

Predicción de la seguridad vial en el *Highway Safety Manual* norteamericano

Antonio Baamonde; Ignacio Pérez

Universidade da Coruña. E. T. S. I. Caminos, Canales y puertos; Campus de Elviña, s/n, 15071 A Coruña, Spain
Tel.: 981167000-Ext. 1451; email: iperez@udc.es

Resumen

En este artículo se realiza una descripción general del método predictivo de la seguridad vial desarrollado en investigaciones impulsadas por las administraciones de transporte de Estados Unidos de Norteamérica en el marco del "Highway Safety Manual" (Manual de Seguridad Vial), presentando su estructura conceptual y los pasos básicos a seguir para su aplicación. Finalmente, se razona el interés de su estudio y divulgación, se plantea su posible adaptación a otras redes de carreteras y se ponen de manifiesto los futuros desarrollos para avanzar en la utilización de este método.

Palabras clave: Seguridad Vial, "Highway Safety Manual", HSM, diseño geométrico, predicción de accidentes.

Road safety prediction in the U.S. *Highway Safety Manual*

Abstract

This paper takes a general description of the road safety predictive method developed by United States research-driven transport administrations under the "Highway Safety Manual", raising conceptual structure and basic steps for implementation. Finally, the interest of the study and divulgation, possible adaptations to other road networks and future developments to advance the use of this method are presented.

Keywords: Road Safety, "Highway Safety Manual", HSM, geometric design, accident prediction.

1. Introducción

El objetivo de este artículo es el de dar una visión general del método predictivo de la seguridad vial incluido en el "Highway Safety Manual" de las administraciones de transporte de Estados Unidos de Norteamérica. Hay que señalar que esta metodología se centra, consecuentemente, en las redes de carretera de ese país concreto partiendo y utilizando estándares de diseño, datos y conocimientos propios de la bibliografía y la técnica norteamericana. A pesar de ello, el interés de esta metodología predictiva no se agota en su aplicación concreta y en su formulación más o menos particularizada para las redes de carreteras norteamericanas sino que su desarrollo conceptual como sistema de trabajo trasciende de la misma. Por lo tanto parece una potente herramienta a la que prestar atención ya que, una vez repasada y adaptada, podría ser utilizada para redes de carreteras de otros lugares. Esta posibilidad de adaptación, si bien no trae consigo la necesidad de aceptar sin análisis crítico los modelos concretos que en ella se exponen, plantea el reto de desarrollar y adaptar formulaciones partiendo de una estructura conceptual consistente y experimentada.

Por otro lado, el repaso a la metodología planteada en el HSM es también interesante al presentar muchos de los estudios y desarrollos científicos que, sobre seguridad vial y, más concretamente,

sobre la influencia del diseño geométrico en los accidentes de circulación, se han venido haciendo en los últimos años al integrarlos en su metodología.

Por último señalar que, desde una perspectiva general, la aproximación a la metodología del HSM muestra la relación entre la seguridad vial y el diseño geométrico de las infraestructuras al poner de manifiesto la influencia relativa de cada elemento de diseño en la seguridad vial.

2. Aproximación al Highway Safety Manual

Durante los últimos diez años (Figura 1) en Estados Unidos de Norteamérica el Transportation Research Board (TRB), mediante un subcomité creado al efecto y formado por representantes de la American Association of State Highway and Transportation Officials (AASHTO), de la Federal Highway Administration (FHWA) y del Institute of Transportation Engineers (ITE), ha venido desarrollando la redacción de un nuevo documento denominado **Highway Safety Manual (HSM)** que se podría traducir como Manual de Seguridad Vial [1].

Con anterioridad a 1999 las discusiones sobre seguridad vial se enmarcaban como parte del Highway Capacity Manual (HCM) desarrollado también por las administraciones norteamericanas. Sin embargo a partir de esa fecha se estima necesario, e incluso crucial, desarrollar un documento específico enfocado íntegramente hacia la seguridad vial.

El HSM nace como una herramienta que permita “cuantificar” la seguridad vial de tal forma que los responsables en la materia puedan utilizarla en el momento de tomar decisiones relativas a la planificación, el diseño, la construcción, la explotación y el mantenimiento de las infraestructuras del transporte por carretera. Por lo tanto, trata de proporcionar información y de desarrollar procedimientos que permitan evaluar la seguridad de forma útil con el fin de que las decisiones tomadas en esta materia sigan criterios objetivos y aceptados de manera general por la comunidad científica. Su desarrollo e implantación supone un importante esfuerzo que permitiría el paso de la práctica de la seguridad vial desde un análisis cualitativo a una predicción cuantitativa.

La propia complejidad de la seguridad vial derivada de la multiplicidad de factores de diversas naturalezas que afectan a la misma (Figura 2) hace que esta evolución de lo cualitativo a lo cuantitativo, planteada el HSM, suponga un importante complemento a la normativa de diseño, explotación y mantenimiento de carreteras. La normativa, siendo la base fundamental para desarrollar los proyectos, no es suficiente para abarcar casos paradójicos donde la combinación de diversos factores puede provocar que una zona donde se cumplen todos los estándares mínimos de diseño geométrico se pueda convertir, sin embargo, en un tramo de concentración de accidentes. Este tipo de “paradojas” son las que ponen en evidencia dos dimensiones de la seguridad vial: la **Seguridad Nominal**, entendida como valores absolutos y discontinuos del riesgo procedentes de la aplicación de normas; y la **Seguridad Real**, entendida como un continuo que englobaría los múltiples factores interactuando. Estas dos dimensiones de la seguridad de la infraestructura, que en inglés se denominan **Nominal Safety** y **Substantive Safety**, se representan en la Figura 3. En esta interpretación gráfica puede observarse que a medida que se produce una mejora de los parámetros geométricos en la seguridad real se produce una disminución gradual y continua del riesgo de

accidentes; mientras que en la seguridad nominal no se observa esto sino que el riesgo permanece constante hasta llegar a un punto en que disminuye bruscamente de forma absoluta.

En este orden de ideas cabe decir que el HSM es un instrumento adicional a la normativa, que permite el paso del análisis cualitativo de la seguridad vial a su cuantificación objetiva proporcionando herramientas analíticas para predecirla. Además, el HSM sintetiza y valida la investigación desarrollada hasta el momento en el campo de la seguridad vial y adapta e integra las soluciones prácticas existentes respecto a esta materia.

Para revisar más información respecto al Highway Safety Manual nos remitimos a las direcciones Web tanto del propio HSM [IV], como del Turner – Fairbank del Highway Research Center [V] y del TRB [VI].

3. Metodología de predicción de la seguridad del HSM

El HSM plantea una metodología para predecir la seguridad de una determinada infraestructura de carretera combinando el uso de los datos históricos de accidentes, análisis regresivos de modelos de accidentes, estudios “antes – después” y dictámenes de expertos en la materia.

Este método sirve para estimar la seguridad de una determinada carretera existente o en fase de estudio y bajo las condiciones de tráfico existentes o su demanda esperada en el futuro.

La medida de la seguridad se establece por la frecuencia anual esperada de accidentes que puede ser calculada para un determinado elemento de la carretera o para la infraestructura completa.

El sistema propuesto establece una frecuencia prevista de accidentes teniendo en cuenta dos variables fundamentales: por un lado, el efecto del volumen de tráfico que se incorpora a través de los modelos base, y, por otro lado, los efectos de la geometría y el control del tráfico que se incorporan a la predicción mediante los Factores de Modificación de Accidentes (Figura 4). A estas dos variables fundamentales hay que añadir su calibración a las condiciones locales.

4. Proceso de predicción de la seguridad

El proceso de predicción de la seguridad se puede resumir en los siguientes puntos [I]:

- 1) Seleccionar el elemento que se pretende evaluar.
- 2) Aplicar un Modelo Base, que se tratará en general de una distribución binomial negativa. Estas funciones se denominan en el HSM Funciones de Predicción de Accidentes (en inglés: Safety Performance Functions; abreviado SPFs).

(La elección de distribuciones binomiales negativas en general como modelos base se debe a que la experiencia americana indica que este tipo de distribuciones son las que mejor se adaptan a la alta variabilidad de los datos de accidentes).

- 3) Sobre el Modelo Base aplicar un factor de calibración para adaptarlo a las condiciones locales.
- 4) Ajustar el modelo calibrado mediante Factores de Modificación de Accidentes (en inglés: Accident Modification Factors; abreviado: AMFs) que representan los efectos en la seguridad de cada

elemento de diseño geométrico y cada elemento de control de tráfico característicos del elemento evaluado.

- 5) Determinar la frecuencia de accidentes y su distribución por gravedad y tipo de colisión
- 6) Obtener los valores finales de la predicción.

En este sentido, la ecuación que se utiliza para predecir la frecuencia de accidentes es la siguiente [I]:

$$N_{\text{predicted}} = N_{\text{spfx}} * (AMF_{1x}) * (AMF_{2x}) * \dots * (AMF_{yx}) * C_x \quad (1)$$

Donde: $N_{\text{predicted}}$ = número total previsto de accidentes por año en el elemento que se pretende evaluar después de aplicar los Factores de Modificación de Accidentes; N_{spfx} = número total previsto de accidentes por año en el elemento a evaluar para las condiciones base o nominales; AMF_{1x} AMF_{2x} ... AMF_{yx} = Factores de Modificación de Accidentes para el elemento a evaluar; C_x = factor de calibración para el elemento a evaluar desarrollado para usarse en su área geográfica teniendo en cuenta las condiciones locales.

Este proceso de predicción de la seguridad vial es aplicable, integrando predicciones, tanto a elementos de una infraestructura como a conjuntos de elementos. Es aplicable tanto en infraestructuras en fase de proyecto, que todavía no han sido construidas, como para infraestructuras existentes. Además puede aplicarse teniendo en cuenta tráfico actual, realmente existentes en la infraestructura, o tráfico previstos en el futuro, tanto para una supuesta infraestructura planificada como para una infraestructura en explotación. (Figura 5).

Un aspecto muy interesante de esta metodología es que permite establecer comparaciones entre el número de accidentes anuales esperados que resulten de implementar diversas soluciones de diseño que se planteen para un determinado elemento de una carretera en servicio (por ejemplo, un tramo de concentración de accidentes que se pretende mejorar) o en fase de proyecto (por ejemplo, una zona de especial complejidad por la acumulación de varios estándares mínimos de diseño geométrico).

5. Interés científico del HSM y posible adaptación a otras redes de carreteras

Como se ha señalado anteriormente, el método predictivo de la seguridad vial, del que este artículo pretende dar una aproximación divulgativa general, viene siendo desarrollado como tal desde 1999, sin embargo, su desarrollo conceptual partió e incluyó los avances que en el estudio de la relación entre la seguridad vial y la infraestructura de transporte por carretera se venían realizando con anterioridad por numerosos investigadores en todo el mundo y que constituyen su base científica fundamental. Cabe señalar, por tanto, la importancia que en la redacción del HSM han tenido tanto los estudios anteriores realizados por Hughes, Douglas y Hauer [VII] como los documentados por Harwood et al. [VIII], que sirvieron de base para la redacción del capítulo prototipo del HSM (referente exclusivamente a carreteras rurales de dos carriles), publicado en marzo de 2004, con el objeto de realizar un acercamiento práctico sencillo a la metodología. Sólo por este aspecto, el de englobar los conocimientos anteriores en esta materia, el HSM ya tendría importancia suficientemente como para prestarle atención. Si, además, tenemos en cuenta el valor añadido que supone el desarrollo

conceptual de una herramienta que aporta un sistema de trabajo que cuantifica la seguridad vial facilitando criterios objetivos para la toma de decisiones, llegamos a la conclusión de que es un instrumento decisivo.

Si bien es cierto que el método predictivo está desarrollado por las administraciones Norteamericanas de transporte para su aplicación en las redes de carreteras de Estados Unidos, no es menos cierto que la estructura de la herramienta e, incluso parte de su formulación, pueden ser adaptadas para su utilización en otras redes de carreteras una vez estudiadas en profundidad.

Desde nuestro punto de vista, una adaptación al escenario español, aun necesitando de un desarrollo científico importante no carente de retos, aportaría una herramienta potente y útil para tener en cuenta la seguridad en el diseño de las carreteras de nuestro país. Esta adaptación supondría realizar un análisis crítico de la formulación concreta presentada en el HSM y una revisión del mismo tanto para carreteras rurales de dos carriles como para autovías y vías urbanas. Una vez desarrollada o refinada la formulación de los modelos base a utilizar en cada caso, habría que proceder a su calibración para las condiciones locales. También habría que contrastar o verificar los Factores de Modificación de Accidentes y elegir los adecuados para la red de carreteras a estudiar.

Es evidente que, para desarrollar todo este proceso, habría que contar con datos de accidentes fiables y detallados. Disponiendo de este tipo de datos se podrían establecer distribuciones calibradas para cada zona homogénea de la red de carreteras a estudiar clasificando los mismos por gravedad, tipos de colisión, etc.

6. Futuros desarrollos en el marco del HSM

Por último, señalar que, desde el punto de vista de la investigación global en este campo, los esfuerzos científicos actuales se centran, por un lado, en el desarrollo de los Factores de Modificación de Accidentes y, por otro lado, en los procesos de calibración de los modelos base a las condiciones locales. El desarrollo de los Factores de Modificación de Accidentes, tanto la mejora de los ya contemplados como la incorporación de nuevos AMFs, es importante para que cada vez se consiga reflejar de forma más fidedigna la influencia del diseño de la carretera en la seguridad vial. Para profundizar en este aspecto se señalan los estudios desarrollados en Estados Unidos por los Estados de Texas [IX] y Oregon [X] o, incluso, en las páginas Web de las organizaciones: Crash Modification Factors Clearing House [XI] y Safety Analyst [XII]. En lo que se refiere al avance en los procesos de calibración de los modelos base a las condiciones particulares de cada red de carreteras hay que señalar que en el HSM se incluye un método para realizar esta calibración en los Estados Norteamericanos. También se pueden consultar a este respecto los estudios de los Estados de Texas [XIII] y Louisiana [XIV].

7. Conclusiones

De este trabajo se deducen las conclusiones siguientes:

- La metodología desarrollada por el HSM puede ser un instrumento decisivo que aporte a los responsables de la planificación, el diseño, la construcción y la explotación de carreteras una base conceptual y un sistema de trabajo que permitan cuantificar la seguridad vial.

- La metodología proporciona una nueva perspectiva para afrontar los problemas de seguridad vial al facilitar criterios objetivos para la toma de decisiones.
- La adaptación de este método a redes y casos diferentes de los norteamericanos podría ser interesante, pero necesitaría un estudio profundo y un análisis crítico de la formulación concreta presentada en el HSM.
- En una posible adaptación a las redes españolas habría que tener en cuenta las diferencias entre nuestros tipos de infraestructuras de carretera y las americanas (diferentes en cuanto a tipos de intersecciones, autovías frente a carreteras multicarril, etc.).
- En esa adaptación habría que desarrollar o refinar la formulación para los modelos base, su calibración a las condiciones locales y contrastar o verificar los Factores de Modificación de Accidentes adecuados para los nuevos casos.
- Para desarrollar todo este proceso de investigación habría que contar con datos de accidentes que permitan establecer distribuciones calibradas para cada zona homogénea de la red de carreteras a estudiar clasificando los mismos por gravedad, tipos de colisión, etc.
- Por lo tanto, aunque se parta de una estructura conceptual consistente y experimentada, la adaptación al escenario español supondría un reto importante.
- Es lógico pensar que merece la pena emprender ese camino puesto que aportaría una potente y útil herramienta para la toma de decisiones.

Desde un punto de vista de investigación global en este campo, los esfuerzos actuales se centran en dos aspectos:

- Desarrollo de los Factores de Modificación de accidentes, tanto en la mejora de los ya considerados hasta el momento como en la incorporación de nuevos AMFs
- Avance en los procesos de calibración de los modelos base a las condiciones particulares de cada red

8. Referencias bibliográficas

- [I] American Association of State Highway and Transportation Officials. *Highway Safety Manual (HSM)*, 1st Edition, AASHTO, 2010.
- [II] Krammes, R. *Overview of the new Highway Safety Manual*, Missouri Traffic and Safety Conference, Federal Highway Administration, 2009
- [III] Molinero, A. *Estudio de Accidentalidad e Infraestructura Vial en carreteras de una calzada de Diputaciones Provinciales*, Sesión Técnica Observatorio Nacional de Seguridad Vial, Fundación CIDAUT, 2009
- [IV] <http://www.highwaysafetymanual.org>. American Association of State Highway and Transportation Officials, AASHTO.
- [V] <http://www.tfhrc.gov>. TURNER – FAIRBANK. HIGHWAY RESEARCH CENTER. Federal Highway Administration. U.S. Department of transportation.
- [VI] <http://www.tfhrc.gov>. TURNER – FAIRBANK. HIGHWAY RESEARCH CENTER. Federal Highway Administration. U.S. Department of transportation.

- [VII] Hughes, W., Eccles, K., Harwood, D., Potts, I., Hauer, E. (2004) *Development of a Highway Safety Manual*. Transportation Research Board (TRB).
- [VIII] Harwood, D., Council, F., Hauer, E., Hughes, W., Vogt, A. (2000) *Prediction of the expected safety performance of rural two – lane highways*. Federal Highway Administration, Report n° FHWA-RD-29-207. McLean, Virginia, EEUU.
- [IX] Bonneson, J., Lord, D. (2005). *Role and application of Accident Modification Factors in the Highway design process*. Texas Transportation Institute.
- [X] Monsere, C., Bertini, R., Breakstone, A., Boner, C., Bosa, P., Houssage, D., Morowitz, Z., Hunter-Zaworski, K. (2006) *Update and Enhancement of ODOT's Crash Reduction Factors*. Oregon Department of Transportation.
- [XI] <http://www.cmfclearinghouse.org>. Crash Modification Factors Clearing House. Federal Highway Administration. U.S. Department of transportation.
- [XII] <http://www.safetyanalyst.org>. Safety Analyst. Federal Highway Administration. U.S. Department of transportation.
- [XIII] Schneider, W., Fitzpatrick, K. (2005) *The Development and Evaluation of Calibration Factors For The Rural Two – Lane Highway Draft Prototype Chapter*. Texas Transportation Institute. Prepared For Transportation Research Board.
- [XIV] Sun, X., Li, Y., Magri, D., Shirazi, H. (2005). *Application of Highway Safety Manual Draftchapter: Louisiana experience*. University of Louisiana, Louisiana Department of Transportation and Development. Submitted to the 85th Transportation Research Board.



Figura 1. HSM: Más de diez años de esfuerzo en investigación y desarrollo [II]



Figura 2. Complejidad de la seguridad vial [III]

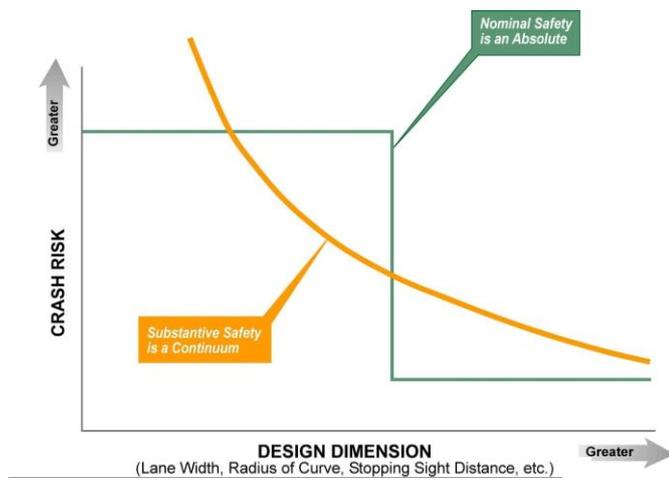


Figura 3. Seguridad Nominal (Nominal Safety) y Seguridad Real (Substantive Safety) [II].



(a) VOLUMEN DE TRÁFICO

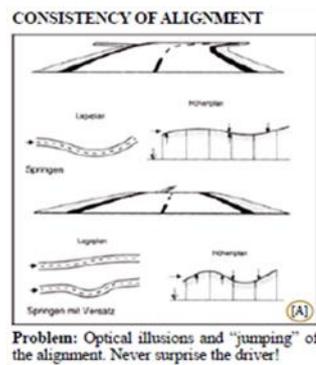


(b) GEOMETRÍA Y CONTROL DEL TRÁFICO



CONDICIONES LOCALES

Figura 4. Frecuencia prevista de accidentes [I], [III]



ELEMENTOS PARTICULARES Y CONJUNTOS DE ELEMENTOS
 INFRAESTRUCTURAS EXISTENTES O EN PROYECTO
 TRÁFICOS ACTUALES O PREVISTOS EN EL FUTURO

Figura 5. Alcance del método de predicción de la seguridad [I]