

# **Incentivos a la seguridad vial en proyectos de Participación Pública Privada (PPP) en España.**

**Thais Rangel**

Doctoranda de la Universidad Politécnica de Madrid.  
Centro de Investigación del Transporte – TRANSyT  
e-mail: [trangel@caminos.upm.es](mailto:trangel@caminos.upm.es)

**José Manuel Vassallo**

Profesor Titular de la Universidad Politécnica de Madrid.  
Centro de Investigación del Transporte – TRANSyT  
e-mail: [jvassallo@caminos.upm.es](mailto:jvassallo@caminos.upm.es)

**Blanca Arenas**

Directora de la Unidad de Estudios de Transporte de la Universidad Politécnica de  
Madrid. Instituto Universitario de Investigación del Automóvil – INSIA  
e-mail: [barenas@etsii.upm.es](mailto:barenas@etsii.upm.es)

**Pablo Pérez de Villar**

Jefe de Servicio de Seguridad Vial. Dirección General de Carreteras del Ministerio de  
Fomento.  
e-mail: [pperezdevillar@fomento.es](mailto:pperezdevillar@fomento.es)

## **Resumen**

A efectos de España, Participación Pública Privada (PPP) es un sistema de concesión en el que el concesionario se compromete a la mejora y mantenimiento de una infraestructura y tiene el derecho de percibir una retribución a través de peaje directo o peaje sombra. Este tipo de financiación de la infraestructura es cada vez más utilizada a nivel mundial debido a las restricciones presupuestarias de los gobiernos y a la necesidad de incrementar calidad y eficiencia en proyectos de infraestructura.

La calidad y eficiencia pueden ser alcanzadas con la introducción de incentivos o penalizaciones dependiendo de algunos criterios de calidad relativos a la seguridad, aspectos técnicos del firme y medio ambiente prefijados en el contrato.

El objetivo de este trabajo es analizar si los proyectos de PPP fomentan mayor calidad en lo relativo a seguridad vial que proyectos convencionales en los que estos puntos son gestionados directamente por la Administración. Se ha aplicado modelos lineales generales de regresión de Poisson para el estudio de las principales variables de influencia sobre los accidentes y víctimas.

Como resultado se ha encontrado que las variables que no son controlables por el concesionario como la Intensidad Media Diaria y el Porcentaje de Vehículos Pesados

son las que más influyen en la seguridad vial, sin embargo, la introducción de incentivos a la seguridad vial en PPPs tiene una influencia positiva en la reducción de muertos.

## **1. Introducción**

La Participación Público Privada (PPP), entendida en un sentido amplio, está arraigando con fuerza en la provisión de infraestructura pública, especialmente la de transporte. Las concesiones de peaje directo y de peaje sombra son precisamente el paradigma de este modelo para la construcción y mantenimiento de carreteras, al cual se recurre cada vez más.

Dejando de lado el interés que puede suscitar en los decisores como herramienta para eludir restricciones presupuestarias, el sistema de PPP tiene un elevado potencial en la mejora de la calidad y eficiencia de gestión. Estos aspectos pueden ser alcanzados con la introducción de incentivos o penalizaciones, por ejemplo mediante la introducción de indicadores de calidad relativos a la seguridad vial, estado del firme y medio ambiente (Vassallo, 2007).

En las bases de licitación de los últimos proyectos llevados a cabo en España se han introducido indicadores de calidad asociados a recompensas o penalizaciones, ofreciéndosele al concesionario la posibilidad de disfrutar de un número extra de años de concesión en caso de que cumpla con unos criterios de calidad.

El estudio analiza la introducción de criterios de seguridad vial como incentivo a la gestión. El objetivo de este trabajo es analizar si los incentivos relativos a la seguridad vial en PPPs son eficientes, es decir, si dichos incentivos al concesionario realmente mejoran la seguridad vial si comparados con los proyectos convencionales en lo que son gestionados directamente por la Administración.

La mejora de la seguridad vial es uno de los objetivos sociales principales en la gestión de carreteras. En todas las fases de concepción y explotación de una carretera han de tomarse decisiones que afectan en mayor o menor medida sobre la seguridad vial. Muchas de estas son habitualmente responsabilidad de la Administración o deben tomarse siguiendo detalladas normativas técnicas. Sin embargo, existen numerosos aspectos con amplio rango de discreción por parte del gestor de la infraestructura. El interés de identificarlos es que, al ser controlables, son susceptibles de ser optimizados por el propio gestor si éste tiene suficientes incentivos para ello. En este sentido, son las fases de diseño del proyecto y de explotación donde se presentan más aspectos gestionables de la infraestructura relacionados con la seguridad vial.

El diseño de proyecto, aunque en gran parte atiende a normativas técnicas, presenta infinidad de situaciones en las que la aplicación estricta de las mismas no garantiza la seguridad. Por ejemplo, en el trazado en panta y alzado, se tiene la posibilidad de ir “más allá” buscando una mayor consistencia de los mismos de tal forma que la carretera no depare sorpresas a los usuarios. Este proceso puede sistematizarse sometiendo el proyecto a auditorías de seguridad vial, las cuales suelen detectar deficiencias aún cuando se cumpla estrictamente con la legalidad. Por su parte, la definición de la sección incluye detalles que quedan totalmente bajo el criterio del proyectista. Destacan especialmente la selección de la capa de rodadura, ya que de ella depende la adherencia de los vehículos a la carretera, y el diseño del desagüe. Estos dos aspectos tienen una gran incidencia sobre la seguridad vial.

En cualquier caso, dentro de esta fase, es en el equipamiento donde existe mayor discrecionalidad. De hecho, la disposición y características del balizamiento y de otras instalaciones orientadas a facilitar una conducción cómoda y segura no suele estar limitada por la normativa. Dentro de este grupo estaría la iluminación de tramos, la instalación de captafaros, hitos reflectantes, etc. Aunque también se incluyen a sistemas de contención de vehículos e incluso a la disposición de áreas de descanso. En general interesa siempre mayor balizamiento y mayor número de elementos pasivos de protección. Sin embargo, su coste suele ser elevado.

Durante la etapa de explotación, hay un amplísimo margen de gestión. Por ejemplo, el objetivo de mantener la vialidad en condiciones seguras (que incluye las tareas relacionadas con la vialidad invernal, la retirada de obstáculos, etc.) o el tratamiento de márgenes (muy relacionado con la visibilidad y con las posibles consecuencias de los accidentes) exigen la inspección de la infraestructura y habilitar medios humanos y maquinaria. La eficacia con que se lleven a cabo depende de la organización y dimensionamiento de los recursos, aspectos muy variables que son decididos en cada caso concreto. Otro punto a destacar durante esta fase es el mantenimiento de las características superficiales de la calzada, sobre todo en relación con la adherencia. Aparte del tipo de capa de rodadura escogida para el firme, la limpieza y renovación son tareas fundamentales sobre las que existe también un gran margen de gestión.

La renovación del equipamiento de la carretera también es una tarea sujeta a una gran variabilidad. El hecho es que, aparte de su normal recambio, su actualización conforme a los avances de la técnica depende habitualmente del propio gestor. Por último, cabe mencionar la importancia de la tarea denominada atención a incidentes, dentro de la cual se encuentra la atención a accidentes. La rapidez con que sean detectados y atendidos puede ser crucial para salvar vidas. En este sentido, las posibilidades están bastante abiertas dependiendo de la frecuencia de inspección, del dimensionamiento de los equipos y de la monitorización que se haga de la infraestructura.

## **2. Datos y Metodología**

Para el modelo empírico, se ha construido una base de datos final de tramos de la red de alta capacidad de España con información de tráfico y accidentes, provenientes de dos fuentes diferentes: Mapa de Tráfico 2006 (Ministerio de Fomento) y Base general de accidentes del 2006 (Dirección General de Tráfico).

Para este trabajo las variables estudiadas son las de tráfico y entorno: (1) intensidad media diaria anual (IMD), (2) porcentaje de vehículos pesados (Porvp), (3) número de enlaces en cada tramo (ENL), (4) número de carriles en cada tramo (CAR), (5) incentivos (INC) y (6) tipo de vía (TV). Esta última variable es categórica y en nuestro caso las clases son: autovías (AV), autovías de primera generación (1AV), autopistas de peaje directo (AP) o peaje sombra (PS) con o sin incentivos a la seguridad vial.

En España, las autovías de primera generación fueron construidas a principios de los años 80 mediante la duplicación de los trazados ya existentes con el fin de disminuir los costes de construcción. Con el paso del tiempo, los estándares de calidad en la construcción de autovías mejoraron notablemente hasta equipararse con los de las autopistas. De hecho, gran parte de las autovías construidas desde entonces no se hicieron desdoblado carreteras ya existentes, sino construyendo vías nuevas.

Las variables IMD, Porvp, TV y  $v_k$  fueron obtenidos del mapa de tráfico de 2006 (Ministerio de Fomento). El ENL fue obtenido a través de Sistemas de Información Geográfica (SIG), en concreto se utilizó el software ArcGis 9.2. El Sistema de información geográfica sirvió como herramienta de integración de la información presente en dos bases de datos a través de un campo o característica común. La primera base recoge la información alfanumérica sobre los enlaces y la segunda información geográfica en un mapa digital de autovías y autopistas de España. Cada tramo de la muestra fue analizado en el SIG para contabilizar los enlaces. El CAR fue calculado utilizando el número de carriles y la longitud de cada tramo, CAR es la media ponderada por distancia. Para conocer el TV, además del mapa de tráfico se utilizó el trabajo de Sánchez et al (2006) y el Informe 2006 sobre el sector de autopistas de peaje en España. Finalmente, para obtener los tramos que tienen incentivos a la seguridad vial (INC), se han analizado todos los contratos de concesión que estaban en vigencia en el año 2006.

Un resumen del número total de tramos y la longitud de cada tipo de vía de la base de datos se muestran en la Tabla 1. La muestra total del estudio está compuesta por 1.109 tramos de autopistas y autovías, con una longitud de 7.724,29, de los cuales 54,73% son AV, 27,41% son 1AV, 15,88% son AP y 1,98 son PS.

**Tabla 1. Información por tipo de vía**

Tipo de vía	Tramos		Longitud (Km)
	Nº	%	
AV	607	54,73	3.996,43
1AV	304	27,41	2.181,19
AP	176	15,88	1.476,07
PS	22	1,98	70,60
Total	1.109	100,00	7.724,29

Los estadísticos descriptivos de las variables transformadas mediante función logarítmica [ $Limd = \ln(IMD)$  y  $Lporvp = \ln(Porvp)$ ] por no cumplimiento de normalidad según estudio previo, se muestra en la Tabla 2. Los estadísticos descriptivos indican que existen más vehículos pesados en autovías (AV y 1AV) que en PPPs (AP y PS). El rango y la varianza en AV son mayores que en 1AV, AP y PS, indicando mayor heterogeneidad en el tráfico. PS presenta mayor homogeneidad cuando se compara con los otros tipos de vías.

La media de  $Limd$  es mayor en 1AV y PS. El alto flujo de tráfico en PS puede ser explicado debido a que dichas autopistas tienen mejor calidad y además los usuarios no pagan peajes.

La Tabla 3 muestra las correlaciones entre las variables. Para todas las variables los *p-valores* resultaron por debajo de 0,01, lo cual podría ser indicativo de ausencia de problema serio de multicolinealidad.

Además de la revisión bibliográfica en relación a variables e indicadores de seguridad vial en contratos de PPPs, se ha revisado la metodología. Uno de los principales modelos aplicados a los accidentes son los modelos lineales generales de Poisson y Binomial Negativa (Arenas et al, 2009).

En este trabajo se han ajustado Modelos lineales de regresión de Poisson para establecer la relación entre el número de muertos y las variables independientes mencionadas anteriormente.

La expresión general del modelo ajustado para cada tramo  $j$ , tipo de vía  $i$  ( $TV_i; i = \frac{1}{4}$ ), y diferentes condiciones de explotación  $l$  ( $INC_l; l = \frac{1=si}{0=no}$ ) es:

$$\hat{E}[Y_{ij}] = \exp \left[ \begin{array}{l} \hat{\beta}_0 + \hat{\beta}_1 \ln(IMD_j) + \hat{\beta}_2 \ln(Porvp_j) + \hat{\beta}_3 (ENL_j) + \hat{\beta}_4 (CAR_j) + \hat{\alpha}_i (TV_i) + \hat{\kappa}'_l (INC_l) + \hat{\lambda}_i \ln(IMD_j)_{TV_i} + \\ \hat{\delta}_i \ln(Porvp_j)_{TV_i} + \hat{\gamma}_i \ln(IMD_j)_{INC_l} + \hat{\theta}_i \ln(Porvp_j)_{INC_l} + \ln(vk_j) \end{array} \right]$$

$i = AV, 1AV, PD, PS.$

Donde IMD es la intensidad media diaria, Porcvp es el porcentaje de vehículos pesados, TV es el tipo de vía, INC son los incentivos al concesionario. Las variables medidas por cada tramo  $j$  son: ENL es el número de enlaces, CAR es el número de carriles y  $vk$  es la medida de exposición en millón de vehículo-kilometro determinada como  $IMD*365*longitud/10^6$ . El modelo también incorpora términos de interacción entre los diferentes regresores por ejemplo los términos  $\ln(IMD_j)_{TVi}$  y  $\ln(Porcvp_j)_{TVi}$  se han introducido para indicar que la IMD y el Porcvp sobre el número de muertos está influenciado por el tipo de vía. Los términos  $\ln(IMD_j)_{INCI}$  y  $\ln(Porcvp_j)_{INCI}$  indican que la IMD y el Porcvp será diferente dependiendo si el tramo  $j$  tiene incentivos a la seguridad vial o no ( $INC=1$  o  $INC=0$ ).

De entre los modelos de Poisson ajustados, que se diferencian en las variables explicativas incorporadas, se ha seleccionado el mejor en base a criterios estadísticos de log-likelihood, AIC (Bozdogan, 1987) y BIC (Schwarz, 1978). Las variables explicativas del modelo final son: IMD, Porcvp, ENL, TV e INC.

La expresión general del modelo se puede particularizar por tipo de vía. La expresión del número de muertos por unidad de exposición para cada tramo  $j$ , por tipo de vía  $i$  y diferentes condiciones de explotación  $l$  se calcula como:

$$\hat{\lambda}_{ij} = \frac{E[Y_{ij}]}{vk_j}$$

### 3. Resultados y Conclusiones.

- La variable más significativa es la IMD y su influencia depende del tipo de vía.
- Existen más muertos en tramos sin incentivos cuando se compara con tramos con incentivos. La variable INC podría tener influencia en la seguridad vial. Por lo tanto, según el modelo, se incrementa el número de muertos en tramos sin incentivos si se compara con tramos con incentivos.
- Existen más muertos en tramos con por lo menos un enlace cuando se compara con tramos en que no hay enlaces. Si el numero de enlaces aumenta se podría incrementar el número de muertos por veh/Km.
- El parámetro de sobredispersión es 1,88, lo que es indicativo de la sobredispersión de los datos. Como alternativa, el siguiente paso de este trabajo será realizar regresión de la binomial negativa para resolver el problema de sobredispersión de los datos.

**Tabla 2. Estadísticos de variables independientes por tipo de vía.**

Tipo de vía	AV	IAV	AP	PS	Global	AV	IAV	AP	PS	Global	AV	IAV	AP	PS	Global	AV	IAV	AP	PS	Global	
Media	9,91	10,19	9,42	10,51	9,92	2,73	3,07	2,21	2,19	2,73	2,08	2,38	1,55	1,68	2,07	4,25	4,30	4,28	5,00	4,28	
Mediana	9,77	10,06	9,48	10,57	9,86	2,72	3,12	2,28	1,95	2,77	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	4,00	4,00	4,00	5,00	4,00	
Moda	7,15	9,65	9,05	10,43	9,65	2,48	3,54	1,48	2,95	3,54	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00	
Desviación típica	0,91	0,72	0,83	0,42	0,88	0,57	0,44	0,56	0,42	0,61	1,21	1,59	0,70	0,65	1,28	0,95	0,73	0,85	1,20	0,89	
Varianza	0,83	0,51	0,69	0,18	0,77	0,33	0,19	0,31	0,18	0,37	1,45	2,51	0,49	0,42	1,64	0,91	0,54	0,72	1,43	0,80	
Asimetría	0,24	0,69	-0,47	-3,48	0,07	-0,21	-0,94	-0,56	1,12	-0,45	1,05	1,85	-0,32	-0,76	1,67	1,90	2,49	1,09	0,37	1,84	
Error tip. asim.	0,10	0,14	0,18	0,49	0,07	0,10	0,14	0,18	0,49	0,07	0,10	0,14	0,18	0,49	0,07	0,10	0,14	0,18	0,49	0,07	
Rango	5,12	3,62	3,99	2,12	5,27	3,29	2,43	3,13	1,15	3,92	8,00	12,00	3,00	3,00	12,00	6,00	5,00	6,00	4,00	6,00	
Mínimo	7,15	8,54	7,00	8,76	7,00	1,03	1,53	0,40	1,80	0,40	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	2,00	3,00	2,00	3,00	2,00	
Máximo	12,27	12,16	10,99	10,88	12,27	4,32	3,96	3,53	2,95	4,32	8,00	12,00	3,00	3,00	12,00	8,00	8,00	8,00	7,00	8,00	
Percentiles	25	9,25	9,76	9,03	10,43	9,35	2,34	2,87	1,90	1,95	2,32	1,00	2,00	1,00	1,00	1,00	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00
	50	9,77	10,06	9,48	10,57	9,86	2,72	3,12	2,28	1,95	2,77	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	4,00	4,00	4,00	5,00	4,00
	75	10,47	10,47	10,00	10,70	10,43	3,20	3,37	2,61	2,75	3,22	3,00	3,00	2,00	2,00	2,00	4,00	4,00	4,00	6,00	4,00

**Tabla 3. Correlaciones**

	Limd	Lporvp	ENL	CAR	MUERTOS
Limd	1	-0,149**	0,109**	0,368**	0,029
Lporvp	-0,149**	1	0,142**	-0,143**	0,002
ENL	0,109**	0,142**	1	0,099**	0,086**
CAR	0,368**	-0,143**	0,099**	1	0,077**
MUERTOS	0,029	0,002	0,086**	0,077**	1

\*\* p < 0,01

Con el presente estudio se pretende contribuir de manera significativa a la toma de decisiones como herramienta de análisis, en particular en los aspectos de seguridad vial en proyectos de PPPs. Además, evaluar y analizar si esto podría tener alguna ventaja como modelo de gestión.

Este trabajo fue motivado en principio por la necesidad de cuantificar como los incentivos dados a los concesionarios influyen en la seguridad vial ya que existen muy pocos estudios que analizan la calidad de los proyectos de PPP. Además, hasta donde los autores conocen no existe ningún trabajo que explique directamente el impacto de los incentivos a la seguridad vial.

### Referencias

- Arenas, B., Aparicio, F., González, C., Gómez, A. (2009). The influence of heavy good vehicle traffic on accidents on different types of Spanish interurban roads. *Accident Analysis and Prevention*, 41, 15-24
- Base de datos de Accidentes (2006). Dirección General de Tráfico, España.
- Bozdogan, H., (1987). Model selection and Akaike's Information Criterion (AIC): the general theory and its analytical extensions. *Psychometrika* 52, 345–370.
- Informe 2006 sobre el sector de autopistas de peaje en España. Delegación del Gobierno en las Sociedades Concesionarias de Autopistas Nacionales de Peaje. Ministerio de Fomento.
- Mapa de Tráfico, 2006. Ministerio de Fomento. Dirección General de Carreteras, Madrid, España.
- Sánchez, A., Vassallo, J.M., Castroman, A., Delgado, C. (2006). Nuevo modelo de gestión concesional en autovías de primera generación. ETSI Caminos, Canales y Puertos. Universidad Politécnica de Madrid. Ministerio de Fomento.
- Schwarz, G. (1978). Estimating the dimension of a model. *The Annals of Statistics* 6, 461–464.
- Vassallo, J.M. (2007). Implementation of quality criteria in tendering and regulating infrastructure management contracts. *Journal of Construction Engineering and Management*, Vol. 133 (8), 553-561.