

Procedimientos para la identificación de emplazamientos peligrosos en una red de carreteras

Ignacio Pérez Pérez

Doctor Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos

Universidade da Coruña. ETSI Caminos, Canales y Puertos

Al analizar los accidentes acaecidos en una red de carreteras se descubre que éstos no están uniformemente distribuidos, sino que tienden a agruparse en ciertas zonas conocidas comúnmente con el nombre de *puntos negros* o *emplazamientos peligrosos*. Los ingenieros de tráfico han constatado que una de las formas más fructíferas de mejorar la seguridad en la circulación es actuar sobre estos *emplazamientos peligrosos* con el fin de eliminar la ocurrencia de accidentes en los mismos.

Existen diferentes herramientas y métodos que permiten la mejora de la seguridad en la circulación mediante la identificación de los *emplazamientos peligrosos*. Un primer paso consiste en la obtención de los datos de accidentes de circulación a partir de los cuestionarios estadísticos cumplimentados por la Agrupación de Tráfico de la Guardia Civil. Con estos datos de accidentes y los de la propia infraestructura se procede a identificar aquellos emplazamientos con una mayor incidencia y gravedad de accidentes.

La identificación de *emplazamientos peligrosos* descansa esencialmente en la obtención del *número de accidentes registrados* en los mismos; aunque, como se verá más adelante, en la localización de tales emplazamientos suelen intervenir también otras variables que permiten una mayor exactitud en el análisis.

EL CONCEPTO DE PUNTO NEGRO.

El primer paso que se debe dar antes de explicar los procedimientos utilizados para la identificación de los *puntos negros*, es definir este concepto. En la actualidad se manejan diferentes definiciones, dependiendo del país y administración encargada de explotar sus carreteras. La definición usualmente adoptada es la de *aquel emplazamiento perteneciente a*

una red de carreteras en donde, durante un período determinado de tiempo, ha ocurrido más de un cierto número de accidentes.

Este concepto usual se corresponde con la definición empleada en Noruega (Elvik, 1988):

"... cualquier sección de carretera de longitud no mayor de 100 m donde, durante un período de cuatro años, han sido registrados por la policía al menos cuatro accidentes con heridos."

En España, el Ministerio de Obras Públicas, Transportes y Medio Ambiente define un *punto negro* o *tramo de concentración de accidentes* de la siguiente manera (Dirección General de Carreteras, 1994):

"... aquellos tramos o intersecciones de 1 Km en los que habiéndose producido 10 o más accidentes con víctimas en los últimos 5 años, el índice de peligrosidad medio en ése período o la frecuencia de accidentes en los últimos dos años haya sido superior al doble de la media en todos los tramos de categoría e IMD equivalentes."

La Consejería de Transportes de la Comunidad de Madrid diferencia los *puntos negros* de los *tramos negros*. Considera como un *punto negro* (Comunidad de Madrid, 1992, 1993a, 1994b):

"... un punto kilométrico en que se han producido tres o más accidentes con víctimas en el año de estudio."

Mientras que un *tramo negro* es definido como:

"... aquellos tramos de un kilómetro en los que se han producido tres o más accidentes con víctimas en el año de estudio."

La definición española del Ministerio de Obras Públicas supone un avance sobre la definición usual de *punto negro*, ya que incorpora en su enunciado la noción de *índice de peligrosidad*. Esto se debe a que la definición de *punto negro* o *tramo de concentración de accidentes* no depende solamente de un número mínimo de accidentes, sino que tiene también en cuenta la *exposición al riesgo* a través de la estimación del índice de peligrosidad. Esto es así, porque es habitual que emplazamientos con un gran volumen de tráfico tengan un número mayor de accidentes con víctimas que otros emplazamientos con un volumen de tráfico menor.

En las definición noruega citada más arriba se cubre cualquier concentración de accidentes dentro de un espacio o en un punto kilométrico determinado, sin tener en cuenta el tipo de emplazamiento en que se produce este agrupamiento. Sin embargo, la definición española

especifica el tipo de emplazamiento y además establece que la comparación debe realizarse con emplazamientos de las mismas características.

Otras definiciones basan el concepto de *punto negro* en un número de accidentes registrados anormalmente alto. En ellas no se tiene en cuenta que una de las causas que origina un registro de accidentes superior al esperado, es la variación aleatoria característica de la ocurrencia de accidentes. Así, Ahlquist (1973) propone la siguiente definición:

"... una sección de carretera donde la diferencia entre el número de accidentes registrados y esperados excede algún valor crítico."

Por otra parte, Hauer y Persaud (1984) dicen que la práctica común es:

"... que un emplazamiento sea considerado como un punto negro si su registro de accidentes se desvía k varianzas de lo normal. El valor de k está unido al nivel de significación estadístico y es fundamentalmente una cuestión de criterio propio."

Por otro lado, Hakkert y Mahalel (1978) propusieron que los *puntos negros* deberían definirse como:

"... aquellos emplazamientos en las cuales el número de accidentes observado N_i es significativamente mayor que el valor esperado m_i para algún nivel de significación prescrito."

Elvik (1988) define un *punto negro* de accidentes como:

"... un elemento de carretera donde debido a causas exclusivamente locales, el número esperado de accidentes es más alto que en otros elementos similares de carretera con los cuales es comparado."

En esta definición, la expresión *elemento de carretera* se entiende que engloba todas las clases de emplazamientos para las cuales el concepto de *punto negro* es comúnmente aplicable, como secciones de carretera, intersecciones, rampas, curvas, puentes, etc.

Por otro lado, el concepto *número esperado de accidentes* en un elemento de carretera se define como (Hauer y Hakkert, 1988):

"... el número real de accidentes a largo plazo siempre que fuera posible que todas las condiciones de exposición y factores de riesgo general permanecieran sin cambio indefinidamente."

La necesidad de estimar el *número esperado* se debe a que algunas de las causas que producen los accidentes son aleatorias y efímeras en su naturaleza (por ejemplo: una tormenta o una ráfaga de viento, que pueden producir accidentes durante unos pocos minutos).

El concepto de *punto negro* definido por Elvik está asociado con causas exclusivamente locales y permanentes en los elementos de carretera (por ejemplo: curvas peligrosas, pavimento resbaladizo, un puente estrecho, etc). Estos serían pues los factores causantes de los accidentes que más tarde podrían ser objeto de Actuaciones puntuales de mejora de la seguridad en la circulación.

Este autor afirma, como ya se ha hecho alusión anteriormente, que las comparaciones deben realizarse entre elementos de carretera pertenecientes a la misma categoría. La razón de esto es lógica, ya que por ejemplo, si áreas rurales fueran comparadas con áreas urbanas, entonces la mayoría de las áreas urbanas resultarían ser *puntos negros*; puesto que la densidad de accidentes es, en éstas, más elevada. Este resultado sería, por tanto, poco útil en la identificación de *puntos negros*. (Jorgensen, 1971).

En definitiva, a nuestro juicio, la definición más apropiada de *punto negro* es la propuesta por Elvik, porque ésta se basa en la comparación del número esperado de accidentes entre los emplazamientos de una misma categoría dentro de una determinada red de carreteras. Además, el *número esperado de accidentes* es un estimador más adecuado de las condiciones de seguridad que el *número de accidentes registrados* en un emplazamiento en particular. El gran problema radica en que esta definición es difícil de aplicar debido a que la estimación del *número esperado de accidentes* es, en la práctica, bastante complicada.

IDENTIFICACIÓN DE PUNTOS NEGROS.

Una vez aclarado el concepto de *punto negro*, en este apartado, se describirán los procedimientos habitualmente empleados para la identificación de *puntos negros*.

El proceso de identificación de los *puntos negros* pertenecientes a una red de carreteras se suele realizar en dos etapas. En la primera, se procede a hacer una revisión del historial de accidentes de los distintos emplazamientos de una red de carreteras, con el objeto de seleccionar aquéllos que resultan ser aparentemente peligrosos. Una vez que se han identificado estos emplazamientos hay que proceder a realizar un análisis detallado de las características de los mismos para poder confirmar su peligrosidad y, si procede, diseñar las

oportunas medidas correctoras que minimicen la ocurrencia de accidentes (Hauer y Persaud, 1984).

Para esta primera etapa los principales métodos utilizados para la identificación de puntos negros son:

- *Método del número total de accidentes*
- *Método del índice de accidentes o de peligrosidad*
- *Método del número total-índice de accidentes*
- *Método del índice de control de calidad*
- *Método de la capacidad de reducción de accidentes*
- *Método del índice de gravedad de accidentes*

A continuación se describen estos métodos.

1.- MÉTODO DEL NÚMERO TOTAL DE ACCIDENTES.

En este método se asigna un *valor crítico*, correspondiente al número de accidentes acaecidos durante un cierto período de tiempo, a cada emplazamiento de una red de carreteras. Cuando el *número de accidentes registrados* en un emplazamiento puntual o el número de accidentes por unidad de longitud en una sección de carretera durante dicho período de tiempo supera o iguala el valor crítico asignado, se considera la ubicación como un *punto negro* o *emplazamiento peligroso* (fig. 1). Se considera el *valor crítico* como un número de accidentes *anormal*, no existiendo una regla general que indique cuál a de ser su cuantía. Este valor es, por lo tanto, un número arbitrariamente elegido.

A pesar de las limitaciones inherentes al uso del número total de accidentes en la identificación de *puntos negros*, este método es el más frecuentemente utilizado por la mayoría de las administraciones de carreteras como criterio básico de identificación. El *método del número total de accidentes* también se suele denominar como *técnica de los puntos negros* (Tsohos y Kokkalis, 1988; Silcock y Smyth, 1984).

Hasta fechas recientes, el Ministerio de Obras Públicas, Transportes y Medio Ambiente español consideraba, como *valor crítico*, un número de tres o más accidentes a lo largo de un año, en un punto kilométrico concreto o en un tramo de unos 300 metros de longitud. Por otra parte, la Comunidad de Madrid asigna un valor crítico similar en un punto kilométrico en

concreto, manteniendo el mismo período de tiempo, pero cuando se aplica a tramos de carretera se toma como referencia la longitud de un kilómetro.

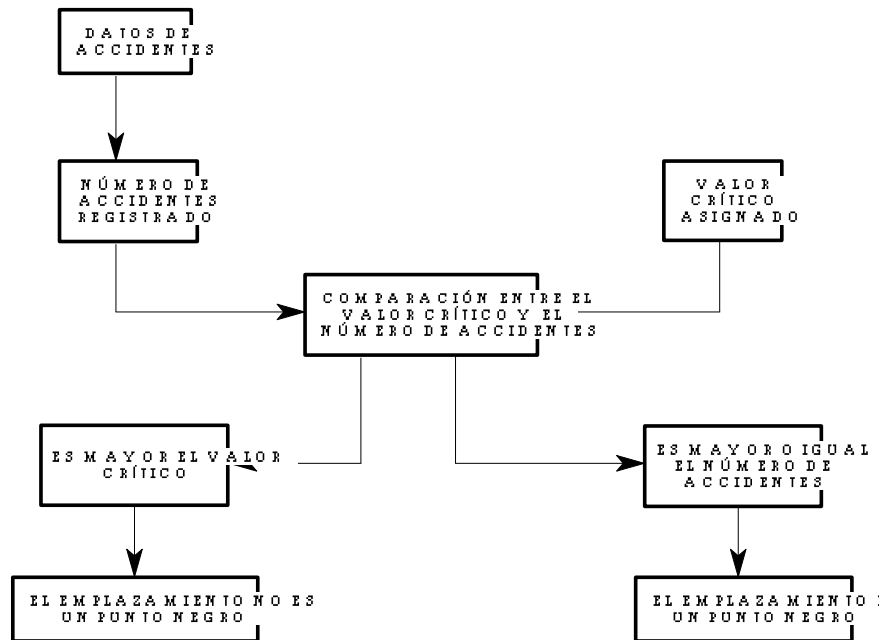


Figura 1. Método del número total de accidentes.

2.- MÉTODO DEL ÍNDICE DE ACCIDENTES O DE PELIGROSIDAD.

Con este procedimiento de identificación de *puntos negros*, además del número total de accidentes, se considera también el concepto de *exposición al riesgo*, calculado el función de los millones de vehículos que pasan por un emplazamiento. La fórmula general para estimar el *índice de accidentes* - o de *peligrosidad* - es la siguiente:

$$I_i = \frac{N_i}{E_i} \quad (1)$$

donde:

- I_i = Índice de accidentes (o de peligrosidad) en el emplazamiento i . Si éste es puntual se expresa en accidentes/ 10^6 veh. y si es una sección en accidentes/ 10^6 veh-km.
- N_i = Número de accidentes registrados en el emplazamiento i durante el período de tiempo considerado.
- E_i = Millones de vehículos pasando por un emplazamiento puntual o millones de vehículos-kilómetro recorridos en una sección.

Al igual que en el método anterior aquí también hay que elegir un *valor crítico* que sirva para la identificación de los *emplazamientos peligrosos*. Cuando los *índices registrados* superan el *valor crítico*, se identifica el emplazamiento como un *punto negro*. Para establecer el *índice*

crítico se comienza por la estimación del *índice promedio* de la totalidad de emplazamientos seleccionados pertenecientes a un mismo tipo y categoría (Peña, 1992):

$$I = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \frac{N_i}{E_i} \quad (2)$$

donde:

- I = Índice de accidentes (o de peligrosidad) promedio de la totalidad de los emplazamientos seleccionados pertenecientes a una misma categoría.
- n = Número de emplazamientos seleccionados pertenecientes a una misma categoría.

Se puede adoptar como criterio de elección del *valor crítico*, el *índice promedio* más un múltiplo de la desviación estándar de los *índices de peligrosidad* de los emplazamientos de las mismas características. La semejanza de los emplazamientos puede depender de diversas variables, como por ejemplo el número de calzadas, número de carriles, *IMD*, etc.

Para el cálculo del *índice crítico* se utilizará la siguiente ecuación (Hauer y Persaud, 1984; Hagle y Witkowski, 1988; Hagle y Hetch 1989; Datta et al, 1978):

$$IC = I + z_c \cdot S \quad (3)$$

donde:

- z_c = Constante asociada con el nivel de confianza δ (Tabla 1).
- S = Desviación típica de los índices de los emplazamientos pertenecientes a la misma categoría.

La desviación típica se puede estimar a partir de la muestra de emplazamientos empleando la siguiente fórmula (Peña, 1992):

$$S = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n \left(\frac{N_i}{E_i} - I \right)^2} \quad (4)$$

Probabilidad	δ	z_c
0,0050	0,9950	2,576
0,0075	0,9925	1,960
0,0500	0,9500	1,646
0,0750	0,9250	1,440
0,1000	0,9000	1,282

Tabla 1. Valores de z_c según el nivel de confianza (δ) (Peña, 1992).

El valor de z_c introducido en la ecuación 3, está basado en que los accidentes se distribuyen de acuerdo a una *distribución normal*. Ésta constante está relacionada con el *nivel de confianza* (δ), según el cual los *índices de accidentes* superiores al *índice crítico* son *significativos* desde un punto de vista estadístico y, por lo tanto, no son el resultado del azar. Dentro de las limitaciones impuestas por las características de los accidentes y los datos de tráfico, de aquellos emplazamientos en los cuales el *índice de peligrosidad* registrado supera al *índice crítico* estimado se dice que son *peligrosos* en un determinado porcentaje de *nivel de confianza*.

Las fases de este proceso de identificación están descritas en la figura 2.

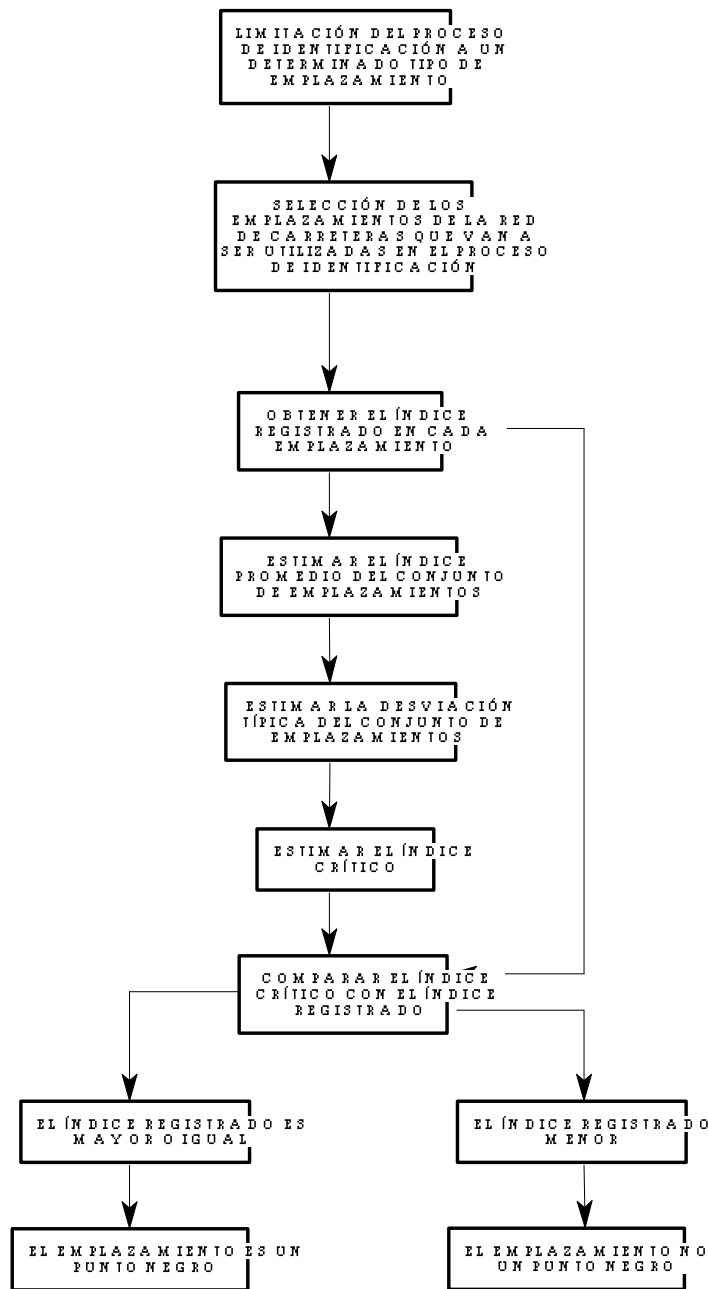


Figura 2. Identificación de *puntos negros* mediante el índice de accidentes.

3.- MÉTODO DEL NÚMERO TOTAL-ÍNDICE DE ACCIDENTES.

Es una combinación de los métodos del *número total de accidentes* y del *índice de accidentes*. Aquí se consideran puntos negros los emplazamientos que arrojan un número y un índice de accidentes superior a determinados *valores críticos* preestablecidos. Los *valores críticos* de la red, tanto para emplazamientos puntuales como para secciones de carretera, se estiman como estipulan los dos métodos anteriores. Un procedimiento práctico consiste en utilizar una

matriz de rango 10 x 10 en cuyo eje horizontal figura el *número de accidentes registrados* y, en el eje vertical, el *índice de accidentes*, distribuyéndose los emplazamientos en las correspondientes celdas de la matriz. En la esquina inferior derecha se ubican los emplazamientos más peligrosos (Tabla 2), (Barbaresso et al, 1982).

<i>Índice de peligrosidad</i> (Acc/veh-millas x 10 ⁶)	<i>Número de accidentes registrados</i> (Accidentes por año)									
	0 - 3	4 - 7	8 - 11	12 - 15	16 - 19	20 - 23	24 - 27	28 - 31	32 - 35	36 - 150
0.00 - 0.59	149	64	6	5	0	0	0	0	0	0
0.60 - 1.59	43	68	59	28	9	5	6	1	1	3
1.20 - 1.79	10	32	36	30	20	15	6	6	5	6
1.80 - 2.39	9	12	22	18	20	16	11	4	7	13
2.40 - 2.99	1	10	15	8	9	8	11	2	8	20
3.00 - 3.59	0	7	1	6	6	2	7	3	3	17
3.60 - 4.19	1	3	4	6	2	3	0	2	4	10
4.20 - 4.79	0	2	1	1	2	2	0	2	1	5
4.80 - 5.39	0	1	1	2	4	0	1	1	0	1
5.40 - 24.00	5	9	4	3	2	2	1	2	3	7

Prioridad 2

Prioridad 1

Tabla 2. Matriz de identificación de puntos negros (Barbaresso et al, 1982).

4.- MÉTODO DEL ÍNDICE DE CONTROL DE CALIDAD.

Este procedimiento consiste en la aplicación de un test estadístico basado en la hipótesis de que la ocurrencia de accidentes se ajusta a una *distribución de Poisson*. Se comparan los *índices de accidentes registrados* en los emplazamientos pertenecientes a una red de carreteras con el *índice de accidentes crítico* de los emplazamientos de la misma categoría dentro de la red de carreteras, definiendo como *puntos negros* aquéllos cuyo *índice registrado supera significativamente el valor estadísticamente esperado* (Tharkkar, 1986; Agent y Deen, 1975). El *valor estadísticamente esperado* corresponde al *índice crítico de calidad* de un emplazamiento, expresándose como una función del *índice de accidentes promedio* de los emplazamientos de la misma categoría dentro de la red de carreteras y está basado en la siguiente ecuación (Hall et al, 1987; Renshaw y Carter, 1980):

$$IC = I + k \sqrt{\frac{I}{E_i} + \frac{1}{2E_i}} \quad (5)$$

donde:

IC = Índice crítico de calidad. En un emplazamiento puntual se expresa en accidentes/ 10^6 veh. y en una sección en accidentes/ 10^6 veh-km.

I = Índice de accidentes (o de peligrosidad) promedio de los emplazamientos de la misma categoría dentro de la red, estimado mediante la fórmula 2.

E_i = Millones de vehículos-km. en una sección y millones de vehículos en un emplazamiento puntual i .

k = Constante a determinar según el nivel de confianza δ (tabla 1).

5.- MÉTODO DE LA CAPACIDAD DE REDUCCIÓN DE ACCIDENTES.

El número de accidentes que se produce en un emplazamiento durante un período determinado de tiempo está influenciado por un gran número de variables. Algunos investigadores han ajustado *modelos multivariantes* al número de accidentes. Para ello utilizan como variables independientes las características geométricas o físicas de los emplazamientos y la *exposición al riesgo*. Las variables que pueden influir en el número de accidentes pueden ser desde el tipo de emplazamiento y las diversas medidas de exposición hasta la clase y calidad de la iluminación de una carretera, pasando por el estado de la superficie del firme (Maher y Mountain, 1988).

Por otra parte, si el objetivo es identificar *puntos negros* para la posterior aplicación de las actuaciones correctoras, es obvio que solamente se pueden modificar algunas de estas variables. Es decir, ciertas características del emplazamiento por su propia naturaleza, no son fácilmente alterables, mientras que otras son susceptibles de modificación. Por lo tanto, la diferenciación en el número de accidentes acaecidos en los emplazamientos de una red de carreteras se debe, por una parte, a la disimilitud de las características permanentes y, por otra, a la semejanza en las características modificables. Las actuaciones de mejora de la seguridad suelen hacerse sobre las características modificables (Maher y Mountain, 1988).

En este mismo orden de ideas, como se dijo anteriormente se puede estimar el número esperado de accidentes en un emplazamiento ajustando un *modelo multivariante* a partir de los valores de las características permanentes y modificables (Zeeger et al, 1987). Una vez estimado el *número esperado de accidentes* en un emplazamiento, se observará que existe la siguiente diferencia (Maher y Mountain, 1988):

$$N_i - m_i \quad (6)$$

donde:

N_i = Número de accidentes registrados.

m_i = Número esperado de accidentes estimado mediante el modelo de multivariante.

La diferencia expresada por la ecuación 6 no es igual en todos los emplazamientos, puesto que éstos tienen distintas características modificables, y además existe una variación aleatoria representativa de los accidentes. Por consiguiente, McGuigan (1981) ha propuesto que dicha diferencia sea empleada para clasificar los emplazamientos de forma que se consideren *puntos negros* aquéllos que arrojan una mayor diferencia entre el *número de accidentes registrados* y el *número esperado de accidentes*. A su vez, este autor ha denominado esta técnica como el *método de la capacidad de reducción de accidentes* y argumenta que es mejor que el recurso al procedimiento basado en el *número total de accidentes*. Esto se debe a que este último método tiende a identificar emplazamientos con una gran intensidad de tráfico, los cuales no tienen necesariamente *capacidad para la reducción de accidentes*.

6.- MÉTODO DEL ÍNDICE DE GRAVEDAD DE ACCIDENTES.

En los métodos explicados anteriormente no se han tenido en cuenta los costes sociales y económicos producidos por los diferentes *tipos de accidentes* de tráfico. Si se quiere hacer una clasificación racional de los emplazamientos de una red de carreteras en relación con la cantidad de accidentes, sería deseable, si los datos lo permiten, tomar en consideración también la *gravedad* de los mismos. Esta valoración se puede realizar mediante la introducción de ciertos *factores o coeficientes*, los cuales tendrían en cuenta tanto la *gravedad* de los accidentes como la cuantificación de los daños materiales.

Para estos efectos ha sido propuesta la fórmula siguiente (Thoshos y Kokkalis, 1988):

$$\text{índice de gravedad} = P_1 n_1 + P_2 n_2 \quad (7)$$

donde:

n_1 = Número de accidentes con heridos.

n_2 = Número de accidentes con víctimas mortales.

P_1 = Factor de gravedad correspondiente a los accidentes con heridos.

P_2 = Factor de gravedad correspondiente a los accidentes con víctimas mortales.

Se puede ampliar esta fórmula para que incluya un mayor tipo de accidentes de tráfico, siempre y cuando los datos relativos a éstos estén disponibles.

Los valores de los *factores de gravedad* se determinan de acuerdo con las pérdidas que los distintos tipos de accidentes de tráfico ocasionan a la economía de un país. Algunos valores típicos de estos factores se presentan, a título de ejemplo, en la tabla 3. Las diferencias observadas en los *factores de gravedad* expuestos en dicha tabla corresponden a las diversas formas de valorar el coste de los accidentes según los criterios aplicados en cada caso.

<i>Tipo de accidente</i>	<i>Reinhold</i>	<i>Bilzl</i>	<i>Fisher</i>	<i>USA</i>	<i>USSR</i>
No registrado	---	--	---	--	1
Daños materiales	1	1	1	1	3
Herida leve	5	30	2	5	0.5
Herida grave	70	30	8	5	8
Muerte	130	100	40	23	135

Tabla. 3. Factores de gravedad (Thosolos y Kokkalis, 1988).

Otra forma de valorar la *gravedad* de los accidentes es por medio del *Número equivalente de accidentes con sólo daños materiales*. En este método se le asigna un mayor peso a los accidentes con víctimas mortales que a los accidentes con heridos y éstos, a su vez, reciben un mayor peso que los accidentes con sólo daños materiales (Institute of Transportation Engineers, 1992).

El *número equivalente de accidentes con daños materiales* se expresa de la siguiente manera:

$$NEADM = NADM + NAH \cdot F_1 + NAM \cdot F_2 \quad (8)$$

donde:

- NEADM = Número equivalente de accidentes con sólo daños materiales.
- NADM = Número de accidentes con sólo daños materiales.
- NAH = Número de accidentes con heridos.
- F_1 = Coste accidentes con heridos / coste accidentes con sólo daños materiales.
- NAM = Número de accidentes mortales.
- F_2 = Coste accidentes mortales / coste accidentes con sólo daños materiales.

Una variante de la fórmula anterior es la siguiente (Khistin, 1990):

$$NEADM = 9,5 (F + H) + 3,5 (B + C) + NADM \quad (9)$$

donde:

- F = Número de accidentes mortales.
- A = Número de accidentes con heridos en los cuales las víctimas quedan incapacitadas.
- B = Número de accidentes con heridos en los cuales las víctimas no quedan incapacitadas.
- C = Número de accidentes en los cuales probablemente se han producido heridas.

Según este método, los emplazamientos se clasifican de acuerdo al cómputo del NEADM, considerando como los más peligrosos aquéllos que presentan valores mayores de este indicador.

CONCLUSIONES

En la actualidad no existe un método infalible de identificación de *puntos negros*, y cualquiera de los descritos anteriormente daría como resultado las siguientes deficiencias:

- Identificarían una serie de emplazamientos denominados falsos positivos, los cuales corresponden a aquellos emplazamientos que han sido identificados como puntos negros, cuando realmente no lo son.
- No identificarían una serie de emplazamientos denominados falsos negativos, los cuales corresponden a aquellos emplazamientos que no han sido identificados como puntos negros, cuando realmente lo son.

El método del *número total de accidentes* es el que más se ve afectado por estas deficiencias, ya que no se basa en el criterio de desviación con respecto al promedio del *número de accidentes registrados* en los emplazamientos de una misma categoría. Tampoco en este método se tienen en cuenta las condiciones del tráfico, ni las variaciones aleatorias características de la ocurrencia de los accidentes.

El método del *índice de accidentes o de peligrosidad* tiene en cuenta el volumen del tráfico de los emplazamientos y compara los pertenecientes a una misma categoría. Pero al igual que en el método del *número total de accidentes*, en el método del índice de accidentes tampoco se consideran las variaciones aleatorias características de la ocurrencia esporádica de accidentes. Por otra parte, el criterio de desviación para estimar el *índice crítico* se aplica con respecto a la media de los *índices de peligrosidad* en base a la distribución *normal*. Esto constituye una fuente de error ya que la distribución *normal* no se adapta convenientemente a la naturaleza estocástica de la ocurrencia de los accidentes.

El método del *índice de control de calidad* es una versión mejorada del método del *índice de accidentes*, ya que se basa en la distribución de *Poisson* y, por lo tanto, nos proporciona una

base estadística más segura. Sin embargo, este procedimiento adolece de los mismos fallos de partida al no tener en cuenta las fluctuaciones aleatorias.

Todos los métodos mencionados, además de presentar los inconvenientes descritos anteriormente, tampoco consideran la *gravedad* de los accidentes. Es decir, cuando dos emplazamientos tienen los mismos volúmenes de tráfico y el mismo *número de accidentes registrados*, pero difieren notablemente en la *gravedad* de las heridas de las víctimas o en la *gravedad* de las pérdidas materiales, no es aceptable que sean considerados como igualmente peligrosos. Aunque el método del *índice de gravedad* tiene en cuenta esto último, su principal problema radica en la dificultad de valorar dichos factores, circunstancia que se refleja en las discrepancias existentes en la valoración de los *factores de gravedad* propuestos en los diferentes países.

El método ideal sería un método que combinara varios de los métodos de identificación de *puntos negros* enunciados anteriormente; es decir, un método de integración que tuviera en cuenta el *número de accidentes registrados*, la *exposición al riesgo*, las *variaciones aleatorias* y la *gravedad* de los accidentes.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AHLQUIST, G. (1973). Black-spot. Diskussionspromemria, Linköping, Statens Vå- och Trafikinstitut.
- BARBARESSO, J. C., BAIR, B. O., MANN, C. R. y SMITH, G. (1982). Selection Process for Local Highway Safety Projects. Transportation Research Record, nº 847.
- COMUNIDAD DE MADRID. (1993). Avance del Plan de Carreteras 1994-2001. Consejería de Transportes, Dirección General de Carreteras.
- DATTA, T. K., BOWMAN, B. L., y OPIELA, K. S. (1978). Evaluation of Highway Safety Projects Using Quality-Control Technique. Transportation Research Record, nº 672.
- DIRECCIÓN GENERAL DE CARRETERAS. (1994). Nota de servicio del programa de seguridad vial 1994. Ministerio de Obras Públicas, Transportes y Medio Ambiente, Madrid.
- ELVIK, R. (1988). Ambiguities in the Definition and Identification of Accident Blackspots. Traffic Safety Theory and Research Methods, Session 1: Context and Scope of Traffic Safety Theory, SWOV, Amsterdam.

- HALL, J. W. (1987). Evaluation of Wide Edgelines. Transportation Research Record, nº 1114.
- HAKKERT, A. S. y MAHALEL, D. (1978). Estimating the no. of accidents at intersections from a knowledge of the traffic flows on approaches, Accident Analysis and Prevention, Vol. 10.
- HAUER, E. y HAKKERT, S. S. (1988). Extent and Some Implications of Incomplete Accident Reporting. Transportation Research Record, nº 1185.
- HAUER, E., y PERSAUD, B. (1984). Problem of Identifying Hazardous Locations Using Accident Data. Transportation Research Record, nº 975.
- INSTITUTE OF TRANSPORTATION ENGINEERS. (1992). Traffic Engineering Handbook. 4ª Edición, Prentice-Hall, Englewood Cliffs, New Jersey 07632.
- JORGENSEN, N. O. (1971). The Statistical detection of accidents "Black Spots". XI Semana Internacional de Estudio en Ingeniería de Tráfico y Seguridad.
- KHISTIN, C. J. (1990). Transportation Engineering: An Introduction. Prentice Hall, Englewoods Cliffs, New Jersey.
- MAHER, M. J., y MOUNTAIN, L. J. (1988). The Identification of Accident Blackspots: A Comparison of Current Methods. Accident Analysis and Prevention, Vol. 20, nº 2.
- McGUIGAN, R. D. (1981). The Use of Relationships Between Road accidents and Traffic Flow in Black-Spot Identification. Traffic Engineering and Control, Agosto/Septiembre, nº 8/9.
- PÉREZ PÉREZ, Ignacio (1996). Evaluación de la efectividad de las actuaciones en carreteras sobre la accidentalidad. Aplicación al caso de la Comunidad de Madrid. Tesis Doctoral, Universidad Politécnica de Madrid, E.T.E. de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos.
- PEÑA SÁNCHEZ DE RIVERA, D. (1992a). Estadística. Modelos y métodos. 1. Fundamentos. 5ª Edición, Alianza Editorial, S. A. Madrid.
- SILCOCK, D. y SMYTH, A.W. (1984). The Methods used by British Highway Authorities to Identify Accident Blackspots. Traffic Engineering and Control, Vol. 25, nº 11.
- TSOHOS, G., y KOKKALIS, A. (1988). Determination of Black Spots. A Comparative and Correlation Study of Existing Methods. Traffic Safety Theory & Research Methods, Session 4: Statistical Analysis and Models, Institute for Road Safety Research, SWOV, Amsterdam.