

**FUNDACIÓN MAPFRE**

**Contribución de la carretera a la  
mejora de la seguridad vial en España**

Área de Prevención y Seguridad Vial



# Fecha

Septiembre 2015

**Autor:** Asociación Española de la Carretera y Área de Prevención y Seguridad Vial de FUNDACIÓN MAPFRE

**Fotografía:** Banco de imágenes Shutterstock

**Maquetación:** Pilar Prieto, Área de Prevención y Seguridad Vial de FUNDACIÓN MAPFRE

El contenido de esta publicación puede ser utilizado o referido siempre que se cite la fuente del siguiente modo: *Asociación Española de la Carretera y Área de Prevención y Seguridad Vial de FUNDACIÓN MAPFRE (2015). Contribución de la carretera a la mejora de la seguridad vial en España.*

## **Contribución de la carretera a la mejora de la seguridad vial en España**

# Contenidos

RESUMEN EJECUTIVO	6
1. ANTECEDENTES	9
2. OBJETIVOS	10
3. METODOLOGÍA	11
4. HIPÓTESIS DE TENDENCIA DE ACCIDENTALIDAD ESPERADA EN ESPAÑA	12
5. ESCENARIO 1: CONSTRUCCIÓN DE VÍAS DE GRAN CAPACIDAD (AUTOVÍAS Y AUTOPISTAS)	14
5.1. Caracterización del escenario 1	14
5.1.1. Longitud de la red por tipo de vía	14
5.1.2. Tráfico	15
5.1.3. Evolución de la siniestralidad por tipo de vía	16
5.1.4. Índices de Peligrosidad y Mortalidad	17
5.1.5. Índices de Gravedad y Letalidad	19
5.2. Descripción de referencias	21
5.2.1. Referencias nacionales	21
5.2.2. Referencias internacionales	21
5.3. Estimación de la reducción potencial de accidentalidad	21
5.3.1. Vías de Gran Capacidad frente a carreteras convencionales	21
5.3.2. Conversión de carreteras convencionales en carreteras 2+1	25
5.4. Ficha-Resumen del escenario 1	27
6. ESCENARIO 2: CONSTRUCCIÓN DE VÍAS DE CIRCUNVALACIÓN A POBLACIONES	28
6.1. Caracterización del escenario 2	28
6.2. Descripción de referencias	29
6.2.1. Referencias nacionales	29
6.2.2. Referencias internacionales	29
6.3. Estimación de la reducción potencial de accidentalidad	29
6.4. Ficha-Resumen del escenario 2	31
7. ESCENARIO 3: ELIMINACIÓN DE TRAMOS DE CONCENTRACIÓN DE ACCIDENTES	32
7.1. Caracterización del escenario 3	32
7.2. Descripción de referencias	33

7.2.1. Referencias nacionales	33
7.2.2. Referencias internacionales	33
7.3. Estimación de la reducción potencial de accidentalidad	34
7.4. Ficha-resumen del escenario 3	35
8. ESCENARIO 4: MEJORA DE LA SEGURIDAD DE LOS MÁRGENES DE LAS VÍAS	36
8.1. Caracterización del escenario 4	36
8.2. Descripción de referencias	37
8.2.1. Referencias nacionales	37
8.2.2. Referencias internacionales	38
8.3. Estimación de la reducción potencial de accidentalidad	40
8.4. Ficha-resumen del escenario 4	41
9. ESCENARIO 5: ILUMINACIÓN DE TRAMOS SINGULARES DE CARRETERAS	42
9.1. Caracterización del escenario 5	42
9.2. Descripción de referencias	43
9.2.1. Referencias nacionales	43
9.2.2. Referencias internacionales	44
9.3. Estimación de la reducción potencial de accidentalidad	44
9.4. Ficha-resumen del escenario 5	45
10. ESCENARIO 6: MEJORA DE LAS INTERSECCIONES	46
10.1. Caracterización del escenario 6	46
10.2. Descripción de referencias	46
10.2.1. Referencias nacionales	46
10.2.2. Referencias internacionales	46
10.3. Estimación de la reducción potencial de accidentalidad	47
10.4. Ficha-resumen del escenario 6	50
11. ESCENARIO 7: OTRAS ACTUACIONES EN LA INFRAESTRUCTURA	51
11.1. Mejora del firme	51
11.2. Reposición de señales verticales e instalación de elementos de balizamiento	52
11.3. Repintado de marcas viales	52
11.4. Resaltos en marcas viales	53
11.5. Tecnología de información y gestión del tráfico	53
12. CONCLUSIONES	54
12.1. Reducciones potenciales de siniestralidad	55
12.2. Relación beneficio-coste de las medidas	60
12.3. Recomendaciones para la mejora de la seguridad de las infraestructuras en el corto, medio y largo plazo	63
13. BIBLIOGRAFÍA	65

# Resumen ejecutivo

## 1. Objeto

El principal objetivo del estudio consiste en identificar la aportación del factor infraestructura a la seguridad vial en España, lo cual se alcanzará a través de los siguientes objetivos secundarios:

- Cuantificar el impacto que las medidas más significativas de modificación y mejora de las vías públicas han tenido en la reducción de la siniestralidad vial.
- Realizar una proyección sobre la re-

ducción que podría conseguirse en los próximos años con determinadas modificaciones en la infraestructura y su equipamiento.

- Complementar otros estudios disponibles acerca de la contribución del vehículo u otros aspectos relacionados con el marco legal y de control a la reducción global de la accidentalidad en España.

## 2. Metodología

La consecución de los objetivos planteados pasará por el establecimiento de una metodología que permita identificar la situación

actual, identificar hipótesis de mejora de la siniestralidad y describir los resultados de los distintos escenarios analizados.



## 3. Medidas analizadas

Los escenarios analizados fueron 6:

- Construcción de vías de gran capacidad.
- Construcción de vías de circunvalación a poblaciones.
- Eliminación de tramos de concentración de accidentes.
- Mejora de la seguridad de los márgenes de las vías.

- Iluminación de tramos singulares de carreteras.
- Mejora de las intersecciones.

Complementariamente, se estudiaron con menor profundidad otras actuaciones, como la mejora del firme, la reposición de señales verticales e instalación de elementos de balizamiento, el repintado de marcas viales, los resaltos en marcas viales y la tecnología de información y gestión del tráfico.

## 4. Resultados y Recomendaciones

El presente estudio no pretende ser un cálculo exacto o indiscutido del potencial de prevención de víctimas que podría alcanzarse, sino una primera aproximación que inspire análisis posteriores más detallados y, sobre todo, un impulso a la acción en la mejora de la seguridad vial a partir de medidas basadas en la seguridad de las carreteras. Respecto a los escenarios contemplados, cabe destacar que, debido a la escala nacional del estudio, la implantación de las medidas analizadas se consideran a lo largo de un periodo de tiempo cuyo año horizonte se sitúa en 2020.

FUNDACIÓN MAPFRE indica que es fundamental centrar los esfuerzos en las carreteras convencionales (sin desdoblar), puesto que en ellas sucede entre el 75 y el 85% aproximadamente de todos los accidentes mortales, según datos de la Dirección General de Tráfico (DGT).

Una de las principales conclusiones del estudio es que, si todas las vías españolas convencionales tuvieran el mismo índice de seguridad que las vías más seguras (autopistas y autovías), se salvarían todos los años un total de 752 vidas. Además, en concreto, la utilización masiva de carreteras 2+1 (aquellas con dos carriles en un sentido y uno en el contrario, alternados cada 5 ó 10 km y separados mediante una barrera física) podría conllevar un ahorro de hasta 338 víctimas mortales en las carreteras españolas actualmente sin desdoblar.

En cuanto a la eliminación de puntos negros o tramos de concentración de accidentes, FUNDACIÓN MAPFRE propone, en primer lugar, una armonización de sus definiciones, que actualmente son distintas en distintos Ministerios o Comunidades Autónomas. Ello contribuiría a mejorar su comparabilidad y gestión. FUNDACIÓN MAPFRE destaca igualmente que se estima que en estos emplazamientos (que representan sólo un 2%-5% de la longitud de la red) se concentra un elevado porcentaje de los accidentes con víctimas, lo que convierte a esta medida en eficaz para la reducción de los siniestros viales. En el caso español, según datos del Ministerio de Fomento, que podrían asumirse para toda la red viaria interurbana,

en un 96% de la longitud de la red se acumula el 70% de los accidentes con víctimas, o lo que es lo mismo: en un 4% de la red se acumula el 30 % de los accidentes con víctimas y el 15% de las víctimas mortales.

Por todo ello, se considera prioritario:

- a) Actuar sobre los tramos y puntos peligrosos ya identificados
- b) Definir las características comunes a dichos tramos y aplicar las mismas medidas de seguridad, con carácter preventivo y de modo progresivo, a todos aquellos tramos con características similares.

La eliminación de puntos negros en aquellos tramos ya identificados, según las estimaciones del estudio, prevendría alrededor de 52 fallecidos al año. Sin embargo, FUNDACIÓN MAPFRE insiste en que la identificación de características peligrosas y la corrección preventiva de las mismas permitirían reducir en mucha mayor medida la siniestralidad.

Los accidentes por salidas de vía suponen alrededor del 30% de todos los fallecidos en España (o, lo que es lo mismo, en torno a 568 víctimas mortales). FUNDACIÓN MAPFRE propone, en primer lugar, desarrollar en España modelos de siniestralidad que permitan cuantificar de modo riguroso los beneficios de medidas de seguridad vial relacionadas con los márgenes de las vías, al igual que sucede en determinados países (por ejemplo, en Australia). Por otro lado, el estudio estima que la mejora de los márgenes de las carreteras permitiría reducir en un 30-35% el número de accidentes con víctimas y en un 15% las víctimas mortales.

La iluminación de las vías también es un factor clave en la seguridad vial. De hecho, el índice de letalidad es superior en el horario nocturno que en diurno; en concreto, hasta un 33% superior. Además, en vías interurbanas, el 61% de los peatones fallecidos en 2013 estuvieron implicados en accidentes que tuvieron lugar durante la noche (en vías urbanas, al contrario, la mayoría de los peatones fallecidos sufrieron el accidente durante el día). Según distintas

referencias internacionales, la introducción o mejora de la iluminación artificial reduce el número de accidentes nocturnos con víctimas en entre un 13 y un 17%. Se estima que la mejora de la iluminación de tramos singulares insuficientemente iluminados contribuiría a salvar alrededor de 39 vidas al año en España.

La reconversión de intersecciones de 4 ramales (intersecciones en X o en +) en dos intersecciones desalineadas de 3 ramales cada una reduciría los accidentes con víctimas en este tipo de cruces en un 20% (se estima que ello supondría un ahorro de alrededor de 9 fallecidos al año en nuestro país). Y la mejora de la visibilidad de las intersecciones, por otro lado, prevendría alrededor de otros 6 fallecidos más al año.

El estudio de FUNDACIÓN MAPFRE llama la atención sobre el gran potencial de una medida concreto y muy simple: las marcas viales longitudinales rugosas, con resaltos o sonoras. Según las mejores estimaciones internacionales, la utilización de líneas longitudinales sonoras o rugosas de separación de calzada y arcén permite reducir los accidentes con víctimas por salida de calzada en un 52%.

Otras medidas destacadas en el estudio ya que también cuentan con un alto potencial de mejora de la seguridad vial son: las señales de advertencia de la ocurrencia de

accidentes, las señales de aviso de niebla, las señales de aviso colectivo de la obligación de ceder el paso a los peatones, los refugios en los pasos de peatones y los pasos de peatones elevados.

El estudio resume igualmente datos sobre la relación beneficio-coste de diversas medidas. La relación beneficio-coste indica cuáles son más “rentables” desde el punto de vista de la prevención de los accidentes, una información que resulta clave a la hora de priorizar las diversas medidas de seguridad vial. Las medidas destacadas en el estudio de FUNDACIÓN MAPFRE por su notable relación beneficio-coste cuando han sido implantadas y evaluadas en otros países son: las medidas de seguridad en los puntos negros (según experiencias en Noruega y Suiza, por ejemplo), las medidas contra las colisiones con árboles u obstáculos rígidos situados en los márgenes de las vías (en Francia y Suiza, por ejemplo) o la instalación de luminarias (por ejemplo, en Noruega). Otras medidas cuyo beneficio social superar a sus costes son: las carreteras 2+1 (en concreto, en Finlandia y en Suecia), la semaforización de cruces en carreteras (en Israel) o la construcción de rotondas (Noruega y Suecia).

A continuación se presentan los principales resultados del estudio en un cuadro-resumen.

MEDIDA	REDUCCIÓN POTENCIAL DE VÍCTIMAS MORTALES	COSTE ESTIMADO	PRIORIDAD
Construcción de vías de gran capacidad	752	MUY ALTO	BAJA
Construcción de carreteras 2+1	338	MEDIO	MUY ALTA
Construcción de vías de circunvalación a poblaciones	9	MUY ALTO	BAJA
Eliminación de Tramos de Concentración de Accidentes	52	BAJO	MUY ALTA
Mejora de la seguridad en los márgenes de las vías	153	MEDIO	MUY ALTA
Iluminación de tramos singulares de carreteras	36	ALTO	ALTA
Mejora de las intersecciones	15	MEDIO	MEDIA

# 1. Antecedentes

En 1975 una investigación llevada a cabo por el Transportation and Road Research Laboratory (TRL) cuantificó la responsabilidad de

cada uno de los factores concurrentes en los siniestros viales: el humano, la infraestructura y el vehículo.

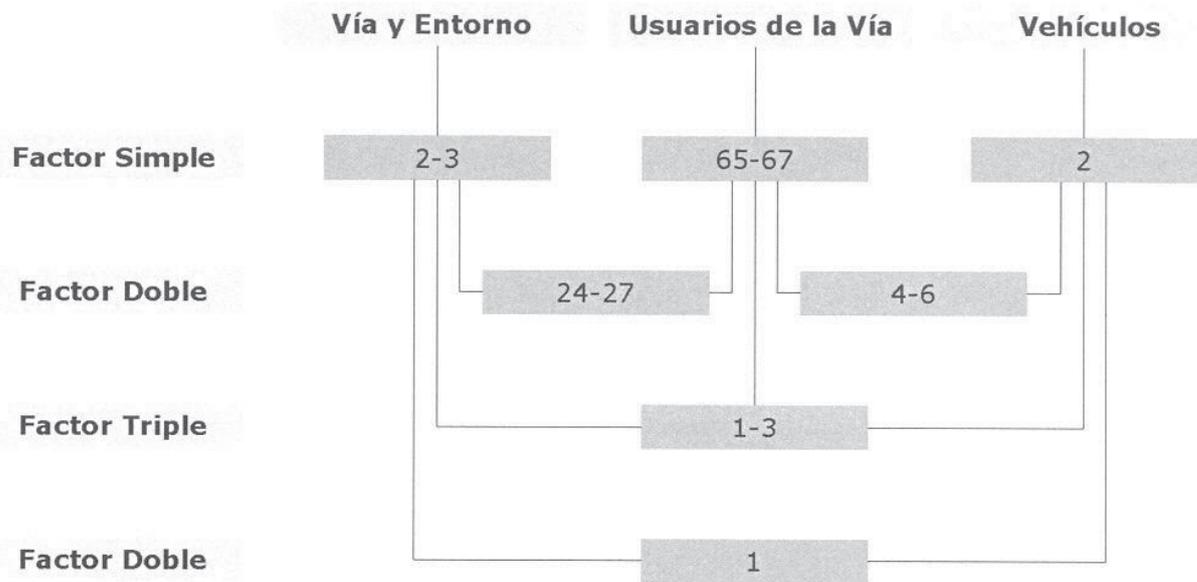


Ilustración 1. Factores concurrentes en la siniestralidad. Fuente: Sabey, B. y Staughton, G. C. 1975

Al margen de que esta figura necesite una actualización, puesto que los tres factores implicados han sufrido modificaciones importantes durante los años transcurridos desde la citada investigación, es evidente que cada uno de ellos tiene una determinada responsabilidad en la ocurrencia de los siniestros, pero también es justo decir que determinadas acciones

llevadas a cabo en sus respectivos ámbitos han traído consigo innegables mejoras de la seguridad vial.

El presente estudio pretende realizar una estimación de la contribución de algunas medidas relacionadas con la infraestructura viaria para la reducción de los accidentes y las víctimas.

## 2. Objetivos

El principal objetivo del estudio consiste en identificar la aportación del factor infraestructura a la seguridad vial en España, lo cual se alcanzará a través de los siguientes objetivos secundarios:

- Cuantificar el impacto que las medidas más significativas de modificación y mejora de las vías públicas han tenido en la reducción de la siniestralidad vial.
- Realizar una proyección sobre la reducción que podría conseguirse en los próximos años con determinadas modificaciones en la infraestructura y su equipamiento.
- Complementar otros estudios disponibles acerca de la contribución del vehículo u otros aspectos relacionados con el marco legal y de control a la reducción global de la accidentalidad en España.

## 3. Metodología

La consecución de los objetivos planteados pasará por el establecimiento de una metodología que permita identificar la situación actual,

identificar hipótesis de mejora de la siniestralidad y describir los resultados de los distintos escenarios analizados.

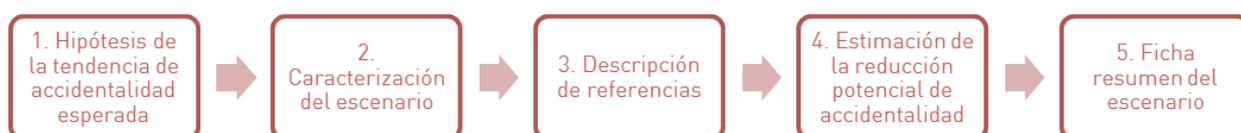


Ilustración 2. Metodología

### 1. Hipótesis de la tendencia de accidentalidad esperada

Durante más de diez años España ha experimentado una reducción muy significativa de la siniestralidad, siendo superior la registrada en el número de víctimas mortales que la correspondiente al número de accidentes con víctimas.

Las estadísticas muestran que esta tendencia se está ralentizando, especialmente durante el último año (2014), por lo que será necesario plantear posibles escenarios de evolución de la siniestralidad para comprobar la mejora de seguridad vial real, tras la aplicación de las medidas contempladas en los distintos escenarios planteados.

### 2. Caracterización del escenario

Con el objetivo de comprender el alcance de las medidas propuestas en cada escenario, es importante conocer las características, condicionantes y principales estadísticas de cada uno de ellos.

### 3. Descripción de referencias

Las reducciones de siniestralidad planteadas

para cada escenario estarán basadas en investigaciones científicas contrastadas, que serán explicadas en el apartado correspondiente de cada escenario.

### 4. Estimación de la reducción potencial de accidentalidad

En este apartado se calcularán las potenciales reducciones de siniestralidad que se podrían alcanzar en la red de carreteras de España, basadas en las hipótesis de partida planteadas en el apartado anterior. Cabe destacar que, a pesar de que cada uno de los escenarios precisa de unos plazos de tiempo característicos para la aplicación de las medidas contempladas, se ha decidido fijar 2020 como año horizonte, entendiendo que para entonces todas las acciones previstas estarían ejecutadas y habrían demostrado la eficacia predicha por las diferentes referencias utilizadas.

### 5. Ficha resumen del escenario

Finalmente, cada escenario contará con una Ficha-Resumen donde se incluirá la información más relevante del estudio, con el objeto de poder realizar comparaciones entre escenarios, así como extraer conclusiones.

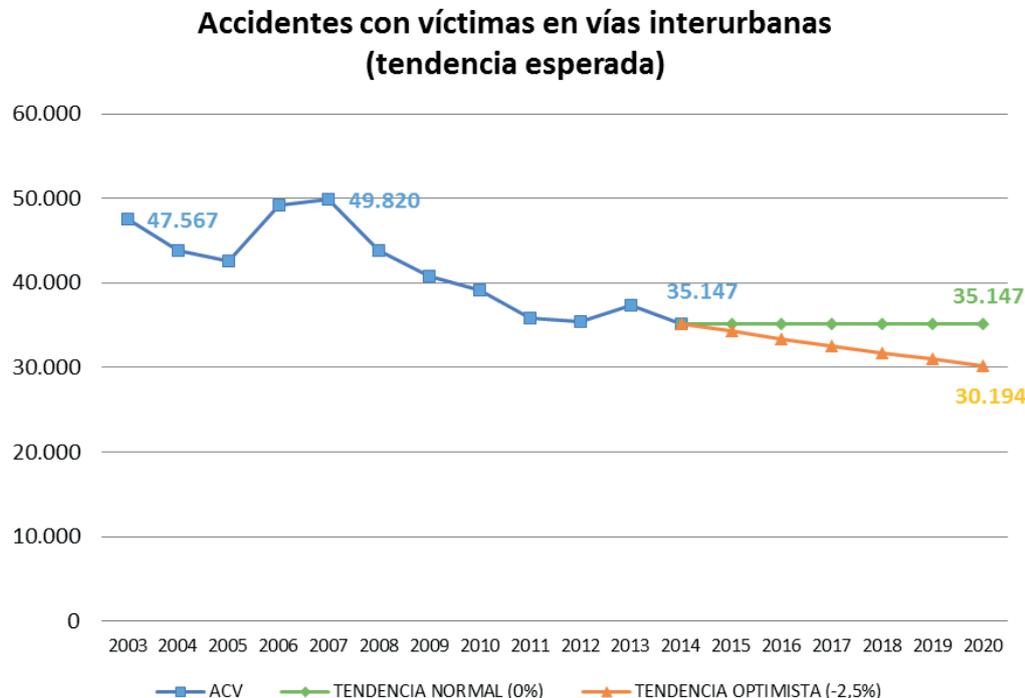
## 4. Hipótesis de tendencia de accidentalidad esperada en España

La década 2001-2010 supuso un antes y un después en la lucha contra la siniestralidad vial en España, merced a las medidas implementadas con el ánimo de alcanzar el objetivo europeo de reducción a la mitad las víctimas mortales durante ese periodo de tiempo.

Muchas fueron las medidas adoptadas en España: ampliación de la plantilla de efectivos de la Agrupación de Tráfico de la Guardia Civil, permiso por puntos, campañas de control de velocidad mediante la instalación de radares, campañas de control de alcoholemia y de utilización del cinturón de seguridad, instauración de una Fiscalía de Seguridad Vial, reforma del Código Penal, concienciación ciudadana, mejora de las infraestructuras viarias, etc. La

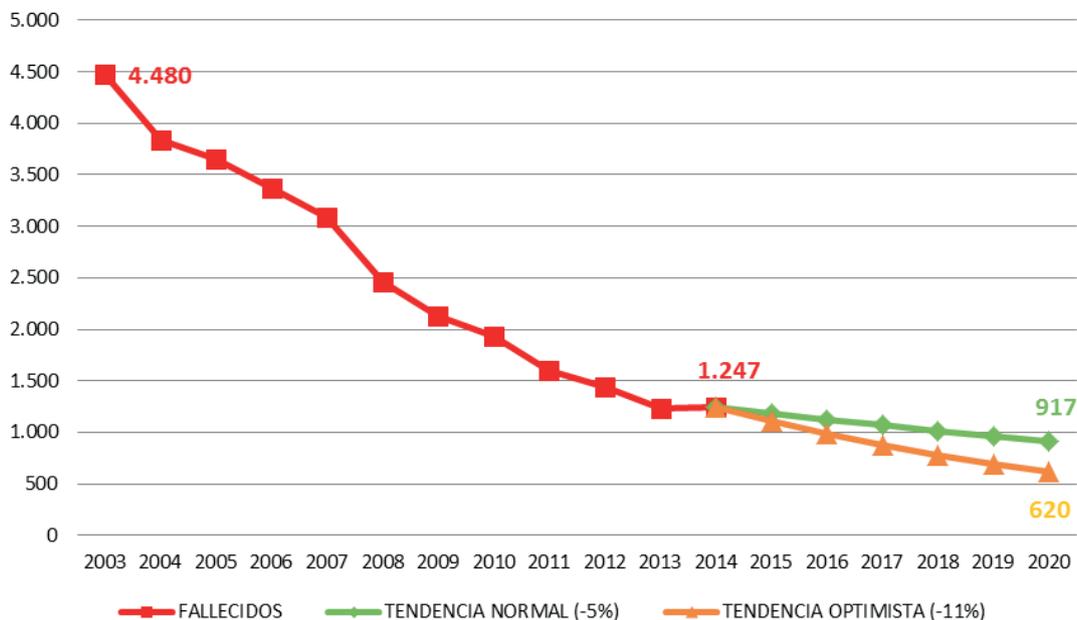
suma de estas y otras medidas permitió a España convertirse en uno de los pocos países que fueron capaces de alcanzar el objetivo europeo de reducción.

Las gráficas 1 y 2 muestran las series correspondientes a la evolución de los accidentes con víctimas y víctimas mortales durante el periodo 2003-2014, así como las tendencias esperables. Dichas tendencias han sido establecidas en base a dos hipótesis, continuando por un lado la excelente progresión registrada hasta la fecha (escenario optimista) y por otro, reflejando un posible comportamiento asintótico o de estancamiento, revelado en las estadísticas registradas en 2014 (escenario pesimista).



Gráfica 1. Evolución de los accidentes con víctimas en vías interurbanas. Fuente: DGT (2003-2014) y elaboración propia

### Fallecidos en vías interurbanas (tendencia esperada)



Gráfica 2. Evolución de las víctimas mortales en vías interurbanas. Fuente: DGT (2003-2014) y elaboración propia

La serie histórica de accidentes con víctimas y víctimas mortales durante el periodo 2003-2014 revela una reducción interanual promedio del 2,5% y del 11% respectivamente, valores que se han escogido para caracterizar una posible evolución de la siniestralidad atendiendo a un criterio o tendencia optimista de la misma. La tendencia normal reflejada en ambas gráficas corresponde a un estancamiento en la reducción de los accidentes con víctimas (0%) y a una menor reducción (5%) en el número de los fallecidos respecto a la registrada durante la última década.

Estos dos escenarios, el normal y el optimista, servirán como marco de referencia para situar las posibles reducciones de siniestralidad que podrían conseguirse gracias a la aplicación de las medidas contempladas en este documento.

Respecto a los escenarios contemplados, cabe destacar que, debido a la escala nacional del estudio, la implantación de las medidas analizadas se consideran a lo largo de un periodo de tiempo cuyo año horizonte se sitúa en 2020.

## 5. Escenario 1: Construcción de vías de gran capacidad (autovías y autopistas)

### 5.1 Caracterización del escenario 1

#### 5.1.1 Longitud de la red por tipo de vía

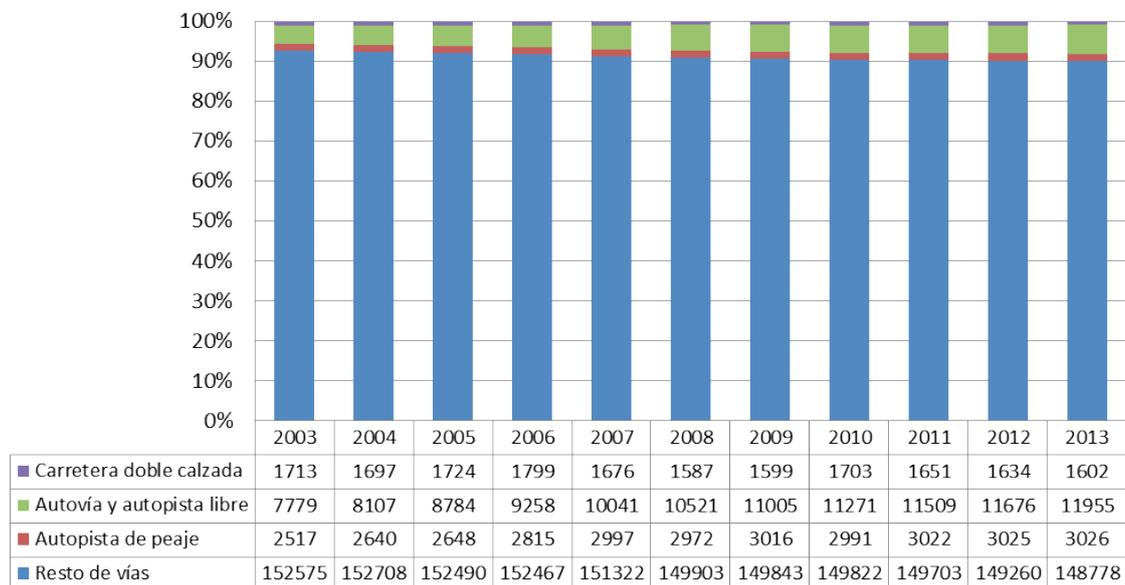
Durante el periodo 2003-2013, la longitud total de la red de carreteras en España no ha experimentado una variación sustancial, puesto que si en 2003 presentaba 164.584 kilómetros, en 2013 tan sólo había aumentado hasta los 165.361 kilómetros. Esta variación de 777 kilómetros supone un incremento de la red de tan sólo el 0,5%.

Sin embargo, durante el mismo periodo de tiempo la longitud de las vías de gran capacidad aumentó significativamente, concreta-

mente un 53,7% en autovías y autopistas libres y un 20% en autopistas de peaje.

La aparente contradicción de una red total que apenas ha variado de longitud en trece años y unas vías de gran capacidad que han experimentado un desarrollo tan significativo se explica en gran parte por la conversión de un gran número de kilómetros de carreteras convencionales en autovías y autopistas, tal como puede comprobarse en la gráfica 3.

**Distribución de la longitud de la red de carreteras en España por tipo de vía**

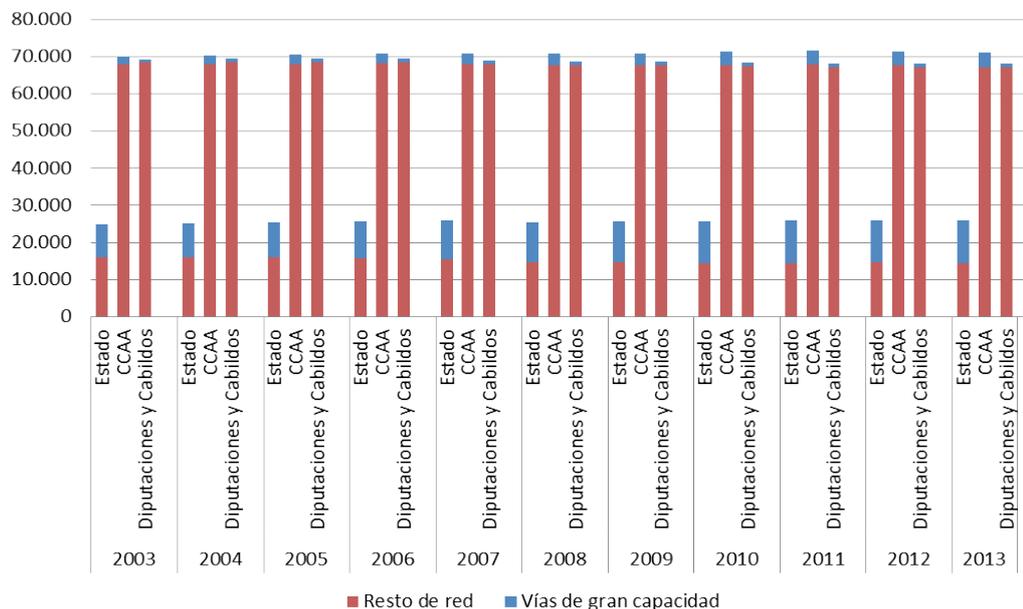


Gráfica 3. Distribución de la longitud de la red de carreteras en España por tipo de vía. Fuente: Ministerio de Fomento.

Respecto a la distribución por administraciones competentes, la gráfica 4 demuestra que el mayor número de vías de gran capacidad corresponde a la red del Estado con 11.604 kilómetros. Sin embargo, porcentualmente

han sido las Comunidades Autónomas las que más han visto crecer este tipo de vías, puesto que en este periodo dicha red ha aumentado en un 65,8%, frente al 31,9% correspondiente al Estado.

### Red de carreteras según competencia por tipo de vía

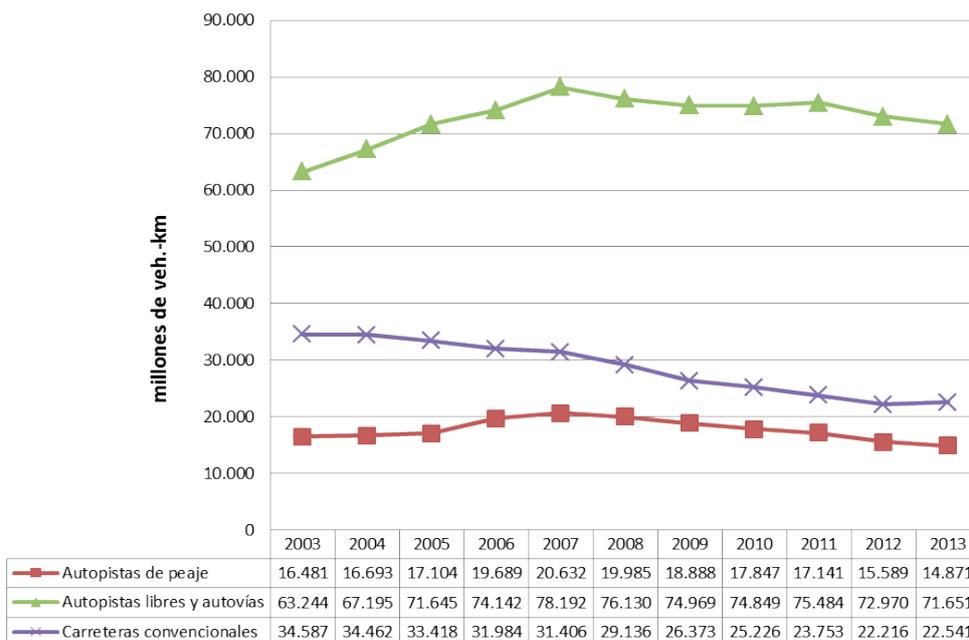


Gráfica 4. Distribución de la red de carreteras por competencia y tipo de vía. Fuente: Ministerio de Fomento.

#### 5.1.2 Tráfico

En cuanto al tráfico, el mayor volumen corresponde a la red de autopistas libres y autovías, siendo más de 3 veces superior al de la red de carreteras convencionales en el año 2013.

#### Evolución del tráfico en la Red de Carreteras del Estado



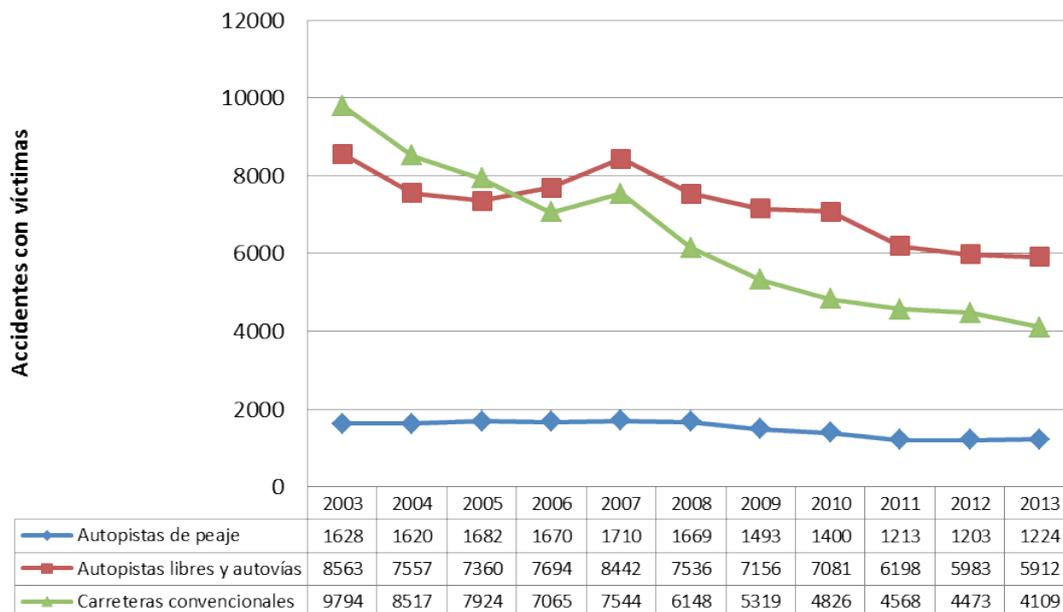
Gráfica 5. Evolución del Tráfico en la Red de Carreteras del Estado. Fuente: Ministerio de Fomento

### 5.1.3 Evolución de la siniestralidad por tipo de vía

Las estadísticas de los accidentes con víctimas han seguido una evolución diferente según el tipo de vía en la Red de Carreteras del Estado. Mientras las autopistas y las autovías han experimentado una disminución

del 25% y del 31% respectivamente, en el caso de las carreteras convencionales, la disminución en el periodo 2003-2013 llegó hasta el 58%.

**Evolución de los Accidentes con Víctimas en la Red de Carreteras del Estado**



Gráfica 6. Evolución de los Accidentes con víctimas en la Red de Carreteras del Estado. Fuente: Ministerio de Fomento.

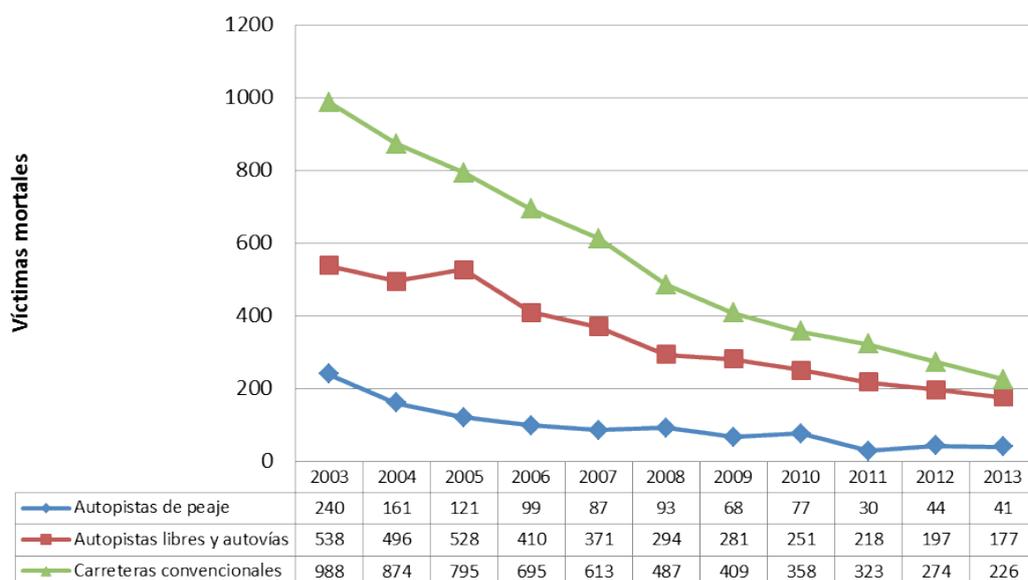
En cuanto a la evolución de las víctimas mortales, durante el periodo 2003-2013 se produjo una disminución muy significativa y similar en orden de magnitud en los tres tipos de vías consideradas, siendo las autopistas de peaje las que registraron un mayor descenso:

- Reducción del 83% en autopistas de peaje.

- Reducción del 67% en autovías.
- Reducción del 77% en carreteras convencionales.

NOTA: el efecto de la variación del tráfico que circula por cada tipo de vía en la evolución de la siniestralidad y mortalidad puede apreciarse en la tabla 1, así como en las tablas 8 y 9.

## Evolución de las víctimas mortales en la Red de Carreteras del Estado



Gráfica 7. Evolución de las víctimas mortales en la Red de Carreteras del Estado. Fuente: Ministerio de Fomento.

Pese a la innegable mejora de la seguridad vial en los tres tipos de vías, es necesario llevar a cabo un análisis más exhaustivo, relacionando los accidentes con víctimas y los fallecidos con la exposición al riesgo,

así como el número de fallecidos en función de los accidentes y de las propias víctimas. Este análisis se lleva a cabo en los siguientes apartados.

### 5.1.4 Índices de Peligrosidad y Mortalidad

En 2013 la gran mayoría de los accidentes con víctimas (70%), de las víctimas mortales (76,42%), de los heridos graves (79%) y de los heridos leves (68%) se registraron en carreteras convencionales.

anterior se comprobó que el tráfico movilizad o en las vías de gran capacidad –y por tanto, la exposición al riesgo– es superior al que circula por las carreteras convencionales.

Se podría pensar que este hecho es una consecuencia lógica derivada de la diferencia de longitud que las carreteras convencionales (148.778 kilómetros) presentan frente a las vías de gran capacidad (16.583 kilómetros). Sin embargo, en el apartado

Llegados a este punto es necesario llevar a cabo un análisis comparativo de la siniestralidad en función del tráfico, lo que se conoce como el cálculo de los índices de peligrosidad (IP) y mortalidad<sup>1</sup> (IM)

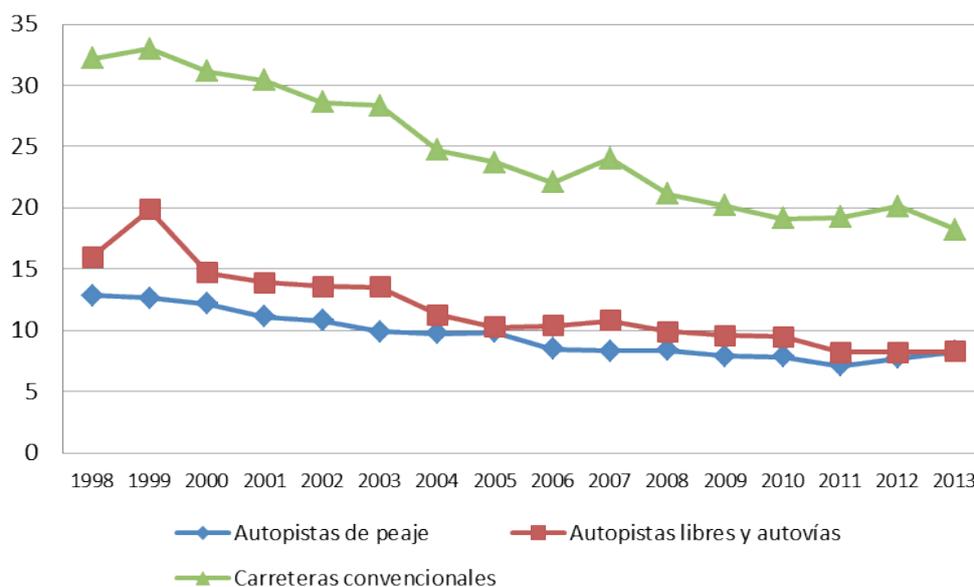
<sup>1</sup> Índice de Peligrosidad: número de accidentes con víctimas por cada 100 millones de vehículos-kilómetro. Índice de Mortalidad: número de víctimas mortales por cada 100 millones de vehículos-kilómetro.

	IP				IM			
	Autopistas de peaje	Autopistas libres y autovías	Gran capacidad	Carreteras convencionales	Autopistas de peaje	Autopistas libres y autovías	Gran capacidad	Carreteras convencionales
1998	12,8	16,0	15,4	32,2	1,6	1,4	1,4	3,4
1999	12,6	19,8	18,1	33,0	1,3	1,7	1,6	3,5
2000	12,1	14,7	14,2	31,1	1,3	1,2	1,3	3,6
2001	11,1	13,9	13,3	30,4	1,3	1,1	1,1	3,1
2002	10,8	13,6	13,0	28,6	1,3	1,0	1,1	3,2
2003	9,9	13,5	12,8	28,3	1,5	0,9	1,0	2,9
2004	9,7	11,2	10,9	24,7	1,0	0,7	0,8	2,5
2005	9,8	10,3	10,2	23,7	0,7	0,7	0,7	2,4
2006	8,5	10,4	10,0	22,1	0,5	0,6	0,5	2,2
2007	8,3	10,8	10,3	24,0	0,4	0,5	0,5	2,0
2008	8,4	9,9	9,6	21,1	0,5	0,4	0,4	1,7
2009	7,9	9,5	9,2	20,2	0,4	0,4	0,4	1,6
2010	7,8	9,5	9,1	19,1	0,4	0,3	0,4	1,4
2011	7,1	8,2	8,0	19,2	0,2	0,3	0,3	1,4
2012	7,7	8,2	8,1	20,1	0,3	0,3	0,3	1,2
2013	8,2	8,3	8,2	18,2	0,3	0,2	0,3	1,0

Tabla 1. Índices de peligrosidad y mortalidad en la Red de Carreteras del Estado (1998-2013). Fuente: Ministerio de Fomento

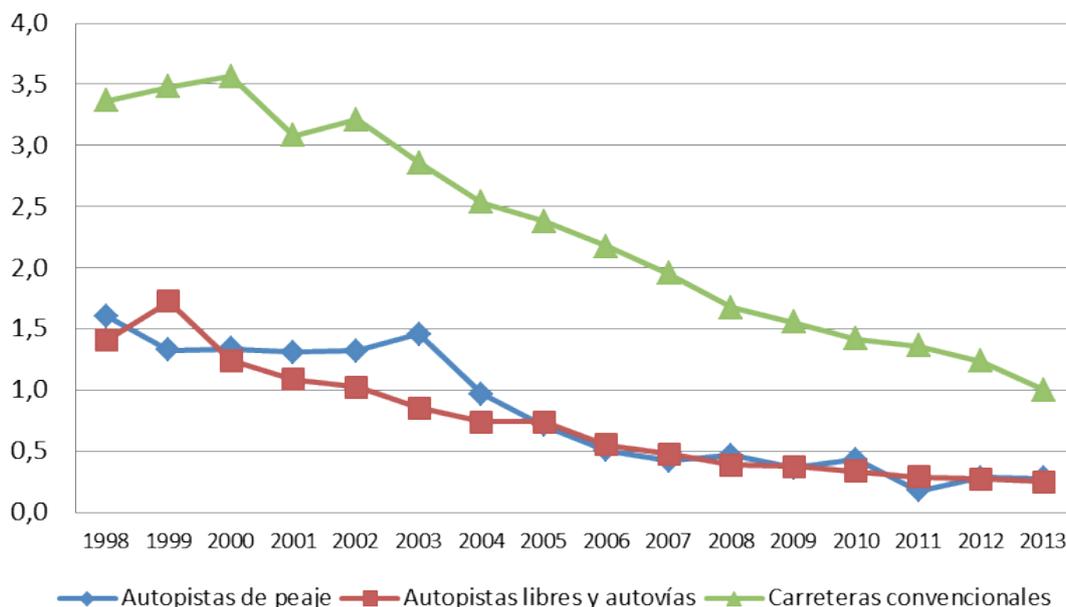
Como puede apreciarse en las gráficas 8 y 9, las vías de gran capacidad presentan índices de peligrosidad y mortalidad muy inferiores a los registrados en las carreteras convencionales de la Red de Carreteras del Estado.

### Evolución del Índice de Peligrosidad en la Red de Carreteras del Estado



Gráfica 8. Evolución del Índice de Peligrosidad en la Red de Carreteras del Estado. Fuente: Ministerio de Fomento

## Evolución del Índice de Mortalidad en la Red de Carreteras del Estado



Gráfica 9. Evolución del Índice de Mortalidad en la Red de Carreteras del Estado. Fuente: Ministerio de Fomento

### 5.1.5 Índices de Gravedad y Letalidad

En el apartado anterior se comparaba la probabilidad de sufrir un accidente con víctimas o de resultar fallecido en un siniestro mediante el cálculo de los índices de peligrosidad y mortalidad respectivamente.

Pero también es importante conocer la gravedad y la letalidad de los siniestros, como indicador de la seguridad pasiva<sup>2</sup> de las infraestructuras, así como de otros agentes implicados (servicios de emergencias, sistema sanitario, equipamiento de los vehículos, etc.).

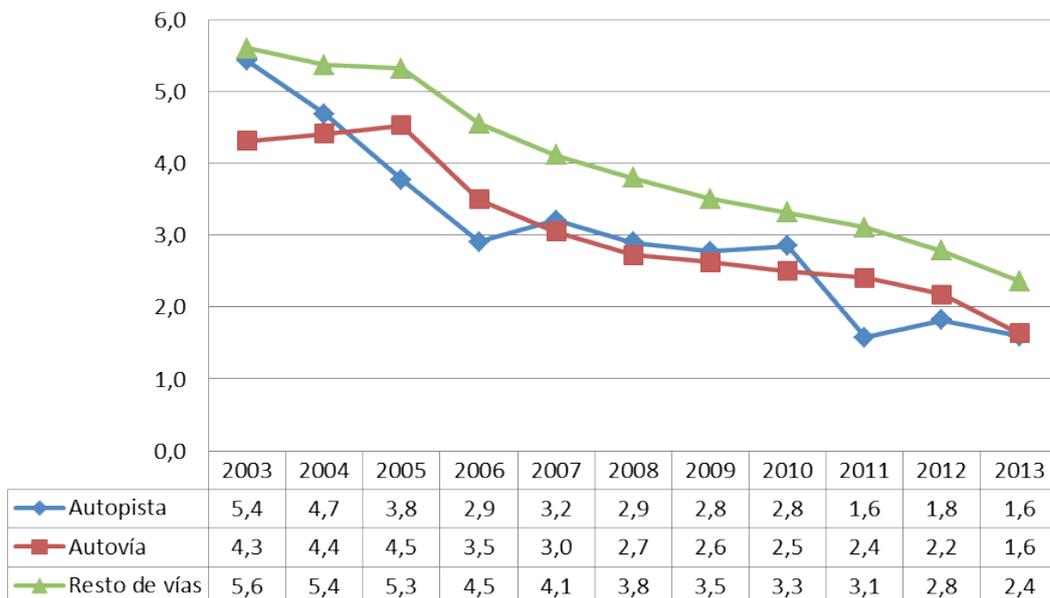
En este sentido podemos definir dos indicadores:

- Índice de Gravedad: número de fallecidos por cada cien accidentes con víctimas.
- Índice de Letalidad: número de fallecidos por cada cien víctimas.

A continuación se muestra la evolución de ambos índices para cada tipo de vía en el periodo 2003-2013.

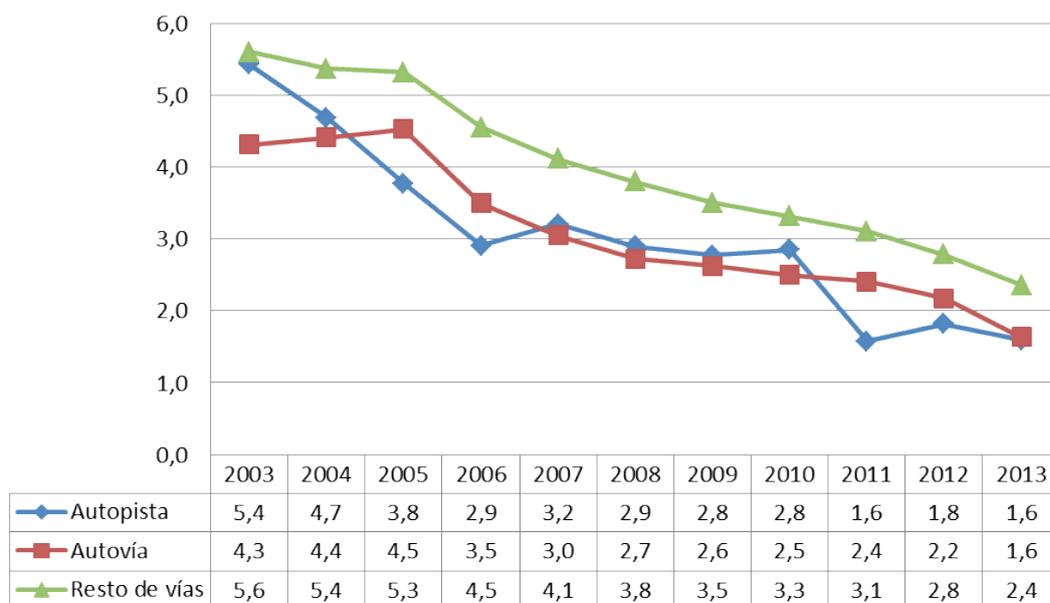
<sup>2</sup> Se entiende como seguridad pasiva aquel conjunto de medidas que entran en acción durante o tras el accidente para minimizar sus consecuencias, en contraposición con la seguridad activa, encargada de tratar de evitar el siniestro.

### Índice de Letalidad en la Red de Carretera de España (nº de fallecidos por cada 100 víctimas)



Gráfica 10. Índice de Gravedad. Fuente: elaboración propia a partir de los datos de la DGT.

### Índice de Letalidad en la Red de Carretera de España (nº de fallecidos por cada 100 víctimas)



Gráfica 11. Índice de Letalidad. Fuente: elaboración propia a partir de los datos de la DGT.

Como puede apreciarse en las gráficas 10 y 11, los índices de gravedad y letalidad son inferiores en autopistas y autovías a los registrados en el resto de vías. Además, en el periodo de tiempo considerado, las vías de gran capacidad han experimentado reducciones más significativas en ambos índices:

- Reducción del Índice de Gravedad en autopistas y autovías entre los años 2013 y 2003: 74% y 67% respectivamente.
- Reducción del Índice de Gravedad en el resto de vías entre los años 2013 y 2003: 63%
- Reducción del Índice de Letalidad en autopistas y autovías entre los años 2013 y 2003: 70,5% y 62% respectivamente.
- Reducción del Índice de Letalidad en el resto de vías entre los años 2013 y 2003: 58%

Existen diferentes motivos por los cuales estos índices son menores en las vías de gran capacidad que en las carreteras convencionales. A continuación se citan los más destacados:

- La separación de sentidos en las vías

de gran capacidad elimina o reduce muy considerablemente la posibilidad del choque frontal, uno de los principales tipos de accidentes en las carreteras convencionales.

- El estándar de diseño de las vías de gran capacidad es, en general, superior al de las carreteras convencionales: arcenes pavimentados, mayor anchura de carril, resaltos en marcas viales, vallado cinético, control de accesos, enlaces a diferente nivel, etc.
- Al ser carreteras que presentan un tráfico elevado, las vías de calzadas separadas suelen presentar unos niveles de vigilancia y unos presupuestos de conservación y mantenimiento por kilómetro superiores a un gran número de carreteras convencionales con tráfico moderados.
- Por otro lado, en caso de accidente, la accesibilidad de los servicios de emergencia a las vías de gran capacidad es mucho mejor que la existente a gran parte de la red convencional, lo que permite prestar asistencia a las víctimas más rápidamente, algo fundamental en la mayoría de los siniestros.

## 5.2 Descripción de referencias

### 5.2.1 Referencias nacionales

Para la estimación de las potenciales reducciones de accidentalidad y víctimas mortales se han tenido en cuenta los índices de peligrosidad y mortalidad característicos de

cada tipología de vía de la Red de Carreteras del Estado, obtenidos de los Anuarios Estadísticos del Ministerio de Fomento.

### 5.2.2 Referencias internacionales

En el caso de la posible reducción de siniestralidad que traería consigo la conversión de vías convencionales en carreteras 2+1 se ha tenido en cuenta un estudio sueco y otro alemán:

Evaluation of 2+1 roads with cable barrier. VTI, 2009.

Application of european 2+1 Roadway designs. TRB, 2003.

## 5.3 Estimación de la reducción potencial de accidentalidad

### 5.3.1 Vías de Gran Capacidad frente a carreteras convencionales

La seguridad vial es una disciplina cuyos resultados dependen de una combinación de múltiples factores. Por ello resulta muy

complicado estimar a ciencia cierta qué porcentaje de la reducción de víctimas mortales en carretera corresponde a la

aplicación del permiso por puntos, a la instalación de radares, a la mejora del equipamiento o a la construcción de vías de gran capacidad, entre otras medidas.

Existen modelos estadísticos que tratan de predecir las consecuencias que determinadas variaciones en una serie de variables pueden inducir en la siniestralidad vial de un país. Estos modelos presentan diferentes niveles de complejidad. Así, mientras algunos utilizan múltiples variables (tasa de paro, Producto Interno Bruto, Parque de automóviles, edad media de los vehículos, construcción de autovías, etc.), otros tan sólo hacen referencia a una, como el Power Model (Elvik, R., 2004), donde la siniestralidad únicamente depende de la velocidad.

El objeto de este estudio no consiste en llevar a cabo un modelo de siniestralidad basado en el estudio combinado de múltiples variables del factor humano, vehículo e infraestructura, sino demostrar y cuantificar,

en la medida de lo posible, el impacto de determinadas medidas relacionadas con la infraestructura en la mejora de la seguridad vial.

Con el objetivo de tratar de cuantificar el impacto que la construcción de vías de gran capacidad ejerce en la seguridad vial, se trabajará con los índices de peligrosidad y mortalidad presentados en el apartado 5.1.4 de la siguiente manera:

- Se calculará el número de víctimas mortales y de accidentes que corresponderían a la red de carreteras convencionales si ésta presentara el mismo índice de mortalidad y de peligrosidad que las autovías.
- La diferencia entre estos valores y los característicos de las vías convencionales permitirá comprobar la diferencia de seguridad entre ambas tipologías de vías.

$$IM_{Red\ convencional} = \frac{VM_{red\ convencional} \times 10^8}{Tráfico_{red\ convencional}}$$

Para comprobar los fallecidos que se registrarían en las carreteras convencionales de la Red de Carreteras del Estado con los estándares de seguridad de las vías de gran

capacidad, se iguala su Índice de Mortalidad a 0,2, el característico en autovías (ver tabla 1).

$$IM_{Red\ convencional} = \frac{VM_{red\ convencional, con\ índice\ de\ red\ de\ gran\ capacidad} \times 10^8}{Tráfico_{red\ convencional}} = 0,2$$

$$= IM_{red\ de\ gran\ capacidad}$$

De donde se obtiene:

$$VM_{red\ convencional, con\ índice\ de\ red\ de\ gran\ capacidad} = \frac{IM_{red\ gran\ capacidad} \times Tráfico_{red\ convencional}}{10^8} = \frac{0,2 \times 22.541 \times 10^6}{10^8} = 45\ fallecidos$$

Las carreteras convencionales de la RCE registraron un total de 226 fallecidos en 2013. Los cálculos revelan que si esta red presentara el mismo índice de mortalidad que la red de gran capacidad, esta cifra se-

ría bastante inferior, concretamente 45 fallecidos, por lo tanto la ganancia de seguridad estimada que aportaría una red convencional con un índice similar al característico en autovías y autopistas sería:

$$VM_{evitadas} = VM_{red\ convencional} - VM_{red\ convencional, con\ índice\ de\ red\ de\ gran\ capacidad}$$

$$VM_{evitadas} = 226 - 45 = 181\ fallecidos$$

Operando de la misma manera en relación con los accidentes con víctimas:

$$IP_{Red\ convencional} = \frac{ACV_{red\ convencional, con\ índice\ de\ red\ de\ gran\ capacidad} \times 10^8}{Tráfico_{red\ convencional}} = 7,9 = IP_{red\ gran\ capacidad}$$

De donde se obtiene:

$$ACV_{red\ convencional, con\ índice\ de\ red\ de\ gran\ capacidad} = \frac{IP_{red\ de\ gran\ capacidad} \times Tráfico_{red\ convencional}}{10^8} = \frac{7,9 \times 22.541 \times 10^6}{10^8} = 1.780\ accidentes$$

La red convencional registró un total de 4.109 accidentes con víctimas en 2013. Los cálculos revelan que si esta red presentara el mismo índice de peligrosidad que la red de gran capacidad, esta cifra sería bastan-

te inferior, concretamente 1.780 accidentes, por lo tanto la ganancia de seguridad estimada que aportaría una red convencional con un índice similar al característico en autovías sería:

$$ACV_{evitadas} = ACV_{red\ convencional} - ACV_{red\ convencional, con\ índice\ de\ red\ de\ gran\ capacidad}$$

$$ACV_{evitados} = 4.109 - 1.780 = 2.329\ accidentes\ con\ víctimas$$

Para llevar a cabo una extrapolación a toda la red de carreteras de España, se calcula el porcentaje de reducción de la siniestralidad que se conseguiría para el caso de la

Red de Carreteras del Estado, estimándose una efectividad similar para el conjunto de la red.

	Red Convencional de Carreteras del Estado			Red de Carreteras de España (red convencional)		Red de Carreteras de España (Total)	
	2013	Estimación*	% Reducción estimado	2013	Estimación**	2013	Estimación***
<b>Accidentes con víctimas</b>	4.109	1.780	56%	26.129	11.497	37.297	22.665 (11.497 + 2.456 + 8.712)
<b>Víctimas mortales</b>	226	45	80%	940	188	1.230	478 (188+227+63)

(\*) La estimación corresponde a la hipótesis de que la red convencional tuviera unos índices de peligrosidad y mortalidad iguales a los de la red de gran capacidad.

(\*\*) Suponiendo para toda la red convencional el mismo porcentaje de reducción calculado para la Red de Carreteras del Estado

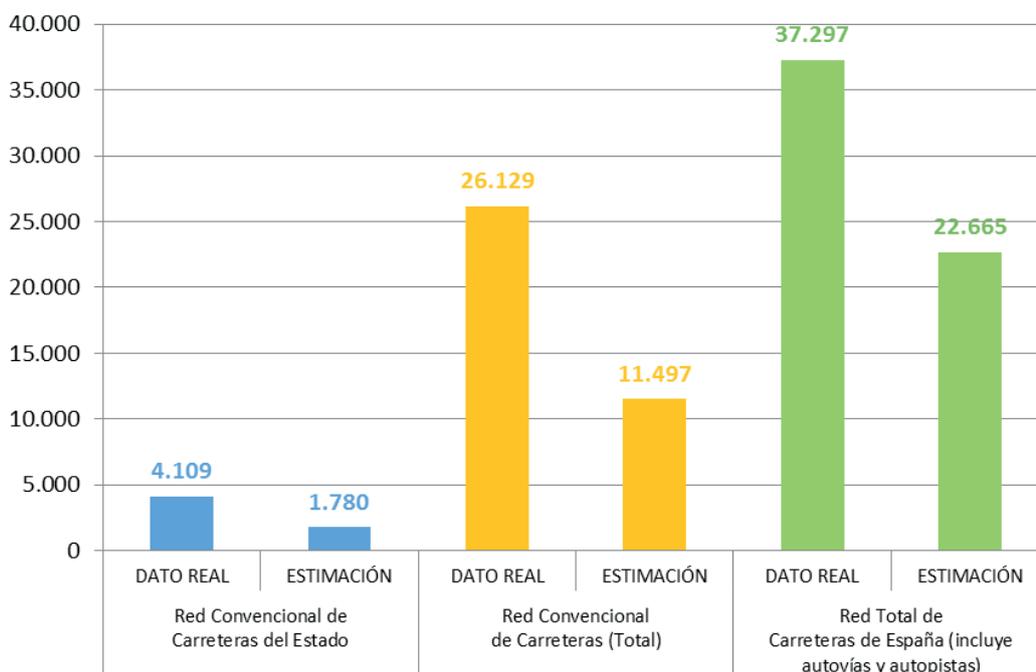
(\*\*\*) La extrapolación a toda la red española de carreteras se calcula sumando a la estimación para la red convencional de carreteras (ACV=11.497; VM=188) las cifras siniestralidad correspondientes a autovía (ACV=8.712; VM=227) y autopista (ACV=2.456; VM=63) para el año 2013

Tabla 2. Estimación de reducción de la siniestralidad en el conjunto de carreteras de España. Fuente: elaboración propia

Por lo tanto, si toda la red de carreteras de España presentara los índices de peligrosidad y mortalidad característicos de la red de gran capacidad de carreteras del Esta-

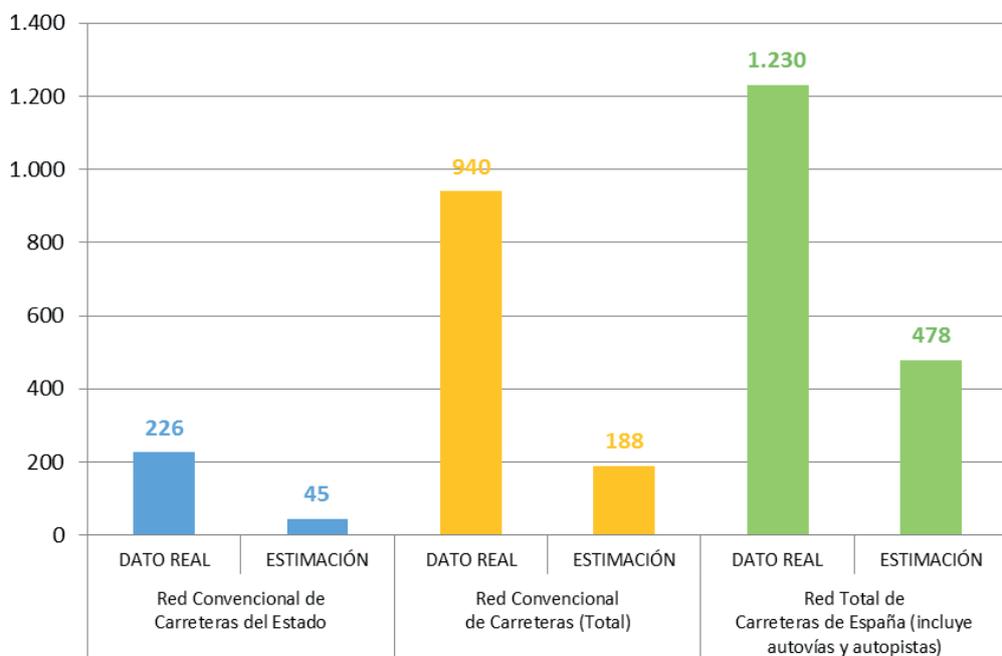
do, se estima que la reducción de accidentes con víctimas sería de 14.632 (37.297 - 22.665) y la de víctimas mortales de 752 (1.230-478).

### ACCIDENTES CON VÍCTIMAS



Gráfica 12. Estimación de accidentalidad para la Red de Carreteras de España con IP e IM características de red de gran capacidad de la RCE (2013). Fuente: DGT y elaboración propia.

### VÍCTIMAS MORTALES



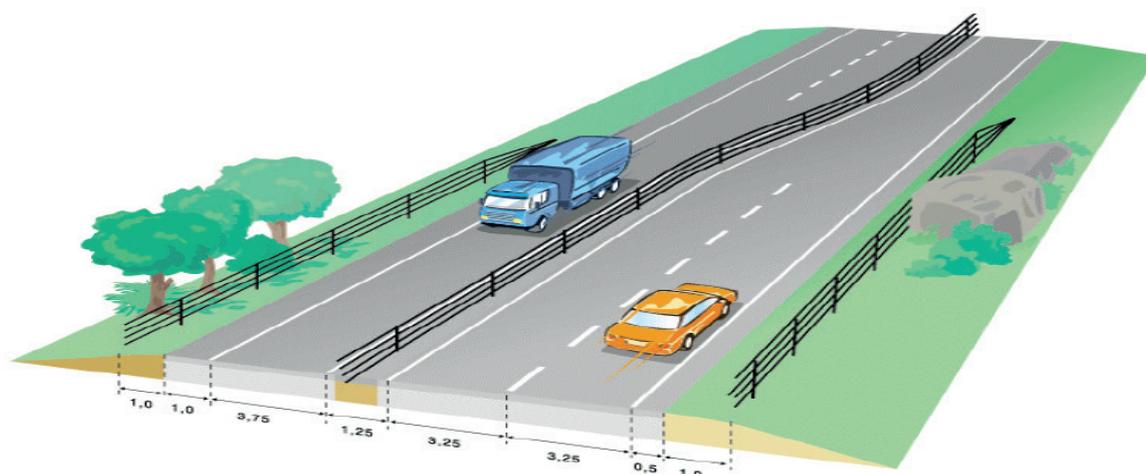
Gráfica 13. Estimación de víctimas mortales para una red con IP e IM características de red de gran capacidad de la RCE (2013). Fuente: DGT y elaboración propia.

### 5.3.2 Conversión de carreteras convencionales en carreteras 2+1

En España alrededor de un 75% de las víctimas mortales se registran en carreteras convencionales, donde los choques frontales y las salidas de la calzada constituyen dos de las tipologías de siniestros más comunes.

Esta casuística es similar en casi todos los países del mundo, por lo que en Suecia, al albor de la filosofía Visión Cero, se puso en marcha un proyecto piloto consistente en reducir la siniestralidad en este tipo de vías de manera significativa y sistemática. Para ello, a mediados de los años noventa se concibió una nueva tipología de vías

llamadas “carreteras 2+1”, cuya principal característica es la prohibición de adelantamiento invadiendo el sentido contrario, ya sea mediante marca vial continua en el eje o, de una manera más restrictiva, mediante barrera de cables en la mediana. Para asegurar la fluidez y la capacidad de este tipo de vías, el adelantamiento se encuentra garantizado mediante la aparición de un carril adicional a intervalos de 1-2 kilómetros en ambos sentidos, aunque no de manera simultánea, de manera que la sección total de la plataforma permanece constante e igual a 13 metros.



Tras el éxito de la experiencia piloto, Suecia comenzó a convertir miles de kilómetros de carreteras convencionales en esta nueva tipología de vías, llamadas carreteras 2+1 y poco tiempo después fueron varios los países que siguieron su ejemplo: Alemania, Finlandia, Dinamarca, Irlanda, etc.

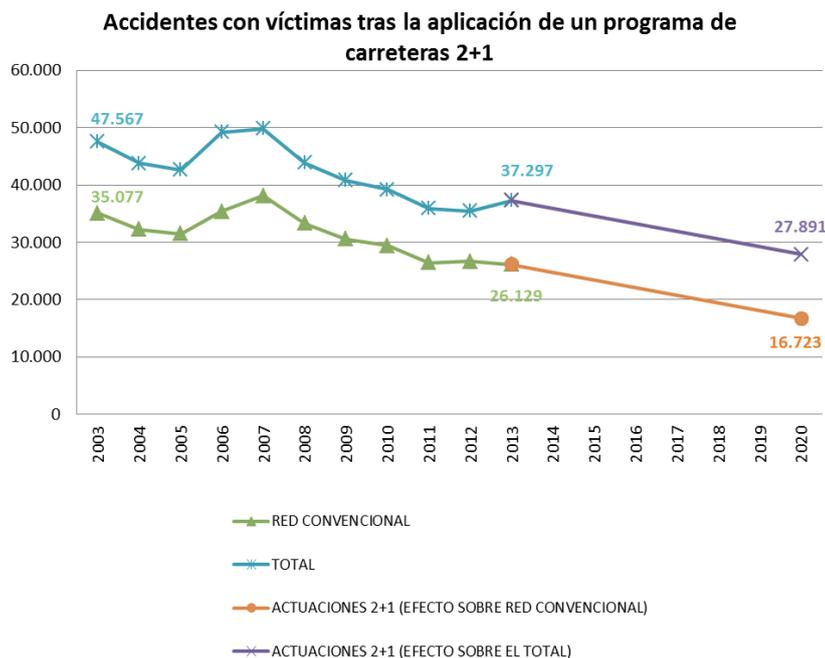
En Suecia, un estudio<sup>3</sup> e 2009 reveló que las carreteras 2+1 con barrera de cables en la mediana presentaron una reducción en el número de víctimas mortales del 76% respecto de las carreteras convencionales de

13 metros.

La aplicación de las carreteras 2+1 en Alemania<sup>4</sup> trajo consigo una mejora en la tasa de accidentes mortales y con heridos por cada cien millones de vehículos-kilómetro: 0,25 para carreteras convencionales y 0,16 para carreteras 2+1, lo que supone una reducción del 36%. Aplicando dicha reducción a la siniestralidad registrada en la red convencional, se obtendría la reducción mostrada en las gráficas siguientes.

3 Evaluation of 2+1 roads with cable barrier. VTIO, 2009

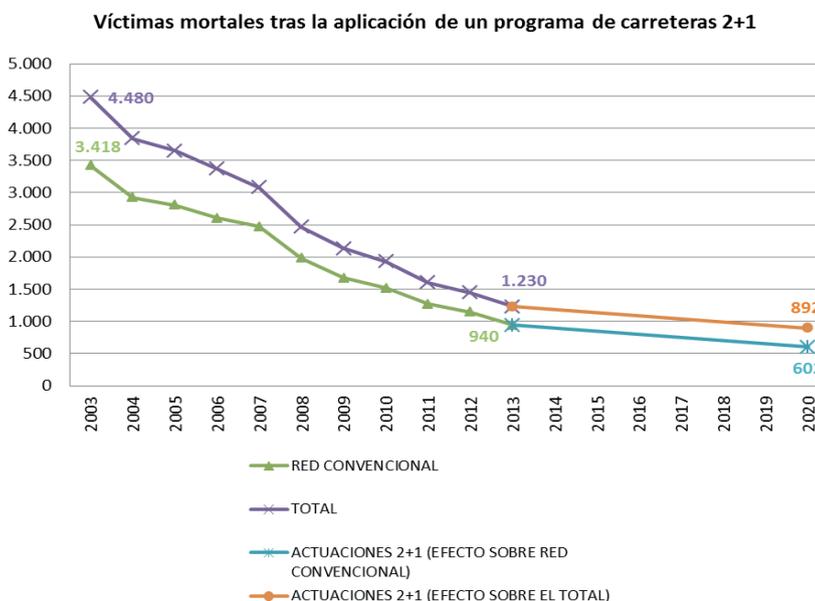
4 Application of european 2+1 Roadway design. TRB, 2003



Gráfica 14. Estimación de accidentalidad llevando a cabo un programa de adecuación de carreteras convencionales a carreteras 2+1. Fuente: DGT y elaboración propia.

Sabiendo que en 2013 la relación Accidentes con víctimas/Víctimas mortales en carreteras convencionales fue de 27,8, los 16.723 accidentes con víctimas estimados tras la hipotética aplicación de un programa de conversión de vías convencionales en carreteras 2+1, traerían consigo 602 falleci-

dos (16.723/27,8) en esta red. La siguiente gráfica muestra el efecto sobre la red total, donde la cifra total de víctimas mortales tras la aplicación de las carreteras 2+1 ascendería a 892<sup>5</sup>, lo que supondría una reducción potencial de fallecidos de 338 (1.230-892).



Gráfica 15. Estimación de víctimas mortales llevando a cabo un programa de adecuación de carreteras convencionales a carreteras 2+1. Fuente: DGT y elaboración propia.

5 Cifra resultante de sumar a las víctimas potenciales en la red convencional (602), las correspondientes a auto-vías (227) y autopistas (63).

6 Jornada Técnica de Seguridad, Sostenibilidad e Inteligencia: Nuevos Retos, Nuevas Carreteras. Barcelona, 19-20 de febrero. Asociación Española de la Carretera

En España distintas administraciones competentes en la gestión de las infraestructuras viarias han mostrado su interés en implementar diseños similares a las carreteras 2+1 suecas, no en vano, en la Estrategia de Seguridad Vial 2011-2020 desarrollada por la Dirección General de Tráfico, en el ámbito de intervención 6.2 “Explotación y conservación de infraestructuras”, se recomendaba “Promover el desarrollo de crite-

rios técnicos y la ejecución de tramos piloto en carreteras convencionales para evitar el riesgo de colisión frontal”. Por otro lado, la Generalitat de Cataluña anunció en febrero de 2015<sup>6</sup>, su intención de llevar a la práctica determinados tramos de carretera 2+1, con barrera de separación de sentidos y una anchura total de calzada de 13,5 metros (7,70 m en la sección de dos carriles + 5,80 m en la de un carril).

## 5.4 Ficha-Resumen del escenario 1

ESCUENARIO CONSTRUCCIÓN DE VÍAS DE GRAN CAPACIDAD / CARRETERAS 2+1		
REFERENCIAS	NACIONALES	Índices de peligrosidad y mortalidad característicos de cada tipología de vía de la Red de Carreteras del Estado, facilitados por el Ministerio de Fomento
	INTERNACIONALES	Evaluation of 2+1 roads with cable barrier. VTI, 2009.  Application of european 2+1 Roadway designs. TRB, 2003.
HIPÓTESIS DE PARTIDA	CONSTRUCCIÓN DE VÍAS DE GRAN CAPACIDAD	Se calcula la reducción de accidentes con víctimas y fallecidos que traerían consigo unos índices de peligrosidad y mortalidad en carreteras convencionales cuyo valor fuera igual al característico en vías de gran capacidad
	CONSTRUCCIÓN DE CARRETERAS 2+1	Se aplica la tasa de accidentes con víctimas por cada 100 millones de veh.-km característica en carreteras 2+1 alemanas, que resulta ser un 36% inferior a la correspondiente a carreteras convencionales
ESTIMACIÓN DE REDUCCIÓN DE ACCIDENTALIDAD  (AÑO HORIZONTE 2020)	CONSTRUCCIÓN DE VÍAS DE GRAN CAPACIDAD	Si toda la red de carreteras de España presentara los índices de peligrosidad y mortalidad característicos de la red de gran capacidad de carreteras del Estado, se estima que la reducción de accidentes con víctimas sería de 14.632 (37.297 – 22.665) y la de víctimas mortales de 752 (1.230-478).
	CONSTRUCCIÓN DE CARRETERAS 2+1	La hipotética conversión de las carreteras convencionales en carreteras 2+1 traería consigo una reducción de 9.406 accidentes con víctimas (37.297-27.891) y de 338 fallecidos (1.230-892)

## 6. Escenario 2: Construcción de vías de circunvalación a poblaciones.

### 6.1 Caracterización del escenario 2

Pese a representar un porcentaje reducido del total de las víctimas mortales en el entorno urbano (8,44% en 2013), los accidentes en travesías presentan un índice de letalidad<sup>7</sup> muy superior (3,6) al del resto de las vías urbanas (0,6).

Este hecho es debido principalmente a que los conductores de vehículos motorizados no suelen percibir las travesías como vías urbanas donde deben extremar la precaución debido a la presencia de usuarios vulnerables.

Las travesías son carreteras que atraviesan poblaciones y a menudo no cuentan con un diseño y equipamiento adecuado que permita a los usuarios percibir un entorno diferente a la carretera por la cual circulaba, otorgando la preferencia al peatón y a otros usuarios vulnerables. Este cambio de percepción puede conseguirse mediante la utilización de puertas de entrada, estrechamientos de carriles, pavimentos de diferente color o textura, empleo de vegetación característica, conversión de los arcenes en aceras, utilización de mobiliario

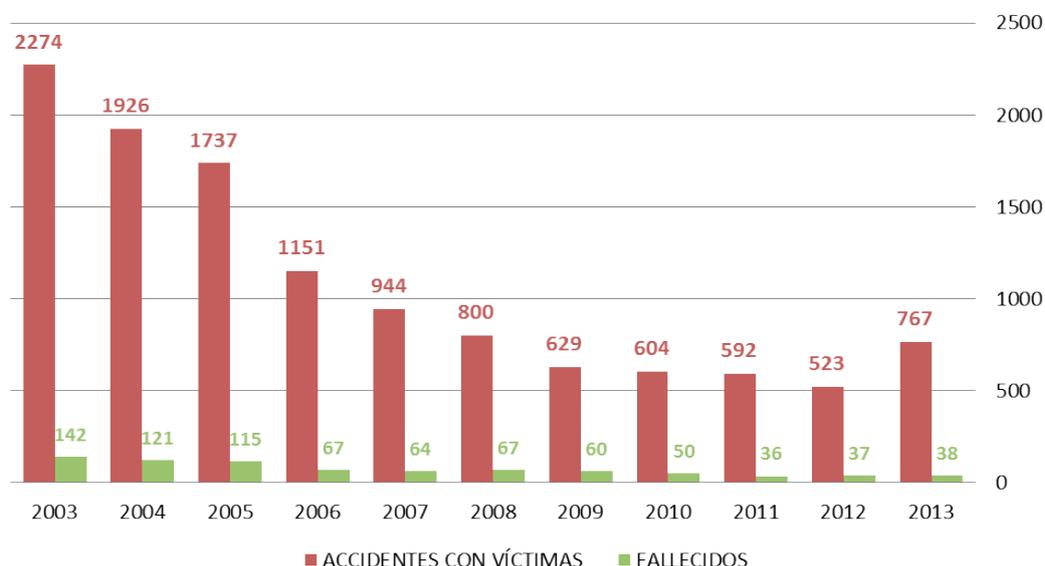
urbano, etc. En su lugar, en la mayoría de las ocasiones se recurre a la instalación de un semáforo en ámbar que cambia a la fase roja cuando los vehículos superan la velocidad permitida en la travesía, o bien a la instalación de dispositivos reductores de la velocidad, los cuales no son bien aceptados por los usuarios de los vehículos por la pérdida de confort y los posibles daños a los vehículos, además de generar molestias a los vecinos debido al ruido generado por los vehículos al circular sobre ellos.

Existe una solución alternativa para mejorar la seguridad vial, además de evitar la congestión y las emisiones en el interior de las poblaciones: las vías de circunvalación.

La gráfica 16 muestra la evolución de los accidentes con víctimas y fallecidos en travesías durante el periodo 2003-2013, donde se puede apreciar que en el último año se ha registrado un aumento significativo en el número de siniestros.

<sup>5</sup> índice de Letalidad: razón entre el número de fallecidos y el número de víctimas.

## Evolución de los accidentes con víctimas y los fallecidos en travesías



Gráfica 16. Evolución de los accidentes con víctimas y los fallecidos en travesías. Fuente: DGT

El último inventario de la Red de Carreteras del Estado disponible (2008) presenta una longitud total de 1.710 kilómetros de travesías tan sólo en esta red, a la que ha-

bría que sumar las travesías de las redes de carreteras de las Comunidades Autónomas, de las Diputaciones Forales, Diputaciones Provinciales, Cabildos y Consells.

## 6.2 Descripción de referencias

### 6.2.1 Referencias nacionales

No existen referencias nacionales sobre la posible reducción de la siniestralidad cau-

sada por la construcción de circunvalaciones.

### 6.2.2 Referencias internacionales

Estudios llevados a cabo en Gran Bretaña, Noruega, Suecia, Alemania y Dinamarca (Elvik, R., 2013) revelan que de media, se

ha encontrado una reducción del 25% en el número de accidentes con víctimas tras la construcción de las circunvalaciones.

## 6.3 Estimación de la reducción potencial de accidentalidad

A la vista de las estadísticas de siniestralidad mostradas en el apartado 6.1, parece claro que no existe un gran problema de accidentalidad en las travesías españolas, por lo que la estimación de la posible reducción de siniestralidad motivada por la construcción de carreteras de circunvalación pasará por actuaciones en emplazamientos determinados, donde se hayan registrado el mayor número de accidentes con víctimas y fallecidos.

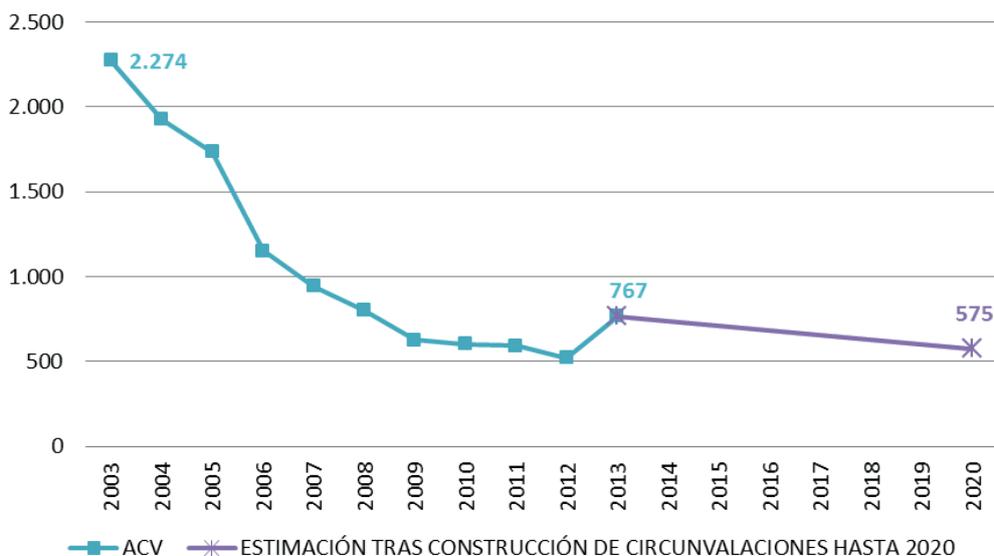
Tomando como hipótesis el estudio mencionado, la construcción de circunvalaciones en aquellos tramos que registran víctimas mortales y mayor siniestralidad provocaría una reducción del 25% de los accidentes con víctimas, lo que significaría pasar de 767 a 575. Aunque el citado estudio no indica la reducción de víctimas mortales derivada de la construcción de circunvalaciones, es posible llevar a cabo una hipótesis utilizando el Índice de Gravedad<sup>8</sup> del año 2013.

8 Número de víctimas mortales por cada 100 accidentes con víctimas

Suponiendo que se mantuviera constante el número de víctimas mortales por cada 100 accidentes con víctimas, los hipotéticos 575 siniestros registrados tras la construcción de las circunvalaciones traerían consigo 29 fallecidos, lo que supondría una reducción de 9 víctimas mortales.

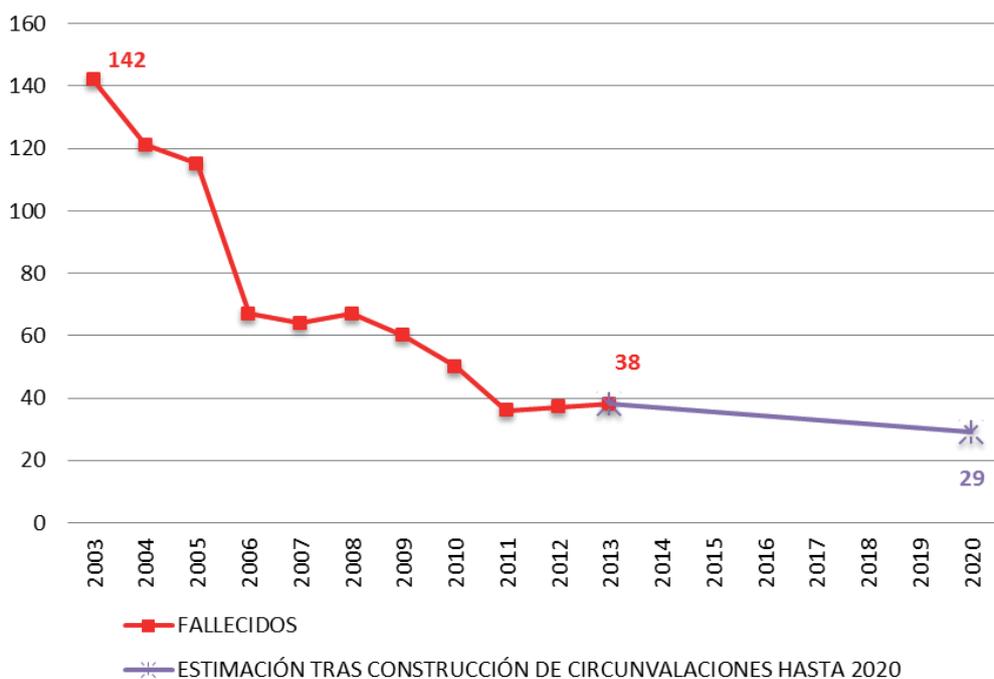
A continuación se muestra la reducción estimada en el número de accidentes con víctimas y en el de fallecidos tras la construcción de circunvalaciones, para lo que sería necesario llevar a cabo un programa de actuaciones cuyo año horizonte sería 2020.

### Accidentes con víctimas en travesías



Gráfica 17. Accidentes con víctimas en travesías. Fuente: DGT y elaboración propia

### Fallecidos en travesías



Gráfica 18. Fallecidos en travesías. Fuente: DGT y elaboración propia

## 6.4 Ficha-Resumen del escenario 2

ESCENARIO		CONSTRUCCIÓN DE VÍAS DE CIRCUNVALACIÓN A POBLACIONES
REFERENCIAS	NACIONALES	No existen referencias nacionales sobre la posible reducción de la siniestralidad causada por la construcción de circunvalaciones
	INTERNACIONALES	Estudios llevados a cabo en Gran Bretaña, Noruega, Suecia, Alemania y Dinamarca (Elvik, R., 2013) revelan que de media, se ha encontrado una reducción del 25% en el número de accidentes con víctimas tras la construcción de las circunvalaciones
HIPÓTESIS DE PARTICIPACIÓN	Tomando como hipótesis los estudios mencionados, la construcción de circunvalaciones en aquellos tramos que registran víctimas mortales y mayor siniestralidad provocaría una reducción del 25% de los accidentes con víctimas	
ESTIMACIÓN DE REDUCCIÓN DE ACCIDENTALIDAD	<ul style="list-style-type: none"> <li>La estimación contemplada permitiría disminuir el número de accidentes con víctimas de 767 a 575, lo que supondría una reducción de 192</li> <li>Suponiendo que se mantuviera constante el número de víctimas mortales por cada 100 accidentes con víctimas (4,95), los hipotéticos 575 siniestros registrados tras la construcción de las circunvalaciones traerían consigo 29 fallecidos, lo que supondría una reducción de 9 víctimas mortales</li> </ul>	

## 7. Escenario 3: Eliminación de tramos de concentración de accidentes

### 7.1 Caracterización del escenario 3

Los accidentes de tráfico son sucesos cuya probabilidad puede ser estudiada a través de modelos estadísticos, como los modelos microscópicos de Poisson y binomial negativa o los macroscópicos de series temporales (univariante y multivariante).

Sin embargo, la aleatoriedad y dispersión de los accidentes en ocasiones se convierte en una acumulación o concentración de los siniestros en emplazamientos determinados. Es lo que se conoce como tramos de concentración de accidentes y puntos negros.

En primer lugar, es importante distinguir entre estos dos conceptos, aparentemente similares pero distintos en la práctica, debido a los factores implicados en sus respectivas definiciones:

- **PUNTO NEGRO (DIRECCIÓN GENERAL DE TRÁFICO):** La definición técnica de Punto Negro queda recogida en la Instrucción 01/TV-29 de la Dirección General de Tráfico. En esta Instrucción se considera Punto Negro *“aquel emplazamiento perteneciente a una calzada de una red de carreteras en el que durante un año natural se hayan detectado 3 o más accidentes con víctimas con una separación máxima entre uno y otro de 100 m”*. Nótese la ausencia del factor tráfico en la definición de punto negro.
- **TRAMO DE CONCENTRACIÓN DE ACCIDENTES (MINISTERIO DE FOMENTO):** Según las directrices del procedimiento para la gestión de tramos de concentración de accidentes y la clasificación de la

seguridad en la red de carreteras del Estado, un Tramo de Concentración de Accidentes (TCA) es un *“tramo de carretera de longitud no superior a 3 km, salvo excepciones justificadas, que lleve en explotación más de tres años, en el que las estadísticas de accidentes registrados indican que el nivel de riesgo de accidente es significativamente superior al de aquellos tramos de la red con características semejantes”*. El procedimiento para la identificación de los TCAs queda recogido en la Orden Circular 30/2012. Se identificarán como TCA aquellos tramos en los que el índice de peligrosidad resulte superior al umbral de su categoría siempre que a lo largo de los tres últimos años del período considerado se hayan registrado en ellos más de 5 accidentes con víctimas en los tramos pertenecientes a carreteras convencionales o más de 10 accidentes con víctimas en los pertenecientes a carreteras de gran capacidad.

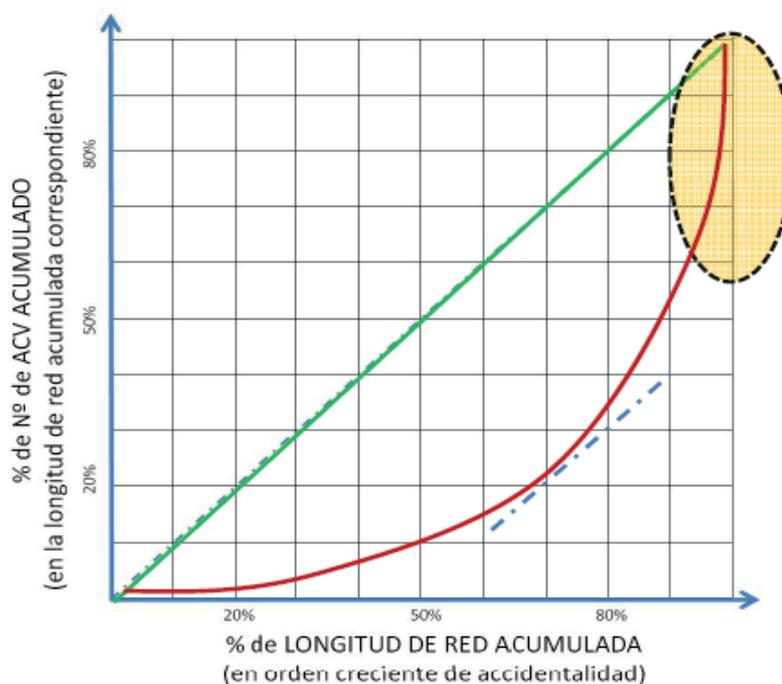
Al margen de esta distinción, es importante destacar el hecho de que la mayoría de las administraciones de carreteras autonómicas poseen su propia definición y metodología para la identificación y tratamiento de los tramos de concentración de accidentes, a lo que se une que estas definiciones han evolucionado en el tiempo. En definitiva, existe una cierta falta de homogeneidad en la definición de los tramos de mayor peligrosidad de la red viaria entre administraciones, si bien en las diferentes definiciones empleadas se hace referencia a un mismo concepto: identificar y gestionar los tramos con registros de accidentalidad superiores a la media.

## 7.2 Descripción de referencias

### 7.2.1 Referencias nacionales

En términos generales, se estima que en estos emplazamientos se concentra un elevado porcentaje de los accidentes con víctimas en tan sólo un 2%-5% de la longitud de la red, lo que convierte a esta herramienta en un eficaz protocolo de actuación para la reducción de los siniestros viales. En el caso español, según datos del Ministerio de

Fomento, que podrían asumirse para toda la red viaria interurbana, tal como muestra la gráfica 19, en un 96% de la longitud de la red se acumula el 70% de los accidentes con víctimas, o lo que es lo mismo: en un 4% de la red se acumula el 30% de los accidentes con víctimas y el 15% de las víctimas mortales.



**El 4% de la Red concentra el 30% ACV y 15% de VM**

Gráfica 19. Siniestralidad en Tramos de Concentración de Accidentes. Fuente: Ministerio de Fomento, V Congreso Nacional de Seguridad Vial, Logroño 2011.

### 7.2.2 Referencias internacionales

El Manual de Medidas de Seguridad Vial (Elvik, R., 2013) asegura, según estudios llevados a cabo en Estados Unidos, Reino Unido, Noruega, Francia, Dinamarca, Canadá, Australia y Alemania, las actuaciones llevadas a cabo en tramos de concentración de accidentes traen consigo reducciones del 28% en el número de accidentes con víctimas.

Es importante tener en cuenta que en ocasiones, esta reducción puede verse modificada por efectos colaterales, como la migración de accidentes a tramos de carre-

tera donde no se han llevado a cabo actuaciones o el efecto de regresión a la media.

En España, la falta de una única definición de TCA a nivel global, así como las diferentes políticas de identificación y gestión de tramos peligrosos en diferentes redes, impiden hacer una valoración global del número de TCA y de la accidentalidad que en ellos se produce, que sirva como referencia para establecer la potencialidad de reducción de siniestralidad que supondría su eliminación completa, si fuera posible.

### 7.3 Estimación de la reducción potencial de accidentalidad

Considerando las referencias anteriores, se pueden realizar las siguientes estimaciones:

- En los TCA de la red viaria interurbana española se producirían el 30% de los accidentes con víctimas y el 15% de las víctimas mortales.
- Según las referencias del Manual de Medidas de Mejora de la Seguridad Vial,

es posible alcanzar una reducción del 28% de los accidentes con víctimas por medio de las actuaciones en TCA. Para valorar la potencialidad de reducción de víctimas mortales, se considera la lesividad estimada de los accidentes en los TCAs ( $185/11.189 = 0,0165$  víctimas mortales / accidente con víctimas).

Según los datos del año 2013:

	Accidentes con víctimas	Víctimas mortales
Total en la red viaria interurbana	37.297	1.230
En TCA	11.189	185
Potencialidad de reducción de accidentalidad al actuar en TCA	-3.133 (28% de accidentes con víctimas en TCA)	-52 ( $3.133 \times 0,0165$ )
Total de accidentalidad tras la actuación en TCA	34.164	1.178

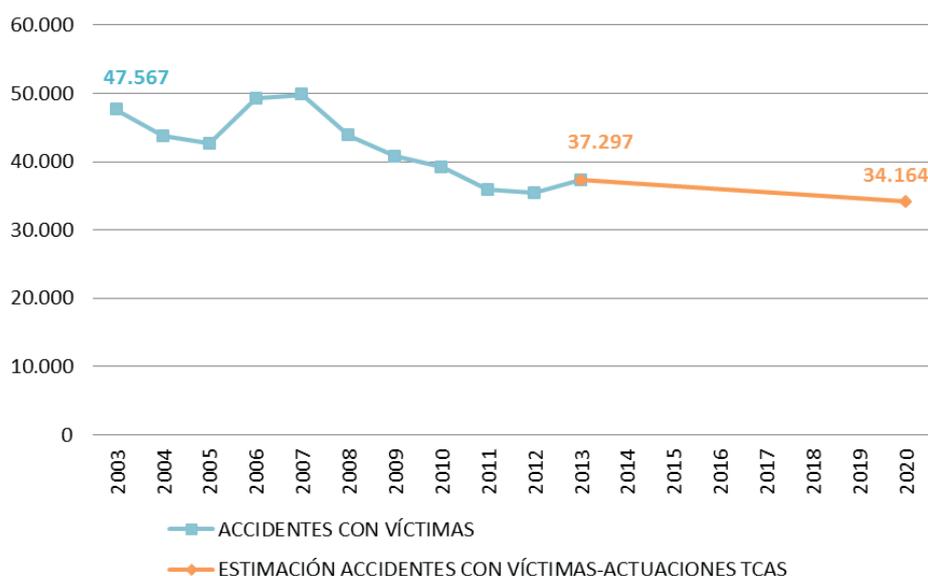
Tabla 3. Estimación de la reducción potencial de siniestralidad en TCAs. Fuente: Ministerio de Fomento, DGT y elaboración propia.

- Se puede observar que la actuación en TCA, según las hipótesis consideradas, permitiría reducir un total de 3.133 accidentes con víctimas y 52 víctimas mortales respecto al año 2013.
- Se puede considerar que esta medida podría desarrollarse en el periodo 2015-

2020, con lo que la estimación de reducción de accidentalidad esperada podría conseguirse al final de esta década.

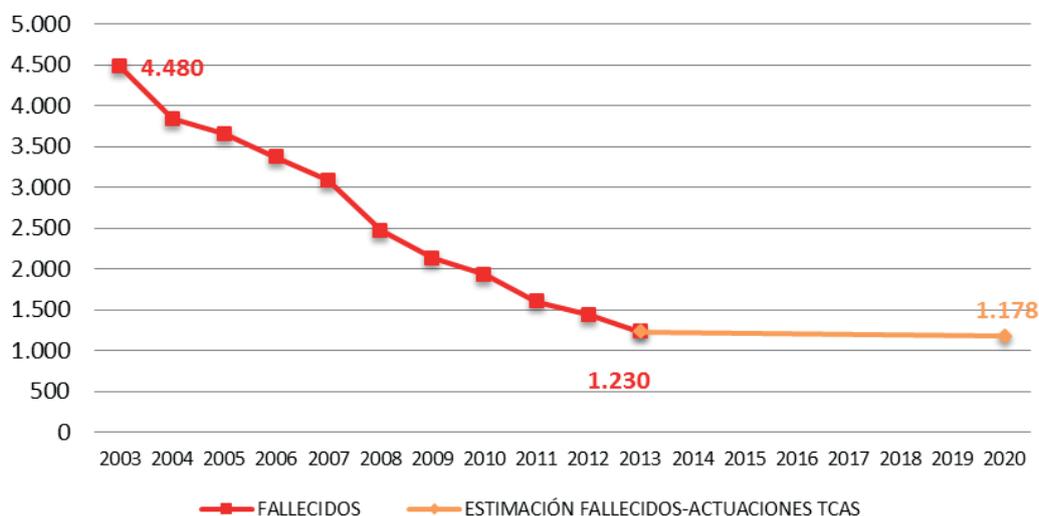
Los siguientes gráficos ilustran la potencialidad de reducción de accidentalidad que se puede obtener con la gestión de TCA.

Accidentes con víctimas en vías interurbanas (actuaciones en TCAS)



Gráfica 20. Estimación de accidentalidad tras la actuación en tramos de concentración de accidentes. Fuente: DGT y elaboración propia.

### Fallecidos en vías interurbanas (actuaciones en TCAS)



Gráfica 20. Estimación de accidentalidad tras la actuación en tramos de concentración de accidentes. Fuente: DGT y elaboración propia.

### 7.4 Ficha-Resumen del escenario 3

ESCENARIO		ELIMINACIÓN DE TRAMOS DE CONCENTRACIÓN DE ACCIDENTES	
REFERENCIAS	NACIONALES	En un 4% de la red se acumulan el 30 % de los accidentes con víctimas y el 15% de las víctimas mortales	
	INTERNACIONALES	El Manual de Medidas de Seguridad Vial (Elvik, R., 2013) asegura, según estudios llevados a cabo en Estados Unidos, Reino Unido, Noruega, Francia, Dinamarca, Canadá, Australia y Alemania, las actuaciones llevadas a cabo en tramos de concentración de accidentes traen consigo reducciones del 28% en el número de accidentes con víctimas	
HIPÓTESIS DE PARTIDA	<ul style="list-style-type: none"> <li>En los TCA de la red viaria interurbana española se producirían el 30% de los accidentes con víctimas y el 15% de las víctimas mortales.</li> <li>Según las referencias del Manual de Medidas de Mejora de la Seguridad Vial, es posible alcanzar una reducción del 28% de los accidentes con víctimas por medio de las actuaciones en TCA. Para valorar la potencialidad de reducción de víctimas mortales, se considera la lesividad de los accidentes en TCAs (0,0165 víctimas mortales / accidente con víctimas).</li> </ul>		
ESTIMACIÓN DE REDUCCIÓN DE ACCIDENTALIDAD	Se puede observar que la actuación en TCA, según las hipótesis consideradas, permitiría reducir un total de 3.133 accidentes con víctimas y 52 víctimas mortales respecto al año 2013		

## 8. Escenario 4: Mejora de la seguridad de los márgenes de las vías

### 8.1 Caracterización del escenario 4

Durante el año 2013, 508 personas fallecieron en España en siniestros por salida de vía, lo que supone un 30% del total de los fallecidos. De ellos, 441 (86,8%) se registraron en vías interurbanas, por 67 (13,2%) en las urbanas.

Los márgenes de las carreteras a menudo presentan obstáculos y peligros que en caso de salida de la calzada pueden agravar las consecuencias del accidente. La tabla 3 muestra la clasificación habitual de peligros en los márgenes de las carreteras.

TIPO DE PELIGRO	DESCRIPCIÓN	EJEMPLOS
Continuo	Todos aquellos dispuestos a lo largo de la calzada durante una longitud considerable	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Cunetas</li> <li>• Desmontes y Terraplenes</li> <li>• Puentes, viaductos y muros</li> <li>• Bordillos</li> <li>• Hileras de árboles</li> </ul>
Puntual	Todos aquellos peligros dispuestos de manera puntual en los márgenes y medianas de las carreteras	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Árboles puntuales</li> <li>• Rocas</li> <li>• Pasos salvacunetas</li> <li>• Extremos de barrera agresivos</li> <li>• Luminarias</li> <li>• Postes de señalización y líneas aéreas</li> <li>• Pilares y estribos de puentes</li> <li>• Transiciones de barreras</li> <li>• Edificaciones</li> <li>• Pavimentos deslizantes</li> </ul>
Otros	Casos particulares	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Postes de barrera metálica</li> <li>• Discontinuidades entre barreras próximas</li> <li>• Altura de barrera inadecuada</li> <li>• Longitudes de barrera insuficientes</li> <li>• Disposición transversal de barrera incorrecta</li> </ul>

Tabla 4. Tipos de peligro. Fuente: elaboración propia

La metodología correcta a la hora de tratar de eliminar los peligros de los márgenes de las vías pasa por llevar a cabo actuaciones enmarcadas en cada una de las siguientes líneas de acción, por este orden:

1. Medidas para evitar la salida de la calzada
2. Medidas para disminuir la probabilidad de que un vehículo que salga de la vía

choque con un obstáculo

3. Medidas para disminuir las consecuencias de los accidentes por salida de vía en caso de que se produzcan

La tabla 5 muestra algunas de las medidas propuestas en cada una de las líneas de acción.

TIPO DE MEDIDAS	EJEMPLOS
Medidas para evitar la salida de la calzada	Hitos de arista Paneles direccionales Marcas viales Captafaros Resaltos en marcas viales Pavimentos antideslizantes Mejora de la geometría en curvas horizontales
Medidas para disminuir la probabilidad de que un vehículo que salga de la vía choque con un obstáculo	Zona de seguridad Rediseño/reubicación de pasos salvacunetas
Medidas para disminuir las consecuencias de los accidentes por salida de vía en caso de que se produzcan	Lechos de frenado Estructuras fusibles Picos de flauta Tendido de taludes Sistemas de contención: barreras de seguridad, atenuadores de impacto, terminales de barrera, transiciones, sistemas de protección para motociclistas (SPM)

Tabla 5. Medidas para evitar y disminuir las consecuencias de los accidentes por salida de calzada. Fuente: elaboración propia

Pese a que siempre es preferible la aplicación del segundo grupo de medidas antes que el tercero, a menudo no es posible lle-

varlas a cabo por limitaciones de espacio u otras consideraciones.

## 8.2 Descripción de referencias

### 8.2.1. Referencias nacionales

La Orden Circular 28/09 “Recomendaciones sobre criterios de aplicación de barreras de seguridad metálicas” describe claramente el proceso de toma de decisiones seguido una vez se han identificado zonas o tramos con objetos potencialmente peligrosos:

1. Eliminar el obstáculo o desnivel.
2. Diseñar de nuevo el elemento que suponga un obstáculo o un desnivel (v.g.: taludes de desmontes y terraplenes más tendidos, medianas más anchas y sensiblemente llanas, cunetas de seguridad, arquetas que no sobresalgan

del terreno, etc.), de modo que resulte franqueable por los vehículos en condiciones de seguridad.

3. Trasladar el obstáculo a otra zona donde resulte menos probable que el vehículo impacte con él (v.g.: situarlo a mayor distancia del borde de la calzada o disponerlo en un tramo recto en vez de en una alineación curva).
4. Disminuir la severidad del impacto contra el obstáculo disponiendo una estructura soporte eficaz para la seguridad pasiva (v.g.: báculos de iluminación con

fusible estructural), entendiéndose por tales aquellos elementos que satisfacen los requisitos de la norma UNE EN 12767, siempre que la caída del elemento no pueda provocar daños adicionales a terceros.

Por lo tanto, antes de tomar la decisión de instalar una barrera de seguridad, será necesario llevar a cabo un análisis comparativo en el que se valoren los costes y beneficios asociados a las posibles soluciones alternativas.

En este sentido, las recomendaciones seguidas en España no proporcionan una metodología única para llevarlo a cabo, sino que tan sólo indican la necesidad de tener en cuenta los siguientes aspectos en el

### 8.2.2 Referencias internacionales

En el estado de Queensland –Australia–, la decisión de instalar o no un sistema de contención pasa por calcular el ratio beneficio-coste de la medida:

$$BCR = NPB/NPC$$

Donde:

- NPB es el valor de los beneficios generados por la reducción de accidentes durante un determinado periodo de tiempo, basado en una tasa de descuento.

análisis beneficio-coste:

- El coste de las soluciones alternativas.
- Los costes de instalación y mantenimiento de la barrera de seguridad metálica.
- La probabilidad de que un vehículo impacte con la barrera de seguridad metálica.
- La gravedad del accidente resultante del impacto con la barrera de seguridad metálica.
- La gravedad del accidente que se pretende evitar con el empleo del tipo de barrera de seguridad metálica seleccionado.
- NPC es el coste de implementación.

Para su cálculo, se tendrán en cuenta los costes de implementación, mantenimiento y reparación de la medida, la duración del periodo de análisis y la tasa de descuento aplicada.

Cuando la tasa beneficio-coste (BCR) adopta un valor superior a 1,5 para carreteras interurbanas o mayor de 2,5 para el caso de vías urbanas, la instalación de la barrera de seguridad estará justificada.

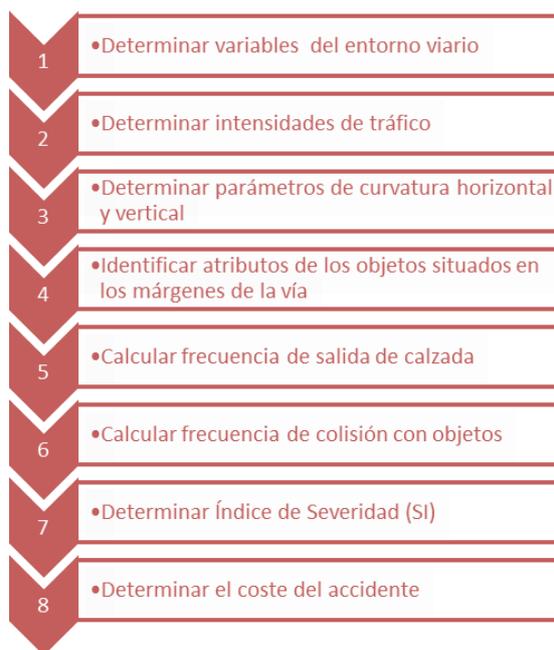


Ilustración 3. Metodología adoptada en Queensland para la determinación del riesgo y el coste de los accidentes por salida de vía. Fuente: Department of Main Roads. Queensland Government.

En las carreteras de este estado australiano disponen de un modelo para determinar la probabilidad de que un vehículo salga de la calzada bajo determinadas circunstancias:

$$EF = BER \times AADT \times EF_c \times EF_g \times EF_u$$

Ecuación 1. Frecuencia de salida de vía. Fuente: Department of Main Roads. Queensland Government.

Donde:

- EF: Frecuencia de salida de vía
- BER: Tasa base de salida de vía
- AADT: Intensidad Media Diaria
- EFc: Factor de curvatura
- EFg: Factor de la pendiente
- EFu: Factor del usuario

El modelo incluye así mismo, una serie de ecuaciones para el cálculo de la frecuencia de choque con obstáculos situados en los márgenes de la calzada, pudiendo estimar en último término, el número total de im-

pactos previstos a lo largo del año.

La inexistencia de una metodología similar para las administraciones de carreteras en España impide poder cuantificar o al menos estimar la reducción de víctimas y su severidad mediante las medidas de tratamiento de márgenes, por lo que a efectos de estimar la contribución de este tipo de medidas en la reducción de la siniestralidad vial en España, se asumirá una efectividad similar a la conseguida en otros países de nuestro entorno.

A continuación se indica el porcentaje de reducción estimado para medidas orientadas a la mejora de la seguridad de los márgenes, en base a estudios internacionales:

Medida	Mejor estimación para la reducción de accidentes con víctimas	Fuente
Reducción de pendiente lateral desde 1:3 hasta 1:4	-42%	Dotson, 1974 Graham y Harwood, 1982
Reducción de pendiente lateral desde 1:4 hasta 1:6	-22%	Dotson, 1974 Graham y Harwood, 1982
Incremento de la distancia lateral hasta los obstáculos fijos desde 1 metro hasta 5 metros	-22% (sin especificar la gravedad de los accidentes)	Cirillo, 1967 y Zegeer, 1988
Incremento de la distancia lateral hasta los obstáculos fijos desde 5 metros hasta 9 metros	-44% (sin especificar la gravedad de los accidentes)	Cirillo, 1967 y Zegeer, 1988
Eliminación y señalización de los obstáculos situados en los márgenes de las vías de circulación	Eliminación de obstáculos: -2% Señalización de obstáculos: -23%	Corben, Deery, Newstead, Mullan y Dyte, 1997
Instalación de sistemas de contención en los márgenes de las vías	Accidentes mortales: -44% Accidentes con víctimas: -47%	Short y Robertson, 1998 Ljungblad, 2000 Y otros
Instalación de sistemas de contención en las medianas de autopistas o autovías	Accidentes mortales: -43% Accidentes con víctimas: -30%	Hancock y Ray, 2000 Nilsson y Ljungblad, 1999 Hunter et al., 2001 Y otros

Tabla 6. Estimaciones de reducción en la accidentalidad por salida de vía según distintos estudios internacionales. Fuente: El Manual de Medidas de Seguridad Vial. Elvik, R. 2013.

### 8.3 Estimación de la reducción potencial de accidentalidad

Como puede apreciarse en la tabla 6, los estudios internacionales citados hacen referencia a reducciones en el número de accidentes con víctimas, pero no se dispone de estimaciones de reducción en el número de fallecidos.

En 2013 se registraron 13.841 accidentes con víctimas y 441 fallecidos por salida de calzada en vías interurbanas, lo que supone un ratio ACV/VM de 31,3 a 1.

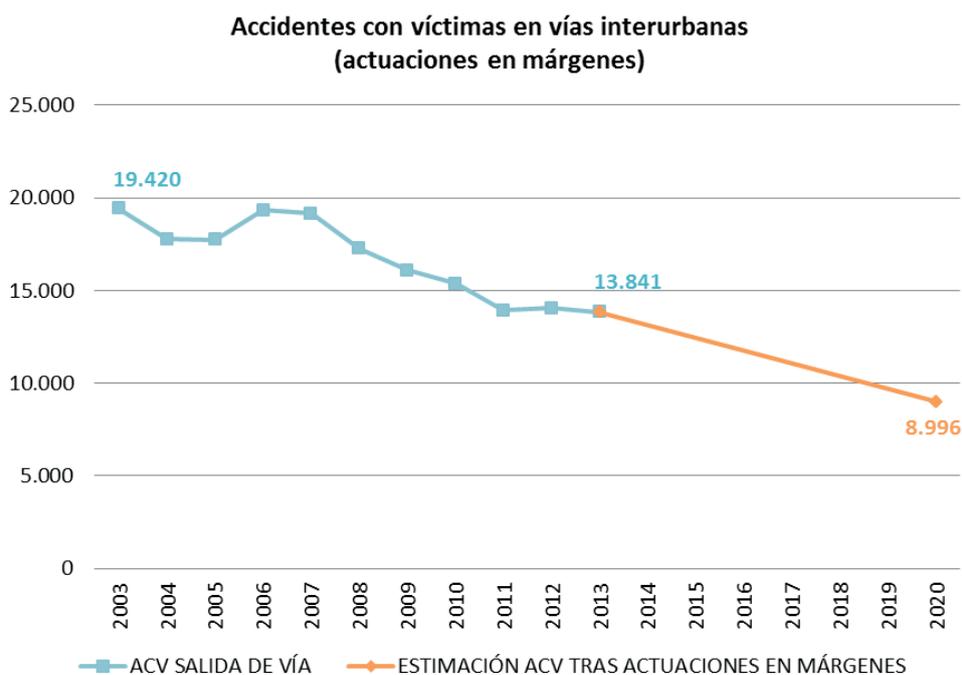
Suponiendo que se aplicara un conjunto de medidas como las presentadas en la tabla 7 y a la vista de que la mayoría de ellas

arrojan unas reducciones de accidentalidad comprendidas entre el 30% y el 50%, se adoptará como hipótesis de trabajo una reducción del 35% en el caso de España, que aplicado al número de accidentes con víctimas correspondiente al año 2013, supondría una reducción de 4.845 accidentes con víctimas en el periodo de actuación, cuyo año horizonte es 2020.

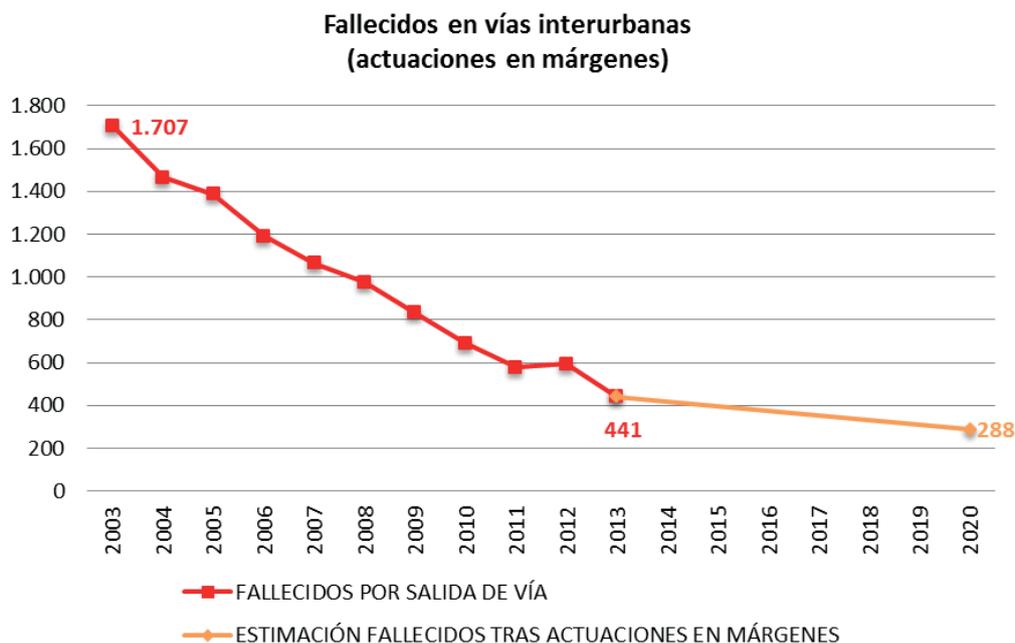
La siguiente tabla ilustra las hipótesis aplicadas para el cálculo de la reducción de siniestralidad por salida de vía tras la aplicación de las medidas propuestas.

		% Reducción estimada (Elvik, R., 2013)	Reducción estimada en España	Siniestralidad estimada tras la aplicación de las medidas
Fallecidos por salida de vía	441 (DGT, 2013)		153	288 (ratio ACV/VM = 31,3)
Accidentes con víctimas por salida de vía	13.841 (DGT, 2013)	35%	4.845 (13.841 x 0,35)	8.996 (13.841-4.845)

Tabla 7. Estimación de la reducción de la siniestralidad. Fuente: DGT y elaboración propia.



Gráfica 22. Estimación de accidentalidad tras la actuación en márgenes. Fuente: DGT y elaboración propia



Gráfica 23. Estimación de fallecidos tras la actuación en márgenes. Fuente: DGT y elaboración propia

### 8.4 Ficha-Resumen del escenario 4

ESCENARIO		MEJORA DE LA SEGURIDAD DE LOS MÁRGENES DE LAS VÍAS	
REFERENCIAS	NACIONALES	Orden Circular 28/09 “Recomendaciones sobre criterios de aplicación de barreras de seguridad metálicas”	
	INTERNACIONALES	El Manual de Medidas de Seguridad Vial. Elvik, R. 2013	
HIPÓTESIS DE PARTIDA	Conforme a las distintas referencias internacionales señaladas en el Manual de Medidas de Seguridad Vial, se adoptará como hipótesis de trabajo una reducción del 35% en el caso de España		
ESTIMACIÓN DE REDUCCIÓN DE ACCIDENTALIDAD	La aplicación de esta hipótesis al número de accidentes con víctimas correspondiente al año 2013, supondría una reducción de 4.845 accidentes con víctimas y de 153 víctimas mortales en el periodo de actuación, cuyo año horizonte es 2020		

## 9. Escenario 5: Iluminación de tramos singulares de carreteras

### 9.1 Caracterización del escenario 5

La mayoría de los siniestros viales ocurren durante el día. La razón no es otra que la mayor movilidad registrada durante las horas diurnas. Así, en 2013 se registraron 1.101 fallecidos en el tramo horario comprendido entre las 8:00 y las 19:59, por los 579 registrados entre las 20:00 y las 7:59.

Sin embargo, existen indicadores que permiten medir la gravedad de los accidentes de

una manera objetiva, realizando un análisis más profundo que aquel que tiene en cuenta tan sólo el número de víctimas mortales registradas en cada franja horaria. Se trata del índice de letalidad, que mide el número de fallecidos por cada 100 víctimas. En este sentido, cabe señalar que el índice de letalidad es superior en el horario nocturno (20:00 – 7:59) al diurno (8:00 – 19:59), tal como se refleja en la tabla 8.

Año 2013	Intervalo 8:00 – 19:59	Intervalo 20:00 – 7:59
Vías urbanas e interurbanas	1,2	1,6
Vías urbanas	0,6	0,8
Vías interurbanas	2,0	2,5

Tabla 8. Índices de Letalidad según la luminosidad. Fuente: DGT

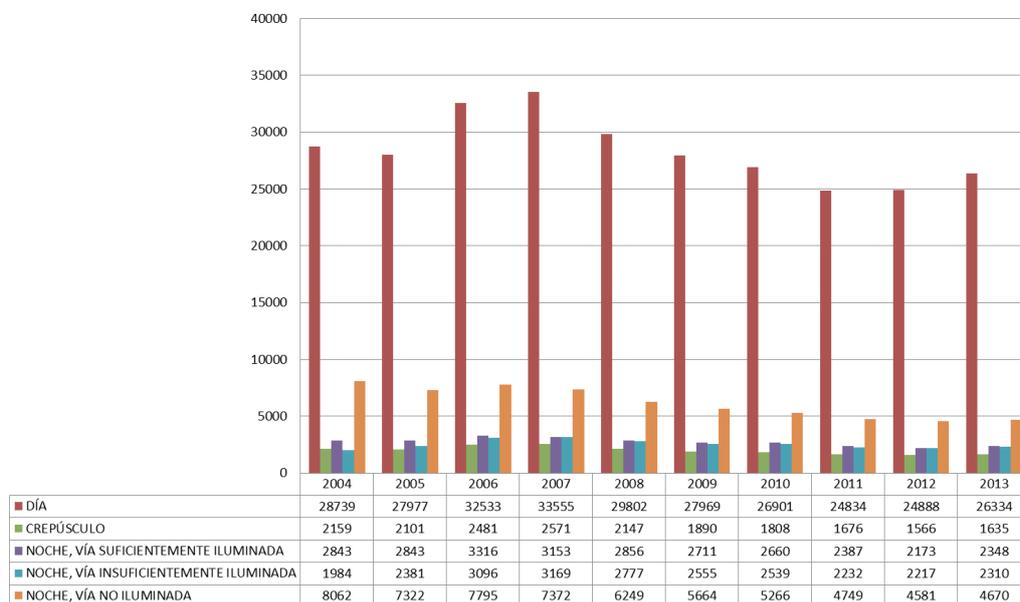
Además, en vías interurbanas, el 61% de los peatones fallecidos en 2013 estuvieron implicados en un accidente que tuvo lugar durante la noche, mientras que en vías urbanas la mayoría de los peatones fallecidos sufrieron el accidente durante el día.

Las gráficas 24 y 25 muestran la evolución de los accidentes y de las víctimas en función de la luminosidad. En ambas puede apreciarse un estancamiento e incluso cierto repunte en

el número de accidentes y de víctimas registrados durante los últimos años en vías con iluminación insuficiente o no iluminada.

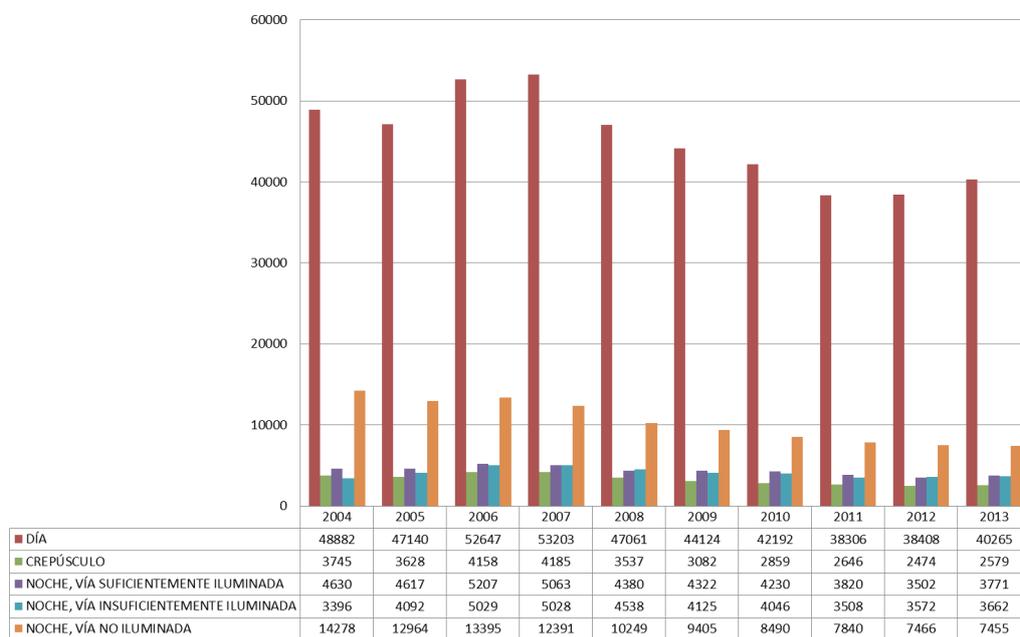
Al igual que otros elementos de equipamiento, la iluminación desempeña un papel fundamental, especialmente en tramos singulares. Cabe destacar que durante los últimos años la iluminación de las carreteras ha experimentado una disminución significativa debido a la crisis económica.

**Evolución de los accidentes con víctimas en vías interurbanas en función de la luminosidad**



Gráfica 24. Evolución de los accidentes con víctimas en vías interurbanas en función de la luminosidad. Fuente: elaboración propia a partir de datos de la DGT.

**Evolución de las víctimas en vías interurbanas en función de la luminosidad**



Gráfica 25. Evolución de las víctimas en vías interurbanas en función de la luminosidad. Fuente: elaboración propia a partir de datos de la DGT.

## 9.2. Descripción de referencias

### 9.2.1. Referencias nacionales

No existen referencias nacionales sobre la posible reducción de la siniestralidad causada por la iluminación de vías que previa-

mente carecían de ella o por la mejora del nivel de iluminación existente.

### 9.2.2. Referencias internacionales

El Manual de Medidas de Seguridad Vial (Elvik, R., 2013) predice, en base a numerosos estudios internacionales, que la iluminación de vías que previamente carecían de ella trae consigo una reducción del 14% en el número de accidentes nocturnos con víctimas en todos los tipos de carretera.

Por otra parte, el mismo Manual apunta que una mejora del nivel de iluminación existente entre 2 y 5 veces el nivel inicial, trae consigo una reducción del 13% en el número de accidentes con víctimas.

Por último, diversos estudios llevados a cabo en Estados Unidos, Dinamarca, Alemania y Suecia, afirman que el efecto estimado sobre los accidentes con víctimas provocado por la reducción de la iluminación existente es un incremento significativo del 17%.

La relación Accidentes con Víctimas Nocturnos sin iluminación/Víctimas Mortales en Accidentes Nocturnos sin iluminación (ACV/VM) registrada en 2013 fue de 17,8 (4.670/262), por lo que si se aplica este ratio al número de accidentes con víctimas estimado tras la aplicación de la medida, se obtendría una **reducción de 36 fallecidos**.

### 9.3 Estimación de la reducción potencial de accidentalidad

Así pues, aplicando la hipótesis de la citada reducción del 14% motivada por la iluminación de vías a los datos de accidentes nocturnos con víctimas registrados en 2013, sería posible obtener una **reducción de 654 accidentes con víctimas de noche sin iluminación**.

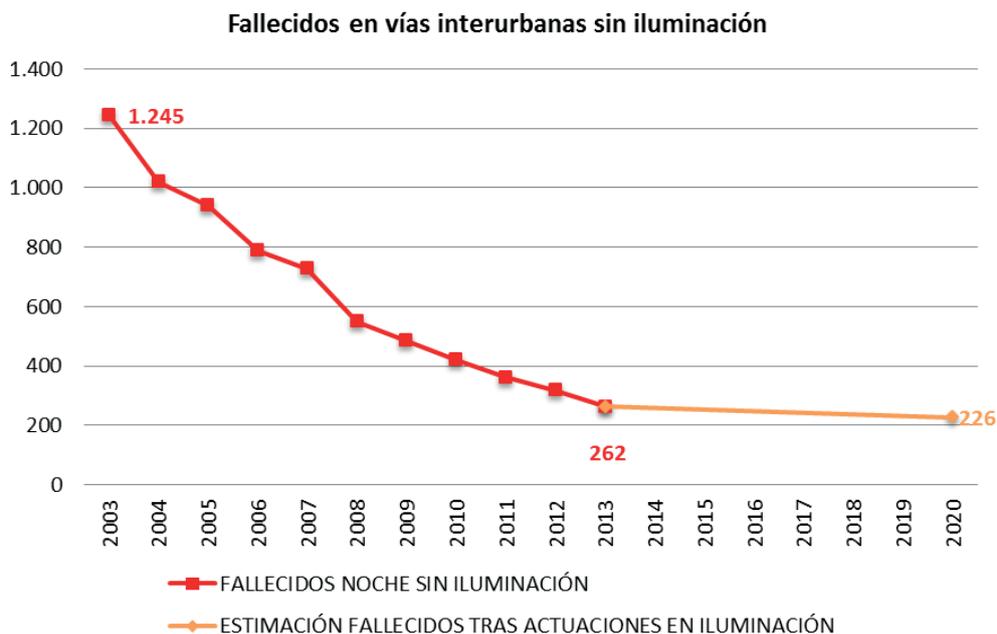
La relación Accidentes con Víctimas Nocturnos sin iluminación/Víctimas Mortales en Accidentes Nocturnos sin iluminación (ACV/VM) registrada en 2013 fue de 17,8 (4.670/262), por lo que si se aplica este ratio al número de accidentes con víctimas estimado tras la aplicación de la medida, se obtendría una **reducción de 36 fallecidos**.

		% Reducción estimada (Elvik, R., 2013)	Reducción estimada en España	Siniestralidad estimada tras la aplicación de las medidas
Fallecidos noche sin iluminación	262 (DGT, 2013)		36	226 (ratio ACV/VM = 17,8)
Accidentes con víctimas noche sin iluminación	4.670 (DGT, 2013)	14%	654 (4.670 x 0,14)	4.016 (4.670-654 = 4.016)

Tabla 9. Estimación de la reducción de la siniestralidad. Fuente: DGT y elaboración propia.



Gráfica 26. Estimación de accidentalidad tras la actuación en tramos no iluminados. Fuente: DGT y elaboración propia.



Gráfica 27. Estimación de víctimas mortales tras la actuación en tramos no iluminados. Fuente: DGT y elaboración propia.

### 9.4 Ficha-Resumen del escenario 5

ESCENARIO		MEJORA DE LA SEGURIDAD DE LOS MÁRGENES DE LAS VÍAS
REFERENCIAS	NACIONALES	No existen referencias nacionales sobre la posible reducción de la siniestralidad causada por la iluminación de vías que previamente carecían de ella o por la mejora del nivel de iluminación existente
	INTERNACIONALES	El Manual de Medidas de Seguridad Vial (Elvik, R., 2013) predice, en base a numerosos estudios internacionales, que la iluminación de vías que previamente carecían de ella trae consigo una reducción del 14% en el número de accidentes nocturnos con víctimas en todos los tipos de carretera
HIPÓTESIS DE PARTIDA	Reducción del 14% motivada por la iluminación de vías	
ESTIMACIÓN DE REDUCCIÓN DE ACCIDENTALIDAD	Reducción de 654 accidentes con víctimas de noche sin iluminación.  La relación Accidentes con Víctimas Nocturnos sin iluminación/Víctimas Mortales en Accidentes Nocturnos sin iluminación (ACV/VM) registrada en 2013 fue de 17,8 (4.670/262), por lo que si se aplica este ratio al número de accidentes con víctimas estimado tras la aplicación de la medida, se obtendría una reducción de 36 fallecidos	

## 10. Escenario 6: Mejora de las intersecciones

### 10.1 Caracterización del escenario 6

En 2013 se registraron 9.409 accidentes con víctimas en intersecciones de vías interurbanas, lo que trajo consigo un total de 171 fallecidos, una cifra muy inferior a la registrada en emplazamientos fuera de intersecciones, donde se contabilizaron 27.888 accidentes con víctimas que trajeron consigo 1.059 fallecidos.

El anuario de accidentes de la Dirección Ge-

neral de Tráfico correspondiente al año 2013 muestra un mayor registro de fallecidos en intersecciones de tres ramales (en T o Y), que en las de cuatro (en X o +), tal como se puede observar en la tabla 10. A la vista de los resultados, se puede deducir que el tipo de intersección que presenta mayor gravedad es la de cuatro ramales (en X o +).

Intersección	Accidentes con víctimas	Fallecidos	Índice de gravedad <sup>9</sup>
En T o Y	3.152	63	1,99
En X o +	1.359	43	3,16
Enlace de entrada	1.086	16	1,47
Enlace de salida	706	19	2,69
Giratoria	2.762	20	0,72
Otras	344	10	2,9
Total	9.409	171	1,81

Tabla 10. Siniestralidad en intersecciones en vías interurbanas. Año 2013. Fuente: DGT.

### 10.2 Descripción de referencias

#### 10.2.1 Referencias nacionales

No existen referencias nacionales sobre la posible reducción de la siniestralidad causada

por la adecuación de intersecciones.

#### 10.2.2 Referencias internacionales

La razón por la que son más peligrosas las intersecciones de cuatro ramales que las de tres reside en el número de puntos de conflicto característico de cada una de ellas, que depende de los movimientos permitidos. Así, mientras en las intersecciones de cuatro ramales existen hasta 32 puntos de conflicto, en las de tres

tan sólo hay 9. Una posible solución pasa por el rediseño de las intersecciones de cuatro ramales en dos intersecciones de tres ramales, provocando una desalineación izquierda-derecha o derecha-izquierda, tal como se puede observar en la siguiente figura:

<sup>9</sup> Fallecidos por cada 100 accidentes con víctimas

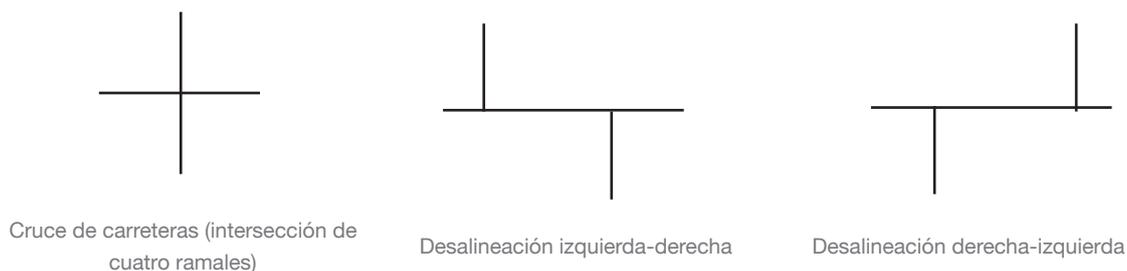


Ilustración 4. Diferentes modos de transformar un cruce de carreteras en una intersección desalineada. Fuente: EL Manual de Medidas de Seguridad Vial (Elvik, R., 2013)

El Manual de Medidas de Seguridad Vial (Elvik, R., 2013) revela que la desalineación de cruces de carretera trae consigo reducciones significativas en el número de accidentes con víctimas, excepto en el caso de que la vía secundaria aporte menos del

15% del tráfico total de la intersección, en cuyo caso se produciría un aumento de los siniestros. La siguiente tabla muestra las reducciones estimadas por estudios llevados a cabo en Dinamarca, Noruega, Estados Unidos y Suecia.

Cambio porcentual en el número de accidentes con víctimas	
Tipo de intersección afectada	Mejor estimación
Intersecciones con muy poco tráfico en la vía secundaria (<15%)	+35%
Intersecciones con tráfico de intensidad media en la vía secundaria (15%-30%)	-25%
Intersecciones con tráfico intenso en la vía secundaria (>30%)	-33%
Todas las intersecciones	-20%

Tabla 11. Reducción estimada en el número de accidentes con víctimas causado por la desalineación de cruces de carreteras. Fuente: El Manual de Medidas de Seguridad Vial (Elvik, R., 2013)

### 10.3 Estimación de la reducción potencial de accidentalidad

Como se puede comprobar en la tabla 10, las intersecciones de cuatro ramales (en X o +) son las que presentan un mayor índice de gravedad, por lo que la estimación de reducción de la siniestralidad se llevará a cabo para esta tipología de intersección.

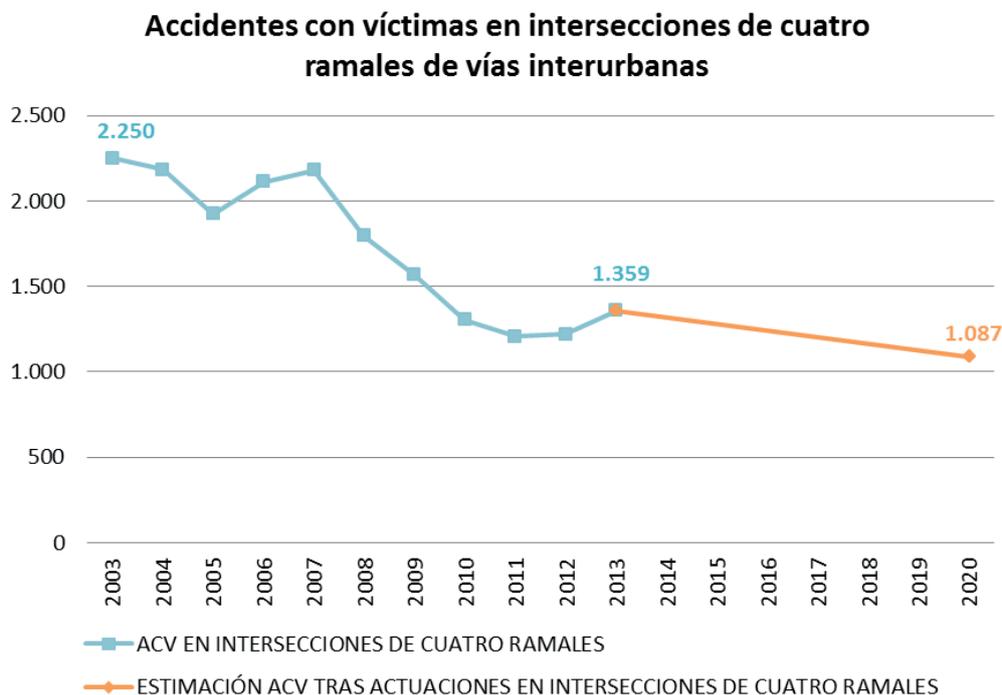
A la vista de los resultados anteriores, se podría suponer una reducción media de la siniestralidad del 20% debida a la desalineación de cruces de carretera, lo que aplicado a la realidad existente en las ca-

rrerteras españolas supondría una reducción de 272 accidentes con víctimas (0,2 x 1.359).

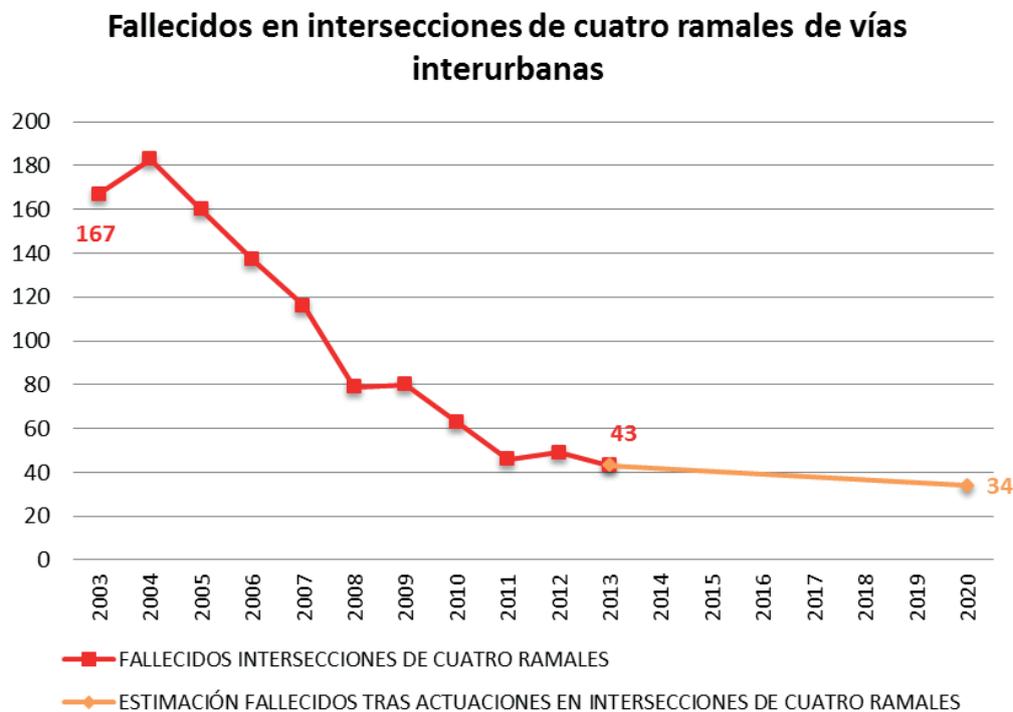
Teniendo en cuenta que el Índice de Gravedad de este tipo de intersecciones asciende a 3,16, la medida consistente en la desalineación de cruces de carreteras traería consigo una reducción de 9 víctimas mortales en el periodo considerado, cuyo año horizonte se sitúa en 2020.

		% Reducción estimada (Elvik, R., 2013)	Reducción estimada en España	Siniestralidad estimada tras la aplicación de las medidas
Fallecidos en intersecciones en X o +	43 (DGT, 2013)		9	34 (Índice de Gravedad = 3,16)
Accidentes con víctimas en intersecciones en X o +	1.359 (DGT, 2013)	-20%	272	1.087 (1.359-272 = 1.087)

Tabla 12. Estimación de la reducción de la siniestralidad. Fuente: DGT y elaboración propia.



Gráfica 28. Estimación de accidentalidad tras la actuación en intersecciones de cuatro ramales. Fuente: DGT y elaboración propia



Gráfica 29. Estimación de víctimas mortales tras la actuación en intersecciones de cuatro ramales. Fuente: DGT y elaboración propia

Por otra parte, estudios llevados a cabo en Noruega, Estados Unidos, Finlandia y Singapur afirman que la mejora de las condiciones de visibilidad en las intersecciones

puede traer consigo reducciones de siniestralidad de diferente cuantía, tal como se muestra en la tabla 9.

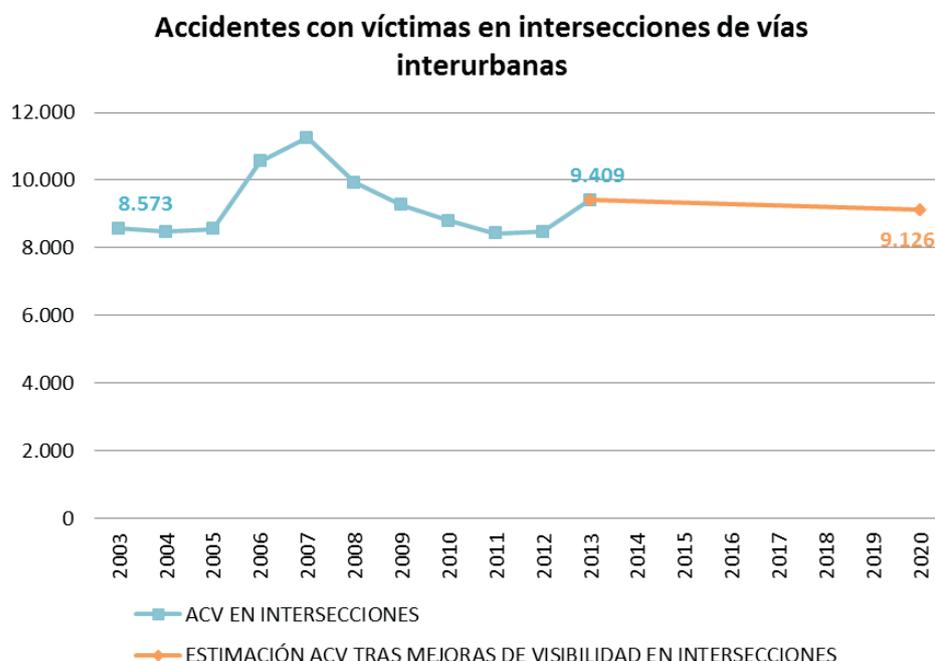
Cambio porcentual en el número de accidentes con víctimas	
Gravedad del accidente	Mejor estimación
Sin especificar	-12%
Accidentes con víctimas	-3%
Accidentes con daños materiales	-16%

Tabla 13. Reducción estimada en la siniestralidad mediante la mejora de las condiciones de visibilidad en las intersecciones. Fuente: El Manual de Medidas de Seguridad Vial (Elvik, R., 2013)

Como puede apreciarse, la reducción asociada en el número de accidentes con víctimas sería tan sólo de un 3%, lo que aplicado al conjunto de los siniestros registrados en intersecciones de carretera en España, **supondría una reducción de 283 accidentes con víctimas** (0,03 x 9.409), lo que se traduciría en una reducción de 6 fallecidos, atendiendo al Índice de Gravedad medio de todas las tipologías de intersecciones (1,81).

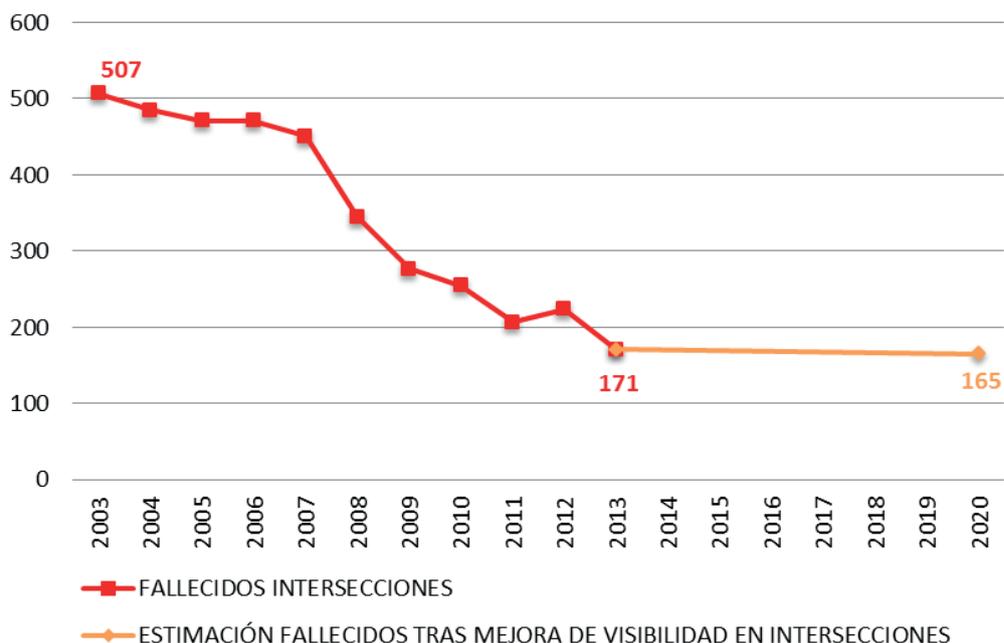
		% Reducción estimada (Elvik, R., 2013)	Reducción estimada en España	Siniestralidad estimada tras la aplicación de las medidas
Fallecidos en intersecciones	171 (DGT, 2013)		6	165 (Índice de Gravedad = 1,81)
Accidentes con víctimas en intersecciones	9.409 (DGT, 2013)	-3%	283	9.126 (9.409-283 = 9.126)

Tabla 14. Estimación de la reducción de la siniestralidad. Fuente: DGT y elaboración propia.



Gráfica 30. Estimación de accidentalidad tras la mejora de visibilidad en intersecciones. Fuente: DGT y elaboración propia.

### Fallecidos en intersecciones de vías interurbanas



Gráfica 31. Estimación de víctimas mortales tras la mejora de visibilidad en intersecciones. Fuente: DGT y elaboración propia.

## 10.4 Ficha-Resumen del escenario 6

ESCENARIO		MEJORA DE LA SEGURIDAD DE LOS MÁRGENES DE LAS VÍAS	
REFERENCIAS	NACIONALES	No existen referencias nacionales sobre la posible reducción de la siniestralidad causada por la adecuación de intersecciones	
	INTERNACIONALES	El Manual de Medidas de Seguridad Vial (Elvik, R., 2013)	
HIPÓTESIS DE PARTIDA	<p>A la vista de las referencias internacionales, se supone una reducción media de la siniestralidad del 20% debida a la desalineación de cruces de carretera</p> <p>Por otra parte, estudios llevados a cabo en Noruega, Estados Unidos, Finlandia y Singapur afirman que la mejora de las condiciones de visibilidad en las intersecciones puede traer consigo reducciones de siniestralidad de un 3%</p>		
ESTIMACIÓN DE REDUCCIÓN DE ACCIDENTALIDAD	DESALINEACIÓN DE CRUCES DE CARRETERA	La reducción media de la siniestralidad del 20% debida a la desalineación de cruces de carretera, supondría una reducción de 272 accidentes con víctimas y de 9 víctimas mortales en las carreteras españolas	
	MEJORA DE LA VISIBILIDAD EN LAS INTERSECCIONES	La reducción en el número de accidentes con víctimas del 3% supondría una reducción de 283 accidentes con víctimas y 6 fallecidos	

## 11. Escenario 7: Otras actuaciones en la infraestructura

Al margen de las especificadas en los apartados anteriores, existen otra serie de actuaciones relacionadas con la infraestructura viaria

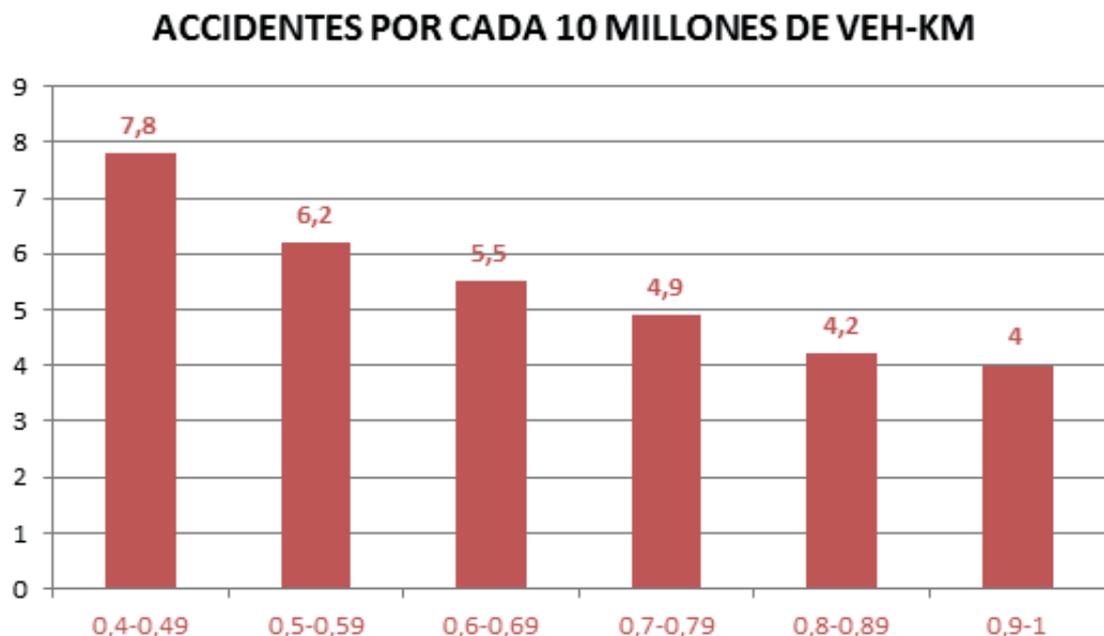
### 11.1 Mejora del firme

Muchos son los estudios que han demostrado una influencia significativa entre el coeficiente de rozamiento del pavimento y la tasa de siniestralidad.

En 1989, el proyecto TOVE llevado a cabo en

que han demostrado su eficacia respecto a la reducción de la siniestralidad. A continuación se muestran algunas de ellas:

los países nórdicos arrojó unos resultados muy ilustrativos. La gráfica 32 muestra que las tasas de siniestralidad decrecen a medida que aumenta el coeficiente de rozamiento, tanto para accidentes con víctimas, como para únicamente daños materiales.



Gráfica 32. Tasas de accidente en función del coeficiente de rozamiento. Fuente: TOVA, 1989.

El proyecto llamado “Veg-grepsprosjektet” llevado a cabo en 1997, también ponía de ma-

nifiesto dicha correlación, como puede observarse en la siguiente tabla.

Intervalo de fricción	Tasa de accidentes
< 0,15	0,8
0,15-0,24	0,55
0,25-0,34	0,25
0,35-0,44	0,2

Tabla 15. Tasas de accidentalidad (víctimas por millón de veh.-km) para diferentes intervalos del coeficiente de rozamiento. Fuente: Veg-grepsprosjektet

Es importante señalar que los costes de reparación del pavimento se incrementan a media que pasa el tiempo. Así, el Manual de Medidas de Seguridad Vial indica que un retraso de cinco años en el reasfaltado de una vía multiplica por 2,87 la relación coste-

beneficio. Esto es debido a que, si no se reparan a tiempo, los deterioros superficiales pueden derivar en deterioros estructurales, que conllevan una mayor incomodidad e inseguridad para los usuarios, así como unos mayores costes de reparación.

## 11.2 Reposición de señales verticales e instalación de elementos de balizamiento

La señalización vertical y los elementos de balizamiento son algunas de las medidas con las que el factor infraestructura cuenta para prevenir los accidentes. Así pues, una señalización legible, correctamente instalada y creíble, junto con un balizamiento en buen estado de conservación, pueden ayudar a evitar un gran número de siniestros.

A pesar de que no existen demasiados estudios que relacionen la influencia de estos elementos con la reducción de accidentes, su influencia en la mejora de la seguridad

vial es más que evidente. Prueba de ello es el hecho de que la mayoría de los Tramos Blancos<sup>10</sup> se caracterizan por contar con un adecuado nivel de señalización vertical y balizamiento, tanto respecto a su dotación, como al mantenimiento del mismo.

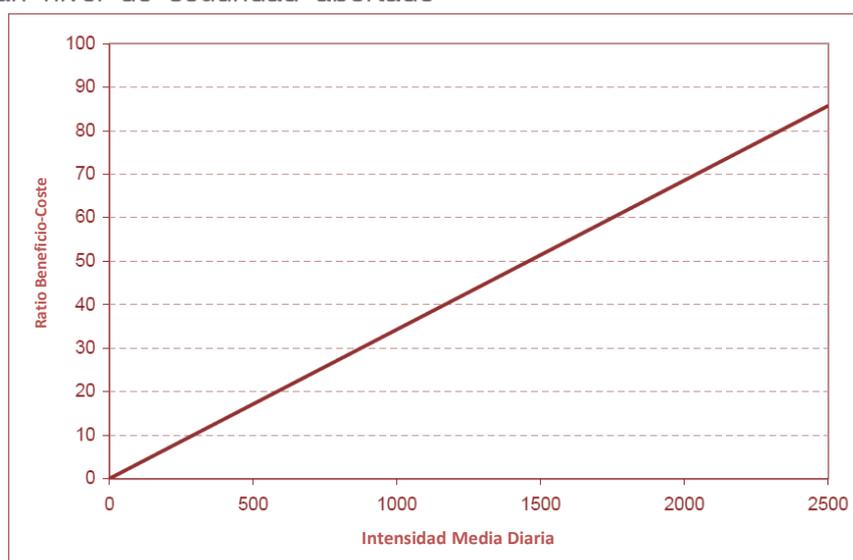
Por otra parte, una carretera con una señalización vertical y balizamiento deficiente puede dar lugar a problemas desde el punto de vista de la seguridad vial, especialmente en condiciones de visibilidad deficiente (noche, lluvia, niebla, etc.).

## 11.3 Repintado de marcas viales

Distintos estudios sitúan a las marcas viales como una de las medidas más rentables y fácilmente amortizables por su contribución a la seguridad vial. Algunos de ellos calculan la tasa de retorno en un rango de 500% - 1.500% durante el primer año, gracias al bajo costo de instalación en comparación con el gran nivel de seguridad aportado

(RSMA, 2007).

La gráfica 33 muestra otro ejemplo del gran ratio beneficio-coste característico de añadir marcas viales en los bordes de calzada de carreteras convencionales (Bali et al., 1978).



Gráfica 33. Ratio beneficio-coste de las marcas viales en los márgenes de carreteras convencionales. Fuente: Bali et al.

1978

10 Concepto introducido en el año 2001 por la Fundación MAPFRE y la Asociación Española de la Carretera. Se trata de tramos de carretera de una longitud representativa (normalmente igual o superior a 15 kilómetros, donde durante al menos 5 años no se han registrado accidentes con víctimas mortales). [http://www.fundacionmapfre.org/fundacion/es\\_es/seguridad-vial/investigacion/carreteras-tramos-blancos.jsp](http://www.fundacionmapfre.org/fundacion/es_es/seguridad-vial/investigacion/carreteras-tramos-blancos.jsp)

## 11.4 Resaltos en marcas viales

Según el Manual de Medidas de Seguridad Vial, una de las aplicaciones con mejores resultados respecto a la reducción de accidentes con víctimas por salida de calzada, es la utilización de líneas longitudinales sonoras o rugosas de separación de calzada y arcén, con un 52%.

Además, este elemento del equipamiento es perceptible con mala visibilidad (noche, lluvia). De hecho, las marcas viales con resaltos fueron diseñadas específicamente para mantener sus propiedades retrorreflectantes bajo la lluvia o humedad.

## 11.5 Tecnología de información y gestión del tráfico

En el futuro, es muy probable que las mayores reducciones de siniestralidad se produzcan gracias a la interacción entre los vehículos y las infraestructuras en lo que se ha coincidido en denominar las “Smart Roads”. Hoy en día existen algunas experiencias piloto con resultados muy satisfactorios, pero hasta que se generalice, será necesario seguir avanzando a través de la

mejora de la tecnología de la información y la gestión del tráfico.

Son muchas las medidas que se pueden incluir en esta categoría, por lo que únicamente se citarán algunas de las que han demostrado generar un mayor beneficio desde el punto de vista de la reducción de la siniestralidad en carretera.

MEDIDA		MEJOR ESTIMACIÓN
SEÑALES DE MENSAJE VARIABLE	• Señales de advertencia de la ocurrencia de accidentes	• -44% en accidentes con víctimas
	• Señales de aviso de niebla	• -84% en accidentes con niebla (gravedad no especificada)
	• Señales de aviso colectivo de la obligación de ceder el paso a los peatones	• -65% en accidentes con víctimas
PREVENCIÓN DE ATROPELLADOS	• Refugios en los pasos de peatones frente a pasos de peatones pintados convencionales	• -43% accidentes con víctimas por atropello
	• Pasos de peatones elevados frente a pasos de peatones pintados	• -42% accidentes con víctimas por atropello

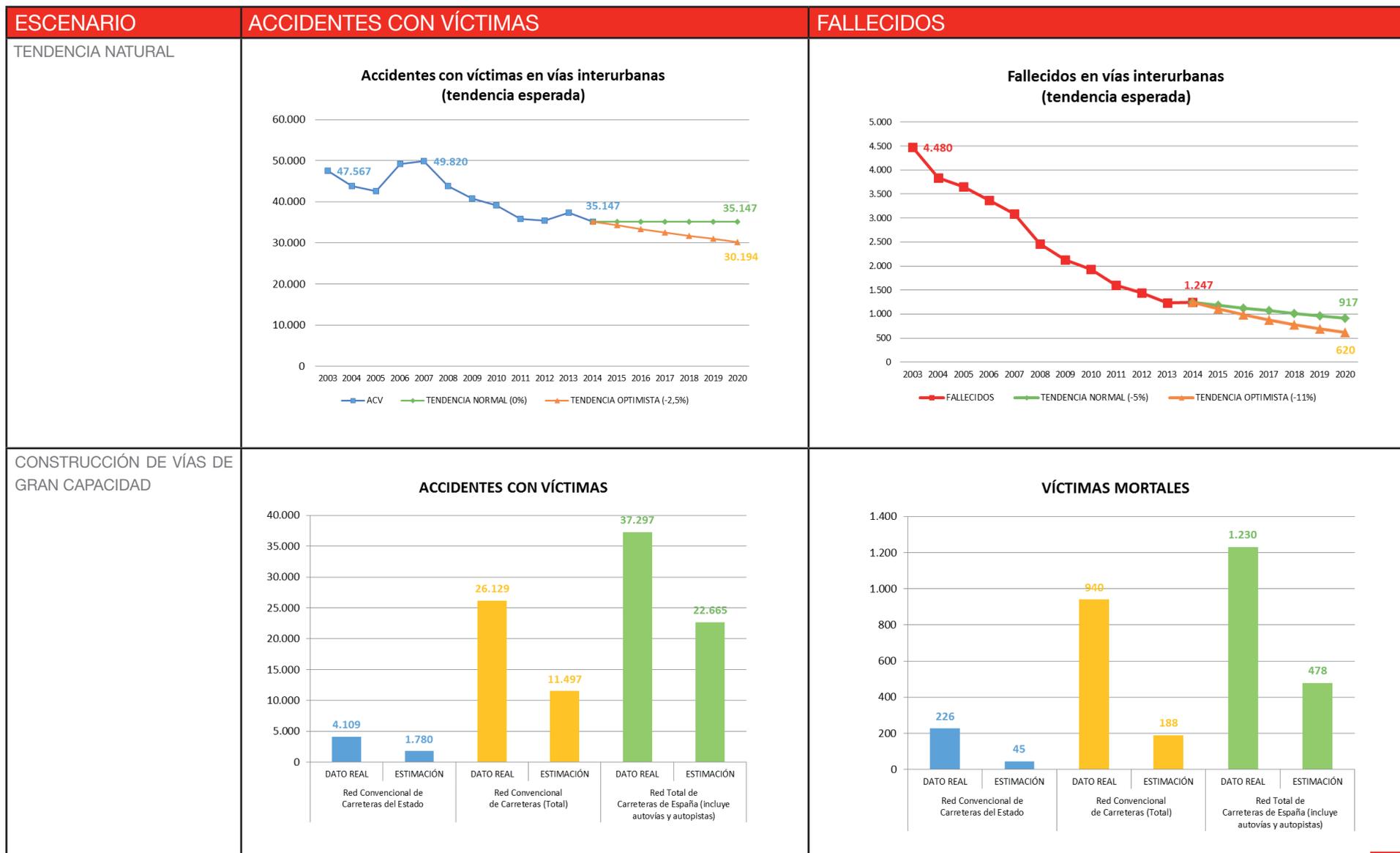
## 12. Conclusiones

Para finalizar, se exponen en este capítulo las cifras de reducción potencial de la siniestralidad estimadas para un conjunto de actuaciones directamente vinculadas con la infraestructura viaria además de algunas conclusiones relacionadas con la efectividad de las medidas descritas y de una priorización para la aplicación de las mismas en el corto,

medio y largo plazo.

Es importante destacar que, debido a la interacción existente entre las distintas medidas propuestas, no es posible llevar a cabo una estimación de reducción total de la siniestralidad como suma de todas las disminuciones parciales.

## 12.1 Reducciones potenciales de siniestralidad



ESCENARIO	ACCIDENTES CON VÍCTIMAS	FALLECIDOS																																								
CONSTRUCCIÓN DE CARRETERAS 2+1	<p><b>Accidentes con víctimas tras la aplicación de un programa de carreteras 2+1</b></p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>Año</th> <th>RED CONVENCIONAL</th> <th>TOTAL</th> <th>ACTUACIONES 2+1 (EFFECTO SOBRE RED CONVENCIONAL)</th> <th>ACTUACIONES 2+1 (EFFECTO SOBRE EL TOTAL)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>2003</td> <td>35.077</td> <td>47.567</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>2013</td> <td>26.129</td> <td>37.297</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>2020</td> <td></td> <td></td> <td>16.723</td> <td>27.891</td> </tr> </tbody> </table>	Año	RED CONVENCIONAL	TOTAL	ACTUACIONES 2+1 (EFFECTO SOBRE RED CONVENCIONAL)	ACTUACIONES 2+1 (EFFECTO SOBRE EL TOTAL)	2003	35.077	47.567			2013	26.129	37.297			2020			16.723	27.891	<p><b>Víctimas mortales tras la aplicación de un programa de carreteras 2+1</b></p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>Año</th> <th>RED CONVENCIONAL</th> <th>TOTAL</th> <th>ACTUACIONES 2+1 (EFFECTO SOBRE RED CONVENCIONAL)</th> <th>ACTUACIONES 2+1 (EFFECTO SOBRE EL TOTAL)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>2003</td> <td>3.418</td> <td>4.480</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>2013</td> <td>940</td> <td>1.230</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>2020</td> <td></td> <td></td> <td>892</td> <td>602</td> </tr> </tbody> </table>	Año	RED CONVENCIONAL	TOTAL	ACTUACIONES 2+1 (EFFECTO SOBRE RED CONVENCIONAL)	ACTUACIONES 2+1 (EFFECTO SOBRE EL TOTAL)	2003	3.418	4.480			2013	940	1.230			2020			892	602
Año	RED CONVENCIONAL	TOTAL	ACTUACIONES 2+1 (EFFECTO SOBRE RED CONVENCIONAL)	ACTUACIONES 2+1 (EFFECTO SOBRE EL TOTAL)																																						
2003	35.077	47.567																																								
2013	26.129	37.297																																								
2020			16.723	27.891																																						
Año	RED CONVENCIONAL	TOTAL	ACTUACIONES 2+1 (EFFECTO SOBRE RED CONVENCIONAL)	ACTUACIONES 2+1 (EFFECTO SOBRE EL TOTAL)																																						
2003	3.418	4.480																																								
2013	940	1.230																																								
2020			892	602																																						
CONSTRUCCIÓN DE VÍAS DE CIRCUNVALACIÓN	<p><b>Accidentes con víctimas en travesías</b></p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>Año</th> <th>ACV</th> <th>ESTIMACIÓN TRAS CONSTRUCCIÓN DE CIRCUNVALACIONES HASTA 2020</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>2003</td> <td>2.274</td> <td></td> </tr> <tr> <td>2013</td> <td></td> <td>767</td> </tr> <tr> <td>2020</td> <td></td> <td>575</td> </tr> </tbody> </table>	Año	ACV	ESTIMACIÓN TRAS CONSTRUCCIÓN DE CIRCUNVALACIONES HASTA 2020	2003	2.274		2013		767	2020		575	<p><b>Fallecidos en travesías</b></p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>Año</th> <th>FALLECIDOS</th> <th>ESTIMACIÓN TRAS CONSTRUCCIÓN DE CIRCUNVALACIONES HASTA 2020</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>2003</td> <td>142</td> <td></td> </tr> <tr> <td>2013</td> <td></td> <td>38</td> </tr> <tr> <td>2020</td> <td></td> <td>29</td> </tr> </tbody> </table>	Año	FALLECIDOS	ESTIMACIÓN TRAS CONSTRUCCIÓN DE CIRCUNVALACIONES HASTA 2020	2003	142		2013		38	2020		29																
Año	ACV	ESTIMACIÓN TRAS CONSTRUCCIÓN DE CIRCUNVALACIONES HASTA 2020																																								
2003	2.274																																									
2013		767																																								
2020		575																																								
Año	FALLECIDOS	ESTIMACIÓN TRAS CONSTRUCCIÓN DE CIRCUNVALACIONES HASTA 2020																																								
2003	142																																									
2013		38																																								
2020		29																																								

ESCENARIO	ACCIDENTES CON VÍCTIMAS	FALLECIDOS																																																																																																																		
<p>ELIMINACIÓN DE TRAMOS DE CONCENTRACIÓN DE ACCIDENTES</p>	<p><b>Accidentes con víctimas en vías interurbanas (actuaciones en TCAS)</b></p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>Año</th> <th>ACCIDENTES CON VÍCTIMAS</th> <th>ESTIMACIÓN ACCIDENTES CON VÍCTIMAS-ACTUACIONES TCAS</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>2003</td><td>47.567</td><td></td></tr> <tr><td>2004</td><td></td><td></td></tr> <tr><td>2005</td><td></td><td></td></tr> <tr><td>2006</td><td></td><td></td></tr> <tr><td>2007</td><td></td><td></td></tr> <tr><td>2008</td><td></td><td></td></tr> <tr><td>2009</td><td></td><td></td></tr> <tr><td>2010</td><td></td><td></td></tr> <tr><td>2011</td><td></td><td></td></tr> <tr><td>2012</td><td></td><td></td></tr> <tr><td>2013</td><td></td><td>37.297</td></tr> <tr><td>2014</td><td></td><td></td></tr> <tr><td>2015</td><td></td><td></td></tr> <tr><td>2016</td><td></td><td></td></tr> <tr><td>2017</td><td></td><td></td></tr> <tr><td>2018</td><td></td><td></td></tr> <tr><td>2019</td><td></td><td></td></tr> <tr><td>2020</td><td></td><td>34.164</td></tr> </tbody> </table>	Año	ACCIDENTES CON VÍCTIMAS	ESTIMACIÓN ACCIDENTES CON VÍCTIMAS-ACTUACIONES TCAS	2003	47.567		2004			2005			2006			2007			2008			2009			2010			2011			2012			2013		37.297	2014			2015			2016			2017			2018			2019			2020		34.164	<p><b>Fallecidos en vías interurbanas (actuaciones en TCAS)</b></p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>Año</th> <th>FALLECIDOS</th> <th>ESTIMACIÓN FALLECIDOS-ACTUACIONES TCAS</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>2003</td><td>4.480</td><td></td></tr> <tr><td>2004</td><td></td><td></td></tr> <tr><td>2005</td><td></td><td></td></tr> <tr><td>2006</td><td></td><td></td></tr> <tr><td>2007</td><td></td><td></td></tr> <tr><td>2008</td><td></td><td></td></tr> <tr><td>2009</td><td></td><td></td></tr> <tr><td>2010</td><td></td><td></td></tr> <tr><td>2011</td><td></td><td></td></tr> <tr><td>2012</td><td></td><td></td></tr> <tr><td>2013</td><td></td><td>1.230</td></tr> <tr><td>2014</td><td></td><td></td></tr> <tr><td>2015</td><td></td><td></td></tr> <tr><td>2016</td><td></td><td></td></tr> <tr><td>2017</td><td></td><td></td></tr> <tr><td>2018</td><td></td><td></td></tr> <tr><td>2019</td><td></td><td></td></tr> <tr><td>2020</td><td></td><td>1.178</td></tr> </tbody> </table>	Año	FALLECIDOS	ESTIMACIÓN FALLECIDOS-ACTUACIONES TCAS	2003	4.480		2004			2005			2006			2007			2008			2009			2010			2011			2012			2013		1.230	2014			2015			2016			2017			2018			2019			2020		1.178
Año	ACCIDENTES CON VÍCTIMAS	ESTIMACIÓN ACCIDENTES CON VÍCTIMAS-ACTUACIONES TCAS																																																																																																																		
2003	47.567																																																																																																																			
2004																																																																																																																				
2005																																																																																																																				
2006																																																																																																																				
2007																																																																																																																				
2008																																																																																																																				
2009																																																																																																																				
2010																																																																																																																				
2011																																																																																																																				
2012																																																																																																																				
2013		37.297																																																																																																																		
2014																																																																																																																				
2015																																																																																																																				
2016																																																																																																																				
2017																																																																																																																				
2018																																																																																																																				
2019																																																																																																																				
2020		34.164																																																																																																																		
Año	FALLECIDOS	ESTIMACIÓN FALLECIDOS-ACTUACIONES TCAS																																																																																																																		
2003	4.480																																																																																																																			
2004																																																																																																																				
2005																																																																																																																				
2006																																																																																																																				
2007																																																																																																																				
2008																																																																																																																				
2009																																																																																																																				
2010																																																																																																																				
2011																																																																																																																				
2012																																																																																																																				
2013		1.230																																																																																																																		
2014																																																																																																																				
2015																																																																																																																				
2016																																																																																																																				
2017																																																																																																																				
2018																																																																																																																				
2019																																																																																																																				
2020		1.178																																																																																																																		
<p>MEJORA DE LA SEGURIDAD EN MÁRGENES</p>	<p><b>Accidentes con víctimas en vías interurbanas (actuaciones en márgenes)</b></p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>Año</th> <th>ACV SALIDA DE VÍA</th> <th>ESTIMACIÓN ACV TRAS ACTUACIONES EN MÁRGENES</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>2003</td><td>19.420</td><td></td></tr> <tr><td>2004</td><td></td><td></td></tr> <tr><td>2005</td><td></td><td></td></tr> <tr><td>2006</td><td></td><td></td></tr> <tr><td>2007</td><td></td><td></td></tr> <tr><td>2008</td><td></td><td></td></tr> <tr><td>2009</td><td></td><td></td></tr> <tr><td>2010</td><td></td><td></td></tr> <tr><td>2011</td><td></td><td></td></tr> <tr><td>2012</td><td></td><td></td></tr> <tr><td>2013</td><td></td><td>13.841</td></tr> <tr><td>2014</td><td></td><td></td></tr> <tr><td>2015</td><td></td><td></td></tr> <tr><td>2016</td><td></td><td></td></tr> <tr><td>2017</td><td></td><td></td></tr> <tr><td>2018</td><td></td><td></td></tr> <tr><td>2019</td><td></td><td></td></tr> <tr><td>2020</td><td></td><td>8.996</td></tr> </tbody> </table>	Año	ACV SALIDA DE VÍA	ESTIMACIÓN ACV TRAS ACTUACIONES EN MÁRGENES	2003	19.420		2004			2005			2006			2007			2008			2009			2010			2011			2012			2013		13.841	2014			2015			2016			2017			2018			2019			2020		8.996	<p><b>Fallecidos en vías interurbanas (actuaciones en márgenes)</b></p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>Año</th> <th>FALLECIDOS POR SALIDA DE VÍA</th> <th>ESTIMACIÓN FALLECIDOS TRAS ACTUACIONES EN MÁRGENES</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>2003</td><td>1.707</td><td></td></tr> <tr><td>2004</td><td></td><td></td></tr> <tr><td>2005</td><td></td><td></td></tr> <tr><td>2006</td><td></td><td></td></tr> <tr><td>2007</td><td></td><td></td></tr> <tr><td>2008</td><td></td><td></td></tr> <tr><td>2009</td><td></td><td></td></tr> <tr><td>2010</td><td></td><td></td></tr> <tr><td>2011</td><td></td><td></td></tr> <tr><td>2012</td><td></td><td></td></tr> <tr><td>2013</td><td></td><td>441</td></tr> <tr><td>2014</td><td></td><td></td></tr> <tr><td>2015</td><td></td><td></td></tr> <tr><td>2016</td><td></td><td></td></tr> <tr><td>2017</td><td></td><td></td></tr> <tr><td>2018</td><td></td><td></td></tr> <tr><td>2019</td><td></td><td></td></tr> <tr><td>2020</td><td></td><td>288</td></tr> </tbody> </table>	Año	FALLECIDOS POR SALIDA DE VÍA	ESTIMACIÓN FALLECIDOS TRAS ACTUACIONES EN MÁRGENES	2003	1.707		2004			2005			2006			2007			2008			2009			2010			2011			2012			2013		441	2014			2015			2016			2017			2018			2019			2020		288
Año	ACV SALIDA DE VÍA	ESTIMACIÓN ACV TRAS ACTUACIONES EN MÁRGENES																																																																																																																		
2003	19.420																																																																																																																			
2004																																																																																																																				
2005																																																																																																																				
2006																																																																																																																				
2007																																																																																																																				
2008																																																																																																																				
2009																																																																																																																				
2010																																																																																																																				
2011																																																																																																																				
2012																																																																																																																				
2013		13.841																																																																																																																		
2014																																																																																																																				
2015																																																																																																																				
2016																																																																																																																				
2017																																																																																																																				
2018																																																																																																																				
2019																																																																																																																				
2020		8.996																																																																																																																		
Año	FALLECIDOS POR SALIDA DE VÍA	ESTIMACIÓN FALLECIDOS TRAS ACTUACIONES EN MÁRGENES																																																																																																																		
2003	1.707																																																																																																																			
2004																																																																																																																				
2005																																																																																																																				
2006																																																																																																																				
2007																																																																																																																				
2008																																																																																																																				
2009																																																																																																																				
2010																																																																																																																				
2011																																																																																																																				
2012																																																																																																																				
2013		441																																																																																																																		
2014																																																																																																																				
2015																																																																																																																				
2016																																																																																																																				
2017																																																																																																																				
2018																																																																																																																				
2019																																																																																																																				
2020		288																																																																																																																		

ESCENARIO	ACCIDENTES CON VÍCTIMAS	FALLECIDOS																																																																																																																		
ILUMINACIÓN DE TRAMOS SINGULARES DE CARRETERAS	<p style="text-align: center;"><b>Accidentes con víctimas en vías interurbanas sin iluminación</b></p> <table border="1"> <caption>Accidentes con víctimas en vías interurbanas sin iluminación</caption> <thead> <tr> <th>Año</th> <th>ACV NOCHE SIN ILUMINACIÓN</th> <th>ESTIMACIÓN ACV TRAS ACTUACIONES EN ILUMINACIÓN</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>2003</td><td>9.042</td><td></td></tr> <tr><td>2004</td><td>8.000</td><td></td></tr> <tr><td>2005</td><td>7.500</td><td></td></tr> <tr><td>2006</td><td>7.800</td><td></td></tr> <tr><td>2007</td><td>7.500</td><td></td></tr> <tr><td>2008</td><td>6.500</td><td></td></tr> <tr><td>2009</td><td>6.000</td><td></td></tr> <tr><td>2010</td><td>5.500</td><td></td></tr> <tr><td>2011</td><td>5.000</td><td></td></tr> <tr><td>2012</td><td>4.800</td><td></td></tr> <tr><td>2013</td><td>4.670</td><td></td></tr> <tr><td>2014</td><td></td><td>4.500</td></tr> <tr><td>2015</td><td></td><td>4.400</td></tr> <tr><td>2016</td><td></td><td>4.300</td></tr> <tr><td>2017</td><td></td><td>4.200</td></tr> <tr><td>2018</td><td></td><td>4.100</td></tr> <tr><td>2019</td><td></td><td>4.050</td></tr> <tr><td>2020</td><td></td><td>4.016</td></tr> </tbody> </table>	Año	ACV NOCHE SIN ILUMINACIÓN	ESTIMACIÓN ACV TRAS ACTUACIONES EN ILUMINACIÓN	2003	9.042		2004	8.000		2005	7.500		2006	7.800		2007	7.500		2008	6.500		2009	6.000		2010	5.500		2011	5.000		2012	4.800		2013	4.670		2014		4.500	2015		4.400	2016		4.300	2017		4.200	2018		4.100	2019		4.050	2020		4.016	<p style="text-align: center;"><b>Fallecidos en vías interurbanas sin iluminación</b></p> <table border="1"> <caption>Fallecidos en vías interurbanas sin iluminación</caption> <thead> <tr> <th>Año</th> <th>FALLECIDOS NOCHE SIN ILUMINACIÓN</th> <th>ESTIMACIÓN FALLECIDOS TRAS ACTUACIONES EN ILUMINACIÓN</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>2003</td><td>1.245</td><td></td></tr> <tr><td>2004</td><td>1.000</td><td></td></tr> <tr><td>2005</td><td>950</td><td></td></tr> <tr><td>2006</td><td>800</td><td></td></tr> <tr><td>2007</td><td>750</td><td></td></tr> <tr><td>2008</td><td>550</td><td></td></tr> <tr><td>2009</td><td>500</td><td></td></tr> <tr><td>2010</td><td>450</td><td></td></tr> <tr><td>2011</td><td>400</td><td></td></tr> <tr><td>2012</td><td>350</td><td></td></tr> <tr><td>2013</td><td>262</td><td></td></tr> <tr><td>2014</td><td></td><td>250</td></tr> <tr><td>2015</td><td></td><td>240</td></tr> <tr><td>2016</td><td></td><td>230</td></tr> <tr><td>2017</td><td></td><td>225</td></tr> <tr><td>2018</td><td></td><td>220</td></tr> <tr><td>2019</td><td></td><td>215</td></tr> <tr><td>2020</td><td></td><td>226</td></tr> </tbody> </table>	Año	FALLECIDOS NOCHE SIN ILUMINACIÓN	ESTIMACIÓN FALLECIDOS TRAS ACTUACIONES EN ILUMINACIÓN	2003	1.245		2004	1.000		2005	950		2006	800		2007	750		2008	550		2009	500		2010	450		2011	400		2012	350		2013	262		2014		250	2015		240	2016		230	2017		225	2018		220	2019		215	2020		226
Año	ACV NOCHE SIN ILUMINACIÓN	ESTIMACIÓN ACV TRAS ACTUACIONES EN ILUMINACIÓN																																																																																																																		
2003	9.042																																																																																																																			
2004	8.000																																																																																																																			
2005	7.500																																																																																																																			
2006	7.800																																																																																																																			
2007	7.500																																																																																																																			
2008	6.500																																																																																																																			
2009	6.000																																																																																																																			
2010	5.500																																																																																																																			
2011	5.000																																																																																																																			
2012	4.800																																																																																																																			
2013	4.670																																																																																																																			
2014		4.500																																																																																																																		
2015		4.400																																																																																																																		
2016		4.300																																																																																																																		
2017		4.200																																																																																																																		
2018		4.100																																																																																																																		
2019		4.050																																																																																																																		
2020		4.016																																																																																																																		
Año	FALLECIDOS NOCHE SIN ILUMINACIÓN	ESTIMACIÓN FALLECIDOS TRAS ACTUACIONES EN ILUMINACIÓN																																																																																																																		
2003	1.245																																																																																																																			
2004	1.000																																																																																																																			
2005	950																																																																																																																			
2006	800																																																																																																																			
2007	750																																																																																																																			
2008	550																																																																																																																			
2009	500																																																																																																																			
2010	450																																																																																																																			
2011	400																																																																																																																			
2012	350																																																																																																																			
2013	262																																																																																																																			
2014		250																																																																																																																		
2015		240																																																																																																																		
2016		230																																																																																																																		
2017		225																																																																																																																		
2018		220																																																																																																																		
2019		215																																																																																																																		
2020		226																																																																																																																		
MEJORA DE LAS INTERSECCIONES	<p style="text-align: center;"><b>Accidentes con víctimas en intersecciones de cuatro ramales de vías interurbanas</b></p> <table border="1"> <caption>Accidentes con víctimas en intersecciones de cuatro ramales de vías interurbanas</caption> <thead> <tr> <th>Año</th> <th>ACV EN INTERSECCIONES DE CUATRO RAMALES</th> <th>ESTIMACIÓN ACV TRAS ACTUACIONES EN INTERSECCIONES DE CUATRO RAMALES</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>2003</td><td>2.250</td><td></td></tr> <tr><td>2004</td><td>2.200</td><td></td></tr> <tr><td>2005</td><td>1.950</td><td></td></tr> <tr><td>2006</td><td>2.100</td><td></td></tr> <tr><td>2007</td><td>2.200</td><td></td></tr> <tr><td>2008</td><td>1.800</td><td></td></tr> <tr><td>2009</td><td>1.600</td><td></td></tr> <tr><td>2010</td><td>1.350</td><td></td></tr> <tr><td>2011</td><td>1.200</td><td></td></tr> <tr><td>2012</td><td>1.250</td><td></td></tr> <tr><td>2013</td><td>1.359</td><td></td></tr> <tr><td>2014</td><td></td><td>1.300</td></tr> <tr><td>2015</td><td></td><td>1.250</td></tr> <tr><td>2016</td><td></td><td>1.200</td></tr> <tr><td>2017</td><td></td><td>1.150</td></tr> <tr><td>2018</td><td></td><td>1.100</td></tr> <tr><td>2019</td><td></td><td>1.050</td></tr> <tr><td>2020</td><td></td><td>1.087</td></tr> </tbody> </table>	Año	ACV EN INTERSECCIONES DE CUATRO RAMALES	ESTIMACIÓN ACV TRAS ACTUACIONES EN INTERSECCIONES DE CUATRO RAMALES	2003	2.250		2004	2.200		2005	1.950		2006	2.100		2007	2.200		2008	1.800		2009	1.600		2010	1.350		2011	1.200		2012	1.250		2013	1.359		2014		1.300	2015		1.250	2016		1.200	2017		1.150	2018		1.100	2019		1.050	2020		1.087	<p style="text-align: center;"><b>Fallecidos en intersecciones de cuatro ramales de vías interurbanas</b></p> <table border="1"> <caption>Fallecidos en intersecciones de cuatro ramales de vías interurbanas</caption> <thead> <tr> <th>Año</th> <th>FALLECIDOS INTERSECCIONES DE CUATRO RAMALES</th> <th>ESTIMACIÓN FALLECIDOS TRAS ACTUACIONES EN INTERSECCIONES DE CUATRO RAMALES</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>2003</td><td>167</td><td></td></tr> <tr><td>2004</td><td>185</td><td></td></tr> <tr><td>2005</td><td>160</td><td></td></tr> <tr><td>2006</td><td>140</td><td></td></tr> <tr><td>2007</td><td>120</td><td></td></tr> <tr><td>2008</td><td>80</td><td></td></tr> <tr><td>2009</td><td>80</td><td></td></tr> <tr><td>2010</td><td>65</td><td></td></tr> <tr><td>2011</td><td>45</td><td></td></tr> <tr><td>2012</td><td>50</td><td></td></tr> <tr><td>2013</td><td>43</td><td></td></tr> <tr><td>2014</td><td></td><td>45</td></tr> <tr><td>2015</td><td></td><td>42</td></tr> <tr><td>2016</td><td></td><td>40</td></tr> <tr><td>2017</td><td></td><td>38</td></tr> <tr><td>2018</td><td></td><td>36</td></tr> <tr><td>2019</td><td></td><td>35</td></tr> <tr><td>2020</td><td></td><td>34</td></tr> </tbody> </table>	Año	FALLECIDOS INTERSECCIONES DE CUATRO RAMALES	ESTIMACIÓN FALLECIDOS TRAS ACTUACIONES EN INTERSECCIONES DE CUATRO RAMALES	2003	167		2004	185		2005	160		2006	140		2007	120		2008	80		2009	80		2010	65		2011	45		2012	50		2013	43		2014		45	2015		42	2016		40	2017		38	2018		36	2019		35	2020		34
Año	ACV EN INTERSECCIONES DE CUATRO RAMALES	ESTIMACIÓN ACV TRAS ACTUACIONES EN INTERSECCIONES DE CUATRO RAMALES																																																																																																																		
2003	2.250																																																																																																																			
2004	2.200																																																																																																																			
2005	1.950																																																																																																																			
2006	2.100																																																																																																																			
2007	2.200																																																																																																																			
2008	1.800																																																																																																																			
2009	1.600																																																																																																																			
2010	1.350																																																																																																																			
2011	1.200																																																																																																																			
2012	1.250																																																																																																																			
2013	1.359																																																																																																																			
2014		1.300																																																																																																																		
2015		1.250																																																																																																																		
2016		1.200																																																																																																																		
2017		1.150																																																																																																																		
2018		1.100																																																																																																																		
2019		1.050																																																																																																																		
2020		1.087																																																																																																																		
Año	FALLECIDOS INTERSECCIONES DE CUATRO RAMALES	ESTIMACIÓN FALLECIDOS TRAS ACTUACIONES EN INTERSECCIONES DE CUATRO RAMALES																																																																																																																		
2003	167																																																																																																																			
2004	185																																																																																																																			
2005	160																																																																																																																			
2006	140																																																																																																																			
2007	120																																																																																																																			
2008	80																																																																																																																			
2009	80																																																																																																																			
2010	65																																																																																																																			
2011	45																																																																																																																			
2012	50																																																																																																																			
2013	43																																																																																																																			
2014		45																																																																																																																		
2015		42																																																																																																																		
2016		40																																																																																																																		
2017		38																																																																																																																		
2018		36																																																																																																																		
2019		35																																																																																																																		
2020		34																																																																																																																		

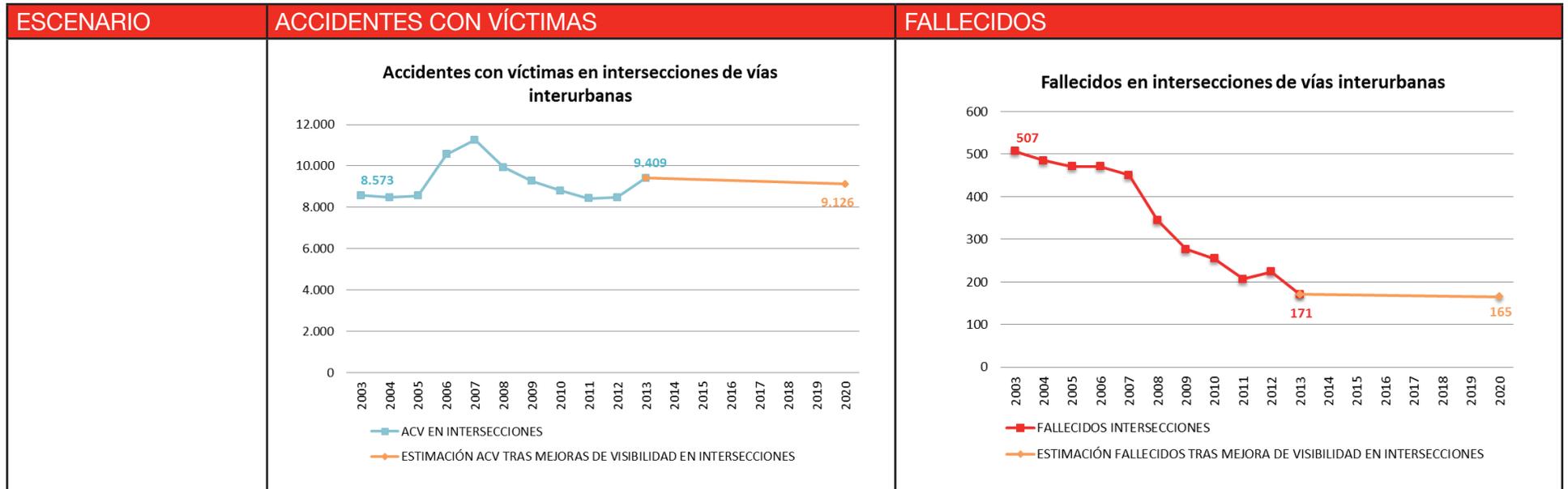


Tabla 16. Reducciones potenciales de siniestralidad. Fuente: elaboración propia

## 12.2 Relación beneficio-coste de las medidas

Cada escenario contemplado en este estudio presenta porcentajes de reducción de los accidentes con víctimas y/o de las víctimas mortales tras la aplicación de una serie de medidas. Sin embargo, en dichos análisis no se ha evaluado el ratio beneficio-cos-

te de las medidas implementadas. En este apartado, se presentan algunas referencias internacionales que cuantifican la eficacia de las medidas adoptadas, en función del ratio beneficio-coste.

- Construcción de carreteras 2+1

EXPERIENCIA	RATIO BENEFICIO COSTE	FUENTE
Carreteras 2+1 en Finlandia	1,25	ROSEBUD WP4, 2005
Carreteras 2+1 en Suecia	2,26	ROSEBUD WP4, 2005

- Construcción de vías de circunvalación a poblaciones

EXPERIENCIA	RATIO BENEFICIO COSTE	FUENTE
Construcción de circunvalaciones en Suecia y Noruega	0,84 – 0,88	Elvik R. (1999), Elvik R. (2001), Elvik R. (2003), Elvik, R.; Amundsen A.H. (2000)
Construcción de circunvalaciones en Noruega	1,03	Elvik R. Vaa T. (2004)

- Eliminación de tramos de concentración de accidentes

EXPERIENCIA	RATIO BENEFICIO COSTE	FUENTE
Programa de tratamiento de Puntos Negros en Australia	4,1 – 5,1	Newstead, Corben (2001)
Medidas implementadas en puntos negros en la municipalidad de Hamar (Noruega)	35	Statens Vegvesen, Hamar kommune (1993)
Rediseño de emplazamientos con un gran número de accidentes de tráfico en Suiza	13	VESIPO (2002)

- Sistemas de contención

EXPERIENCIA	RATIO BENEFICIO COSTE	FUENTE
Medidas contra colisiones con árboles en Francia	8,69	ROSEBUD WP4, 2005
Medidas contra colisiones con obstáculos rígidos en las afueras de ciudades de Suiza	32	VESIPO (2002)
Sistemas de contención en los márgenes de carreteras de Suecia y Noruega	0,69 – 1,18	Elvik R. (1999), Elvik R. (2001), Elvik R. (2003), Elvik, R.; Amundsen A.H. (2000)

- Iluminación de carreteras

EXPERIENCIA	RATIO BENEFICIO COSTE	FUENTE
Iluminación de carreteras en Noruega y Suecia	1,21 – 2,51	Elvik R. (1999), Elvik R. (2001), Elvik R. (2003), Elvik, R.; Amundsen A.H. (2000)
Mejora de las condiciones de iluminación de carreteras en Noruega	2,62 – 4,32	Elvik R. (1999), Elvik R. (2001), Elvik R. (2003)
Instalación de luminarias en Noruega	7,23 – 9,25	Promising (2001)

- Mejora de las intersecciones

EXPERIENCIA	RATIO BENEFICIO COSTE	FUENTE
Semaforización de cruces en carreteras interurbanas de Israel	1,25	ROSEBUD WP4, 2005
Rotondas en Noruega y Suecia	1,52 – 2,26	Elvik R. (1999), Elvik R. (2001), Elvik R. (2003), Elvik, R.; Amundsen A.H. (2000)

Un informe encargado por la Conferencia de Directores Europeos de Carreteras en 2008 elaboró un cuadro en el que puede observarse una clasificación de las medidas de seguridad vial en función de su eficacia y sus costes de implementación.

		EFECTO SOBRE LA SEGURIDAD VIAL	
		ALTO	BAJO
COSTES DE INSTALACIÓN	BAJO	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Introducción de mediana (sin ensanchamiento de la carretera)</li> <li>• Introducción de carreteras 2+1</li> <li>• Instalación de sistemas de contención</li> <li>• Reemplazo de sistemas de contención para garantizar el cumplimiento de la norma europea EN 1317</li> <li>• Disminución del límite de velocidad existente</li> <li>• Imponer límites de velocidad a carreteras que no los tuvieran</li> <li>• Creación de zonas de transición de velocidad</li> <li>• Señales de Tráfico</li> <li>• Bandas sonoras</li> <li>• Mejora de la semaforización existente</li> <li>• Instalación de iluminación artificial</li> <li>• Mejora de la iluminación existente</li> <li>• Protección de pasos a nivel</li> <li>• Canalización de intersecciones</li> <li>• Instalación de señales de stop</li> <li>• Medidas de calmado del tráfico</li> <li>• Mejora de normativa sobre el uso del suelo</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Marcas viales</li> <li>• Resaltos en marca vial</li> <li>• Chevrons</li> <li>• Navegación guiada</li> <li>• Instalación de señales de ceda el paso</li> </ul>

		EFECTO SOBRE LA SEGURIDAD VIAL	
		ALTO	BAJO
	ALTO	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Construcción de autovías</li> <li>• Construcción de enlaces</li> <li>• Aumento del radio de las curvas</li> <li>• Aumento del número de carriles</li> <li>• Empleo de curvas de transición</li> <li>• Tratamiento de peraltes</li> <li>• Reducción de la inclinación de la rasante</li> <li>• Mejora de las distancias de visibilidad</li> <li>• Aumento de la anchura de carril</li> <li>• Introducción de arcenes</li> <li>• Aumento de la anchura de arcén</li> <li>• Introducción de mediana (con ensanchamiento de la vía)</li> <li>• Incremento de la anchura de mediana</li> <li>• Tratamiento de taludes</li> <li>• Establecimiento de zonas de seguridad en márgenes</li> <li>• Información meteorológica (VMS)</li> <li>• Información sobre congestión (VMS)</li> <li>• Sistemas de mejora de la visión</li> <li>• Repavimentación ordinaria</li> <li>• Mejora del coeficiente de fricción</li> <li>• Construcción de rotondas</li> <li>• Desalineación de cruces</li> <li>• Construcción de circunvalaciones</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Reducción de la frecuencia de curvas horizontales</li> <li>• Reducción de la frecuencia de curvas verticales</li> <li>• Mejora de la uniformidad superficial</li> </ul>

Tabla 17. Eficacia de las principales medidas de seguridad vial. Fuente: CEDR, 2008.

### 12.3. Recomendaciones para la mejora de la seguridad de las infraestructuras en el corto, medio y largo plazo

Un análisis de las estadísticas de siniestralidad en España permite determinar las principales causas de accidentes en nuestro país. Por otro lado, resulta evidente la disminución de la inversión en construcción y conservación de infraestructuras viarias (AEC, 2013) debido a la crisis económica

de los últimos años. Las siguientes tablas presentan un conjunto de recomendaciones para la mejora de la seguridad de las infraestructuras viarias basado en las necesidades existentes, así como en las conclusiones arrojadas por el presente estudio.

MEDIDAS RELACIONADAS CON LA INFRAESTRUCTURA	CORTO PLAZO	MEDIO PLAZO	LARGO PLAZO
Construcción de vías de gran capacidad			X
Construcción de carreteras 2+1	X	X	
Construcción de vías de circunvalación a poblaciones			X
Eliminación de Tramos de Concentración de Accidentes	X	X	X
Mejora de la seguridad en los márgenes de las vías	X	X	X
Iluminación de tramos singulares de carreteras	X		
Mejora de las intersecciones	X		
Mejora del firme	X		
Reposición de señales verticales	X		
Repintado de marcas viales	X		
Sistemas Inteligentes de Transporte			X
Auditorías e inspecciones de seguridad viaria	X		
Evaluaciones de Impacto de la Seguridad vial			X
Mejora de la consistencia en el diseño		X	

Tabla 18. Recomendaciones para la mejora de la seguridad en infraestructuras viarias. Fuente: elaboración propia

MEDIDA	REDUCCIÓN POTENCIAL DE VÍCTIMAS MORTALES	COSTE ESTIMADO	PRIORIDAD
Construcción de vías de gran capacidad	752 <sup>11</sup>	MUY ALTO	BAJA
Construcción de carreteras 2+1	338	MEDIO	MUY ALTA
Construcción de vías de circunvalación a poblaciones	9	MUY ALTO	BAJA
Eliminación de Tramos de Concentración de Accidentes	52	BAJO	MUY ALTA
Mejora de la seguridad en los márgenes de las vías	153	MEDIO	MUY ALTA
Iluminación de tramos singulares de carreteras	36	ALTO	ALTA
Mejora de las intersecciones	153	MEDIO	MEDIA
Construcción de vías de gran capacidad	752 <sup>2</sup>	MUY ALTO	BAJA
Construcción de carreteras 2+1	338	MEDIO	MUY ALTA
Construcción de vías de circunvalación a poblaciones	9	MUY ALTO	BAJA
Eliminación de Tramos de Concentración de Accidentes	52	BAJO	MUY ALTA
Mejora de la seguridad en los márgenes de las vías	153	MEDIO	MUY ALTA
Iluminación de tramos singulares de carreteras	36	ALTO	ALTA
Mejora de las intersecciones	15 <sup>12</sup>	MEDIO	MEDIA

Tabla 19. Efectividad, coste y priorización de las medidas analizadas. Fuente: elaboración propia.

11 Si toda la red de carreteras de España presentara los índices de peligrosidad y mortalidad característicos de la red de gran capacidad de carreteras del Estado

12 Correspondientes a la suma de la reducción estimada por la desalineación de cruces (9) y a la mejora de las condiciones de visibilidad (6).

## 13. Bibliografía

- Elvik, R. El Manual de Medidas de Seguridad Vial. Fundación MAPFRE, 2013.
- ROSEBUD. Road Safety and Environmental Benefit-Cost and Cost-Effectiveness. Analysis for Use in Decision-Making. 2006.
- Anuario estadístico del Ministerio de Fomento (2013 y anteriores).
- Anuario de accidentes de la Dirección General de Tráfico (2013 y anteriores).
- Wallman, C. y Aström, H. 2001. Friction measurement methods and the correlation between road friction and traffic safety.
- Carlson, P. 2009. The benefits of pavement markings: A renewed perspective based on Recent and ongoing research.
- Evaluation of 2+1 roads with cable barrier. VTI, 2009.
- Application of european 2+1 Roadway designs. TRB, 2003.
- Tramos Blancos. Fundación MAPFRE-Asociación Española de la Carretera. 2001.