

Métodos avanzados para la captación y el análisis de la información de los accidentes de circulación

José M^a Pardillo Mayora

Departamento de Ingeniería Civil Transportes
ETS de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos
Universidad Politécnica de Madrid

Roberto Llamas Rubio

Dirección General de Carreteras
Ministerio de Fomento

Para diseñar y gestionar las medidas de mejora de la seguridad de la circulación es necesario determinar con la mayor fiabilidad posible la relación entre las características de la carretera y el tráfico y la frecuencia de los accidentes. Para ello resulta fundamental por un lado la calidad y la precisión de la información de los accidentes y por otro la puesta a punto de métodos de análisis que permitan obtener el mayor rendimiento de esta información.

Los avances en los campos de las comunicaciones y del tratamiento de la información están siendo aprovechados para desarrollar sistemas de apoyo a la obtención, la transmisión y el análisis de la información que pueden contribuir de forma importante a mejorar la eficiencia de los procesos y la calidad de la información obtenida. Los objetivos concretos que se persiguen son los siguientes:

- Mejorar la calidad de la información obtenida y la precisión de su localización.
- Facilitar la labor de los agentes de tráfico y reducir su carga de trabajo.
- Agilizar el proceso de transmisión de la información, disminuyendo el plazo de incorporación a las bases centralizadas de datos.
- Evitar que el proceso de introducción de la información en las bases de datos se realice varias veces en las distintas organizaciones que utilizan la información.
- Determinar la relación entre las características de la carretera y los accidentes registrados y diseñar a partir de las conclusiones medidas para mejorar la seguridad de la circulación.

La experiencia obtenida en los países en que se están utilizando ya estos sistemas, como por ejemplo los Estados Unidos, demuestra que cuando los agentes tienen a su disposición herramientas que facilitan la obtención de la información, la calidad y la eficacia del proceso aumenta muy significativamente.

Organización y gestión de las bases de datos de seguridad vial

Las bases de datos de seguridad vial almacenan los datos de los accidentes registrados y su localización, las características de las carreteras y la tramificación de la red y la información relacionada con el tráfico. Además de los datos de los accidentes, para realizar estudios de seguridad vial es necesario contar con información acerca de las características de las carreteras y del tráfico. La que se suele emplear con mayor frecuencia en cuanto al tráfico es la IMD y la proporción de vehículos pesados; mientras que en relación con las carreteras se emplean los datos del inventario de características respecto al trazado, las intersecciones, la señalización y las dotaciones viarias y el estado de las márgenes.

La combinación de los distintos tipos de datos es necesaria tanto para analizar la siniestralidad como para investigar las causas y las medidas que cabría adoptar. El requisito fundamental para que la interconexión sea posible es que las bases de datos estén estructuradas con unos sistemas de referencia iguales o, al menos, compatibles. El sistema de referencia más habitual es el que constituye la kilometración de la carretera, siempre que esta esté materializada mediante hitos kilométricos. En los casos en que éstos no existen se suele utilizar como referencia la distancia a un punto significativo de la carretera (intersección, estructura o obra de paso) o del terreno. Con el desarrollo de los sistemas de información geográfica, se están empezando a emplear sistemas de referencia basados en coordenadas obtenidas mediante aparatos GPS, que normalmente coexisten con las referencias kilométricas tradicionales.

Las tareas en las que se emplea la información contenida en una base de datos de seguridad vial se pueden agrupar en cuatro puntos fundamentales:

1. Identificación de los tramos de la Red en los que se registra una siniestralidad anormalmente elevada.
2. Identificación de los tramos en los que existen deficiencias que afectan al nivel de seguridad de la circulación.
3. Estimación de los resultados de las actuaciones de mejora de la seguridad vial proyectadas y establecimiento de prioridades.
4. Seguimiento de las actuaciones llevadas a cabo para la mejora de la seguridad.

Sistemas avanzados de obtención de los datos de seguridad vial

En diversos Estados norteamericanos se utilizan terminales portátiles de ordenador para que la policía introduzca directamente de los datos relativos a los distintos aspectos de la labor de vigilancia de la carretera como son las denuncias por infracciones, los partes de accidentes o las actas de las inspecciones a los vehículos de transporte por carretera.

Los ordenadores tienen programados unos sistemas expertos de asistencia a la introducción de datos en los modelos informatizados de formularios y partes. Estos sistemas comprueban automáticamente la información grabada, facilitando la corrección de errores, omisiones e inconsistencias de la información. Además, incorporan los datos de localización geográfica obtenidos a través del sistema de posicionamiento global (GPS) y permiten generar gráficos digitalizados. La transmisión de los datos al ordenador central se realiza por radio o telefonía celular de forma que la incorporación de los datos al archivo central es inmediata, sin requerir un proceso de grabación posterior. Las nuevas técnicas permiten obtener una información más precisa y disponible casi de inmediato, con lo que contribuyen a mejorar la eficiencia de todas las actividades que utilizan esta información.

Así por ejemplo, en 1994 el Departamento de Transportes de Iowa completó el desarrollo de un sistema avanzado de elaboración y transmisión de partes de accidentes denominado *Mobile Accident Reporting System* (MARS). Este programa era el primer componente de un sistema de asistencia a los procesos de captación y tratamiento de la información denominado *Officer Information Manager* (OIM), que incluye todos los tipos de datos requeridos por los agentes de policía vial y por el Departamento de Vehículos a Motor del Estado.

Las funciones que incluye el OIM son las siguientes:

- Emisión electrónica de denuncias
- Elaboración asistida por ordenador de partes de accidentes
- Elaboración asistida de inspecciones de vehículos de transporte

El sistema consta de un software específico, ordenadores personales portátiles, un ordenador central y un sistema de comunicaciones. El software emula la forma de los impresos oficiales de los distintos tipos de partes e informes que los agentes deben cumplimentar en el desarrollo de sus misiones. Cuenta con una serie de herramientas que facilitan la elaboración de los informes, como son:

- Obtención de los datos de posición a través de GPS. Los receptores de GPS permiten automatizar la obtención de las coordenadas y también se utilizan para localizar en cualquier momento la posición de los vehículos y controlar sus movimientos desde el Centro de Operaciones.
- Relleno automático de los datos disponibles en las bases centrales e identificables a partir de la información relativa a la posición mediante la consulta de los registros que incluyen las bases de datos que forman parte de un Sistema de Información Geográfica, como por ejemplo denominación y punto kilométrico de la carretera, señalización, tipo de carretera y características, fecha, hora, tipo de día, etc
- Programas de CAD para la generación de croquis

- Lectores de código de barras y de cinta magnética de licencias de vehículos o de conducir con incorporación directa de los datos en los campos correspondientes
- Sistema experto de asistencia a la obtención de la información que cumplimenta todos los campos para los que se dispone de datos suficientes y realiza una comprobación automática de la coherencia de la información introducida.

El OIM incluye un sistema de comunicaciones sin cable, de forma que una vez que el agente completa la información en su terminal, los datos se transmiten a través el sistema de comunicaciones al ordenador del centro de operaciones y de este a la base de datos central, de forma que está disponible de inmediato sin que sea necesario realizar la introducción de los datos de nuevo.

La última generación del OIM se ha denominado TraCS, e incluye un aplicación cliente con sistema operativo MS Windows que permite a los agentes introducir la información, validarla, imprimirla y transmitirla a través de una terminal portátil de ordenador *pen based*. El soporte informático se completa con un programa residente en el servidor instalado en las oficinas centrales que permite realizar análisis de la información, emitir informes y recuperar los datos.

El programa realiza una validación inmediata de la información que asegura que los informes que se incorporan a la base de datos son completos y coherentes. Si se detectan errores, el agente que confeccionó el informe recibe una notificación del error detectado para que lo corrija.

Para la realización de croquis se cuenta con un programa de diseño gráfico asistido de fácil utilización que incorpora plantillas de dibujo de los elementos más frecuentes, como vehículos, peatones, obstáculos de distinto tipo, señales, disposiciones típicas de la carretera, etc. La generación de los dibujos se realiza rápidamente y tiene la ventaja de que se almacena directamente en un formato comprimido, de forma que al estar asociada al registro de la base de datos, su localización y consulta resulta muy rápida.

La transmisión de los datos se puede realizar por múltiples canales como son Internet, conexiones directas por cable o por radio, etc.

Los resultados obtenidos en un período de cinco años de aplicación de estos métodos han sido muy positivos. Más de 150.000 denuncias, 50.000 partes de accidentes y 150.000 informes de inspecciones de vehículos de transporte han sido elaborados y procesados con el nuevo sistema. Las principales ventajas son:

- Reducción del tiempo necesario para cumplimentar los informes y partes
- Reducción drástica del plazo en que la información está disponible
- Eliminación de la duplicación de entrada de datos por parte de la policía y los distintos departamentos que la utilizan

- Reducción muy significativa de los errores en los partes de accidentes gracias a un proceso de comprobación con 110 puntos

El vehículo de policía como plataforma móvil de gestión de datos

Como soporte de este sistema la FHWA, con la colaboración del Texas Transportation Institute y diversas empresas de los campos de la electrónica, las telecomunicaciones y la instrumentación, ha desarrollado un vehículo avanzado de policía (Advanced Law Enforcement Response Technology, ALERT), que constituye una plataforma móvil de recolección de información. El vehículo integra las últimas tecnologías de captación de información, soporta la grabación “in situ” de la información en formato electrónico, incorpora un sistema de transmisión de datos entre la terminal móvil, el ordenador del vehículo y el ordenador central y un controlador central de los sistemas del vehículo con interface de accionamiento por pantalla táctil.

El equipamiento básico del ALERT consta de los siguientes elementos:

- Ordenador PC a bordo del vehículo
- Dispositivo de control y conexión (Mobile Network Server: MNS) que proporciona una plataforma de red móvil que gestiona la transmisión de datos, imágenes y sonido entre los dispositivos del vehículo. El MNS crea una red local compatibilizando los distintos protocolos de comunicaciones de los distintos dispositivos incorporados al sistema.
- Bus de datos
- Pantalla táctil
- Dispositivos de comunicaciones:
 - LAN entre la terminal portátil y el ordenador del vehículo
 - Conexión bidireccional mediante CDPD (Celular Digital Packet Data), vía satélite o por radio entre el vehículo y el Centro de Operaciones

Un elemento clave para el éxito del ALERT, ya que asegura la futura evolución del sistema, es la arquitectura de comunicaciones abierta que permite la integración de todos los equipos electrónicos empleados en la operación del vehículo en un sistema único controlado por un ordenador personal situado en el maletero, y operado a través de una pantalla táctil localizada en el panel frontal. El ordenador puede conectar por radio o por telefonía celular con el ordenador central para transmitir o recibir información, de forma que la grabación de datos en el archivo central es inmediata. Un receptor de GPS permite calcular la posición del vehículo y la registra automáticamente en los informes y partes. Así mismo en todo momento es posible localizar la posición del vehículo desde la Central de Operaciones, lo que facilita el seguimiento de las unidades operativas en cada instante.

Sistemas avanzados de análisis estadístico de las frecuencias de los accidentes

La estimación de la frecuencia de los accidentes que se pueden producir en un tramo de carretera en función de sus características y de las del tráfico tiene una gran importancia, tanto en el desarrollo de los proyectos de nuevas carreteras como en el de los estudios de medidas de mejora de la seguridad en las que ya se encuentran en servicio. Aplicando las técnicas de análisis multivariante es posible estimar las relaciones existentes entre los niveles de accidentalidad y los parámetros de la carretera a partir de los registros de accidentes, la información sobre el tráfico y los inventarios de características de la carretera. Sin embargo, la aplicación de estos métodos presenta una serie de dificultades metodológicas, debidas a la variabilidad propia del fenómeno de la accidentalidad y a la gran cantidad de factores que influyen en él.

La frecuencia y la localización de los accidentes de circulación están sometidas a variaciones a lo largo del tiempo. Desde el punto de vista estadístico los accidentes de circulación pueden considerarse como sucesos aleatorios discretos e independientes y raros, es decir con una probabilidad de ocurrencia baja.

El enfoque habitual para tener en cuenta estas variaciones es considerar el número de accidentes que suceden en un año en un determinado emplazamiento, como el valor de una variable aleatoria. La distribución de Poisson es el modelo estadístico más aplicable al número de sucesos que se registran en un período de tiempo fijo en fenómenos que ocurren aleatoriamente con una frecuencia media m .

La distribución de Poisson queda determinada por su media m , que tiene que ser positiva. La distribución es siempre sesgada hacia la derecha, aunque su forma depende del valor de m : si $m < 1$, la moda es 0, mientras que si $m > 1$, la probabilidad crece primero hasta una moda cercana a m y luego disminuye.

La aplicación de los métodos de regresión multivariante permite establecer fórmulas cuantitativas para estimar la relación entre los registros de accidentes, la información sobre el tráfico y los inventarios de características de las carreteras. Sin embargo su aplicación presenta una serie de dificultades metodológicas debidas a la variabilidad propia del fenómeno de la accidentalidad y la gran cantidad de factores que influyen en él, por lo que, con frecuencia, los modelos obtenidos presentan índices de determinación muy bajos. Por ello, para obtener resultados aplicables a la predicción de los niveles de accidentalidad con una precisión admisible es necesario establecer con rigor las hipótesis de formulación de los modelos, seleccionar adecuadamente las variables que se introducen en los modelos y delimitar claramente el ámbito y las condiciones de aplicación de los modelos obtenidos.

Existe una amplia experiencia de internacional en la aplicación de modelos multivariantes para la determinación de la relación entre las tasas de accidentes y las características de la carretera, el tráfico y el entorno. Una recopilación de los resultados de las principales aplicaciones de este tipo de modelos se puede encontrar en dos informes de la FHWA (1992) y de McGee (1995).

En los últimos años, parece existir un acuerdo entre los investigadores de los países que más recursos dedican al desarrollo de este tipo de modelos en dos aspectos:

- Los modelos de regresión multivariante desarrollados a partir de la distribución de Poisson resultan más adecuados para representar el fenómeno de la accidentalidad que los modelos de regresión lineal;
- La combinación de los métodos multivariantes con técnicas de análisis bayesiano permite obtener un mejor rendimiento de la información en la predicción de los índices de accidentalidad de las carreteras en servicio.

Al analizar la información estadística de accidentalidad para la planificación de medidas de seguridad vial, es importante tener en cuenta que la frecuencia de los accidentes en un emplazamiento varía de año a año, aun en el caso en que no se haya realizado ningún cambio en él y que los niveles de tráfico se mantengan constantes.

En los modelos de regresión de Poisson, se asume que la probabilidad de un determinado suceso está distribuida según una ley de éste tipo con una media λ que depende de los valores de las variables explicativas. La formulación matemática es:

$$\text{Pr ob}[Y = y] = \frac{e^{-\lambda t} (\lambda t)^y}{y!}$$

$$\lambda = e^{\beta x}$$

siendo

Y una variable discreta que representa el número de sucesos en un período de tiempo

λ el número esperado de sucesos (número de accidentes, índice de peligrosidad) en función de las variables de regresión x

x el vector de variables explicativas

β el vector de parámetros a estimar

El ajuste de los parámetros del modelo se realiza aplicando un proceso de máxima verosimilitud en el que se calculan los valores de los parámetros que maximizan la probabilidad de obtener los valores registrados en la muestra de calibración.

El modelo de regresión de Poisson presenta una serie de ventajas sobre los modelos de regresión lineal:

- Los modelos lineales no excluyen la obtención de probabilidades positivas para valores negativos de la frecuencia de accidentes, mientras que en el modelo de

Poisson se estima el logaritmo de las frecuencias de accidentes, con lo que las predicciones de estas son no negativas;

- Los modelos lineales asumen una distribución normal de la variable dependiente, lo que resulta inadecuado para las frecuencias de accidentes.

Sin embargo, en el desarrollo de modelos de regresión de Poisson para la predicción de la frecuencia de los accidentes se ha puesto de manifiesto que en muchos casos la distribución de la variación de frecuencias de accidentes en distintos tramos presenta una varianza superior a la media, es decir superior a la que correspondería a una distribución de Poisson.

Para mejorar la precisión de las estimaciones en estos casos Miaou (1994) propone la adopción de un modelo de regresión basado en la distribución binomial negativa, con la hipótesis de que en cada tramo del conjunto considerado en el análisis el número de accidentes registrado tiene una distribución de Poisson de media $\mu = \lambda T$, siendo λ el índice de peligrosidad del tramo y T el volumen de tráfico. Se supone que la distribución de λ en el conjunto de tramos tiene una distribución gamma de parámetros λ y α . El valor de λ se estima mediante la ecuación:

$$\hat{\lambda} = e^{\hat{\beta}^T x}$$

Siendo β el vector parámetros de del modelo de regresión y x el vector de variables explicativas. El ajuste del modelo permite determinar β y α . La varianza de Y en estas condiciones resulta:

$$Var(Y/x) = \hat{\lambda} T + \frac{(\hat{\lambda} T)^2}{\alpha}$$

El segundo sumando representa la sobredispersión del modelo respecto del de Poisson. La sobredispersión disminuye cuando el valor de α aumenta, tendiendo en este caso el modelo al de Poisson.

La aplicación más ambiciosa de estas técnicas en los últimos años ha sido la correspondiente al modelo de interactivo de seguridad y proyecto de carreteras (IHSDM) de la Administración Federal de Carreteras de los Estados Unidos (FHWA), que es objeto de otro artículo en el presente número de Carreteras.

Vogt y Bared (1998) desarrollaron una serie de modelos de predicción de accidentes en tramos ordinarios e intersecciones de carreteras de dos carriles a partir de modelos de regresión multivariante de tipo Poisson y binomial negativa. Las variables de predicción consideradas en tramos sin intersecciones son: volumen de tráfico, porcentaje de pesados, anchura de calzada y de arcenes, coeficiente de peligrosidad de las márgenes, densidad de accesos y radios y pendientes.

El modelo de regresión binomial negativo resultante para las carreteras de dos carriles es el siguiente:

$$FAc = Vtr e^K \sum FpC_i e^{0,0450 GC_i} \sum FpV_j e^{0,4562 GV_j} \sum FpR_k e^{0,1048 Pte_k}$$

$$K = 0,6409 + 0,138Es - 0,0846 AnC - 0,0591 AnA + 0,668 IrM + 0,0084 DAc$$

siendo

FAc : Frecuencia esperada de accidentes en el tramo (accidentes totales/año)

FpC_i : Factor de ponderación de la i-ésima curva en planta del tramo. Es igual a la proporción de la longitud de la curva respecto de la longitud total del tramo

GC_i : Grado de la i-ésima curva en planta (grados/100 pies)

FpV_j : Factor de ponderación del j-ésimo acuerdo vertical cóncavo del tramo. Es igual a la proporción de la longitud del acuerdo respecto de la longitud total del tramo

GV_j : Grado del j-ésimo acuerdo vertical cóncavo. Es igual al cambio de pendiente por cada 100 pies

FpR_k : Factor de ponderación de la k-ésima pendiente del tramo. Es igual a la proporción de la longitud de la rampa respecto de la longitud total del tramo

Pte_k : Valor absoluto de la pendiente de la k-ésima pendiente del tramo (%)

Es : Variable indicadora del Estado en que se encuentra la carretera.

AnC : Anchura media de carril (pies)

AnA : Anchura media de arcén (pies)

IrM : Índice de riesgo de las márgenes. Toma valores entre 1 y 7 según el nivel de peligro que representa el estado de las márgenes a lo largo del tramo, de acuerdo con una escala desarrollada por Zeeger (1988)

DAc : Densidad de accesos (accesos/milla)

Este modelo se aplica en el IHSDM para determinar las tasas de accidentalidad esperadas en las condiciones base del modelo de predicción de accidentes. Las estimaciones obtenidas con las condiciones básicas se modifican mediante la aplicación de unos coeficiente correctores para tener en cuenta las diferencias respecto de estas condiciones del tramo que se considera. Los factores de modificación fueron elaborados

por un panel de expertos teniendo en cuenta el compendio de las investigaciones anteriores, estudios antes - después sobre el efecto de mejoras de seguridad vial en las tasas de accidentes y modelos de regresión específicos (Council y Harwood, 1999). Los factores desarrollados corresponden a nueve características del trazado (anchura de carril, anchura de arcén, tipo de arcén, radio de curvas en planta, peralte, pendiente, densidad de accesos, existencia de carriles adicionales de adelantamiento y estado de las márgenes) y siete de las intersecciones (número de ramales, ángulo de cruce, existencia de carriles de giro a izquierda, etc.).

En la aplicación del método a carreteras en servicio, se combinarán las estimaciones del modelo multivariante con la información de los accidentes registrados en cada tramo mediante un procedimiento método bayesiano empírico siguiendo la metodología establecida por Hauer (1992).

Estimación de las frecuencias de accidentes en carreteras en servicio por métodos bayesianos

Existen dos tipos de datos respecto del riesgo de accidente de un tramo de carretera: sus características como el tráfico, la geometría, el tipo de vía, etc. y el registro histórico de accidentalidad. El enfoque bayesiano utiliza los dos tipos de datos. Para aplicar el método es necesario contar con información sobre la media y la varianza de la tasa de accidentalidad en una población de referencia de entidades similares. El concepto de población de referencia juega un papel fundamental. El segundo tipo de datos permite estimar el registro histórico de accidentes de la entidad. Si la frecuencia de los mismos fuese la única base de predicción, las entidades que no hubiesen sufrido accidentes en el pasado tendrían un número esperado de accidentes igual a cero, lo que no tiene sentido, puesto que sólo en los casos en los que no existe exposición, el riesgo es nulo.

La aplicación del método bayesiano empírico ha sido explorada en diversos trabajos resumidos por Pardillo (1995). Está basada en la premisa de que la entidad sobre cuyo nivel de inseguridad se analiza, además de tener un registro de accidentes, pertenece a una población de entidades similares, o población de referencia, de forma que el conocimiento sobre el nivel de inseguridad de las entidades de la población de referencia es un dato respecto de la del sujeto considerado.

Así, Persaud, Retting y Lyon (1999) en su comunicación al TRB de enero de 2000 describen un procedimiento de identificación y priorización de balizamiento y señalización de curvas mediante un proceso bayesiano empírico de estimación de la frecuencia esperada de accidentes relacionados con la existencia de alineaciones curvas. El proceso se calibró con datos del Estado de Ontario del período 1988-1993. El modelo incluye como variables los parámetros geométricos del trazado, el tráfico y los datos de accidentes registrados en un período de 5 años. El proceso consta de cuatro pasos:

- Aplicación de un modelo de regresión para estimar el número esperado de accidentes en el tramo a lo largo del período considerado

- Modificación de la estimación teniendo en cuenta el número de accidentes registrado en el período de estudio aplicando el procedimiento bayesiano desarrollado por Hauer
- Aplicación del modelo de regresión para estimar el número de accidentes en un tramo recto de la misma longitud que el considerado
- La diferencia entre los accidentes esperados en la curva y en la recta se toma como valor del número de accidentes debido a la existencia de la curva

La combinación de la información relativa a las características de la carretera con la obtenida a partir de los registros de accidentes permite alcanzar un elevado grado de precisión en la identificación de los problemas, con lo que se potencia la eficacia de las medidas de mejora de la seguridad que se adopten.

Conclusiones

La atención cada vez mayor que se dedica a mejorar los procesos de obtención y análisis de la información de seguridad vial en los países más avanzados está permitiendo desarrollar procedimientos cada vez más precisos de identificación de los problemas. Con ello se puede conseguir mejorar la eficacia de las medidas de mejora de la seguridad, siempre que se complemente la mayor precisión en la identificación de los problemas con un proceso de diseño de soluciones riguroso, basado en la experiencia y los conocimientos técnicos adecuados y que se dediquen a la mejora de la seguridad los recursos necesarios.

REFERENCIAS

COUNCIL, F. y HARWOOD, D. (1999): Accident modification factors for use in the prediction of safety on rural two-lane highways. Conferencia Traffic Safety on Two Continents. Malmoe, Suecia.

FHWA: Safety Effectiveness of Highway Design Features. Vol I: Access Control; Vol II: Alignment; Vol III: Cross Sections; Vol IV: Interchanges; Vol V: Intersections; Vol VI: Pedestrians and Bicyclists. Reports FHWA-RD-91-046 a 049. U.S. Department of Transportation, 1992.

HAUER, E. (1992): Empirical Bayes Approach to the Estimation of Unsafty: the Multivariate Regression Method. Accident Analysis and Prevention Vol.24. Nº.5 pp457-477. Pergamon Press. Londres

McGEE, H., HUGHES, W. y DAILY, H. (1995): Effect of Highway Standards on Safety. National Cooperative Highway Research Program, Report 374. Transportation Research Board. Washington D.C.

MIAOU, S.P. (1994): The relationship between truck accidents and geometric design of road sections: Poisson vs. negative binomial regressions. 73rd Annual Meeting TRB. Washington D.C.

PARDILLO MAYORA, J.M. (1995): Desarrollo de una metodología de planificación y evaluación de actuaciones de mejora de la seguridad en la circulación con aplicación de las técnicas de análisis estadístico bayesiano (tesis doctoral). Departamento de Ingeniería Civil-Transportes. E.T.S.I.C.C.P. Universidad Politécnica. Madrid.

PERSAUD, B. et al. (1999): Guidelines for the identification of hazardous highway curves.. 79th Annual Meeting Transportation Research Board. Washington D.C.

VOGT, A. Y BARED, J.(1998): Accident models for two-lane rural roads: segments and intersections. Report DOT-RD-75-196. FHWA. U.S. Department of Transportation, 1998.

ZEEGER, C. et al (1988): Safety effects of cross-section design for two-lane roads. Transportation research record 1195. TRB Washington DC