

# **INFLUENCIA DEL TRÁFICO DE CAMIONES EN LA ACCIDENTALIDAD DE IMPORTANTES EJES DE TRANSPORTE DE MERCANCÍAS EN ESPAÑA.**

## **Blanca Arenas Ramírez**

Directora de la Unidad de Estudios de Transportes (INSIA), ETSII. UPM,

e-mail: barenas@etsii.upm.es

Teléfono: 91 - 3363014. Fax: 91 – 3365302

## **Francisco Aparicio Izquierdo**

Catedrático de la Escuela Técnica Superior de Ingenieros Industriales de Madrid (UPM) y Director del

Instituto Universitario de Investigación del Automóvil (INSIA). Madrid. España

e-mail:francisco.aparicio@upm.es .

Teléfono: 91 – 3365303. Fax: 91 – 3365302

## **Camino González Fernández**

Profesora Titular de Estadística de la ETSII. UPM. Madrid. España.

e-mail: camino@etsii.upm.es

Teléfono: 91 - 3363149.

## **RESUMEN**

Los modelos lineales generales, tanto en sus alternativas de Poisson como de binomial negativa, son considerados los más adecuados por los analistas para relacionar la frecuencia o tasa de accidentes de tráfico con diferentes variables explicativas (flujos de tráfico, geometría, tipos de vía, etc.) y en diferentes escenarios.

En este trabajo se presentan los resultados de un modelo de la binomial negativa con flujo de tráfico heterogéneo, en tramos de la Red de Carreteras Españolas y los intervalos de confianza y de predicción, de la aplicación al eje de transporte de mercancías Madrid-Barcelona (MB), muy importante dentro de los corredores de mercancías en España. El modelo de predicción se ha aplicado para simular escenarios de trasvase de tráfico de mercancías por carretera a otro modo de transporte que aquí no se explicita, por cuanto el objetivo es analizar el impacto del trasvase de tráfico de pesados sobre la accidentalidad en el eje.

La construcción de estos intervalos permite la predicción de la frecuencia o tasa de accidentes para tramos caracterizados por diferentes valores de las variables explicativas, permitiendo generalizar el modelo y asignar intervalos de confianza a cada tramo. Los resultados que se presentan corresponden al tercero de los 3 siguientes intervalos de predicción desarrollados:

- El número medio de accidentes por unidad de exposición o tasa (seguridad) global de accidentes  $\hat{\lambda}_h$ .
- El número medio de accidentes dada una unidad de exposición (la de cada tramo) o tasa (seguridad) específica de cada tipo de tramo  $\hat{\lambda}_h$ . Este intervalo solo es posible calcularlo si se considera un modelo de binomial negativa.
- El número de accidentes dada una unidad de exposición en un tramo con determinadas características  $Y_h$

La aplicación a tramos concretos como es el caso de los tramos del eje de mercancías Madrid-Barcelona, permite validar el modelo desarrollado utilizando los datos de diferentes años; permite evaluar el comportamiento de la accidentalidad en el eje Madrid-Barcelona, y analizar como ésta se modifica si se plantean diferentes escenarios de flujos heterogéneos.

PALABRAS CLAVE: accidentes, modelos lineales generales, tráfico de camiones

## 1. PRESENTACIÓN

Los modelos lineales generales de Poisson y binomial negativa, tienen gran aceptación entre los analistas, para determinar la relación entre la tasa o frecuencia de accidentes de tráfico y distintas variables de influencia como son composición y volumen de tráfico o la geometría de la vía.

En este trabajo se muestran los resultados del ajuste de modelos de la binomial negativa para relacionar la frecuencia de accidentes totales, con variables de tráfico y de tipo de vía en tramos de distintas categorías de vías de la Red de Carreteras del Estado (**RCE**), y de la aplicación de los intervalos teóricos de predicción de los distintos niveles de seguridad que se pueden definir en un modelo de binomial negativa. Se han utilizado para el ajuste de modelos los datos de accidentes y de tráfico correspondientes al año 2001.

Entre los modelos de binomial negativa ajustados, que se diferencian en las variables explicativas incorporadas, se ha seleccionado el mejor, en base a criterios estadísticos, siguiendo algunos de los recopilados en Hardin y Hilbe (2007) (*AIC*, *BIC*, *soporte*, *desviación*, etc.) y considerando su adecuación a la realidad que quiere reproducir.

El modelo seleccionado se ha validado utilizando los datos correspondientes a los años 2002 y 2003. Posteriormente se ha aplicado para la predicción de la tasa y del número de accidentes, en distintos escenarios hipotéticos contruídos con distintos valores de los regresores, en tramos genéricos de vías interurbanas de autopistas (**AP**), de autovías (**AV**), vías de doble calzada (**DC**) y vía convencional (**C**). Los intervalos se han establecido para la seguridad global o media en tramos con determinadas características; la seguridad específica de un tramo, y el número de accidentes totales en un tramo específico. (McGullagh y Nelder, 1989, Hauer y otros, 1988, Wood G. R., 2005, Myers R. y Montgomery D., 1997).

Finalmente, la metodología descrita se ha aplicado para la determinación de los intervalos de confianza y predicción de la tasa y número de accidentes totales, en los tramos del eje de transporte Madrid- Barcelona (MB).

## **2. DATOS Y METODOLOGÍA.**

Una descripción estadística más completa de los datos se ha desarrollado en el capítulo correspondiente. En esta sección se muestra un resumen de los datos de accidentes y variables explicativas consideradas para el ajuste de los modelos. Asimismo, se introduce la nomenclatura y abreviaciones utilizadas en cada caso.

Las categorías de las vías, a las que pertenecen los 2541 tramos de la muestra, han sido extraídas del Mapa de tráfico del año 2001 de la Dirección General de Carreteras del Ministerio de Fomento **DGC - MFOM**.

El Mapa de tráfico utilizado, contiene información de un total de 3084 tramos aforados en la **RCE**, entre los que hay tramos pertenecientes a las categorías autopista (**AP**), autovía (**AV**) y vías convencionales (**C**) establecidas por la Ley N° 25/ 1988 de

carreteras, y tramos de carretera de doble calzada (**DC**), tipo de vía definida en la Instrucción de Carreteras IC-3.

La muestra final se compone de 154 tramos de autopistas (**AP**: 6%), 692 tramos de autovías (**AV**: 27,23%), 188 tramos de doble calzada (**DC**: 7,40%), 1507 tramos de carretera convencional (**C**: 59,31%). Entre paréntesis se indican la participación porcentual de los tramos de cada categoría en la muestra total utilizada.

La longitud total de los tramos en cada categoría de vía, en porcentaje guarda cierto paralelismo con el reparto porcentual del número de tramos dentro de la población, excepto en el caso de tramos en doble calzada. Las vías **DC** tienen una representación del 1,36% de la longitud total frente al 7,4% de su peso en el total del número de tramos de la muestra.

La longitud total de los tramos por tipo de carreteras de la muestra, abarca el 89,48% de la **RCE**, correspondiendo el 90% a longitud de **AP**, 100% a **AV**, el 50% a **DC** y el 87% a **C**. Tabla 1.

**Tabla 1 – Resumen de Estadísticos de los datos de tráfico, total y por tipo de vía.**

Tipo de vía.	Nº tramos	% Total de tramos	Longitud (km)	% RCE 2001
<b>AP</b>	154	6,06	1.632	89,65
<b>AV</b>	692	27,23	5.564	100
<b>DC</b>	188	7,4	349	49,98
<b>C</b>	1507	59,31	14.281	87,21
<b>Total</b>	2541	100	21.886	89,48

Los principales estadísticos de la variable dependiente y las explicativas  $X_i$  así como la unidad de exposición (offset) de los modelos, se muestran de forma sumaria en la Tabla 2.

Desde un punto de vista general, los datos de la muestra de cada tipo de accidente, indican que son las vías de doble calzada seguidas de las autopistas, las vías en las que ocurrieron el menor número de accidentes durante el año 2001, debido en parte a

que son los tipos de vías con menos número de tramos dentro de la muestra y además menor número de kilómetros, si se compara con la representación de autovías y vías convencionales.

En las autopistas, se han producido el 7,45% de  $A_T$ , mientras que en las vías convencionales se produjeron el 47,19% y en autovías el 40,95%.

El valor medio de la Intensidad media diaria global es de 17971, mientras que la mediana es de 10199 vehículos por lo que se plantea la existencia de fuentes de heterogeneidad. Además la mediana pertenece a la parte inferior del rango de la variable, y pone en evidencia que existe una gran concentración de datos en los valores inferiores del rango. El valor de la desviación típica de la muestra total es mayor que la media global, y es el caso también en autovías (**AV**). El coeficiente de variación es mayor que la unidad en la muestra global y autovías (**AV**) lo que indica la existencia de dispersión de los datos. En el resto de vías, estos estadísticos indican mayor homogeneidad de los datos de intensidad media diaria. El valor medio de la intensidad media diaria *AADT* total en **AP**, **AV** y vías de doble calzada **DC** es 1,5, 1,9 y 1,6 veces la media global para el total de la muestra, mientras que la correspondiente a las vías convencionales **C**, es la mitad de la intensidad media diaria global.

Respecto al porcentaje de pesados ( $\%HGV$ ), los valores medios son muy parecidos en los tramos de las distintas categorías de carretera, pero resalta el rango de valores tan amplio de vías convencionales, que varía desde un mínimo de 1,875% a un máximo de 92,605%. En **AV** y **DC** la amplitud del rango es menor, así como la varianza de los datos, lo cual es indicativo de menor heterogeneidad del flujo de vehículos, mientras que en **AP**, según los estadísticos correspondientes se podría asumir mayor homogeneidad, si se compara con el resto de categorías.

La exposición total  $vk$  tiene valores medios de 88,98 en las autopistas (**AP**) y de 80,19 millones de vehículos kilómetro en autovías (**AV**), mientras que los valores medios en vías de doble calzada (**DC**) y vías convencionales (**C**)  $vk = 22,19 * 106$  y  $vk = 20 * 106$  respectivamente) están dentro del mismo rango y representan una cuarta parte de la exposición medida en **AP** y **AV**.

**Tabla 2 – Resumen de Estadísticos de los datos de Accidentes totales y tráfico, total y por tipo de vía.**

		Tipo de vía	Media	Mínimo	Máximo	Desviación típica
<b>Accidentes totales</b>	<b>Y<sub>j</sub></b>	<b>AP</b>	9,09	0	45	9,137
		<b>AV</b>	11,12	0	141	15,39
		<b>DC</b>	4,4	0	59	8,294
		<b>C</b>	5,88	0	74	8,013
		<b>TOTAL</b>	7,4	0	141	10,889
<b>Intensidad media diaria de vehículos</b>	<b>AADT</b>	<b>AP</b>	27089	5660	120626	22092,2
		<b>AV</b>	34550	1330	292589	36617,6
		<b>DC</b>	29264	1088	149153	27211,8
		<b>C</b>	8017	233	96701	7535,24
		<b>TOTAL</b>	17971,55	233	292589	25109,774
<b>Intensidad media diaria de vehículos industriales</b>	<b>AADTHGV</b>	<b>AP</b>	4274,93	398	30170	4872,78
		<b>AV</b>	4790,71	412	21413	3727,55
		<b>DC</b>	3456,66	113	16577	3378,58
		<b>C</b>	1241,89	8	10893	1344,14
		<b>TOTAL</b>	2556,04	8	30170	3121,88
<b>Porcentaje de vehículos industriales</b>	<b>%HGV</b>	<b>AP</b>	14,366	4,57	33,903	6,643
		<b>AV</b>	18,062	1,866	54,237	9,587
		<b>DC</b>	13,825	1,886	48,286	9,168
		<b>C</b>	15,883	1,875	92,605	9,712
		<b>TOTAL</b>	16,232	1,87	92,6	9,56
<b>Exposición en millones de Vehículo-km</b>	<b>vk</b>	<b>AP</b>	86,982	0,898	361,852	68,045
		<b>AV</b>	80,195	0,805	776,665	90,090
		<b>DC</b>	22,191	0,063	274,531	35,119
		<b>C</b>	20,449	0,0299	197,984	22,696
		<b>TOTAL</b>	40,881	0,0299	776,665	60,882

La exposición media de la muestra total es de  $vk = 40,88 * 10^6$  vehículos kilómetro. La exposición o riesgo total medio medido en el año 2001 en las vías de alta capacidad es mayor que en las vías convencionales, como se indica en el análisis de los datos descriptivos de la exposición.

### 3. MODELO DE LA BINOMIAL NEGATIVA.

La expresión más general para predecir el número de accidentes es:

$$\hat{E}[Y] = \exp(\hat{\beta}_0 + \hat{\beta}_1 \log(AADT) + \hat{\beta}_2 \log(\%HGV) + \hat{\alpha}_i \text{via}_i + \hat{\delta}_i \log(\%HGV)_i + \log(vk)) \quad (1)$$

$i = AP, AV, DC$

donde AADT es la intensidad media diaria anual de vehículos medida en cada tramo aforado, %HGV es el porcentaje de vehículos industriales de transporte de mercancías determinado como  $100 \cdot AADTHGV/AADT$ , con  $AADTHGV$  la intensidad media diaria anual de vehículos industriales,  $vk$  es la medida de exposición adoptada en millón de vehículo-kilómetro y determinada como  $365 \cdot AADT \cdot longitud\ del\ tramo$ , y  $vía$  la clasificación funcional del tipo de vía, según la denominación adoptada en el Mapa de Tráfico del año 2001, del cual se ha obtenido la base de datos de tramos y los tráficos medidos.

El modelo incorpora términos de interacción entre los diferentes regresores, por ejemplo el término del  $\log(\%HGV_j)$  indica que la influencia del porcentaje vehículos industriales sobre el número de accidentes será diferente dependiendo del tipo de vía que se esté analizando.

La ecuación general del modelo, estimada utilizando el modelo de binomial negativa, se puede particularizar por tipo de vía y expresar en términos de la tasa de accidentes o número medio de accidentes por unidad de exposición- calculada como:

$$\hat{\lambda}_{ij} = \frac{E[\hat{Y}_{ji}]}{vk_{ij}} \quad (2)$$

Las expresiones de esta tasa por tipo de vía son:

$$\begin{aligned} \hat{\lambda}_{AP_j} &= 0.2736 \cdot (AADT_j)^{-0.1111} \cdot (\%HGV_j)^{0.0638} \\ \hat{\lambda}_{AV_j} &= 0.4368 \cdot (AADT_j)^{-0.1111} \cdot (\%HGV_j)^{0.0103} \\ \hat{\lambda}_{DC_j} &= 0.3405 \cdot (AADT_j)^{-0.1111} \cdot (\%HGV_j)^{0.2491} \\ \hat{\lambda}_{C_j} &= 1.2402 \cdot (AADT_j)^{-0.1111} \cdot (\%HGV_j)^{-0.1639} \end{aligned} \quad (3)$$

Los coeficientes encontrados por tipo de vía, sirven para interpretar los efectos diferenciados de las variables de tráfico en cada caso. En las aplicaciones de los modelos lineales generales a la predicción de frecuencia o tasas de accidentes, cuando se usa la transformación logarítmica de las variables explicativas y, por tanto, la ecuación de la regresión es una función lineal de los coeficientes en su forma aditiva,

los coeficientes se denominan elasticidades y se pueden examinar los efectos relativos de las variables incluidas en los modelos. En este caso, la variable que más contribuye a explicar el fenómeno de ocurrencia de los accidentes totales es la intensidad media diaria total de vehículos (*AADT*) en **AP** y **AV**, mientras que en vías **DC** y **C** lo es el porcentaje de vehículos industriales (*%HGV*). Todos los coeficientes son inelásticos.

El mismo incremento del tráfico medio total tiene el mismo impacto en todos los tipos de tramos de vías de la **RCE**, mientras que un incremento de la variable porcentaje de vehículos industriales, tiene un efecto diferenciado por tipo de vía y más aún marca la diferencia de comportamiento de las vías convencionales de las vías de alta capacidad de la red española.

Un 10% de incremento de la *AADT*, podría tener efectos similares sobre todos los tramos de carreteras, causando un descenso de la tasa de accidentes de 1,1%. Este efecto es marginal y bajo el supuesto, de que todo lo demás se mantiene constante.

Sin embargo, una variación de *%HGV* tiene un efecto diferenciado entre las vías de alta capacidad (**AP**, **AV**, **DC**) y vías convencional **C**, y entre las vías de alta capacidad entre sí, en cuanto al nivel del efecto que se puede esperar. Un 10% de incremento del *%HGV*, induciría un incremento de la tasa de accidentes totales del 0,6% en **AP**, del 0,1% en **AV**, o del 2,5% en **DC**, mientras que se podría producir un descenso de la tasa del 1,6% en vías **C**.

La tasa media de accidentes totales pronosticadas calculadas con la ecuación particularizada por tipo de vía y las respectivas observadas, así como los intervalos de predicción determinados con las expresiones desarrolladas en el apartado, y la diferencia porcentual entre ambas por tipo de vía se muestran en la Tabla 3. Los valores muestran que las mayores diferencias porcentuales entre las tasas teóricas y las observadas se producen en **AV** y **C**, con una cota superior del error del 10% en **C**.

**Tabla 3– Tasa media de accidentes totales: estimada y observada 2001, Intervalos de la predicción del 95%. Diferencias entre estimada y observada.**

Tasa media por tipo de vía. Desviación estándar. [ Intervalos de confianza del 95%]					
	Global	<b>AP</b>	<b>AV</b>	<b>DC</b>	<b>C</b>
Estimada	0,264	0,1043	0,1496	0,2089	0,2904
IP ( $\lambda$ )	[0,218; 0,282]	[0,087; 0,125]	[0,140; 0,160]	[0,148; 0,295]	[0,277; 0,305]
IP ( $\Lambda$ )	[0; 1,001]	[0; 0,396]	[0; 0,567]	[0; 0,804]	[0; 1,098]
Observada	0,259	0,106	0,162	0,213	0,324
Diferencias	2,13%	-1,60%	-7,65%	-1,92%	-10,37%

La mejor estimación corresponde a **AP** y **DC**, en las que la diferencia porcentual entre el valor medio observado y el estimado es del 1,60% y 1,92% respectivamente.

La tasa global estimada es de 0,264 accidentes por millón de vehículo - kilómetro. La tasa media estimada de accidentes totales por cada millón de vehículo y kilómetro recorrido, es de 0,104 en autopistas, 0,150 en **AV** y 0,209 en **DC**. La estimación de la tasa de accidentes en **C**, resultó de 0,290, lo cual es 3 veces superior a la tasa estimada en **AP** y 2 veces la de **AV** y **DC**.

Estos resultados coinciden con lo reportado en la bibliografía especializada: las tasas son mayores en vías de prestaciones y parámetros de diseño menos exigentes como son las vías convencionales españolas de calzada única de dos carriles, frente a las autopistas o vías con desdoblamiento de calzadas agrupadas en la denominación de vías de alta capacidad según el **MFOM**. Un estudio realizado por la Universidad de Michigan (**UMTRI**), en relación con la accidentalidad en vías de circulación de vehículos grandes y pesados (*HGV*), reportó mayores tasas en vías con calzada única, en comparación a las tasas observadas en vías de calzadas separadas. Los valores más elevados de tasas en vías de calzada única, fueron atribuidos a la combinación de velocidad y diseño inadecuado de este tipo de vías para la circulación de vehículos de grandes dimensiones. (Miaou y Lum, 1993; Miaou, 1994).

En general, existe acuerdo, como ya se ha dicho, en que las vías de calzadas separadas son más seguras que las no divididas y las razones deben hallarse en los estándares de diseño de carreteras, en los tipos de desplazamientos y las condiciones de servicio de la misma. Elementos de diseño como curvatura, pendientes, ancho de

carriles y arcenes, son los factores objetivos que contribuyen a establecer las diferencias.

Los valores de las tasas, determinadas por los modelos, se han comparado con índices de riesgo por tipo de vía a partir de datos anuales de movilidad y de accidentes en las carreteras españolas de la **RCE** para el período 1990-2004. El índice de riesgo definido como  $A_7/vk$ , por tipo de vía, da un valor promedio para el período, de 0,143 en vías de alta capacidad y de 0,328 en vías convencionales, lo que confirma los valores determinados mediante el modelo ajustado.

#### 4. INTERVALOS DE PREDICCIÓN.

A partir de la teoría de los modelos lineales generales, se pueden desarrollar los diferentes intervalos de predicción, En la Tabla 4 se muestran los límites de los intervalos de predicción del 95% para el número medio de accidentes por unidad de exposición o tasa global de accidentes  $\hat{\lambda}_h$ , para el número medio de accidentes dada una unidad de exposición (la de cada tramo) o tasa específica de cada tipo de tramo  $\hat{\lambda}_h$ , y para el número de accidentes dada una unidad de exposición en un tramo con determinadas características  $Y_h$

**Tabla 4 – Intervalos de predicción del 95% del modelo de la binomial negativa.**

Parámetro	Límites Intervalos
$\hat{\lambda}_h$	$\left[ \frac{\hat{\lambda}_h}{e^{1,96\sqrt{\text{var}(\hat{\eta})}}}; \hat{\lambda}_h \cdot e^{1,96\sqrt{\text{var}(\hat{\eta})}} \right]$
$\Lambda_h$	$\left[ \max \left\{ 0, \hat{\lambda}_h - 1,96\sqrt{\hat{\lambda}_h^2 \text{var}(\hat{\eta}) + \frac{\hat{\lambda}_h^2 \text{var}(\hat{\eta}) + \hat{\lambda}_h^2}{\hat{\kappa}}} \right\}; \hat{\lambda}_h + 1,96\sqrt{\hat{\lambda}_h^2 \text{var}(\hat{\eta}) + \frac{\hat{\lambda}_h^2 \text{var}(\hat{\eta}) + \hat{\lambda}_h^2}{\hat{\kappa}}} \right]$
$Y_h$	$\left[ 0; vk \cdot \hat{\lambda}_h + 1,96\sqrt{vk \cdot \left( \hat{\lambda}_h + \hat{\lambda}_h^2 \text{var}(\hat{\eta}) + \frac{\hat{\lambda}_h^2 \text{var}(\hat{\eta}) + \hat{\lambda}_h^2}{\hat{\kappa}} \right)} \right]$

**Nota:**  $\text{var}(\hat{\eta}) = x_0 (X'X)^{-1} x_0$ , entre corchetes se indican los valores posibles del que se elige el valor mayor de los dos.

#### 4.1. RESULTADOS

Las predicciones del número de accidentes  $\hat{Y}_h$  así como los límites del intervalo de predicción de la estimación puntual, del Eje Madrid Barcelona para los años 2001-2003 se muestran en las figuras 1, 2 y 3. Estas figuras se presentan para los distintos tramos que componen el eje, organizados por orden creciente de la predicción del número de accidentes, es decir, en primer lugar se muestran los tramos de **AP**, seguidos por los de autovía **AV** y el gráfico cierra con las predicciones en tramos de vía convencional **C**.

Los valores de accidentes observados  $y_h$  durante estos años, en los tramos que componen el eje están incluidos en el intervalo de predicción proporcionado por el modelo, con la excepción de un número muy reducido de tramos (cinco en el año 2001, seis en el año 2002 y cinco en el 2003, de un total de 81), en los cuales los valores observados no quedan dentro de los límites de la predicción.

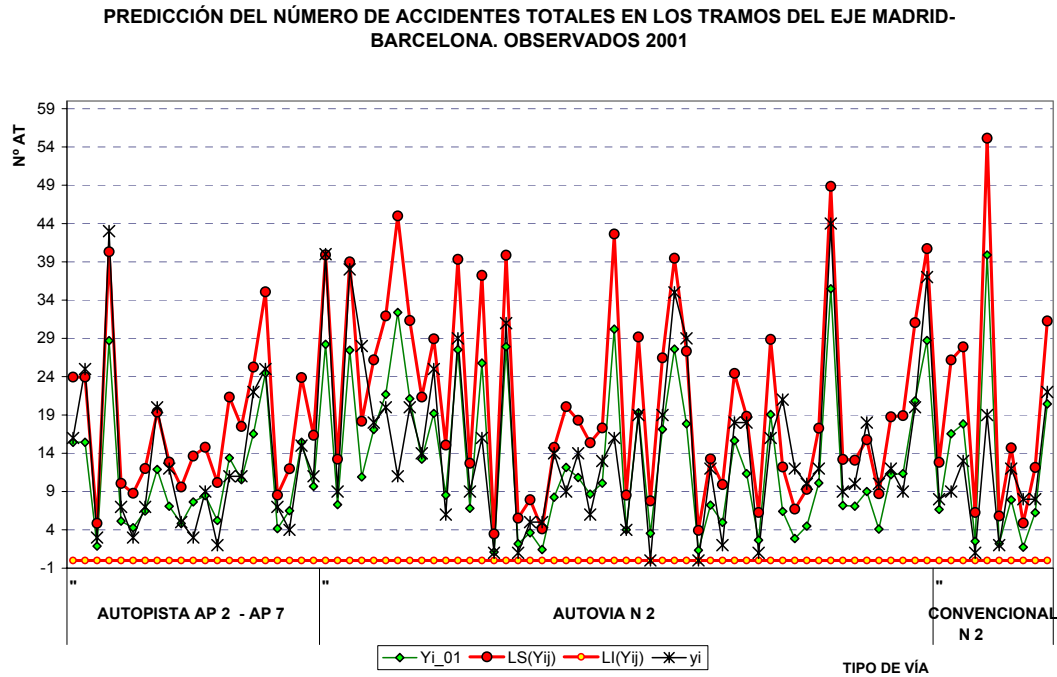
En la figura 4 se muestra el número total de accidentes pronosticado y observados de los años 2001, 2002 y 2003 del eje Madrid- Barcelona, y por tipo de vía. Globalmente, el número de accidentes totales pronosticados por el modelo difiere con los observados en el 10% en los años 2001 y 2002, y la diferencia en el año 2003, es del 2%.

Por tipo de vía, el modelo arroja resultados mejores en autopistas y autovías, que en vías convencionales. En este último tipo de vías el error en la estimación puntual es del 20% para los años 2001 y 2003, mientras que el error para el año 2002 fue del 37%.

Detrás de las mayores diferencias en el año 2002, pueden puntualizarse dos factores, no poco importantes: por un lado los datos para algunos tramos del eje, de este tipo de vías son incompletos, al no haber sido posible obtener los datos del recuento de vehículos del Mapa de tráfico en la sección transversal correspondiente y, por tanto, los valores han sido interpolados. Estos datos se introducen directamente en el modelo a través de las variables *AADT* y *%HGV*.

Por otro lado, la falta de información de tráfico del tramo no permitió, por tanto, la determinación del número de accidentes en ellos, mediante la aplicación del algoritmo

de búsqueda y recuento de accidentes, y los valores de accidentes han tenido que ser interpolados entre los del año anterior y posterior. Las diferencias por tanto, deben ser consideradas con precaución.



**Figura 1 – Predicción del número de accidentes en los tramos del Eje MB. Límites del intervalo de predicción (95%). Observados. Año 2001.**

PREDICCIÓN DEL NÚMERO DE ACCIDENTES TOTALES EN LOS TRAMOS DEL EJE MADRID-BARCELONA- OBSERVADOS 2002.

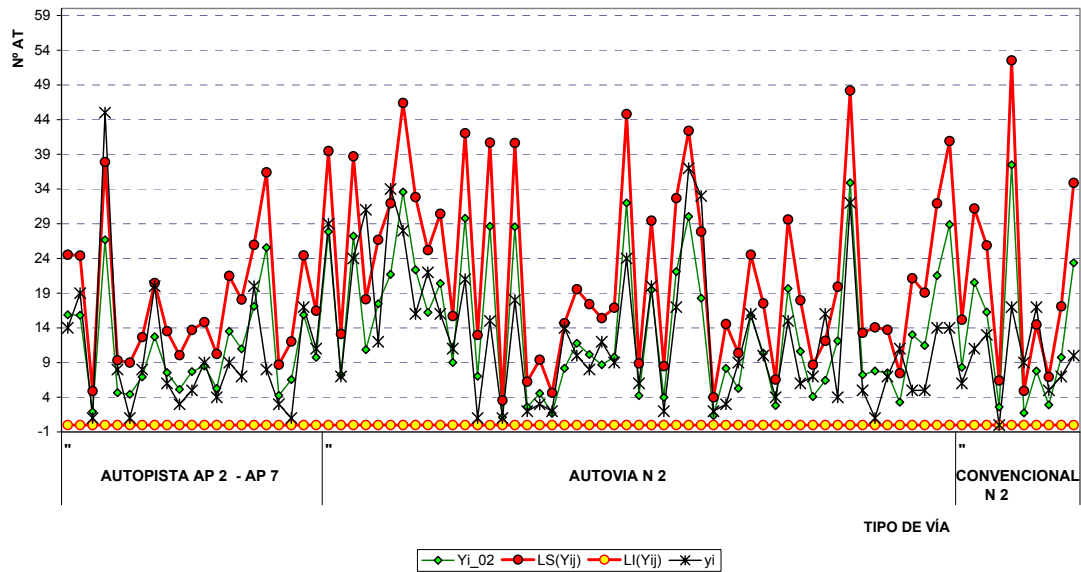


Figura 2 – Predicción del número de accidentes en los tramos del Eje MB. Límites del intervalo de predicción (95%). Observados. Año 2002

PREDICCIÓN DEL NÚMERO DE ACCIDENTES TOTALES EN LOS TRAMOS DEL EJE MADRID-BARCELONA- OBSERVADOS 2003.

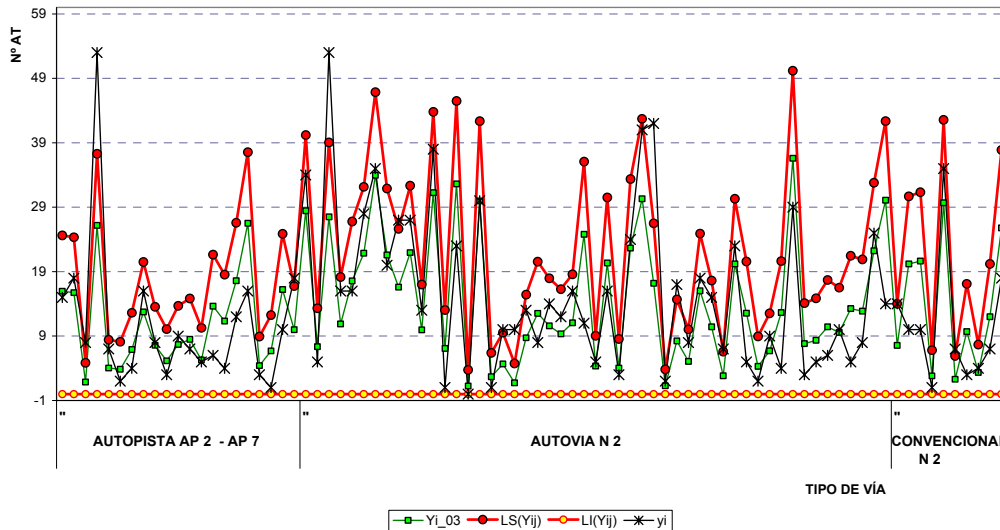


Figura 3 – Predicción del número de accidentes en los tramos del Eje MB. Límites del intervalo de predicción (95%). Observados. Año 2003

Número total de accidentes en el eje MB. Predicción ( $Y_i$ ) frente a Observados ( $y_i$ )  
Total y por tipo de vía. Año 2001-- 2003

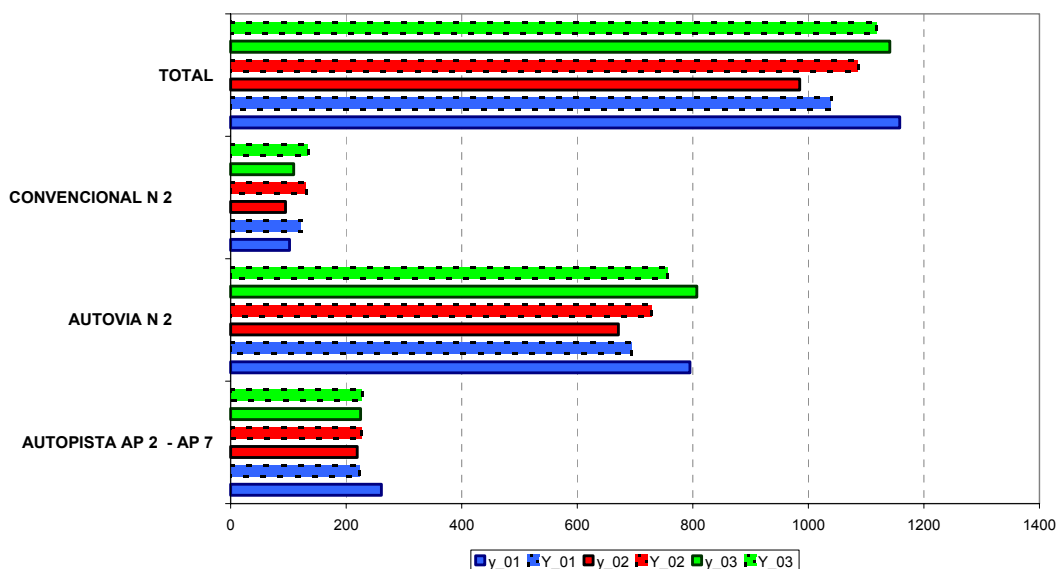


Figura 4 – Número total de accidentes en el eje MB. Predicción  $Y_i$  frente a Observados  $y_i$ . Total y por tipo de vía. Año 2001-2003.

## 5. ESCENARIOS DE TRASVASE. EFECTOS SOBRE LA ACCIDENTALIDAD.

El modelo se ha aplicado a dos de los ejes de transporte de mercancías más importantes de España, por el volumen de toneladas transportadas entre las provincias autonómicas de Cataluña y Madrid y entre Cataluña y Andalucía. Las capitales de las provincias autonómicas de los ejes se han tomado como polos, para especificar los escenarios de reducción de la cantidad de vehículos industriales, en base a los datos de aforos del año 2001. En este trabajo solo se presentan los resultados del eje Madrid – Barcelona (**MB**).

Para cada eje se han considerado un trayecto común y 2 trayectos alternativos, en parte de sus recorridos, que permiten unir las capitales de las autonomías, y se han estudiado los efectos en 6 escenarios de reducción del porcentaje de vehículos industriales, en combinación con variaciones de la intensidad media diaria total y las correspondientes variaciones de la exposición total, para la aplicación del modelo al cálculo de tasas y número de accidentes totales.

Los escenarios de variación del flujo de tráfico, que serán aplicados a ambos ejes, se forman por la combinación de las 2 hipótesis de reducción del porcentaje de camiones %HGV en todo el recorrido de cada escenario, del 10 o 20% combinado con 3 hipótesis de variación de intensidad media diaria total de los vehículos, que se han formulado considerando la posibilidad o no de que la reducción del número de camiones pudiese actuar como atractivo para otros usuarios y producir tráfico inducido.

La combinación de estas hipótesis da lugar a los 6 escenarios que se resumen en la tabla 5 en la que se indica además la nomenclatura utilizada, para la interpretación de los resultados obtenidos.

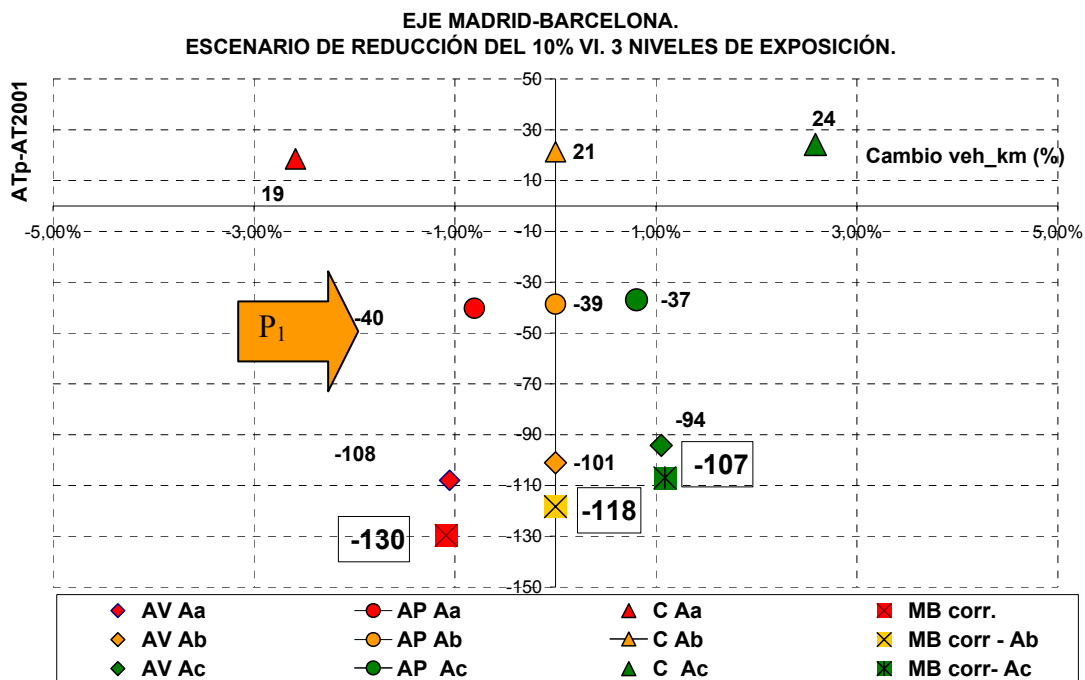
**Tabla 5 - Escenarios de cambios de AADTHGV con y sin cambio de AADT**

Cambio en AADTHGV		Cambio en AADT		
		a: -10% a: -20%	b: 0%	c: +10% c: +20%
A	-10%	Aa	Ab	Ac
B	-20%	Ba	Bb	Bc

Por ejemplo Aa representa la simulación de un escenario en el que hay una reducción del 10% (o 20%) de AADTHGV y AADT, con la correspondiente reducción de la exposición total  $vk$ .

En la figura 5, se muestran los pares coordenados ( $\Delta vk$ ;  $\Delta A_T$  en %) en **AV**, **AP** y **C** en los 3 escenarios de reducción del 10% de AADTHGV sin y con inducción de nuevos tráfico (Aa, Ab y Ac) en el eje Madrid - Barcelona. Cada punto tiene por valor en abscisas, el cambio porcentual de la exposición total del conjunto de tramos de cada clase de vía y en ordenadas el decremento o incremento del número de accidentes totales que produciría cada escenario. Así por ejemplo, en la figura 5, el punto  $P_1$  de coordenadas (-0,81%; -40), representa el cambio porcentual en la exposición y el decremento del número de accidentes totales, que se produciría según el escenario Aa, en los tramos de **AP** del eje. Cada variación está referida a los datos respectivos observados en el año 2001.

Análogamente la figura 6, se presentan los pares coordenados  $(\Delta vk; \Delta A_T)$  en % de los valores respectivos observados en el año 2001, en **AV**, **AP** y **C** en los escenarios Ba, Bb y Bc. En la figura 6, el punto P<sub>2</sub> de coordenadas (-2,11%; -115), representa el cambio porcentual en la exposición y el decremento del número de accidentes totales, que se produciría según el escenario Aa, en los tramos de **AV** del eje. Cada variación está referida a los datos respectivos observados en el año 2001.



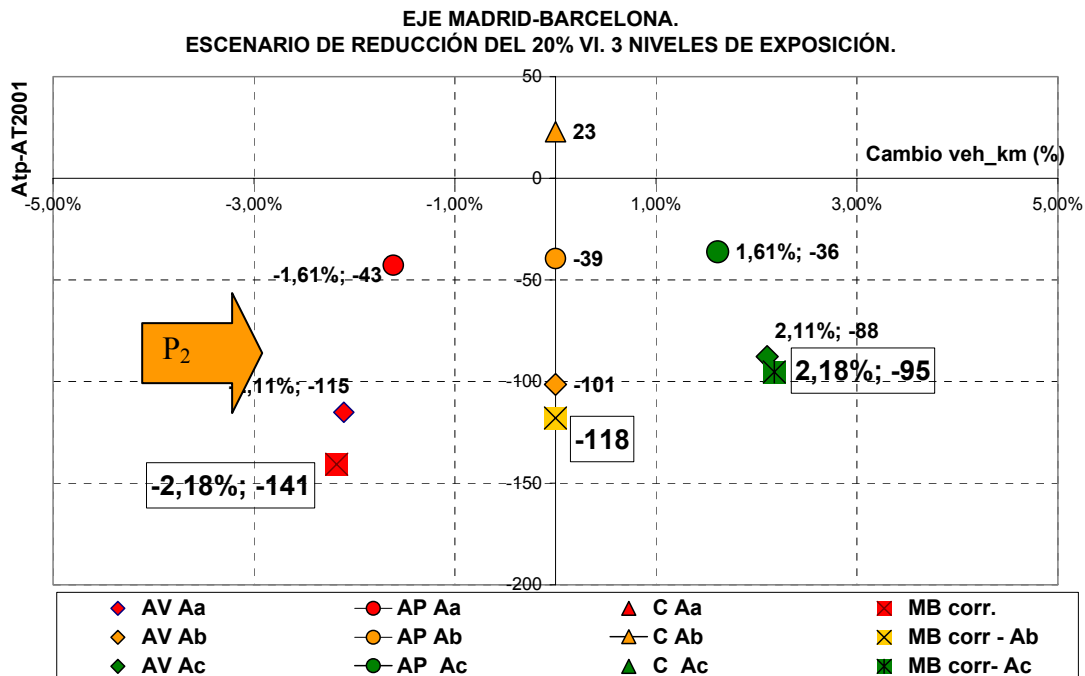
**Figura 5 – Variación en el número total de accidentes en el eje MB, en los escenarios Aa, Ab y Ac.**

En la aplicación al eje Madrid - Barcelona se destacan los siguientes resultados:

Las hipótesis de trasvase de transporte de mercancías, simulados por la disminución de vehículos industriales de los tramos que conforman el eje, producen cambios en la movilidad, respecto a la del año 2001, diferenciados por tipo de vía, comprendidas dentro del intervalo 0,81%: 5,17%.

La máxima reducción del tráfico de vehículos industriales (hasta 584 unidades en tramos de **AV** y **C**, en la hipótesis de reducción del 20% de camiones) con incremento de la exposición, podría representar a lo sumo un aumento del 2,18% de la movilidad

total del eje de transporte, según el escenario Bc y datos correspondientes al año 2001.



**Figura 6 – Variación en el número total de accidentes en el eje MB, en los escenarios Ba, Bb y Bc**

En todos los escenarios, los resultados indican que se podría esperar como efecto total en el eje, una reducción del número de accidentes totales, aunque la exposición aumente y existan diferencias en la topología de las alternativas.

El número total de accidentes que se podrían evitar en los escenarios Aa-Ac, de disminución del 10% de vehículos industriales sin y con inducción de nuevos tráficos, en todos los tramos del eje podría situarse entre 130 y 107 accidentes respectivamente, en relación a los observados en el año 2001.

El número total de accidentes que se podrían evitar en los escenarios Ba-Bc, de disminución del 20% de vehículos industriales sin y con inducción de nuevos tráficos, en todos los tramos del eje podría situarse entre 141 y 95 accidentes respectivamente, en relación a los observados en el año 2001.

## 6. DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

En este trabajo se presenta la aplicación de modelos lineales generales en su variante de binomial negativa para modelar y predecir el número de accidentes en diferentes tramos en función de volumen de tráfico, composición de tráfico y tipo de vía. Se ha ajustado un modelo utilizando los datos correspondientes a 2001.

La predicción puntual proporcionada por el modelo se ha completado incorporando la incertidumbre asociada a la fenomenología del propio suceso “accidente” y la asociada a la estimación de los parámetros del modelo dando lugar a las expresiones de los diferentes intervalos de predicción. No solo se dispone por tanto de una estimación puntual del número de accidentes sino de un intervalo para dicha variable.

Las predicciones e intervalos del número de accidentes calculados mediante la metodología que aquí se presenta permite establecer la validez de la aplicación del modelo ajustado a nuevos datos y nuevos valores de las variables independientes.

Como ilustración se ha aplicado el modelo ajustado con datos del año 2001 a la predicción de accidentes en los tramos del eje de transporte de mercancías Madrid Barcelona, con nuevos datos de tráfico, para los años 2002 y 2003. La aplicación del modelos es satisfactoria en tanto los que los valores pronosticados por el modelo, no ofrecen diferencias sustanciales con los observados en dicho período, y los valores observados  $y_h$  durante estos años, en los tramos que componen el eje están incluidos en el intervalo de predicción proporcionado por el modelo, con la excepción de un número muy reducido de tramos, en los cuales los valores observados no quedan dentro de los límites de la predicción. Globalmente, los totales pronosticados por el modelo difieren con los observados en el 10% en los años 2001 y 2002, y la diferencia en el año 2003, es del 2%. Por tipo de vía, el modelo arroja resultados mejores en autopista y autovía, que en vía convencional.

La determinación de los diferentes intervalos de predicción para el número medio de accidentes y para el número de accidentes en un nuevo tramo con unas determinadas características, permite utilizar la metodología desarrollada (modelo e intervalos de

predicción) como herramienta para la gestión de políticas de seguridad vial en base al comportamiento diferenciado de la accidentalidad por tipo de vía, ya que incorpora la incertidumbre asociada a la variabilidad del tráfico y de la exposición.

Por lo tanto, la metodología desarrollada se ha aplicado a dos de los más importantes ejes de tráfico de mercancías en España: Madrid - Barcelona, compuesto por tramos de diferentes tipos de vías AP, AV, C, en dos rutas alternativas en parte del desarrollo del eje. Asimismo se han considerado, 6 escenarios, incluyendo para cada eje reducciones del 10 y del 20% del tráfico de vehículos industriales combinados con reducción, mantenimiento e incremento de la exposición total ( $vk$ ), como consecuencia de nuevos tráficos inducidos o no, por la disminución de los vehículos industriales.

En todos los escenarios, hay reducciones del número de accidentes totales en tramos de vías de alta capacidad, mientras que hay aumento en los tramos de vías convencionales (**C**). El efecto neto en el eje, es de reducción debido a que la composición de la alternativa tiene una baja representación de tramos de vías convencionales **C** y los aumentos en éstos, son compensados y superados por las reducciones en los tramos de vías de alta capacidad **AV** y **AP**. Resultados similares se han obtenido en un segundo eje de transporte que aquí no se presenta.

En todos los casos estudiados, al reducir el porcentaje de camiones, con independencia de las variaciones en la exposición total, se han obtenido incrementos del número de accidentes totales, en los tramos de vía convencional **C**.

De forma análoga, en todos los casos, al reducir el porcentaje de camiones con independencia de las variaciones en la exposición total, se han obtenido decrementos del número de accidentes totales, en los tramos de vías de alta capacidad, siendo mayor la incidencia en autovías (**AV**) que en autopistas (**AP**).

El aumento de la exposición, por inducción de nuevos tráficos, provoca que la reducción del número de accidentes totales sea cada vez menor en vías de alta

capacidad **AV** y **AP** y, por el contrario, aumente el número de accidentes totales en vías convencionales (**C**).

En valores absolutos, la reducción del 10% o del 20% de la intensidad media diaria de vehículos pesados de transporte de mercancías *AADTHGV*, tiene mayor influencia sobre el número de accidentes en vías de alta capacidad **AV** y **AP**.

En cambio el aumento del tráfico total *AADT*, como consecuencia de la inducción de nuevos tráficos de otros tipos de vehículos, tiene mayor influencia en los tramos de vía convencional (**C**).

Entre los escenarios de 10% en el eje Madrid - Barcelona, el incremento de la accidentalidad, cuando la exposición va en aumento, es decir, cuando se pasa de Aa a Ac, es del 26% en las vías convencionales frente a un aumento del 11,50% en autovía y autopistas (**AV** y **AP**). En el mismo eje, en los escenarios del 20% (con exposición en aumento), es decir, cuando se pasa de Ba a Bc, el incremento es 70,58% en las primeras y del 21% en las segundas.

La incorporación de nuevas variables explicativas al modelo de predicción ajustado podría contribuir a mejorar los resultados.

## **7. REFERENCIAS**

McCULLAGH P., NELDER J.A. (1989). *Generalized Linear Models*. 2nd Ed. Chapman&Hall/CRC, Florida.

HAUER E., NG J.C.N., LOVELL J. (1988). Estimation of safety at signalized intersections. *Transportation Res. Rec.* 1185. 48-61.

WOOD G. R. (2005). Confidence and Prediction Intervals for generalised linear accident models. *Accident Analysis and Prevention* 37. 267-273.

MIAOU S.P., LUM H. (1993). Modeling Vehicle Accident and Highway Geometric Design Relationships. *Accident Analysis and Prevention* 25(6). 689-709.

MIAOU S.P. (1994). The Relationship Between Truck Accidents and Geometric Design of Road Sections. Poisson Versus Negative binomial regressions. *Accident analysis and Prevention* Vol. 26(4). 471-482.

MYERS R., MONTGOMERY D. (1997). A tutorial on Generalized Linear Models. *Journal of Quality Technology*. 29(3). 274-291.

HARDIN, J.W. y HILBE, J.M. (2007). *Generalized Linear Models and Extensions* Stata Press.