteamiento y viabilidad económica de implantación y mantenimiento de la solución planteada.

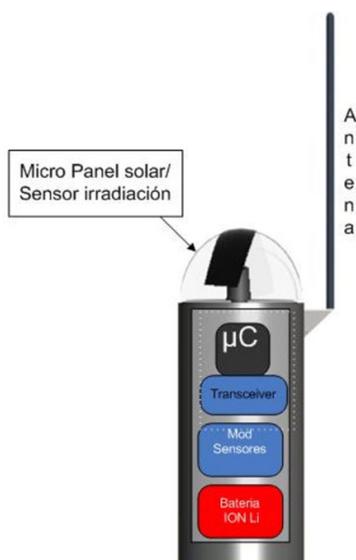


Figura 1.- Diseño genérico micro estación.

En este sentido comentar que se tiene planteada la integración del sistema dentro de las carreteras mediante diversas alternativas:

- Al margen de la carretera (Lindes)
- Sistemas enterrados en los arcenes de la calzada.
- Sistemas ocultos en sistemas de balizamiento o señalización.

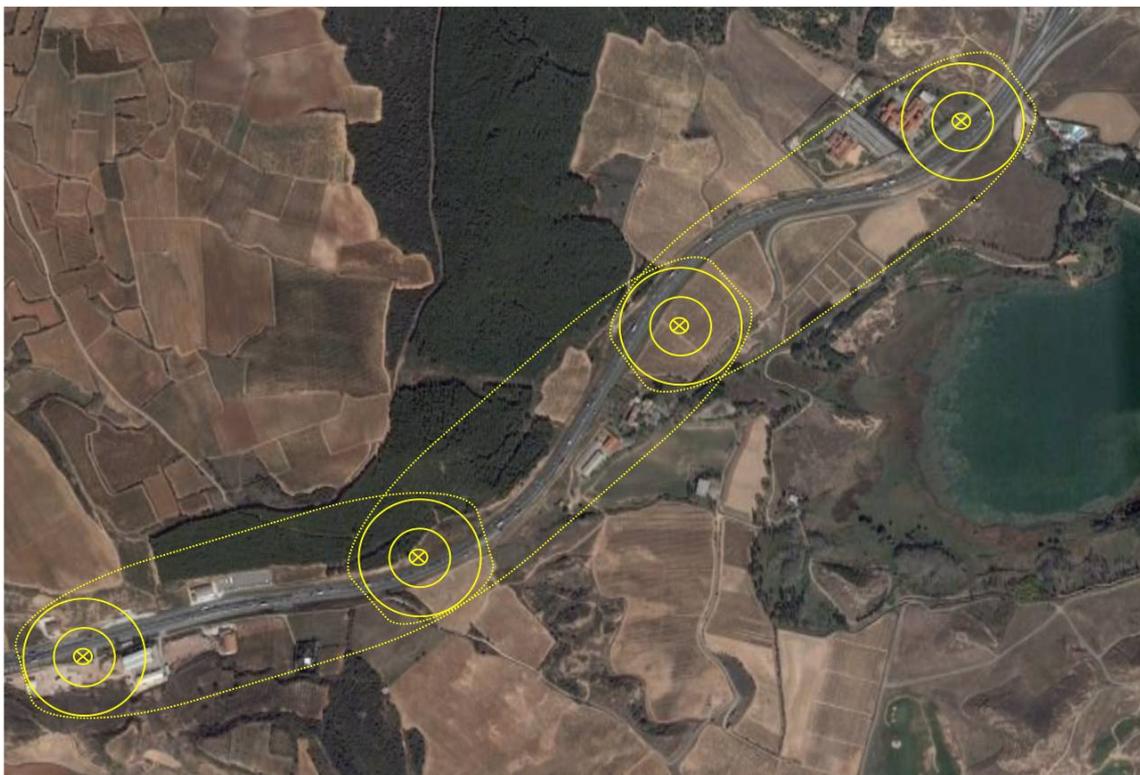
Este proyecto permitirá colateralmente validar los costos de implementación de cada una de las opciones. Dado que durante el periodo de desarrollo/pruebas

se irán documentando exhaustivamente los resultados obtenidos de cada una de las baterías de test realizadas así como los procesos de instalación y todos los datos relevantes para un posible despliegue masivo.

La solución elegida será aquella que alcance un correcto compromiso entre coste y fiabilidad.

El planteamiento del proyecto es realizar la colocación de 30 micro estaciones a lo largo de un tramo piloto por determinar, para el cual se ha establecido que:

- debe de poseer una IMD importante, pero no crítica
- unas condiciones climáticas variables, con rampas y pendientes diferentes, y con zonas de umbría significativas
- deberá, además. poseer la característica de ser una zona de nevadas habituales, a fin de poder validar las conclusiones en una periodo corto de tiempo



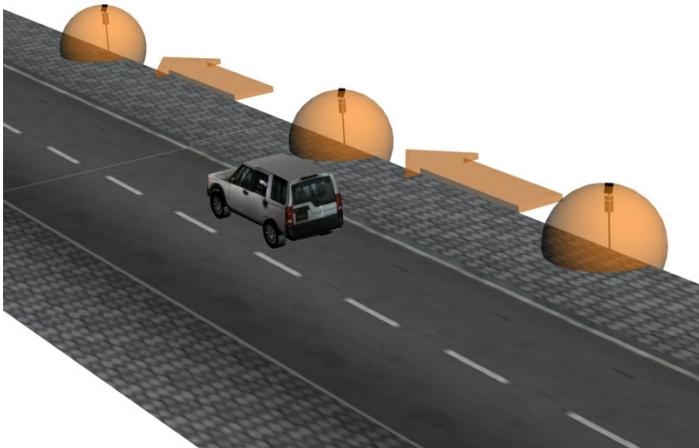
En el proyecto se plantea que los datos que deben ser recogidos por las micro estaciones meteorológicas sean:

- Temperatura ambiente.
- Temperatura de la calzada.
- Pluviometría.

- Presión.
- %H₂O.
- Radiación Solar

Un aspecto significativo del proyecto es la comunicación entre las micro estaciones. Después de haber analizado distintas soluciones técnicas el proyecto se ha decantado por la utilización de la tecnología Zigbee. Las razones de ello han sido:

- ZigBEE es un estándar inalámbrico creado específicamente para este tipo de dispositivos.
- Es una tecnología inalámbrica con velocidades comprendidas entre 20 kB/s y 250 kB/s y rangos de 10 m a 75 m. Puede usar las bandas libres ISM de 2,4 GHz, 868 MHz (Europa) y 915 MHz (EEUU).
- Una red ZigBee puede estar formada por hasta 65.000 nodos los cuales tienen la mayor parte del tiempo el transceiver ZigBee dormido con objeto de consumir menos que otras tecnologías inalámbricas.
- La ZigBEE Alliance es un grupo de grandes empresas (al día de hoy superan las 180) vinculadas de diferentes formas al mundo de la electrónica, las telecomunicaciones y los sistemas de control que trabajan juntas garantizando la interoperabilidad de los sistemas certificados por ellas.



Las micro estaciones estarán controladas por un microchip de tecnología ZigBee que permitirá el establecimiento automático de una red inalámbrica de comunicaciones entre todas las micro estaciones pertenecientes a un mismo tramo de carretera.

Esta red permite una topología de malla libre, la cual implica una distribución espacial de los nodos muy flexible. Basta con que cada nodo este en alcance de radio de al menos a otro de ellos para que se cierre la red y el protocolo de enrutado lleve los datos al nodo principal para enviarlos a la estación de control.

La red será autogestionable, permitiendo redirigir el tráfico de comunicaciones por una u otra trayectoria en caso de fallo de una de las micro estaciones o por necesidades de consumo.

Tras captar con sus sensores todas las variables en el entorno local de las estaciones, estas, se pondrán en comunicación unas con otras estableciendo una red de trabajo (basada en tecnología ZigBee) que trasladará todos los datos hasta un nodo colector que actuará como cabecera de cada tramo.

Una vez que los datos alcanzan el nudo colector, son enrutados mediante tecnología GPRS a un centro de control utilizando los servicios de transporte de un gestor de comunicaciones.

Finalmente se planifica realizar una implementación de un sistema de recepción y almacenamiento de datos en un centro de control. Desde este puesto se podrán monitorizar los datos de las micro estaciones.

Sin duda se está planteando con este proyecto una útil y significativa mejora de las predicciones meteorológicas zonales que se vienen utilizando en estos momentos.

3.- Segundo aspecto a abordar en la versión 2.0

Una vez conocida localmente la predicción meteorológica se plantea una nueva posibilidad de mejora de la tecnología actualmente empleada, basándose en la idea fundamental de que cualquier tratamiento preventivo debe partir del conocimiento real del estado de la calzada y complementar el mismo hasta obtener una situación definida como deseable en el momento de inicio de la precipitación de nieve.

Es decir, el punto de partida de cualquier tratamiento preventivo debe tomar como referencia el nivel de salinidad existente en la calzada. Por lo tanto se hace totalmente necesario conocer, con exactitud, el nivel de salinidad del pavimento de forma puntual.

Se podría pensar en colocar una serie de sensores en la calzada que aprovechando la red de comunicaciones ya establecida para los sensores meteorológicos remitiesen la información del grado de salinidad, o mejor que los sensores meteorológicos midiesen, además la salinidad. Sin embargo los sensores que en la actualidad se están empleando para conocer el grado de salinidad tienen la limitación, no pequeña, de necesitar la existencia de humedad en la calzada. Por lo que es necesario pensar en otro tipo de solución técnica.

Se plantea por tanto la existencia de un vehículo que recorra la carretera y remita los datos de salinidad al centro de operaciones, donde vuelquen como dato de entrada para el sistema de ayuda a la vialidad. El problema surge de cuál es la tecnología óptima que nos permita, con rapidez y eficacia, realizar una toma de datos de salinidad en calzada.

Una primera posibilidad es colocar en un vehículo, dotado de un depósito de agua que previa humectación de la zona de medida, realice la medición de la

salinidad, a lo largo del tramo de carretera objeto del tratamiento. Esta solución vía láser está desarrollada suficientemente, y por tanto un vehículo que circule por el tramo de carretera puede remitir en tiempo real el grado de salinidad del pavimento al centro de conservación para incorporar estos datos como punto de partida del sistema de ayuda a la toma de decisión del tratamiento preventivo óptimo a realizar. Se trata de una solución sencilla pero cuya eficacia está claramente demostrada.

Existen algunos estudios que han avanzado en la obtención del grado de salinidad sobre el análisis fotogramétrico del pavimento. Son diversas las variables que influyen, tipo de mezcla bituminosa, más o menos abierta, naturaleza de los áridos que la componen,... Pero por el contrario tiene la ventaja de su autonomía y no depender de un depósito de agua anexado al sensor de medida.

Y puesto que la naturaleza del pavimento, es un dato de partida fijo para el tramo de carretera que se va a tratar la identificación es homogénea.

En el proyecto de investigación, anteriormente comentado, se incide en esta solución fotogramétrica como la óptima para conocer el grado de salinidad de la calzada como punto de partida del estudio del tratamiento preventivo a realizar.

Sin duda los dos aspectos citados generan una notable mejora técnica, un mejor aprovechamiento, optimización y resultado de la utilización de los sistemas de ayuda a la toma de decisión de los tratamientos preventivos en vialidad invernal.

Además en momentos en los que la optimización económica de las actividades de conservación está guiando a las diversas administraciones, se hace obligado adecuar el tratamiento a cada una de las zonas específicas de la carretera y tomar como punto de partida la situación real de nivel de salinidad en que se encuentra cada punto de la calzada. De forma que se optimicen los consumos y se maximice la eficacia de los tratamientos preventivos adecuando los mismos a cada punto en lugar de realizar un tratamiento específico a lo largo de todo un tramo de carretera.