

# APLICACIÓN DEL ANÁLISIS ESTADÍSTICO BAYESIANO PARA ESTUDIAR LA INCIDENCIA DE LAS ACTUACIONES DE ACONDICIONAMIENTO DE CARRETERAS Y REFUERZO DE FIRMES SOBRE LA ACCIDENTALIDAD.

Ignacio Pérez Pérez

Universidad de La Coruña. Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos. Campus de Elviña s/n. 15192 La Coruña. ESPAÑA.

FAX (981)167170 ; perez@icpc.udc.es

## RESUMEN

En este trabajo de investigación, para estudiar la incidencia de las actuaciones de acondicionamiento de carreteras y de refuerzo de firmes sobre la accidentalidad, se utilizan estudios *antes y después*, estimando y comparando el *índice de peligrosidad a largo plazo* durante dos períodos de tiempo de la misma duración, uno anterior y otro posterior a la ejecución de la actuación objeto de estudio. Cuando el *índice de peligrosidad a largo plazo* en el período posterior a la ejecución de la actuación disminuye, se dice que la actuación ha tenido una incidencia positiva como medida que disminuye la accidentalidad.

El *índice de peligrosidad a largo plazo* ( $\hat{\eta}_i$ ) se define como el *índice de peligrosidad* promedio que se espera que se produzca al término de varios años en una localización, siempre y cuando no se modifiquen las características físicas del mismo como consecuencia de cualquier tipo de actuación.

Es matemáticamente demostrable que la estimación del *índice de peligrosidad a largo plazo* en una localización *i* puede expresarse en función de los parámetros de una distribución *a priori* del tipo Gamma y del número de accidentes registrados en la localización, así como de la exposición al riesgo expresada en millones de vehículos-kilómetro.

Para conocer el valor de los parámetros de la distribución *a priori* Gamma, puede recurrirse al hecho de que éstos son iguales a los de una distribución binomial negativa. Para ello, los parámetros de la distribución binomial negativa se pueden estimar aquí por medio del método de la máxima verosimilitud.

A partir de los valores de los parámetros estimados de esta forma, se obtiene el *índice de peligrosidad a largo plazo* ( $\hat{\eta}_i$ ) en la localización. Como es lógico, esta estimación sirve tanto para el período anterior como para el posterior a la ejecución de la actuación. Por consiguiente, se podrán estimar  $\hat{\eta}_{Ai}$  y  $\hat{\eta}_{Di}$  en el emplazamiento antes y después de la actuación. Lo cual, a su vez, permitirá apreciar la incidencia de las actuaciones de acondicionamiento y refuerzo de firmes sobre la accidentalidad.

En función de la metodología expuesta anteriormente, se procedió a realizar una búsqueda por los archivos disponibles en instituciones públicas, mostrando el resultado de que, para llevar a cabo este estudio, era preciso recolectar datos de las propias actuaciones y de la infraestructura viaria, de los accidentes de tráfico y, también, de intensidades medias diarias. Los datos de las actuaciones y de las intensidades de tráfico fueron facilitados por la Dirección General de Carreteras de la CAM. Los datos de accidentes se adquirieron, por un lado, a partir de los ficheros informáticos centrales de la Dirección General de Tráfico y, por otro, en la Dirección General de Carreteras de la CAM. Todos estos datos correspondían a un período de tiempo que transcurría entre los años 1985 y 1993.

Después de haber conseguido la información necesaria, se estimaron los parámetros de las distribuciones *a priori* a partir de las muestras formadas por los números de accidentes registrados y las exposiciones al riesgo de cada una de las localizaciones, ambas correspondientes al primer año antes y después de todas y cada una de las actuaciones ejecutadas en los tramos de carreteras pertenecientes a una misma categoría.

Una vez que se habían estimado los parámetros de las dos distribuciones *a priori* para antes y después de la ejecución de las actuaciones, a continuación, se estimaron los *índices de peligrosidad a largo plazo* en los períodos anterior y posterior a las actuaciones. Después se evaluó la incidencia de las actuaciones en cada uno de los tramos de carretera, comprobándose, por último, si ésta era estadísticamente significativa; para ello, se asumió un nivel de confianza del 90%.

De las 75 actuaciones de acondicionamiento analizadas, 68 de ellas produjeron una reducción del índice de peligrosidad a largo plazo, observándose en las 7 restantes un incremento de ese indicador. A primera vista, se podría pensar que la mayoría de las actuaciones de acondicionamiento tuvieron una incidencia positiva como medida que disminuye la accidentalidad. No obstante, cabe la duda de que tales resultados positivos entren dentro de la previsión de las variaciones debidas al azar, por lo que resulta necesario todavía descartar esta hipótesis contrastando los valores registrados. De las 68 actuaciones que produjeron una disminución de la peligrosidad, se

confirmó que en 44 tramos de carretera ese decremento es significativo al nivel de confianza del 90%. Por otra parte, de las 7 actuaciones restantes donde se registró un aumento del índice de peligrosidad a largo plazo en los tramos correspondientes, solamente se confirma como significativo dicho incremento en uno de esos tramos.

Por lo que se refiere a las actuaciones de refuerzo de firmes, del total de actuaciones de refuerzo, 43 de las mismas ocasionaron un aumento del índice de peligrosidad a largo plazo y 32 una disminución. De las 43 actuaciones que ocasionaron un incremento del índice de peligrosidad a largo plazo, éste era significativo en sólo 13 de las mismas y de las 32 actuaciones que motivaron una disminución, ésta era significativo solamente en 12 de ellas. Aquí, no hay una mayoría clara de actuaciones que ocasionen un aumento o reducción significativa del índice de peligrosidad a largo plazo.

Este trabajo constata que la gran mayoría de las actuaciones de acondicionamiento realizadas en la Comunidad de Madrid durante este período realmente tuvieron una incidencia positiva sobre la disminución de la accidentalidad.

La aplicación de este método al estudio de la incidencia de las actuaciones de refuerzo de firme realizadas en la Comunidad de Madrid dio como resultado que, en la mayoría de los casos, la incidencia positiva o negativa de dichas actuaciones, no era significativa. Por lo tanto, desde un punto de vista estadístico, se puede concluir que estas actuaciones de refuerzo de firme apenas tuvieron incidencia en la mejora o empeoramiento de la accidentalidad.

## BIBLIOGRAFÍA

- COMUNIDAD DE MADRID (1994). *Plan de Carreteras 1994-2001*. Consejería de Transportes, Dirección General de Carreteras.
- HIGLE, J. L., y WITKOWSKI, J. M. (1988). *Bayesian Identification of Hazardous Locations*. Transportation Research Record, nº 1185.
- MARITZ, J. S., y LWIN, T. (1989). *Empirical Bayes Methods*. Segunda Edición, Chapman y Hall.
- PÉREZ PÉREZ, I. (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.S. de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos.

## 1. METODOLOGÍA

Para estudiar la incidencia de las actuaciones de acondicionamiento y refuerzo de firmes se utiliza la siguiente fórmula:

$$E(\%) = \frac{\eta_{Ai} - \eta_{Di}}{\eta_{Ai}} \cdot 100$$

$E(\%)$  = Efectividad de la actuación.

$\eta_{Di}$  = Índice de peligrosidad a largo plazo en el emplazamiento  $i$  después de la actuación. Si éste es puntual se expresa en accidentes/ $10^6$  veh. y si es una sección en accidentes/ $10^6$  veh.- km.

$\eta_{Ai}$  = Índice de peligrosidad a largo plazo en el emplazamiento  $i$  antes de la actuación. Si éste es puntual se expresa en accidentes/ $10^6$  veh. y si es una sección en accidentes/ $10^6$  veh.- km.

### Estimación del índice de peligrosidad a largo plazo.

Conviene puntualizar las siguientes hipótesis (Abbess et al,1981; Higle y Witkowski, 1988):

- I. "...en ausencia de grandes modificaciones en las características intrínsecas de un emplazamiento, la ocurrencia de accidentes en el mismo se produce de acuerdo a una distribución de Poisson."
- II. "...el índice de peligrosidad a largo plazo  $\eta_i$  es una variable aleatoria que se produce para un conjunto de emplazamientos similares de acuerdo con una distribución a priori del tipo Gamma."

Partiendo de estas hipótesis es matemáticamente demostrable que la estimación del índice de peligrosidad a largo plazo en un emplazamiento  $i$  se puede expresar en función de la siguiente ecuación (Higle y Witkowski, 1988):

$$\hat{\eta}_i = \frac{\alpha + N_i}{\omega + E_i}$$

$N_i$  = Número de accidentes registrados en el emplazamiento  $i$ .

$E_i$  = Exposición al riesgo registrada en el emplazamiento  $i$ . Si éste es una sección se expresa en  $10^6$  veh.-km. y si es puntual en  $10^6$  veh.

$\alpha$  y  $\omega$  = Parámetros de la distribución *a priori* del tipo Gamma.

Mediante el siguiente sistema de ecuaciones que permite estimar los valores *máximo verosímiles* de los parámetros  $\alpha$  y  $\omega$  (Maritz y Lwin, 1989):

$$n \ln \omega - \sum_{i=1}^n \ln(\omega + E_i) + \sum_{i=1}^n \Psi(\alpha + N_i) - n \Psi(\alpha) = 0$$

$$\frac{n \cdot \alpha}{\omega} - \sum_{i=1}^n \left( \frac{\alpha + N_i}{\omega + E_i} \right) = 0$$

$$\Psi(\alpha + N_i) = \frac{\Gamma'(\alpha + N_i)}{\Gamma(\alpha + N_i)}$$

$$\Psi(\alpha) = \frac{\Gamma'(\alpha)}{\Gamma(\alpha)}$$

$n$  = número de emplazamientos de una misma categoría.

### Significación de la efectividad de una actuación a nivel individual.

Para confirmar la *significación* estadística del cambio estimado en el *índice de peligrosidad a largo plazo*, se debe *comprobar* que la *probabilidad* de que el *índice de peligrosidad a largo plazo* en el período *anterior* sea menor que el *índice de peligrosidad a largo plazo* en el período *posterior* no supere un determinado *nivel de significación*.

$$P(\hat{\eta}_{Ai} < \hat{\eta}_{Di}) < \theta$$

$\theta$  = Nivel de significación en el cual, para un determinado nivel de confianza, la actuación de seguridad se considera efectiva en la reducción del índice de peligrosidad a largo plazo.

La parte izquierda de la inecuación anterior también se puede expresar de la siguiente manera

$$P(\hat{\eta}_{Ai} < \hat{\eta}_{Di}) = \frac{(\omega_A + E_{Ai})^{\alpha_A + N_{Ai}}}{\Gamma(\alpha_A + N_{Ai})} \int_0^{\hat{\eta}_{Di}} \eta^{\alpha_A + N_{Ai} - 1} \cdot e^{-(\omega_A + E_{Ai}) \cdot \eta} \cdot d\eta$$

## 2. DATOS

Actuaciones de acondicionamiento de carreteras y refuerzo de firmes realizadas en la Comunidad de Madrid entre los años 1985 y 1993.

## 3. RESULTADOS

Estimación de los parámetros de la distribución *a priori*.

Parámetros "a priori"	REFUERZOS		ACONDICIONAMIENTOS	
	Antes	Después	Antes	Después
$\alpha$	2,7771	2,1019	2,4980	1,7338
$\omega$	7,5075	4,3468	3,9148	6,5793

Resultados de la significación estadística de la efectividad de las actuaciones de acondicionamiento.

Hipótesis	Actuaciones	Significativo al 90%	No significativo al 90%
Disminución del índice	68	44	24
Incremento del índice	7	1	6

Resultados de la significación estadística de la efectividad de las actuaciones de refuerzo.

Hipótesis	Actuaciones	Significativo al 90%	No significativo al 90%
Disminución del índice	32	12	20
Incremento del índice	43	13	30

#### 4. CONCLUSIONES

Se constata que la gran mayoría de las *actuaciones de acondicionamiento* realizadas en la Comunidad de Madrid en el período 1985 a 1993 resultaron realmente *efectivas*, desde el punto de vista estadístico, como medidas que contribuyeron a la reducción de la peligrosidad de los tramos de carretera donde fueron ejecutadas.

La aplicación de este método a la evaluación de la efectividad en la reducción de la peligrosidad en las *actuaciones de refuerzo de firme* realizadas en la Comunidad de Madrid en el período 1985 a 1993 dio como resultado que, en la mayoría de los casos, la efectividad o no efectividad de dichas actuaciones, consideradas éstas individualmente, no era significativa. Por lo tanto, desde un punto de vista estadístico, se puede concluir que estas *actuaciones de refuerzo de firme* apenas tuvieron incidencia en la mejora o empeoramiento de la seguridad en la circulación.

#### BIBLIOGRAFÍA

- ABBESS, C., JARRETT, D., y WRIGHT, C. C. (1981). Accidents at blackspots: estimating the effectiveness of remedial treatment, with special reference to the “regresion-to-mean” effect. *Traffic Engineering and Control*, Vol. 22, nº10.
- COMUNIDAD DE MADRID (1985). *Plan de Carreteras 1986-1993*. Consejería de Transportes, Dirección General de Carreteras.
- HIGLE, J. L., y WITKOWSKI, J. M. (1988). *Bayesian Identification of Hazardous Locations*. *Transportation Research Record*, nº 1185.
- MARITZ, J. S., y LWIN, T. (1989). *Empirical Bayes Methods*. Segunda Edición, Chapman y Hall.
- PÉREZ PÉREZ, I. (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.S. de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos.