

# **POTENCIAL DE REDUCCIÓN DE LA ACCIDENTALIDAD DE LOS SISTEMAS AVANZADOS DE ADVERTENCIA DE PELIGRO POR CONDICIONES METEOROLÓGICAS ADVERSAS**

José M. Pardillo Mayora  
Universidad Politécnica de Madrid, España  
jmpardillo@caminos.upm.es

## **RESUMEN**

La presente comunicación refleja los resultados de un proyecto de investigación realizado en la Universidad Politécnica de Madrid con el fin de evaluar las posibilidades de reducir la accidentalidad en condiciones meteorológicas adversas mediante la utilización de sistemas ITS. Para ello se analizaron los registros de accidentes de tráfico de la Red de Carreteras del Estado española a lo largo de un período de cinco años con el fin de identificar los tramos de carretera en los que estaba justificado desarrollar medidas específicas para mejorar la seguridad en condiciones adversas. A continuación se estudiaron las experiencias europeas y americanas en la utilización de sistemas de información meteorológica vial (SIMV) y de sistemas avanzados de advertencia de peligro en condiciones meteorológicas adversas (SAPMA). Estos antecedentes sirvieron de base para diseñar medidas de este tipo en tres pruebas piloto que se llevaron a cabo en tramos de la Red Española. Los ensayos se complementaron con un estudio en profundidad de una muestra de 259 accidentes con víctimas registrados en condiciones adversas para estimar la reducción de accidentalidad que se podría conseguir si se implantasen sistemas de este tipo en la red principal española. Los resultados obtenidos indican que los ahorros anuales en costes sociales de la accidentalidad serían superiores a la inversión total necesaria para implantar los sistemas.

## **1. PROBLEMAS DE SEGURIDAD VIAL EN CONDICIONES METEOROLÓGICAS ADVERSAS**

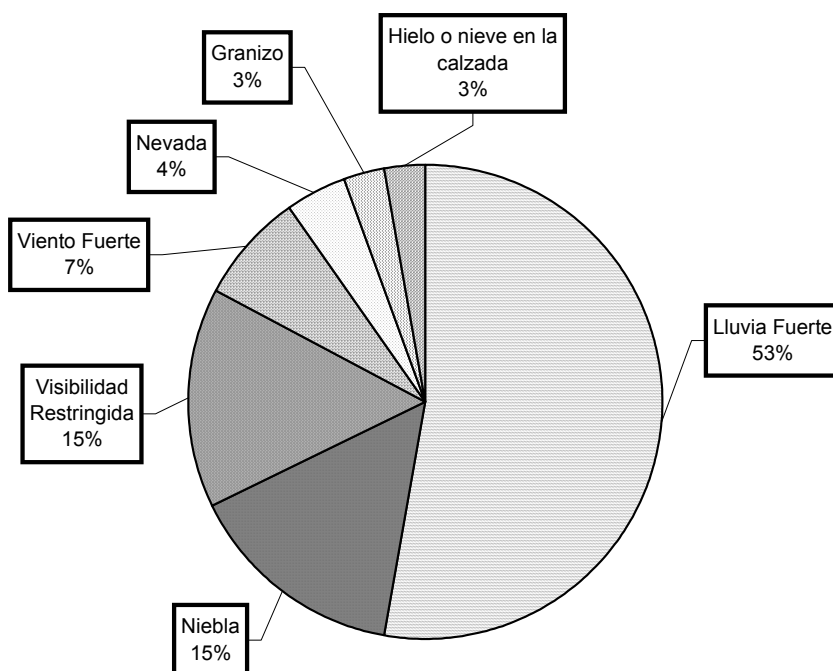
El Ministerio de Fomento español subvencionó un proyecto de investigación desarrollado en la Universidad Politécnica de Madrid con el fin de evaluar las posibilidades de reducir las tasas de accidentalidad en condiciones meteorológicas adversas mediante la utilización de sistemas ITS [1].

La Red de Carreteras del Estado española incluye 25.000 km de carreteras, de las cuales el 30% son autopistas. El volumen de tráfico anual excede los 90.000 millones de vehículos-km, lo que supone el 35% del tráfico interurbano en España. Aunque el clima es moderado en la mayor parte del país, las zonas montañosas del centro y el norte experimentan unas duras condiciones climáticas durante el invierno. El riesgo de que se produzcan accidentes aumenta de dos a cinco veces en estas condiciones.

Las condiciones meteorológicas adversas pueden afectar a la seguridad de la circulación de diversas formas. Por un lado, la existencia de hielo, nieve o agua sobre la calzada produce una disminución de la adherencia de los neumáticos al pavimento. Por otro, la niebla, la lluvia intensa o la nieve producen una disminución de la visibilidad. Finalmente, la existencia de vientos fuertes también puede comprometer la seguridad de los vehículos al afectar a su estabilidad y dificultar su maniobrabilidad.

La investigación partió del análisis de la accidentalidad en la Red de Carreteras del Estado en el período de cinco años comprendidos entre 1997 y 2001. En estos años se produjeron en la Red de Carreteras del Estado 96.929 accidentes con víctimas, de los cuales el 9,1 % (8.862) ocurrieron con condiciones meteorológicas adversas. En los accidentes con meteorología adversa se produjeron un total de 955 muertos, lo que supone un 9,7 % del total de 9.881 víctimas mortales registradas en la Red. Este porcentaje se mantuvo estable a lo largo de los cinco años estudiados.

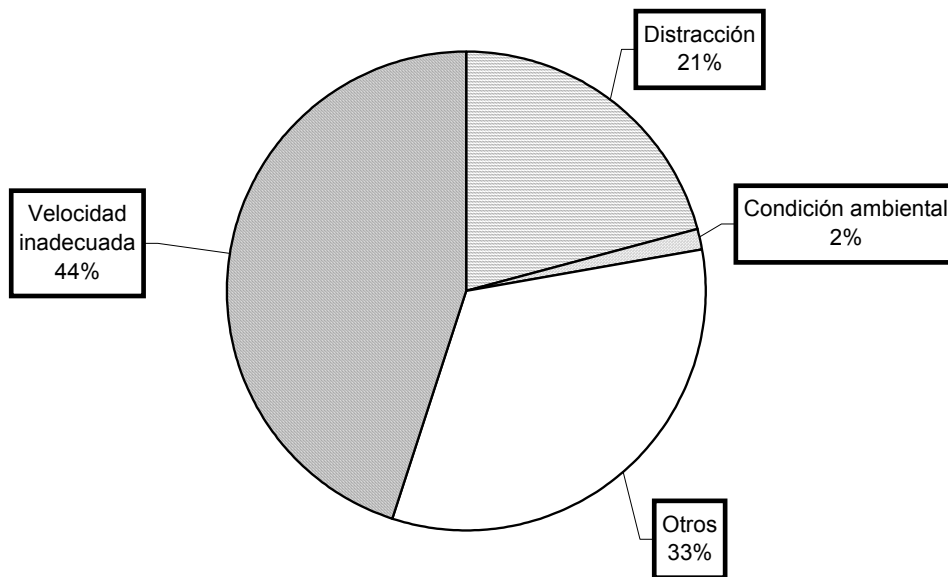
Los accidentes con lluvia intensa fueron los más frecuentes, y supusieron más de la mitad del total registrado con condiciones adversas durante los cinco años. Los accidentes con niebla o con la visibilidad restringida por las condiciones ambientales supusieron el 30 % del total y los accidentes con viento fuerte el 7 %. Los porcentajes de accidentes que se produjeron con nieve, granizo o con la calzada nevada o helada son inferiores al 5 % en cada caso, lo que indica que las operaciones preventivas de vialidad invernal se realizaron con eficiencia y resultaron eficaces para evitar que se produzcan situaciones de riesgo.



**Figura 1 - Condiciones atmosféricas en los accidentes de circulación con víctimas con meteorología adversa en la Red del Estado española (1997-2001)**

Dos tercios de los accidentes con víctimas y más del 70% de las víctimas mortales que se produjeron en accidentes en condiciones meteorológicas adversas fueron atribuidos en los partes de accidentes a velocidades inadecuadas de alguno de los vehículos implicados o a distracciones de los conductores (Fig. 2).

En consecuencia, las medidas de mejora de la seguridad deben orientarse a conseguir que las velocidades se reduzcan, que el nivel de atención de los conductores sea mayor y que los intervalos entre vehículos aumenten cuando existan estas condiciones.



**Figura 2 - Principales factores concurrentes en los accidentes con víctimas en condiciones adversas en la Red del Estado española (1997-2002)**

La localización de los accidentes en condiciones meteorológicas adversas a lo largo de los cinco años considerados presenta una gran dispersión, por lo que en la mayoría de los casos no se pueden adoptar medidas diseñadas específicamente para mejorar la seguridad en estas condiciones.

Por ello, se identificaron los tramos de la Red de hasta 10 km de longitud en los que se habían producido al menos cinco accidentes de este tipo y en los que la densidad de accidentes en condiciones adversas en los cinco años era superior a 2 accidentes /km. Se encontraron 214 tramos que superaban los mínimos indicados con una longitud total de 744 km, lo que supone el 3 % de la de la red. En ellos se produjeron 2395 accidentes en condiciones adversas entre 1997 y 2001, es decir el 25 % el total registrado a lo largo del período de estudio.

## **2. PLANTEAMIENTO DE MEDIDAS DE MEJORA DE LA SEGURIDAD VIAL EN CONDICIONES ADVERSAS**

Una gestión eficaz de las operaciones de vialidad invernal permite minimizar el tiempo en que la adherencia del pavimento se reduce, con lo que disminuye la probabilidad de que se produzcan accidentes. Los sistemas de información meteorológica vial (SIMV) se han convertido una importante herramienta para la gestión de la conservación invernal en los países del norte y el centro de Europa, en Norteamérica y en Japón, donde están siendo aplicados desde hace más de 20 años [2].

Los SIMV están constituidos por un conjunto de equipos y técnicas que facilitan a las administraciones de carreteras el conocimiento y la predicción de las circunstancias meteorológicas adversas y de la evolución del estado de las carreteras. Esta información

permite mejorar la eficacia de las intervenciones de los equipos de vialidad e informar a los usuarios sobre el estado previsto de las carreteras con lo que se reduce el riesgo de accidentalidad. Según los datos obtenidos en los Estados Unidos, los sistemas de información meteorológica permiten disminuir el tiempo de tratamiento de las calzadas heladas hasta un 75%. Una vez efectuado el tratamiento, los índices de accidentes disminuyen un 85% en carreteras convencionales y un 78% en autopistas [3].

Los principales componentes de un SIMV son:

- Sensores atmosféricos que captan y transmiten datos de las temperaturas del aire, cantidad y tipo de precipitación, visibilidad, punto de rocío, humedad relativa e intensidad y dirección del viento.
- Sensores de estado de la calzada que captan y transmiten las temperaturas del pavimento, el firme y el terreno y del estado de la calzada (seco, mojado o helado).
- Mapas térmicos de las carreteras de la red.
- Modelos de predicción a corto plazo del estado de las carreteras integrando las predicciones meteorológicas generales, los datos captados por los sensores y por radares meteorológicos y la información estadística sobre la relación entre las condiciones meteorológicas locales y los valores de las variables atmosféricas principales.
- Sistema de comunicaciones para transmitir la información al ordenador central del sistema, a los sectores de conservación y a los conductores.

Además, para mejorar la seguridad es importante que los conductores moderen la velocidad y aumenten la distancia entre vehículos cuando existen condiciones adversas para compensar el menor margen de seguridad disponible. Datos obtenidos en Finlandia indican que si bien los conductores adaptan en cierta medida su velocidad en función de las condiciones meteorológicas, las velocidades que adoptan son excesivas cuando la adherencia del neumático a la calzada se reduce por efecto del hielo o la nieve [4]. Así, aunque las velocidades medias con calzada deslizante resultan 4 km/h inferiores a las que se dan en condiciones normales, el margen de seguridad con el que se cuenta es mucho menor del habitual.

Los sistemas avanzados de advertencia de peligro por condiciones meteorológicas adversas (SAAPMA) permiten prevenir a los conductores de la existencia de situaciones específicas de riesgo con el fin de inducirles a adaptar sus pautas de conducción.

### **3. COMPONENTES DE LOS SISTEMAS AVANZADOS DE ADVERTENCIA DE PELIGRO POR CONDICIONES METEOROLÓGICAS ADVERSAS**

La composición de los SAAPMA varía desde soluciones simples, consistentes en un sensor de temperatura que activa automáticamente una señal de advertencia de peligro, hasta otras muy complejas que requieren la existencia de un SIMV asociado para estimar las condiciones de un tramo y establecer límites de velocidad variables y activar las señales de precaución adecuadas. En todo caso, los elementos que componen un SAAPMA son los siguientes:

1. Dispositivos de detección de las condiciones desfavorables.
2. Dispositivos de transmisión de los mensajes de advertencia.

### 3. Elementos de control y accionamiento de sistema.

Los detectores que son necesarios en cada caso dependen de las condiciones del emplazamiento en que se va a disponer el sistema y del tipo de fenómenos ambiental que se produce en él. Los sensores que se emplean con mayor frecuencia son los siguientes:

- a) Sensores de visibilidad.
- b) Detectores de precipitación.
- c) Anemómetros.
- d) Sensores del estado del pavimento.
- e) Cámaras de televisión.
- f) Detectores de tráfico.

La transmisión de los mensajes de advertencia a los conductores en el lugar adecuado es presenta complicaciones, ya que las condiciones atmosféricas están sujetas a cambios frecuentes. Los dispositivos que se emplean para transmitir las advertencias de peligro y las recomendaciones a los conductores pueden ser:

1. Señales fijas con dispositivos destellantes.
2. Paneles de mensaje variable fijos.
3. Paneles de mensaje variable móviles montados sobre un remolque.

El control y accionamiento de un SAAPMA puede realizarse localmente mediante un controlador independiente dotado de un microprocesador y los correspondientes algoritmos de operación del sistema o a distancia, a través del sistema de gestión de tráfico instalado en el ordenador del centro de control de tráfico.

## 4. EXPLOTACIÓN DE LOS SAAPMA

La explotación de un SAAPMA incluye las siguientes tareas:

1. Transmisión de la información captada por los sensores.
2. Tratamiento de la información y adopción de decisiones en cuanto a la activación y la elección de los mensajes de advertencia o su desactivación.
3. Activación, modificación o desactivación de los paneles de mensaje variable.
4. Control del funcionamiento del sistema.

La implantación de SAAPMA plantea una serie de problemas adicionales respecto de los que se encuentran con la del resto de los sistemas de información a los usuarios:

En primer lugar, la localización de las señales de advertencia resulta crítica para que resulten efectivas ya que deben situarse en los lugares en los que se producen las condiciones de riesgo. En consecuencia, para implantar AAWWS es necesario identificar

con precisión los tramos en los que se dan condiciones meteorológicas adversas de forma recurrente.

Segundo, las advertencias sólo deben activarse cuando las condiciones que se registran supongan un riesgo significativo para la circulación. Los algoritmos que se empleen para activar las señales deben establecerse de forma que se minimicen las falsas alarmas para reforzar la fiabilidad del sistema.

Finalmente, es vital que la información se transmita de forma que atraiga la atención de los conductores y les induzca a adaptar sus pautas de circulación en función de las condiciones excepcionales de las que se les advierte. Las recomendaciones que se transmitan a los usuarios deben ser proporcionales a los niveles de riesgo reales, de forma que sean comprendidas y asumidas con facilidad por los usuarios. Su redacción debe ser clara y concisa y su contenido debe estar adaptado a las condiciones que se den en cada momento, incluyendo en él una recomendación de que acción debe llevar a cabo el conductor (moderar la velocidad, aumentar la distancia al vehículo precedente, etc.) o una cierta regulación de las condiciones de circulación (limitación de velocidad, prohibición de adelantamiento, obligación de circular por el carril derecho para los vehículos pesados, etc.).

Otro aspecto a establecer es la secuencia en que se transmiten los mensajes a los conductores en los sucesivos paneles de señalización variable. En los casos en los que se recomiendan o imponen límites de velocidad, una alternativa para reforzar el efecto de la señalización es incluir en la secuencia de señalización, a una cierta distancia de la primera recomendación o limitación de velocidad, una señal variable asociada a un detector de velocidades que muestre la velocidad a la que viaja el vehículo y el límite o la recomendación establecida previamente.

La carga de información contenida en el mensaje debe limitarse como máximo a 3 o 4 conceptos. Por otra parte, la longitud máxima del mensaje está limitada por el tiempo de exposición que tendrá el conductor en función de la visibilidad disponible y la velocidad de circulación. Es recomendable que al menos se disponga de 1 segundo por cada palabra de entre 4 y ocho caracteres y de 2 segundos por cada línea de entre 12 y 16 caracteres. Las condiciones para la activación de los mensajes de advertencia de peligro deben establecerse con el criterio de minimizar las falsas alarmas y reforzar la credibilidad del sistema frente a los usuarios.

En consecuencia, los SAAPMA deben diseñarse para:

- Seleccionar el mensaje de advertencia adecuado en el momento oportuno. En general, el contenido y la secuencia de los mensajes se fija para una serie de intervalos de valores de la variable medida por los detectores de que consta el sistema (distancia de visibilidad, velocidad del viento, temperatura y humedad del pavimento, etc.).
- Impedir que se transmita información que no responda a la realidad o que llegue a los usuarios demasiado tarde para actuar en consecuencia.
- Suprimir los mensajes de advertencia en cuanto la situación de riesgo desaparece.

Existen distintas posibles alternativas de configuración de los SAAPMA dependiendo del tipo de accionamiento:

- a) Sistemas autónomos con accionamiento manual.
- b) Sistemas autónomos con accionamiento automático.
- c) Sistemas integrados en un centro de gestión de tráfico con accionamiento y control remotos en modalidad asistida o automático.

Se han empleado diferentes procedimientos para optimizar la localización de los dispositivos de advertencia de peligro teniendo en cuenta las variaciones en el tráfico, las reacciones de los conductores y la aleatoriedad en la localización de las condiciones meteorológicas. Con este fin se ha investigado la aplicación de algoritmos genéticos [5] y de lógica difusa [6].

## 5. PRUEBAS PILOTO

En el curso de la investigación se llevaron a cabo tres pruebas piloto de aplicación de SAAPMA para la advertencia a los conductores de restricciones de visibilidad en tres tramos situados respectivamente en la carretera convencional, una autovía y en una autopista de peaje. La localización de los tramos fue la siguiente:

1. Tramo de la carretera N-301 en la provincia de Toledo que discurre en campo abierto por una zona ondulada propicia a la formación de extensos bancos de niebla .
2. Tramo de la autovía N-IV situado en las inmediaciones de Santa Cruz de Mudela en una zona en la que se producen restricciones de visibilidad por niebla
3. Tramo de la autopista A-1 situado en la zona en la que la autopista cruza el río Ebro, lo que favorece la formación de nieblas debido a la humedad del río.

El sistema empleado en los ensayos era autónomo con accionamiento manual. Se utilizaron 2 dispositivos de señalización móviles. El primero consta de una pantalla de señalización variable montada sobre un remolque. El segundo consta de una placa que permite mostrar mensajes alfanuméricos caracteres montado en la parte posterior de una camioneta y complementado con dispositivo abatible con destellantes en el que se instala una señal fija (Fig. 3).



**Figura 3 - Panel móvil de señalización de advertencia utilizado en las pruebas piloto**

El mensaje transmitido se refuerza con un dispositivo autónomo de medida de la velocidad por radar dotado de una placa de señalización variable en la que se refleja la velocidad de circulación detectada cuando esta supera la recomendada a través de la señalización variable (Fig. 4).



**Figura 4 - Panel móvil de señalización de refuerzo equipado con detector de velocidades empleado en las pruebas piloto**

Los mensajes de advertencia de peligro que se emplearon son los reflejados en la tabla 1.

**Tabla 1 - Mensajes transmitidos por el SAAPMA en el estudio piloto**

Visibilidad (m)	Mensaje de preaviso	Mensaje de refuerzo
>200	Sin activar	Sin activar
150-200	Modere la velocidad Niebla A 2000 m	Niebla Modere la velocidad
100-150	Velocidad recomendada 80 Niebla densa A 2000 m	Velocidad recomendada por niebla 80 Ud. Circula a v km/h
<100	Velocidad recomendada 60 Niebla densa A 2000 m	Velocidad recomendada por niebla 60 Ud. circula a v km/h



En cada prueba piloto se realizó un registro continuo mediante detectores magnéticos de las velocidades de los vehículos en las secciones en las que se dispusieron los dispositivos de advertencia y de refuerzo antes y después de su colocación y activación. Los registros obtenidos permitieron comparar las distribuciones de velocidades registradas en condiciones de restricción de visibilidad en ambas situaciones. Las velocidades medias registradas resultaron significativamente menores tras la activación de los paneles en los tres casos. De igual forma se produjo una reducción de la dispersión de velocidades. La reducción de la velocidad media superó el 20% en algunos casos, mientras que la disminución de la desviación típica de la distribución de velocidades llegó a ser del 30%. Estos resultados concuerdan con los que se han obtenido en otros países en experiencias similares [7].

## **6. ESTIMACIÓN DE LA REDUCCIÓN DE LA ACCIDENTALIDAD ALCANZABLE MEDIANTE LA IMPLANTACIÓN DE SISTEMAS DE ADVERTENCIA DE PELIGRO EN LA RED ESPAÑOLA**

Para estimar el potencial de reducción alcanzable mediante la implantación de SAAPMA en la Red española llevó a cabo un estudio detallado de una muestra de 259 accidentes con víctimas. La muestra se seleccionó aleatoriamente entre los accidentes ocurridos en las carreteras que de acuerdo con los resultados del estudio de la accidentalidad en la Red de Carreteras del Estado registran una mayor concentración de siniestros en condiciones adversas. En función de la relación de la causa del accidente con los factores sobre los que actúan los SAPMA los accidentes incluidos en la muestra se clasificaron en cuatro categorías.

1. Relación alta: accidentes atribuibles a las condiciones adversas combinadas con velocidades inadecuadas y distracciones de los conductores
2. Relación media: accidentes atribuibles a las condiciones adversas en los que las velocidades inadecuadas y las distracciones de los conductores no eran los únicos factores concurrentes.
3. Relación baja: accidentes atribuibles a las condiciones adversas en los que las velocidades inadecuadas y las distracciones de los conductores no eran factores concurrentes.
4. Relación nula: Accidentes no atribuibles a las condiciones adversas.

La tabla 2 resume los resultados del estudio para cada tipo de condición meteorológica adversa.

**TABLA 2 - Resultados del estudio detallado de una muestra de 259 accidentes en condiciones meteorológicas adversas**

Factor meteorológico	Relación de la causa del accidente con los factores sobre los que actúan los SAAPMA			
	ALTA	MEDIA	BAJA	NULA
Lluvia fuerte	0 %	79,4 %	5,9 %	14,7 %
Niebla ligera	38,1 %	23,8 %	9,5 %	28,6 %
Niebla intensa	24,3 %	43,3 %	18,9 %	13,5 %
Visibilidad restringida	45,5 %	20 %	7,3 %	27,2 %
Viento fuerte	53,8 %	23,1 %	0 %	23,1 %
Nevada	43,4 %	33,3 %	13,3 %	10 %
Helada	75 %	18,8 %	0 %	6,2 %
Polvo o humo	0 %	50 %	0 %	50 %

A partir de los resultados obtenidos en el estudio detallado de accidentalidad y en los tramos de ensayo estimó la reducción de accidentalidad alcanzable en la Red del Estado mediante la implantación de SAAPMA en los 214 tramos de concentración de accidentes en condiciones adversas identificados. La estimación se basa en la asignación de una probabilidad de que un accidente en condiciones meteorológicas adversas sea evitado si en el tramo que sucede se dispone un SAAPMA con el diseño y el funcionamiento adecuados para transmitir una advertencia de peligro eficaz. La fórmula aplicada para calcular el factor de reducción de la accidentalidad correspondiente a cada factor meteorológico predominante es la siguiente:

$$F_j = \sum_{i=1}^4 P_i r_{i,j}$$

siendo

$F_j$  : Factor de reducción estimado de la accidentalidad en condiciones adversas alcanzable por la implantación de SAPMA en tramos en los que la condición predominante es la j

$P_i$  : Probabilidad estimada de evitar un accidente en condiciones adversas cuando su grado de relación con los factores sobre los que actúan los SAPMA es i (i toma los siguientes valores: i=1 →Relación alta; i=2 →Relación media; i=3 →Relación baja; i=4 →Relación nula)

$r_{ij}$ : Frecuencia relativa de los accidentes en los que la condición predominante es la  $j$  en los que el nivel de relación de la causa del accidente con los factores sobre los que actúan los SAPMA es la  $i$

Los factores de reducción obtenidos son los reflejados en la tabla 3.

**Tabla 3 - Factores de reducción estimado de la accidentalidad en condiciones adversas alcanzable por la implantación de SAPMA**

Condición predominante	Factor de reducción
Lluvia fuerte	0,4088
Niebla ligera	0,4428
Niebla intensa	0,4487
Visibilidad restringida	0,4786
Viento fuerte	0,5459
Nevada	0,5403
Helada	0,6940
Granizo	0,4000
Polvo o humo	0,2500
Varios	0,4761

Aplicando a la accidentalidad registrada en los TAACMA identificados los factores de reducción correspondientes a las condiciones meteorológicas predominantes en ellos se obtiene una estimación de la reducción de accidentalidad alcanzable con la implantación de SAPMA. La reducción estimada de la accidentalidad alcanza un 43,5 % de los 480 accidentes con víctimas en condiciones adversas que se registran anualmente como media en estos tramos, con lo que la reducción de accidentalidad se cifraría en más de 200 accidentes con víctimas al año, incluyendo 20 víctimas mortales. Los beneficios sociales anuales de esta disminución de la accidentalidad serían superiores al coste de instalación de los sistemas en la Red, que se estimó en 20 millones de euros.

## 7. CONCLUSIONES

De los estudios realizados se pueden deducir las siguientes conclusiones:

- Las condiciones meteorológicas adversas originan importantes problemas de seguridad vial. En particular, en España, el 10% de los accidentes con víctimas se origina en estas condiciones. Este porcentaje se mantiene estable a lo largo del tiempo, lo que justifica que se adopten medidas específicas para tratar el problema.
- En España, dos tercios de los accidentes con víctimas y más del 70% de las víctimas mortales en accidentes en condiciones adversas son atribuidos en los informes de

accidentes a velocidades inadecuadas o a distracciones de los conductores. Por tanto, las medidas de mejora de la seguridad deben dirigirse a conseguir reducciones de velocidad y mayor atención de los conductores cuando se encuentren con condiciones meteorológicas desfavorables.

- Para implantar medidas de mejora de la seguridad es necesario identificar los tramos en los que se haya producido una concentración significativa de accidentes en condiciones adversas.
- La instalación de sistemas avanzados de advertencia de peligro por condiciones adversas diseñados y explotados adecuadamente puede permitir reducir los accidentes con víctimas hasta en un 40%. Esta reducción puede alcanzar el 85% en las situaciones de peligro originadas por la niebla.
- Los beneficios sociales derivados de la reducción de la accidentalidad que podría obtenerse de la implantación de los SAAPMA en la Red española serían superiores al coste de implantación de los sistemas.

## REFERENCIAS

1. Pardillo Mayora, J. (2004): "Aplicaciones ITS para aumentar la seguridad vial con meteorología adversa". Estudios de Construcción y Transportes nº 100, enero a junio 2004, pags. 29 a 50. Ministerio de Fomento, Madrid, España.
2. Pardillo Mayora, J (1998): "Sistemas de información meteorológica para la gestión de operaciones preventivas de vialidad invernal". Rutas nº 65. Asociación Técnica de Carreteras. Madrid, España
3. Federal Highway Administration (1997): Snow and Ice Control. Road Savers, FHWA-SA-97-035. Washington DC, EEUU
4. Kulmala, R and Rama, P. The Effects Of Weather and Road Condition Warnings on Driver Behavior. Road Safety in Europe and Strategic Highway Research Program ,SHRP. Swedish National Road and Transport Research Institute, Linkoping, Suecia
5. Abbas, M and McCoy, P. (1999):Optimizing Variable Message Sign Locations on Freeways Using Genetic Algorithms. 78th Annual Meeting Proceedings, Transportation Research Board, Washington DC, EEUU.
6. Placer, J. and Sagahandron, A. (1998): Fuzzy Variable Speed Limit Device Project. Department of Computer and Electrical Engineering. Northern Arizona University, Flagstaff, AZ, EEUU.
7. Robinson, M. (1997):. Examples of Variable Speed Limit Applications. Speed Management Issues Workshop, 79th TRB Annual Meeting. Transportation Research Board, Washington DC, EEUU