

## **MEDIDAS DE BAJO COSTE: SU EFICACIA PARA REDUCIR LOS ACCIDENTES**

### **Roberto Llamas Rubio**

Ministerio de Fomento  
Dirección General de Carreteras  
Coordinador de Seguridad Vial  
Madrid  
España

Paseo de la Castellana, 67, dpcho. B-839

Tel.: +34 91 5978851

Fax:+34 91 5978579

28027

[rllamas@fomento.es](mailto:rllamas@fomento.es)

### **Vicente Vilanova Martínez-Falero**

Ministerio de Fomento  
Dirección General de Carreteras  
Subdirector General de Conservación y Explotación de Carreteras  
Madrid  
España

Paseo de la Castellana, 67, dpcho. B-812

Tel.: +34 91 5978121

Fax:+34 91 5978579

28027

[vvilanova@fomento.es](mailto:vvilanova@fomento.es)

### **Alonso Dominguez Herrera**

Pointec,S.A.  
Director General de Pointec, S.A.  
Avda. Burgos 12  
28036 Madrid

Tel:+34 91 3025040

Fax: +34 91 3021437

28036

[adominguez@pointec.es](mailto:adominguez@pointec.es)

## RESUMEN

La presente ponencia demuestra que las actuaciones de bajo coste o coste moderado son eficaces y rentables económicamente a la hora de reducir la accidentalidad en las carreteras.

Para ello, se han analizado unas 4.000 actuaciones de este tipo realizadas en la Red de Carreteras del Estado (RCE) en España. Se expondrán los resultados obtenidos (reducción de accidentes obtenidos, ratio coste/beneficio, tiempo de amortización, etc), analizándolos según el tipo de actuación, de vía, tráfico soportado y se detallará la tipología de accidentes sobre la que resultan más eficaces las distintas medidas. También se indicarán recomendaciones sobre la metodología más conveniente a emplear para realizar este tipo de estudios, de forma que la reducción de accidentes sea realmente imputable a una única actuación.

En cuanto a los resultados obtenidos, señalar que las mejoras de la señalización han resultado ser las medidas más eficientes, al conseguir reducir el riesgo de mortalidad en un 39% y, dado su menor coste, lograr amortizar la inversión realizada en menos de 2,5 meses. Los tratamientos de márgenes han reducido el riesgo de mortalidad un 84%. La iluminación, los tratamientos de travesía, las mejoras locales de trazado y los tratamientos de seguridad vial del firme han disminuido en más de un 62% la mortalidad. Y los tratamientos de cunetas han reducido el riesgo de mortalidad un 31%.

Junto al análisis pormenorizado de los resultados obtenidos, se mostrarán numerosos ejemplos prácticos de actuaciones ejecutadas.

Como conclusión general, debe remarcar que la implementación de medidas de bajo coste constituye una buena estrategia para mejorar la seguridad vial, sin necesidad de grandes dotaciones presupuestarias. Su éxito o acierto estribará, fundamentalmente, en que se traten de actuaciones muy localizadas y diseñadas específicamente tras un análisis detallado de las carencias o deficiencias de seguridad de la carretera.

## 1.- INTRODUCCIÓN

El grave problema que supone la pérdida de vidas humanas en las carreteras de un país, ha suscitado una demanda político-social encaminada a mejorar los niveles de seguridad de circulación en ellas.

Todos los países se encuentran envueltos, especialmente los menos desarrollados, en grandes proyectos de creación de infraestructuras y de adaptación de la antigua red existente a las nuevas exigencias impuestas por la actividad económica y la presión social.

Pero el afán inversor en nuevas infraestructuras se ve frenado en épocas de crisis económica, donde las restricciones presupuestarias hacen que se deban optimizar la asignación de los recursos de forma que los niveles de seguridad de carreteras sigan mejorándose ya que la demanda social no cesa. Para ello si se dispusiera de previsiones fiables de la disminución de accidentes en función de la medida adoptada, se podrían seleccionar las más eficaces y rentables.

Sin embargo, hay pocas publicaciones que aborden con cierto rigor técnico-científico el tema de la posible reducción de la accidentalidad en función del tipo de actuación viaria adoptada. ¿En qué medida los programas o actuaciones concretas llevadas a cabo sobre la infraestructura contribuyen a la mejora de la seguridad vial?, ¿cuáles son las más eficaces y cuáles las más rentables desde el punto de vista de la seguridad vial?. La contestación a estos interrogantes no es tarea fácil, ya que, es frecuente la interacción entre distintas actuaciones espacialmente y en el periodo de su ejecución (solape físico y temporal), además de los cambios experimentados en la conducta vial de los usuarios, por lo se complica la atribución de la variación de la accidentalidad a una determinada actuación en la carretera.

No obstante, conocer la respuesta a dichas preguntas es especialmente importante, pues permite la optimización de los recursos disponibles y, además, constituye un argumento más a la hora de justificar la solicitud de mayor dotación presupuestaria para mejorar los niveles de seguridad en las carreteras.

En esta ponencia se pretende dar respuesta a estas cuestiones en base a la experiencia acumulada en este campo por la Dirección General de Carreteras (DGC) del Mº de Fomento (España) mediante el desarrollo de los Programas específicos de Seguridad Vial que, con una inversión de unos 100 millones de euros anuales, incluyen actuaciones relativas a la infraestructura diseñadas para mejorar situaciones peligrosas o potencialmente conflictivas para la circulación.

La destacable reducción de accidentalidad experimentada junto al número de actuaciones realizadas y el transcurso de un periodo de tiempo suficiente desde sus puestas en servicio, han permitido realizar un análisis riguroso y estadísticamente significativo de la eficacia y rentabilidad económica de las medidas ejecutadas.

Así, en la presente ponencia se expone la metodología seguida en la evaluación de la eficacia-rentabilidad de las diferentes medidas llevadas a cabo, en general, de bajo coste, y los resultados obtenidos.

## **2.- METODOLOGÍA EMPLEADA EN LA EVALUACIÓN**

### **2.1 Evaluación de la Eficacia**

A continuación, se describen brevemente los principios metodológicos que han regido el estudio de eficacia: representatividad de la muestra, correcta asignación de la variación de la accidentalidad experimentada a una determinada actuación, consideración de la

variación del tráfico (IMD= Intensidad Media Diaria) en el análisis de la reducción de la accidentalidad para los tramos afectados y contraste de la fiabilidad de los resultados obtenidos e influencia de otros factores en la variación de la accidentalidad.

### **2.1.1.- Representatividad de la muestra analizada**

El número de actuaciones necesarias analizar para cada tipo de medida debe ser suficiente para que los resultados que se obtengan puedan considerarse representativos.

Como datos de partida se han considerado más de 3.800 obras realizadas en la Red de Carreteras del Estado (RCE) y puestas en servicio en 5 años.

### **2.1.2.- Imputación de la reducción de accidentes a cada medida adoptada**

Esta fase es decisiva si se quiere obtener unos resultados coherentes y satisfactorios. No hay que olvidar que el objeto del estudio es determinar la eficacia de una actuación-tipo en la disminución de accidentes. Si en un mismo tramo se ha realizado un conjunto de actuaciones de distinto tipo, difícilmente podremos determinar en que proporción ha contribuido cada una de ellas en la reducción de accidentes.

Por ello, con objeto de asegurar la correcta asignación de la variación de la accidentalidad a una determinada actuación, se ha exigido que a lo largo del tramo afectado por una actuación no se haya realizado ninguna otra durante, al menos, un periodo mínimo de un año.

Para lo cual ha sido necesario realizar una selección previa por solape "físico", entendiéndose como solape físico el hecho de que actuaciones tengan en común parte o la totalidad del tramo al que afectan, independientemente de cuando se hayan ejecutado.

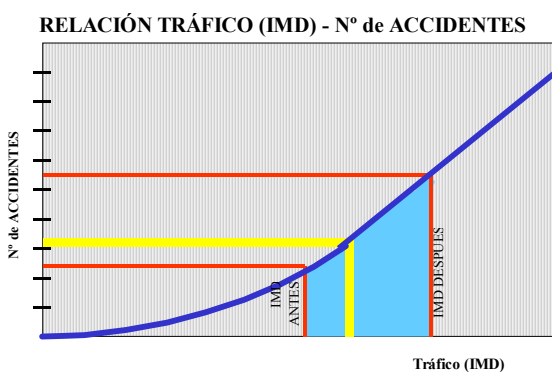
No obstante, aquellas actuaciones solapadas físicamente pero en las que exista al menos un año antes y otro posterior a la puesta en servicio se han considerado aptas para el análisis posterior, ya que es posible atribuir la variación de la accidentalidad inequívocamente a dicha actuación.

Este proceso garantiza la rigurosidad del estudio y la de sus conclusiones aunque limita la muestra inicialmente considerada. No obstante, las actuaciones resultantes de este proceso de depuración han sido suficientemente representativas, al afectar a unos 5.000 Km; es decir, aproximadamente, al 20% de la red.

### 2.1.3.- Accidentalidad evitada en función del tráfico

La evaluación de la eficacia de una actuación de mejora de la seguridad vial parte de una comparación del número de accidentes observado en un periodo de tiempo de igual duración antes y después de la ejecución de la misma. Pero no es lo mismo reducir 10 accidentes en un tramo por el que circulan 1000 vehículos/día que en otro con 100.000 vehículos/día.

**Figura 1: Correlación entre el tráfico y la accidentalidad**



Por tanto, para el cálculo de la accidentalidad evitada es necesario tener en cuenta la variación del nivel de exposición, representado por el volumen de tráfico (vehículos-km), y que, en general, aumenta anualmente. Por lo cuál, se ha partido de la hipótesis de que si no se hubiese actuado en el tramo, los niveles de

seguridad seguirían siendo los mismos; es decir, los índices que relacionan el número de accidentes o sus consecuencias con el nivel de exposición (índices de peligrosidad y

mortalidad<sup>1</sup>) se hubiesen mantenido. En caso contrario, estaríamos suponiendo que el número de accidentes sería el mismo aunque aumentase o disminuyese el tráfico y esto, en general, no es cierto.

De acuerdo con estas pautas se procedió a evaluar la eficacia de las diferentes medidas, cuantificando las tasas de reducción de accidentes alcanzadas.

#### **2.1.4.- Fiabilidad de los resultados obtenidos**

También es necesario realizar una validación de los resultados obtenidos; es decir comprobar mediante técnicas estadísticas si los resultados son significativos o no.

Por otro lado, se conoce que la distribución teórica que mejor se ajusta a la frecuencia de los accidentes es la distribución de Poisson. En base a esto, se ha determinado el nivel de confianza de los resultados obtenidos mediante el test estadístico de la "chi cuadrado" ( $\chi^2$ ) y, en general, han resultado "suficientemente" fiables o estadísticamente significativos. No obstante, hay que reseñar que la significancia estadística ha sido algo menor para la accidentalidad mortal como consecuencia de la existencia de una menor muestra (frecuencia de accidentes mortales).

#### **2.1.5.- Influencia de otros factores diferentes de la carretera**

Por último, hay que tener en cuenta que en las reducciones conseguidas en aquellos tramos donde se han realizado actuaciones sobre la infraestructura también intervienen, en mayor o menor medida, las mejoras generales experimentadas durante esos años en materia de educación vial, formación de los conductores, perfeccionamiento o renovación del parque automovilístico, vigilancia y control, ..., etc.

---

Por ello, es necesario determinar de alguna manera la influencia de otros factores distintos de la carretera (humano y vehículo) en la disminución de la accidentalidad.

Con este objeto, se identificaron aquellos tramos donde no se había actuado sobre la infraestructura en esos mismos años analizados y siguiendo una metodología similar se cualificó la reducción de accidentes conseguida en los mismos en un 7%. Evidentemente, esta disminución se puede atribuir al conjunto de factores anteriormente comentados, todos ellos distintos de la carretera.

Por tanto, suponiendo que estos factores (distintos de la vía) hayan intervenido de igual modo en los tramos donde se actuó sobre la infraestructura, el diferencial entre la reducción total conseguida en los mismos (calculada según el apartado 2.1.3) y el 7% sería la disminución real de accidentes atribuible exclusivamente a la mejora realizada sobre la carretera.

## **2.2. Evaluación de la Rentabilidad Económica**

Paralelamente al análisis de eficacia se efectuó un estudio de rentabilidad económica contemplando únicamente la siniestralidad; es decir, contabilizando exclusivamente los beneficios derivados de la reducción de víctimas sin entrar a cuantificar otros aspectos como las mejoras de capacidad, movilidad, ahorro de carburante, disminución del tiempo de recorrido, etc. La valoración de la accidentalidad utilizada en el estudio ha sido de: 150.000€ para la víctima mortal, 20.000€ para el herido grave y 360€ para el herido leve. Lógicamente, la valoración que se adopte en este tipo de estudios resulta fundamental para la futura rentabilidad de las actuaciones analizadas. En este sentido hay que señalar que el coste medio considerado en los países de la Unión Europea para la víctima mortal es 4 veces mayor que en España, lo que hace que los resultados obtenidos no puedan ser comparados o extrapolados a otros países.



Hecha esta salvedad, se han obtenido las tasas de accidentalidad evitada por unidad de inversión (600.000€), así como la relación beneficio/coste y el periodo de recuperación de la inversión realizada.

### **3.- RESULTADOS**

En primer lugar hay que significar que las actuaciones incluidas en los programas de seguridad vial, en general, se derivan de un análisis previo de la accidentalidad acompañado de un trabajo "in situ", analizándose las posibles causas y factores concurrentes en los accidentes y relacionándolos con las posibles carencias de seguridad existentes en la carretera. Por tanto, se tratan de medidas adoptadas normalmente en tramos muy localizados después de un estudio muy minucioso, por lo que las eficacias conseguidas son realmente elevadas pero que no pueden generalizarse para cualquier situación. En el conjunto de tramos afectados por las actuaciones incluidas en estos programas se han reducido los accidentes con víctimas y los mortales, en el periodo analizado, a la mitad (un 50% y 45%, respectivamente). Esto supone, considerando el aumento del tráfico experimentado, que el riesgo de sufrir un accidente en los tramos tratados disminuyó un 38% y el riesgo de mortalidad un 34%. Además, los programas de seguridad vial resultan ser los más eficientes; es decir, los que permiten mayores reducciones de la accidentalidad con la menor inversión posible. Así, se han evitado algo más de 7 accidentes con víctimas (7,25) y, prácticamente uno mortal (0,8) por cada 600.000€ invertidos, lo que da lugar a un periodo de amortización del programa de 2,5 años. Queda patente la trascendencia de estos programas en la mejora de seguridad vial; más aún en una época de crisis donde los recortes presupuestarios hacen que tengan un mayor protagonismo pues se deben mantener y mejorar los niveles de seguridad con una menor disponibilidad económica. Veamos a continuación los resultados obtenidos en los tramos afectados distinguiendo por tipo de actuación que se detallan en la tabla adjunta. Se han estudiado 10 actuaciones tipo que pasamos a analizar.

- En primer lugar, hay que destacar la altísima rentabilidad que suponen las actuaciones de mejora de la señalización (instalación de nuevas señales verticales, paneles

*Tabla 1: Reducción de la accidentalidad y tiempo de amortización por tipo de actuación*

TIPO DE ACTUACIÓN	Índice de Peligrosidad			Índice de Mortalidad			RECUPERACIÓN INVERSIÓN (años)
	antes	después	reducc.	antes	después	reducc.	
Iluminación	34,9	9	74%	3,2	1,2	62%	8,6
Tratamientos de travesías	82,0	43,8	47%	5,3	1,7	68%	2,4
Mejora local de trazado	27,7	13,9	50%	3,7	1,4	62%	15,9
Tratamientos de s.v. en firmes	42,5	22,4	47%	13,0	4,8	63%	0,7
Enlaces	52,6	30,8	41%	6,7	5,7	15%	80,8
Tratamientos Márgenes	34,2	20,1	41%	12,9	1,5	88%	2,3
Tratamientos Intersecciones	43,6	32,2	28%	7,8	3,6	54%	10,2
Señalización	61,6	50,8	18%	9,7	5,9	39%	0,2
Barreos seguridad	10,0	9,5	5%	1,1	0,5	54%	1,7

direccionales en curvas, balizamiento –hitos de arista, balizas, ojos de gato-, etc.). Su elevada eficacia junto con su bajo coste hacen que en pocos meses estén amortizadas.

Así, con un coste medio

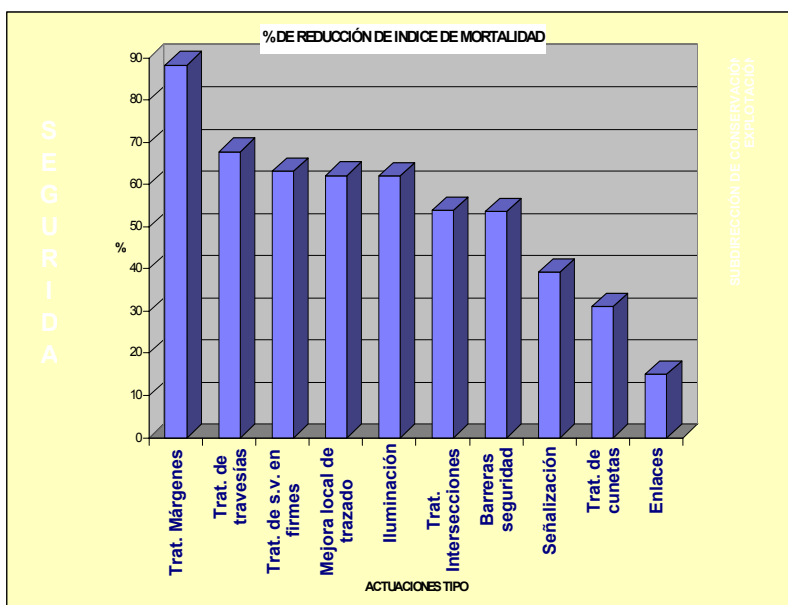
de estas actuaciones de 4.025 €/km, el riesgo de que ocurriese un accidente en dichos tramos se redujo un 18% (nivel de confianza para el percentil 95 - $\chi_{95}$ - del 81%) y el de mortalidad un 39%. La relación beneficio/coste obtenida ha sido de 6,5 (la más alta de todas las actuaciones consideradas), con lo que en menos de 2 meses y medio se había recuperado la inversión inicialmente realizada.

- En los tramos tratados mediante iluminación, generalmente en zona urbana y con una longitud media de 2,4 km, se ha conseguido reducir la peligrosidad en un 74% y el riesgo de mortalidad en un 62% (nivel de significancia - $\chi_{95}$ - superior al 81%). Esto supone reducir prácticamente 4 accidentes por cada 600.000€, resultando un periodo de amortización de unos 8,5 años. No obstante, hay que destacar que estos resultados corresponden al conjunto de la accidentalidad, diurna y nocturna.

- Tanto con tratamientos de travesías, mejoras locales de trazado como con tratamientos especiales del firme se han conseguido reducir los accidentes con víctimas y el IP a la mitad en los tramos tratados, mientras que los accidentes mortales y el riesgo de mortalidad han disminuído en más de un 62% (significancia - $\chi_{95}$ - superior al 95% salvo en la mortalidad de las mejoras de trazado donde es del 52%). En cambio, la

rentabilidad económica, aún siendo alta en todos los casos, difiere más según se trate de un tipo u otro.

Así, los tratamientos especiales del firme (pavimentos antideslizantes, slurrys, lechadas bituminosas, pavimentos porosos,...) con un coste medio de 24.000€/km se amortizaron en tan sólo 8 meses.



Los tratamientos de travесías (construcción de aceras, instalación de barandillas, mejoras del firme, instalación de pasos de peatones, pasarelas, iluminación,...), con coste medio de 114.000 €/Km, se han amortizado en algo menos de 2 años y medio (29 meses).

**Figura 2: Reducción de la mortalidad por tipo de actuación**

Las mejoras locales de trazado (rectificación de curvas y/o la rasante), con un coste medio por km de 240.000€, se logran amortizar en unos 16 años.

- Mediante el tratamiento de las márgenes (despejes laterales, eliminación de obstáculos,..., etc) se han conseguido reducir los accidentes (al aumentar la visibilidad) y, fundamentalmente, la gravedad y consecuencias de los mismos, habiéndose reducido, en los tramos afectados, el riesgo de mortalidad un 88% (percentil 95 - $\chi_{95}$ - del 78%) y el de peligrosidad del 41% ( $\chi_{95}$ = 98%). El periodo de recuperación de la inversión ha sido de algo más de 2 años (2,3). Por tanto, se trata de las medidas más

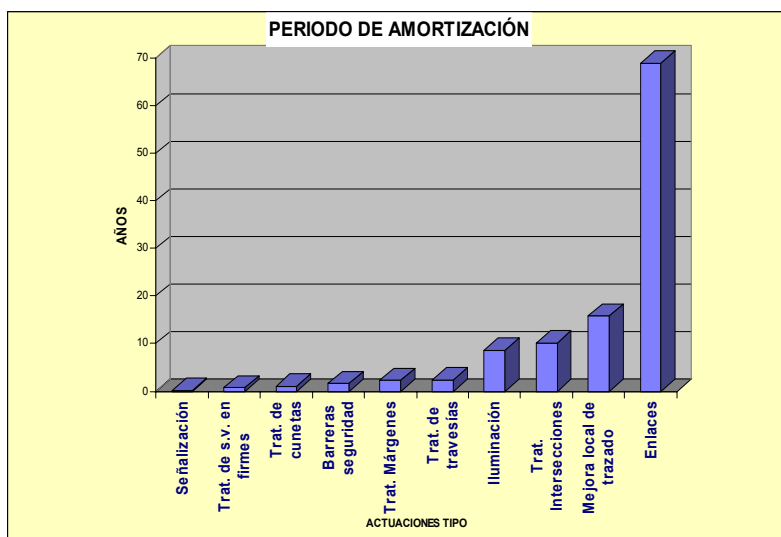
eficaces y rentables para disminuir las consecuencias de los accidentes por salida de la vía.

- Otro tipo de actuación altamente eficaz en la reducción de la gravedad de los accidentes y muy rentable económicamente es la instalación de barreras de seguridad. Así, mientras en los tramos tratados el riesgo de sufrir un accidente disminuyó sólo un 5%, el riesgo de mortalidad lo hizo en un 54%.

- Las actuaciones de tratamiento de cunetas (protección, cubrición, suavizado de taludes, construcción de cunetas de seguridad, etc.) suponen también una medida muy

eficaz para disminuir la gravedad de los accidentes.

A pesar de haber aumentado el índice de peligrosidad un 15% en los tramos con estas actuaciones, el riesgo de mortalidad se ha reducido en un 31%. El periodo medio de retorno de la inversión obtenido para este tipo de medidas ha sido de un año.



**Figura 3: Periodo de amortización por tipo de actuación**

- También se han estudiado actuaciones de tratamiento de intersecciones consistentes en pequeñas mejoras locales y acondicionamientos (canalización de giros -mediante construcción o pintado de isletas, balizamiento-, construcción de cuñas, carriles de cambio de velocidad, carriles centrales de espera,...). En ellas, el riesgo de accidentalidad se ha reducido en un 26% y el de mortalidad en un 54%. El periodo de amortización resultante para estas actuaciones ha sido de 10 años. En cambio, la sustitución de intersecciones por enlaces en carreteras convencionales, a pesar de

haber reducido la peligrosidad en un 41% ( $\chi_{95}= 99\%$ ) en general, no se justifican económicamente exclusivamente por criterios de seguridad vial, ya que el elevado coste de éstos -unos 1.200.000€-, hace que su periodo de amortización sea mucho más dilatado.

#### **4.- CONCLUSIONES**

A continuación se resumen las conclusiones más importantes que se derivan de los resultados anteriormente expuestos:

1.- Los programas específicos de seguridad vial, independientes de los de conservación y construcción, son altamente eficaces y rentables y constituyen una muy buena estrategia a seguir en materia de seguridad vial relativa a la infraestructura. La construcción de autopistas y autovías supone una mejora importante en la seguridad vial, especialmente en el riesgo de mortalidad, pero dado su elevado coste, no se justifican económicamente sólo por dicha mejora.

2.- Estos programas incluyen actuaciones relativas a la infraestructura, en general de pequeño coste, diseñadas para eliminar situaciones peligrosas o potencialmente conflictivas para la circulación. Esta es la estrategia seguida en los últimos años en España por la Dirección general de Carreteras con excelentes resultados, al conseguir evitar anualmente algo más de 7 accidentes con víctimas y, prácticamente, 1 accidente mortal por cada 600.000 euros invertidos en los programas de seguridad vial.

3.- El éxito de las medidas desarrolladas estriba en que se adoptan en tramos muy localizados tras un estudio detallado de las carencias de seguridad. Así, en aquellos tramos donde se han implementado tratamientos de márgenes, el riesgo de mortalidad ha disminuido un 88% y donde se han aplicado medidas de iluminación, el riesgo de sufrir un accidente se redujo un 74% y el de mortalidad un 62%. Pero, sin lugar a

dudas, la medida más eficiente de todas es la señalización ya que presenta una relación beneficio-coste de 6,5, lo que supone que en pocos meses esté amortizada.

4.- Por tanto, para reducir la siniestralidad es necesario invertir en carreteras. Pero se pueden mejorar los niveles de accidentalidad sin necesidad de realizar actuaciones muy caras.

## REFERENCIAS

[1] *"Base informática de accidentes y anuarios estadísticos de accidentes en la Red de Carreteras del Estado de los años 1989, 1990, 1991, 1992, 1993, 1994 y 1995"*. Subdirección General de Conservación y Explotación de la Dirección General de Carreteras. Mº de Fomento. España.

[2] COST 313. *"Coste socio-económico de los accidentes"*. Comisión de las Comunidades Europeas. Informe final. 1995.

[3] *"Programa Operativo Anual (POA)"*. Junio 1996. Subdirección General de Planificación. Programas de Seguridad Vial. Subdirección General de Conservación y Explotación. Dirección General de Carreteras. Mº de Fomento. España.

[4] *"Programas Anuales de Seguridad Vial del Ministerio de Fomento"*. Subdirección General de Conservación y Explotación de la Dirección General de Carreteras. Mº de Fomento. España.

[5] *"Recomendaciones para la evaluación económica, coste-beneficio de estudios y proyectos de carreteras. Actualización datos Agosto 92 y Julio 93"*. Servicio de Planeamiento. Subdirección General de Planificación de la Dirección General de Carreteras. Mº de Fomento. España.

[6] *"The 1996, 1995, 1994 and 1993 Annual Reports on Highway Safety Improvement Programs"*. Highway Federal Administration. EEUU.