

ANÁLISIS DE LA SEGURIDAD VIAL ESPAÑOLA: UN MODELO INTEGRADO PARA LA EVALUACIÓN DE LOS PRINCIPALES FACTORES DE INFLUENCIA.

Francisco Aparicio Izquierdo

Catedrático de Transportes de la Escuela Técnica Superior Ingenieros Industriales (ETSII), Director del Instituto de Investigación del Automóvil (INSIA). Universidad Politécnica de Madrid (UPM), España.

José Gutiérrez Abascal Nº 2. 28006. Madrid, España

Tel. +34913363014. Fax. +34913363014. e-mail:barenas@etsii.upm.es

Eva Bernardos Rodríguez

Investigador del INSIA. ETSII. UPM, España

Blanca Arenas Ramírez

Investigador del INSIA. ETSII. UPM, España

Álvaro Gómez Méndez

Investigador del INSIA. ETSII. UPM, España

Javier Páez Ayuso

Profesor Titular de Universidad, Cátedra de Transportes de la ETSII, INSIA. UPM, España.

RESUMEN

Durante décadas, los investigadores han intentado identificar los factores más importantes que afectan a la seguridad vial, tratando además, de medir el grado de tal efecto. Este interés se ha acentuado de forma considerable en los últimos años, lo que se ha visto reflejando en el planteamiento de las nuevas políticas estratégicas, con la fijación de objetivos numéricos.

Para poder analizar de forma rigurosa el efecto de los factores que influyen sobre la seguridad vial, y poder utilizar dichos resultados para establecer objetivos realistas en los planes estratégicos marcados

en las políticas de seguridad vial, es imprescindible disponer de herramientas econométricas adecuadas. En este sentido, cabe destacar la metodología DRAG, la cual permite solucionar los problemas más importantes asociados al desarrollo de modelos en series temporales, tales como la heterocedasticidad, la autocorrelación o la forma funcional, a la vez que presentan una estructura multicapa que analiza las tres dimensiones principales de la seguridad vial (exposición, frecuencia de accidentes y severidad). Cada una de estas dimensiones es objeto de una ecuación propia que analiza los principales factores de influencia: variables económicas, infraestructura, climatología, conductores, características del parque, vigilancia, velocidad y medidas legislativas en seguridad, entre otros. Dado el gran éxito obtenido en la aplicación de esta metodología en diversos países y regiones, el INSIA ha adaptado la metodología DRAG a la situación de la seguridad vial española, realizando el modelo DRAG-España. Por su mayor interés, este trabajo presenta únicamente los resultados de los modelos desarrollados para accidentes, los cuales estudian los accidentes con heridos y los accidentes mortales de forma diferenciada, lo que ha permitido analizar la diferente influencia de una misma variable sobre estos distintos tipos de accidentes.

PALABRAS CLAVE: accidentes, modelos macroscópicos, seguridad vial

1. INTRODUCCIÓN

Los accidentes de tráfico continúan siendo un problema de primer orden en las sociedades modernas, donde representan la primera causa de mortalidad entre la población joven. En España, hubo en 2006, 99.797 accidentes con víctimas, 4.104 víctimas mortales y 21.382 heridos graves en vías interurbanas.

El diseño de políticas de seguridad se está beneficiando de métodos estadísticos cada vez más complejos. Por una parte, la cuantificación del impacto de nuevas medidas legislativas requiere la aplicación de modelos multivariantes que permitan depurar el efecto de las restantes variables de influencia. Por otra parte, se ha generalizado la utilización de planes estratégicos con objetivos numéricos de reducción de accidentes y víctimas. Por ejemplo, la Comisión Europea propuso el objetivo de reducir el número de víctimas mortales un 50% en el periodo 2000-2010. Por su parte, el gobierno español fijó el objetivo de reducir el número de muertes un 40% en el periodo 2003-2008. La determinación de estos objetivos, así como la contribución previsible de las principales

líneas políticas a su cumplimiento, exige el desarrollo de modelos que combinen la posibilidad de efectuar predicciones, con la capacidad de tener en cuenta un conjunto amplio de factores de influencia a un nivel macroscópico.

El Instituto Universitario de Investigación del Automóvil (INSIA) ha desarrollado una investigación para el desarrollo de un modelo basado en la metodología DRAG, y denominado modelo DRAG-España. El modelo consta de tres capas en las que se analizan simultáneamente la exposición, los accidentes y la severidad en la red interurbana española, elaborando en estos dos últimos casos, sendos modelos que diferencian entre tipos de accidentes (accidentes con heridos y accidentes mortales) y tipos de severidad (morbilidad y mortalidad). En este trabajo y debido a su mayor interés, únicamente se presentan los resultados de los modelos de accidentes.

2. METODOLOGÍA DRAG

Una de las características principales de los modelos DRAG es el desarrollo de una estructura multicapa que integra las tres dimensiones principales de la seguridad vial, (exposición, frecuencia de accidentes y severidad), cada una de las cuales es objeto de una ecuación propia que considera los principales factores de influencia: variables socioeconómicas, demográficas, parque y características de los vehículos, infraestructura, conductores, clima y legislación sobre seguridad entre otras. Así, la estructura multicapa queda definida por las siguientes ecuaciones:

$$\left[\begin{array}{l} \text{Exposición} \leftarrow [\text{---}, \text{Otros factores } (X_1)] \\ \text{Accidentes} \leftarrow [\text{DR}, \text{Otros factores } (X_2)] \\ \text{Severidad} \leftarrow [\text{DR}, \text{Otros factores } (X_3)] \end{array} \right] \quad (1)$$

donde DR es la exposición y X_i son los factores explicativos en cada dimensión, cuya relación con la variable a modelar o dependiente quedará establecida mediante ajustes estadísticos, proporcionando así una medida óptima de evaluación del análisis de influencias. Además, la exposición se introduce como variable independiente dentro de las ecuaciones de accidentes y severidad, de forma que es el propio modelo el que determina la relación existente entre ambas variables, sin necesidad de imponer una relación fija de proporcionalidad propia de muchos de los modelos previos, en los que la variable a modelar era la tasa de accidentes (cociente entre accidentes y exposición).

De esta forma es posible modelar cada una de las componentes de la seguridad vial por separado, y combinar los resultados para obtener el número de víctimas:

$$Víctimas = accidentes \times severidad \quad (2)$$

2.1 Modelo estadístico

Cada una de las ecuaciones anteriores sigue un modelo estadístico que consta de tres ecuaciones, a partir de las cuales se establece la forma funcional del modelo mediante la transformación Box-Cox (3), se corrige la heterocedasticidad (4) y la autocorrelación (5):

$$Y_t^{(\lambda_y)} = \sum_{k=1}^K \beta_k X_{kt}^{(\lambda_{yk})} + u_t \quad (3)$$

$$u_t = v_t * f(Z_{mt})^{1/2} \quad (4)$$

$$v_t = \sum_{l=1}^r \rho_l * v_{t-l} + w_t \quad (5)$$

donde Y_t es la variable dependiente en el mes t , λ_y es el parámetro de transformación asociado a la variable dependiente y_t , X_{kt} representan las k variables independientes para el mes t , β_k es el coeficiente de regresión asociado a la variable X_k , λ_{Xk} es el parámetro de transformación asociado a la variable X_k , u_t es el término de error sin corregir de autocorrelación y heterocedasticidad, v_t es el término de error homocedástico, Z_{mt} representan las m variables heterocedásticas sin corregir de autocorrelación, w_t es ruido blanco y ρ_l son los parámetros autorregresivos asociados al retardo l .

En la primera ecuación las variables a modelar Y_t y los factores de influencia X_{kt} , están sujetas a la transformación Box-Cox (BCT), de manera que el modelo adquiere una forma funcional flexible siendo los propios datos los que determina la relación entre las variables. La transformación Box-Cox está definida para cualquier variable positiva de la siguiente forma:

$$Y_t^{(\lambda_y)} = \begin{cases} \frac{Y_t^{\lambda_y} - 1}{\lambda_y} & \lambda_y \neq 0 \\ \ln(Y_t) & \lambda_y = 0 \end{cases} \quad (6)$$

Mediante la ecuación (4) se corrige la presencia de heterocedasticidad en los residuos u_t . Las variables Z_{mt} son los factores heterocedásticos, y se introducen en el modelo en función de la inversa de la transformada de Box-Cox, con el parámetro de transformación igualado a cero:

$$f(Z_{mt}) = IBCT\left(\sum_{m=1}^M \delta_m Z_{mt}\right) = \exp\left(\sum_{m=1}^M \delta_m Z_{mt}^{(\lambda_m)}\right) \quad (7)$$

Finalmente, la ecuación (5) corrige la autocorrelación de los residuos v_t de forma que el término de error w_t sigue un proceso de ruido blanco. Para corregir la autocorrelación, el

modelo asume que los residuos v_t siguen un proceso estacionario autorregresivo de orden I (AR(I)).

El programa TRIO, desarrollado por Liem et al (2000), estima todos los parámetros del modelo por máxima verosimilitud proporcionando entre otros resultados, los valores de las elasticidades y de su estadístico-t asociado, mediante los cuales es posible analizar la influencia y la significación de cada variable. Además, el programa TRIO facilita el test de Besley, mediante el cual es posible analizar la presencia de multicolinealidad en cada modelo. A este respecto, cabe decir que los modelos han sido ajustados prestando especial atención a este problema, siendo los coeficientes estimados robustos, tanto en valor como en signo. Es por ello, que la versión final de los modelos que aquí se presenta resulta satisfactoria desde este punto de vista.

3. PLANTEAMIENTO DEL MODELO, VARIABLES Y FUENTES DE INFORMACIÓN

En el desarrollo de un modelo estructural de las características de los modelos DRAG, en el cual se analiza el sistema de seguridad vial en todos sus ámbitos a un nivel interno y por tanto teniendo en cuenta la evolución y desarrollo del país, es fundamental realizar una adaptación adecuada de la estructura del modelo a las condiciones específicas del país, mediante la elección de un marco espacio-temporal adecuado. En el modelo DRAG-España, esta adaptación se ha llevado a cabo tomando como marco de movilidad la red interurbana de carreteras. Esta decisión está basada fundamentalmente en el mayor porcentaje de accidentes y víctimas mortales que tienen lugar en este tipo de red, con casi el 80% del total, y en el gran aumento de movilidad que ha experimentado esta red en los últimos años, con un incremento prácticamente del 100% en el periodo de estudio. Además, los datos disponibles relativos a zona urbana son, en general, de peor calidad que los relativos a zonas interurbanas.

En cuanto al marco temporal, el periodo que abarca el modelo DRAG-España comprende desde Enero-1990 hasta Diciembre-2004, lo que representa un total de 180

datos. La elección de este marco temporal se realizó en base a la disponibilidad de datos sobre las variables por un lado, ya que muchas de las variables de estudio no estaban registradas con anterioridad a 1990, y a la predicción por otro, dejando un margen de 2 o 3 años para la posterior comparación de los datos ajustados por el modelo con los datos reales.

Para el correcto desarrollo de los modelos ha sido necesario recopilar una gran cantidad de variables pertenecientes a los principales factores de influencia. Durante esta tarea, el equipo investigador se enfrentó fundamentalmente con dos problemas: la ausencia de variables y el registro de variables en frecuencia distinta a la mensual. Ante el primer problema, se optó por incluir, en los casos que fuera posible, variables auxiliares que representasen, de la mejor forma posible, el fenómeno que se pretendía explicar. Un ejemplo claro de este tipo de variables lo encontramos en la velocidad, donde los datos no están disponibles. Para paliar esta ausencia, se decidió incluir en los modelos una variable relacionada con la velocidad como son el “porcentaje de positivos en los controles de radar”. Para poder incluir aquellas variables registradas en periodicidad distinta a la mensual (normalmente anual o trimestral), hubo que recurrir a procedimientos auxiliares tales como la interpolación y la desagregación de datos. Ambos procedimientos son perfectamente válidos y han sido utilizados dependiendo de la naturaleza de la variable. Así por ejemplo, variables como la proporción de red de alta capacidad o el porcentaje de vehículos del parque con más de 10 años de antigüedad, fueron generadas mediante interpolación, ya que la naturaleza de la variable, con escasa estacionalidad, hace que sea posible aplicar una variación constante mes a mes sin temor a que existan fluctuaciones no registradas en la variable. En otros casos, sin embargo, ha sido necesario recurrir a alguna variable auxiliar (desagregación) que representase de forma precisa el comportamiento intermensual de la variable a obtener. Entre las variables obtenidas mediante este procedimiento destaca la exposición, cuya variación mensual es obtenida a partir de los datos de exposición relativos a las autopistas de peaje de la Red de carreteras del estado (RCE).

4. MODELO DE ACCIDENTES

Se han identificado 19 variables que contribuyen a explicar las variaciones mensuales del número de accidentes con heridos y accidentes mortales. En la tabla 1 se exponen los resultados de las elasticidades asociadas a cada variable, así como el valor de su estadístico t, el cual determina el grado de significación de la variable. Los resultados serán analizados por grupos de variables, dando su valor en términos de elasticidades referidos a un incremento de un 10%, es decir, el incremento esperado del número de accidentes si se produce un incremento del 10% de cada variable independiente, y el resto de factores permanecen constantes.

Tabla 1: Resultados de los modelos de accidentes

<i>Factores explicativos</i>	Accidentes con heridos	Accidentes mortales
	<i>Elasticidad (%) (estadístico-t)</i>	
Exposición		
<i>Exposición total</i>	+7,16 (6,49)	+7,66 (4,9)
<i>Proporción de vehículos pesados</i>	-2,77 (-2,69)	-0,38 (-0,27)
Infraestructura		
<i>Inversión en mantenimiento</i>	-1,94 (-1,29)	+2,23 (1,39)
<i>Proporción de longitud de Red de alta capacidad</i>	-2,34 (-0,95)	-2,87 (-0,63)
Climatología		
<i>Días de niebla</i>	+0,09 (0,86)	+0,04 (0,19)
<i>Días con el suelo cubierto de nieve</i>	+0,15 (1,8) (1,75)	-0,05 (0,3) (-0,21)
<i>Precipitación media</i>	+0,15 (1,78)	-0,39 (-2,94)
<i>Temperatura</i>	+0,42 (1,19)	+0,18 (0,21)

<i>Factores explicativos</i>	Accidentes con heridos	Accidentes mortales
	<i>Elasticidad (%) (estadístico-t)</i>	
Conductores		
<i>Porcentaje de conductores noveles</i>	+0,40 (0,20)	+4,17 (2,51)
Condiciones económicas		
<i>Paro registrado</i>	-1,97 (-2,07)	-1,07 (-0,6)
Calendario		
<i>Sábados, domingos y festivos</i>	+0,66 (2,07)	+1,71 (2,52)
Características del parque		
<i>Porcentaje de vehículos con más de 10 años de antigüedad</i>	+8,71 (1,42)	+8,89 (1,46)
<i>Porcentaje de vehículos con ABS</i>	-0,12 (-0,40)	-0,65 (-2,32)
Vigilancia		
<i>Controles aleatorios de alcoholemia</i>	-0,04 (-0,13)	-1,38 (-2,95)
<i>Agentes de tráfico</i>	-2,09 (-0,86)	-3,59 (-1,69)
<i>Suspensiones del carné de conducir</i>	-0,27 (-0,79)	-0,69 (-1,45)
Velocidad		
<i>Porcentaje de positivos en los controles en radar</i>	+0,90 (0,98)	+0,96 (0,74)
Leyes		
<i>Ley del endurecimiento del alcohol*</i>	+0, 8 (0,13)	-4,4 (-1,38)
<i>Ley92*</i>	-14,0 (-3,45)	-12,3 (-1,74)

*Las leyes se analizan en un 100% por tratarse de variables dummies

Del desarrollo de los modelos anteriores se han obtenido las siguientes conclusiones:

Exposición:

La mayoría de los estudios realizados sobre accidentes y/o víctimas, incluyen una medida de exposición que permita comparar y analizar los resultados obtenidos. La unidad más adecuada para tal fin son los vehículos-kilómetro, pero algunos estudios, normalmente por falta de datos, utilizan medidas aproximadas como parque o población. En la realización de un modelo econométrico, es habitual asumir una relación proporcional entre los accidentes y la medida de exposición escogida, mediante la modelización de la variable en forma de tasa. Sin embargo, este supuesto ha sido rechazado por diversos estudios, (Fridstrom e Ingebrigtsen, 1991; Fridstrom et al, 1995; Mountain y otros, 1996) donde al introducir la medida de exposición como variable independiente, se obtuvieron valores inferiores a la unidad en la estimación de la elasticidad.

Exposición total: Medida por el número de vehículos-kilómetro recorridos por todos los vehículos del parque en la red interurbana. Según los resultados de los modelos, los accidentes no resultan ser proporcionales a la exposición. Así, un incremento de un 10% en la exposición supone un aumento de un 7,16% en accidentes con heridos y de un 7,66% en accidentes mortales.

Proporción de vehículos pesados: La influencia de la proporción de vehículos pesados difiere tanto en valor como en significación entre tipos de accidentes. Mientras que los accidentes con heridos disminuyen en un 2,77%, los accidentes mortales apenas se reducen un 0,38%. Otros análisis llevados a cabo por el grupo investigador, han puesto de manifiesto que estos resultados podrían estar influenciados por el descenso del porcentaje de kilómetros recorridos por vehículos pesados durante los meses de verano, en los que el tráfico de turismo experimenta un gran crecimiento. Por tanto, las elasticidades obtenidas por los modelos podrían estar sobrestimadas, por lo que su

interpretación debe ser realizada con cautela, a la espera de otros análisis más detallados.

Infraestructura:

Para poder analizar de forma conveniente la infraestructura de la red de carreteras, se han incluido en los modelos dos variables: una referente al tipo de red, teniendo en cuenta la proporción de red de alta capacidad, y otra relativa a la calidad de la red, mediante las inversiones realizadas en mantenimiento. Hay relativamente pocos estudios relacionados con las mejoras en infraestructura, siendo además los resultados poco definidos. Entre las variables más ampliamente analizadas destacan el “mantenimiento en invierno de las carreteras” y la “mejora de la superficie de la vía”. Si bien en el primer caso los resultados son unánimes, estimando importantes descensos en los accidentes, en el segundo caso los coeficientes estimados varían tanto en valor como en signo, prediciendo descensos en los accidentes asociados a mejoras en la fricción de la superficie, e incrementos en los casos de mejoras en la uniformidad o reasfaltados (Elvik y Vaa, 2004). En cuanto al tipo de red, los resultados encontrados son acordes a los ya publicados. Por ejemplo, Rivas et al (2007) estudiaron este fenómeno para España, obteniendo elasticidades negativas de la variable sobre la tasa de víctimas mortales.

Inversión en mantenimiento: Esta variable viene medida en euros invertidos por kilómetro de red. En este caso, las elasticidades asociadas difieren en signo, resultando negativa para accidentes con heridos y positiva para accidentes mortales. De esta forma, el mantenimiento de la red reduciría un 1,94% los accidentes con heridos, mientras que aumentaría en un 2,23% los accidentes mortales. Estos resultados deben ser analizados con cautela ya que, por una parte, el momento en el que se realiza el gasto puede no coincidir con el momento en el que se ejecutan las operaciones de mantenimiento y por otra parte, no se ha tenido en cuenta el posible impacto en los meses siguientes al de ejecución del gasto. Por último, no puede descartarse que el

riesgo en determinados tramos aumente durante la ejecución de obras de mantenimiento.

Porcentaje de longitud de red de alta capacidad: Esta variable está definida como el cociente entre la longitud de red de alta ocupación y la longitud total de la red de carreteras interurbanas. Los modelos muestran cómo el incremento de kilómetros de este tipo de red favorece la seguridad, reduciendo los accidentes con heridos en un 2,34% y los accidentes mortales en un 2,87%.

Climatología:

Los resultados muestran que las condiciones climatológicas adversas pueden jugar un papel importante en los accidentes. Estudios relacionados con la climatología muestran el impacto negativo de la lluvia y la nieve sobre los accidentes con víctimas (Eisenberg, 2004; Fridstrom et al, 1995). Difieren sin embargo los resultados publicados para accidentes mortales, donde dependiendo de la periodicidad del modelo se pueden encontrar signos positivos o negativos para accidentes mortales (Eisenberg, 2004).

Días de niebla: Esta variable representa el número medio de días de niebla en un determinado mes. A juzgar por los resultados del estadístico t, los resultados mostrados en los modelos son poco significativos, aunque en ambos casos el signo obtenido es positivo. Los valores de elasticidades obtenidos, 0,09% y 0,04% para accidentes con heridos y accidentes mortales respectivamente, muestran poca influencia de la niebla sobre los accidentes.

Días con el suelo cubierto de nieve: Medida como el número medio de días con el suelo cubierto de nieve del mes. Esta variable es una cuasy-dummy por lo que el modelo presenta dos resultados: el primero está asociado al hecho de que exista o no algún día del mes en el que el suelo esté cubierto de nieve (dummy). En este caso, los resultados asocian un incremento del 1,8% en el número de accidentes con heridos, y de un 0,3% en el número de accidentes mortales, en aquellos meses en los que la variable toma

valor no nulo. La otra elasticidad obtenida por el modelo hace referencia a la variación existente en los accidentes con el aumento de los días de suelo cubierto de nieve. En este caso, los efectos sobre los accidentes con heridos y los accidentes mortales difieren en signo ya que mientras que los primeros aumentan un 0,15%, los segundos disminuyen un 0,05%.

Precipitación: Medida como el promedio mensual de precipitación en mm cúbicos. Los resultados hallados son análogos a los encontrados para la anterior variable, aunque en este caso la reducción de accidentes mortales es muy superior, resultando la variable significativa. Así, los accidentes con heridos se incrementarían en un 0,15%, mientras que los mortales se reducirían en un 0,39%.

Temperatura: Medida como la temperatura media mensual, en grados centígrados. El incremento de la temperatura, incrementa los accidentes con heridos en un 0,42%, y los mortales en un 0,18%.

Conductores:

Entre los factores asociados a los conductores, la bibliografía consultada (Clarke et al, 2006; Gregersen y Bjurulf, 1995; Cooper et al, 1995) destaca la inexperiencia como el factor de mayor influencia sobre los accidentes. Las características asociadas al comportamiento del individuo son el principal argumento de tales resultados, tal y como demostró Boyce (2002). En su estudio, Boyce analizó las diferencias existentes en la manera de conducir dependiendo de la edad, destacando la mayor velocidad media y menor distancia de seguridad que utilizan los jóvenes.

Proporción de conductores noveles: Por conductores noveles se entienden aquellas personas que han obtenido el carné de conducir durante el año anterior. La proporción se establece como el cociente entre el número de conductores noveles y el censo total de conductores. Los resultados muestran, un fuerte incremento de los accidentes mortales con el incremento de conductores noveles. La elasticidad hallada por el

modelo es superior al 4% mientras que la elasticidad asociada a los accidentes con heridos es de apenas un 0,4%. Estos resultados sostienen la teoría de que la inexperiencia es uno de los factores más determinantes en los accidentes mortales.

Condiciones económicas:

Muchos de los estudios publicados analizan la influencia de las condiciones económicas sobre los accidentes de tráfico con variables como el Producto Interior Bruto (PIB), el nivel de desempleo, o el Índice de Producción Industrial (IPI). Los resultados obtenidos muestran una relación directa de los accidentes con el nivel económico de un país, disminuyendo los accidentes en las épocas de recesión y aumentando en épocas de auge económico.

Paro registrado: Medida por el número de desempleados. El paro tiene un efecto positivo sobre la seguridad vial en tanto reduce los accidentes de tráfico. El efecto que se observa en accidentes con heridos es significativo, con una elasticidad de 1,97%. En el caso de los accidentes mortales, la variable no resulta significativa siendo su elasticidad del 1%.

VARIABLES DE CALENDARIO:

Los modelos realizados recogen la influencia de los fines de semana y días festivos sobre los accidentes. Los resultados obtenidos ponen de manifiesto el mayor riesgo de accidente más severo asociado a este tipo de días.

Sábados, domingos y festivos: Esta variable representa el número de sábados, domingos y festivos del mes. Los modelos realizados determinan una elasticidad del 0,66% asociada a accidentes con heridos, y del 1,71% asociada a accidentes mortales.

Características del parque:

Uno de los avances con respecto a otros modelos DRAG realizados, es el análisis de una variable directamente relacionada con la seguridad activa, como es el ABS. La

efectividad de este sistema en la reducción real de accidentes ha sido objeto de controversia, y los estudios disponibles no permiten extraer conclusiones claras acerca del impacto sobre el conjunto de accidentes, ya que algunos se han centrado en el análisis de tipos concretos de colisiones. Entre los principales trabajos, pueden destacarse los de Evans y Gerrish (1996), Hertz et al (1998) y Delaney y Newstead (2004). Por otra parte, se ha incluido también una variable relacionada con la antigüedad del parque de vehículos como es la proporción de vehículos con más de 10 años de antigüedad. Son pocos los modelos que han estudiado la influencia de la antigüedad de los vehículos sobre los accidentes. En concreto, Fontaine (1998), utilizando datos franceses, demostró que el riesgo de accidente de los turismos de más de diez años era un 60% superior al correspondiente a los de menos de tres años.

Proporción de vehículos del parque que llevan incorporado ABS: La variable que se ha incluido en los modelos es la proporción de vehículos del parque equipados con ABS. En nuestro caso, los resultados muestran la efectividad del ABS en la reducción de accidentes, fundamentalmente mortales, con elasticidades del 0,65% en este caso, y del 0,12% para heridos.

Proporción de vehículos con más de 10 años de antigüedad: Medida como el cociente entre el número de vehículos del parque con más de 10 años y el parque total. El impacto de esta variable sobre los accidentes es negativo, es decir, al incrementarse el porcentaje de estos vehículos, se incrementan los accidentes, en proporciones de 8,71% en el caso de heridos y del 8,89% en el caso de los mortales. Estos valores resultan altos cuando se comparan con estudios previos del equipo investigador y de otros autores. Es posible que la omisión de ciertas variables haya producido una sobrestimación de las elasticidades. En particular, es posible sugerir la hipótesis de una cierta relación entre la edad de los vehículos y las características de los conductores. En cualquier caso, se tratará de validar estos resultados con análisis posteriores.

Vigilancia:

En el modelo DRAG-España se ha prestado especial interés en conocer y cuantificar el efecto que sobre la seguridad vial tienen variables directamente relacionadas con la vigilancia en las carreteras. Es por ello, que en los modelos se han incluido variables relativas al alcohol (número de controles de alcoholemia), a la actividad policial (número de agentes de la agrupación de tráfico de la guardia civil), y a la retirada del permiso de conducir (número de suspensiones y privaciones del permiso de conducir).

Todos los estudios realizados con variables relativas al alcohol han concluido que el alcohol es una de las principales causas de accidentes y mortalidad. Hasta la fecha, la mayoría de los modelos que han incluido este factor, (Gruenewald, 1995; Tay, 2005) han utilizado el consumo de alcohol, lo cual no deja sino de ser una aproximación al nivel de alcohol de las carreteras, y en muchos casos, incluso puede conducir a resultados erróneos dado el elevado número de supuestos que han de ser asumidos. En el modelo DRAG-España, se ha incluido una variable directamente relacionada con el alcohol, como son los controles aleatorios de alcoholemia realizados por la Agrupación de Tráfico de la Guardia Civil.

En cuanto a las variables relativas a la vigilancia policial y suspensiones, existe muy poca bibliografía relativa al efecto de estas variables (Elvik y Vaa, 2004). En particular, los estudios realizados en los que se tienen en cuenta estos factores suelen tomar un marco espacio-temporal muy específico, lo que no permite comparar los resultados.

Controles aleatorios de alcoholemia: Medida como el número de controles aleatorios de alcoholemia realizados por la agrupación de tráfico de la guardia civil. Esta variable muestra una fuerte relación del alcohol con los accidentes mortales. Así, el modelo estima una elasticidad de 1,38% para esta variable, mientras que reduce la influencia a 0,04% en accidentes con heridos.

Numero de agentes de la agrupación de tráfico de la guardia civil: De los resultados de los modelos se desprende que el incremento de agentes de tráfico ayuda a reducir los

accidentes. Las elasticidades obtenidas por el modelo, otorgan una influencia mayor de los efectivos policiales sobre los accidentes mortales, con una elasticidad del 3,59%, que sobre los accidentes con heridos, donde la elasticidad es del 2,09%.

Numero de suspensiones y privaciones del permiso de conducir: El aumento de las suspensiones del permiso de conducir también tiene efectos positivos en la seguridad vial. En este caso, las elasticidades halladas en el modelo son del 0,27% para accidentes con heridos, y del 0,69% para accidentes mortales.

Velocidad:

Resulta muy complejo analizar la influencia de una variable como la velocidad a través de un modelo econométrico, debido fundamentalmente a la falta de datos fiables sobre velocidades reales de circulación. Para paliar esta falta, se ha decidido incluir una variable que, si bien no permite medir directamente el efecto de la velocidad sobre los accidentes, sí permite analizar indirectamente la relación entre velocidad y accidentes. La variable incluida es el porcentaje de positivos en los controles de radar realizados en la red interurbana de carreteras. Se es consciente que estos controles no abarcan toda la red interurbana (marco de movilidad del modelo), pero aun así, pueden representar una muestra del comportamiento de los conductores en toda la red.

Los distintos dispositivos de reducción de velocidad (badenes, zonas de baja velocidad, controles de radar...) han sido objeto de numerosos estudios. Autores como Goldenbeld, 2005 o Hirst, 2005, marcan una clara influencia positiva de los controles de radar sobre los accidentes

Porcentaje de positivos en los controles de radar: Medida como el cociente entre el número de vehículos denunciados por los controles de radar y el total de controles de radar realizados. Los resultados hallados muestran el efecto de la velocidad sobre los accidentes, ya que al incrementarse el número de positivos en los controles, como reflejo de mayor número de conductores circulando a velocidad más alta, se incrementa

el número de accidentes. En este caso, la elasticidad de accidentes con heridos es 0,9% y la de mortales 0,96%.

Medidas Legislativas: Sólo se han tenido en cuenta dos leyes dentro del modelo: el nuevo reglamento de circulación que entró en vigor el 15 de junio de 1992, y los nuevos límites de alcoholemia que entraron en vigor en mayo de 99. Análogos resultados a los presentados aquí fueron hallados por Garcia-Ferrer et al (2006), los cuales obtuvieron una reducción de los accidentes con víctimas de entre un 12,3% y un 13,2% mediante modelos estructurales en los que combinaban variables económicas con otras de carácter legislativo.

Ley 92: Según los resultados de los modelos, esta ley redujo los accidentes con heridos un 14%, y los accidentes mortales un 12,3%.

Ley de endurecimiento del alcohol: En mayo de 1999 se bajaron los límites de alcohol en sangre de 0,8 a 0,5 para conductores de vehículos ligeros, y de 0,5 a 0,3 para conductores de vehículos pesados. Esta ley tuvo un importante efecto sobre los accidentes mortales, con una reducción del 4,4% de los mismos. Los resultados sobre accidentes con heridos no son significativos, con un coeficiente estimado de 0,8%.

5. CONCLUSIONES

La aplicación de la metodología DRAG a la situación de la seguridad vial española, ha permitido analizar y cuantificar el impacto de un gran número de variables sobre los accidentes ocurridos en vías interurbanas, diferenciando además, entre accidentes con heridos y accidentes mortales. Con el desarrollo de estos modelos, se ha podido apreciar la distinta influencia que una misma variable, puede tener sobre cada uno de los tipos de accidentes, lo que permite un mejor entendimiento del fenómeno.

Los modelos desarrollados sitúan a la exposición como la variable de mayor influencia en el incremento de accidentes, siendo la elasticidad estimada inferior a la unidad. Además, ponen de manifiesto el efecto positivo que el incremento de la vigilancia, la mejora de las características tecnológicas de los vehículos y la red de alta capacidad tienen sobre los accidentes, a la vez que detectan la influencia negativa de la inexperiencia de los conductores, la velocidad y la antigüedad del parque.

6. AGRADECIMIENTOS

Esta investigación ha sido financiada por el Plan Nacional de Investigación y Desarrollo 2004-2007, la Dirección General de Tráfico y la Asociación Española de Fabricantes de Automóviles y Camiones (ANFAC). Los datos de climatología han sido provistos por el Instituto Nacional de Meteorología como contribución al proyecto.

7. BIBLIOGRAFIA

1. Boyce, T.E., E.S. Geller, (2002). An instrumented vehicle assessment of problem behavior and driving style: do younger drivers actually take more risks? *Accident, Analysis and Prevention*, 34 (1), 51–64.
2. Clarke, D., P. Ward, C. Bartle, W. Truman, (2006). Young driver accidents in the UK: The influence of age, experience and time of day. *Accident, Analysis and prevention*, 38: 871-878
3. Copper, P., M. Pinili, W. Chen, (1995). An examination of the crash involvement rates of novice drivers aged 16 to 55. *Accident, Analysis and Prevention*, 27: 89-104.
4. Delaney, A., S. Newstead, (2004). The effectiveness of anti-lock brake systems: a statistical analysis of Australian data. Proceedings 2004 Road Safety Research,

Policing and Education Conference, 14-16 November, Perth, Western Australia, Vol 1, 10p.

5. Eisenberg, D. (2004). The mixed effects of precipitation on traffic crashes. *Accident, Analysis and Prevention*, 36: 637-647.
6. Elvik, R., T. Vaa, (2004). *The handbook of Road Safety Measures*. Elsevier Science Publishers, Oxford.
7. Evans, L., P.H. Gerrish, (1996). Antilock brakes and risk of front and rear impact in two-vehicles crashes. *Accident, Analysis and Prevention*, 28, 315-323.
8. Fontaine, H. (1998). Changes in exposure and accident risk for car drivers in France. 16th International Technical Conference on the Enhanced Safety of Vehicles.
9. Fridstrom, L., S.Ingebrigtsen, (1991). An aggregate accident model based on pooled regional time-series data. *Accident Analysis and Prevention*, 23: 363-378
10. Fridstrom, L., J. Ifver, S. Ingebrigtsen, R. Kulmala, L.K. Thomsen (1995). Measuring the contribution of randomness, exposure, weather and daylight to the variation in road accidents counts. *Accident, Analysis and prevention*, 27: 1-20
11. García-Ferrer, A., A. De Juan, P. Poncela (2006). Forecasting traffic accidents using disaggregated data. *International Journal of Forecasting* 22, 203-222
12. Gregersen, N., P. Bjurulf, (1996). Young novice drivers: Towards a model of their accident involvement. *Accident, Analysis and Prevention*, 28: 229-241.
13. Goldenbeld, C., I. Schagen, (2005). The effects of speed enforcement with mobile radar on speed and accidents. An evaluation study on rural roads in the Dutch province Friesland. *Accident Analysis and Prevention*, 37:1135–1144.
14. Gruenewald, P.J., W.R. Ponicki, (1995). The relationship of the retail availability of alcohol and alcohol sales to alcohol-related traffic crashes. *Accident, Analysis and Prevention*, 27: 249-259.
15. Hertz, E., J. Hilton, D. M. Johnson, (1998). Analysis of the crash experience of vehicles equipped with antilock braking systems (ABS) -An update. 16th International Technical Conference on the Enhanced Safety of Vehicles.

16. Hirst W. M., L.J. Mountain, M.J. Maherb, (2005). Are speed enforcement cameras more effective than other speed management measures?.An evaluation of the relationship between speed and accident reductions. *Accident Analysis and Prevention*, 37: 731–74
17. Liem, T., M. Gaudry, M. Dagenais, U. Blum, (2000). LEVEL : The L-1.5 program for BC-GAUHESEQ (Box-Cox Generalized Autoregressive Heteroskedastic Single Equation) regression and multimoment analysis. In: *Structural Road Accident Models: the International DRAG Family*, (Gaudry, M. Lasarre,S.), Elsevier Science, Oxford.
18. Mountain, L., B. Fawaz, D. Jarret. (1996). Accident prediction models for roads with minor junctions. *Accident Analysis and Prevention*, 28: 695-707.
19. Rivas, F., E. Perea, A. Jiménez, (2007). Geographic variability of fatal road traffic injuries in Spain during the period 2002–2004: an ecological study. *BMC Public Health* 2007, 7:266
20. Tay, R. (2005). Drink driving enforcement and publicity campaigns: are the policy recommendations sensitive to model specification?. *Accident Analysis and Prevention* 37: 259–266