



GRADO EN ECONOMÍA

Economía del transporte. Análisis de accidentes de tráfico
en España

Transport economics. Analysis of traffic accidents in Spain

Autor: Alejandro Aja Lavin

Directora: Marta Elisa de la Fuente Renteria

Santander, 12 de julio de 2022

Índice

Índice.....	2
Índice de gráficos, tablas e imágenes.....	3
Resumen.....	4
Abstract.....	5
1. INTRODUCCIÓN.....	6
2. MARCO TEÓRICO.....	7
2.1 Los datos de panel.....	7
2.2 El modelo de efectos fijos.....	7
2.3 El modelo de efectos aleatorios.....	8
2.4 ¿Efectos fijos o efectos aleatorios.....	8
3. DATOS.....	9
4. MODELOS Y RESULTADOS.....	10
4.1 Modelo 1. Periodo 2003-2019. Impacto de la introducción del carnet por puntos en el número de accidentes.....	10
4.2 Modelo 2. Periodo 2003-2019. Impacto de la introducción del carnet por puntos en el número de muertes en accidente de tráfico.....	13
5. CONCLUSIONES.....	19
6. BIBLIOGRAFÍA.....	20

Índice de gráficos, tablas e imágenes.

Gráficos

4.1 Número de accidentes de tráfico en España (2003-2019).....	12
--	----

Tablas

3.1 Estadísticos principales de las variables del modelo.....	9
4.1 Resultados de las estimaciones del Modelo 1.....	10
4.2 Resultados de las estimaciones del Modelo 2.....	13
4.3 Número de accidentes y víctimas mortales por CC.AA en los años 2005 y 2008 y su variación.....	15
4.4 Variación del número de fallecidos, 2001-2010.....	17
4.5 Nº de accidentes de tráfico en España. 1993-2003.....	18

Imágenes

4.1 Variación de las muertes por millón de habitantes en la UE, 2003-2007.....	17
--	----

Resumen

El objetivo principal de este documento es llevar a cabo un análisis de los accidentes de tráfico en España. A este efecto, se revisarán los datos de accidentes de tráfico y víctimas mortales como consecuencia, e indicador de la gravedad, de estos accidentes.

El estudio de estas variables se llevará a cabo proponiendo unos modelos de datos de panel, que se estiman tanto en efectos fijos como en efectos aleatorios. Se aplica la regla de decisión del contraste de Hausman para seleccionar la mejor estimación.

Se identifica la puesta en marcha del permiso por puntos en 2006 como un hecho relevante en el análisis, y por este motivo será parte fundamental del estudio. Se observa que el impacto que ha tenido esta medida ha sido muy relevante en el objetivo marcado por las Administraciones Publicas de conseguir un descenso en el número de accidentes y fallecidos en las carreteras españolas.

Además, se apoyan los resultados del análisis a través de la revisión de diferentes estudios que permiten complementar la información que aportan los datos. El permiso de conducir por puntos dio lugar a una mejora con respecto al número de accidentes y muertes en la carretera, pero esta mejora es complementada con otros aspectos como el crecimiento económico o los cambios en la forma de afrontar la conducción de los conductores.

Palabras clave: transporte por carretera, accidentes, carnet por puntos, muertes en carretera, tráfico.

Abstract

The main objective of this document is to make an analysis of the traffic accidents of Spain. To this effect, it will be revised the data available of traffic accidents and deaths as consequence of the accidents.

The study of this variables will be carried out proposing panel data models. This models are estimated both with fix effects and aleatory effects. Applying the decisión rule of Hausman`s contrast to decide wich one is better.

The introduction of the points license is identified as a key aspecto in the analysis. It will be a fundamental part of this análisis. The impact that this measure has had on the goals of the Public Administrations has been relevant to achieve a reduction on accidents and deaths.

Also, the results of the analysis are supported with evidence from other studies. Complementing the information got from our data. The points license lead to an improvement on accidents and deaths figures. With the numbers going down. This improvement was complemented by other aspects such as economic growth or behavioural changes of the drivers.

Key words: road transport, accidents, points license, traffic deaths.

1. INTRODUCCIÓN

Durante años, las víctimas por accidentes de tráfico han representado la principal causa de muerte en España, no teniendo en cuenta las muertes provocadas por diversas enfermedades. Esta tendencia, al igual que el número total de fallecidos en accidente de tráfico ha ido, con el paso de los años, disminuyendo.

En la actualidad, nos encontramos con los números más bajos de víctimas como consecuencia de accidentes en carretera de la historia y éstas ya no representan la principal causa de fallecimientos por causas externas. (INE, 2021)

Aunque, atendiendo a los datos que recogen el Ministerio de Transportes a través del OTLE (2022) y la Dirección General de Tráfico (2022), la tendencia tanto en el número de víctimas como de accidentes estaba siendo descendente a lo largo de los años. Se produce un evento que hace que esta tendencia decreciente aumente de gran forma su intensidad.

El 1 de julio de 2006 entra en vigor en España el permiso de conducción mediante el sistema de puntos. Esta medida que estaba resultando en descensos de la mortalidad en carretera de otros países europeos donde había sido implantada, se introduce dentro del Plan Estratégico de Seguridad Vial 2005-2008.

Si bien es cierto que, durante estos años se ha visto un gran avance en materia de seguridad vial. Desde la evolución de los vehículos, campañas de concienciación de las autoridades, mejora de las vías de tráfico o una mayor vigilancia y control de las conductas que podrían sancionarse de los conductores. La puesta en marcha del permiso por puntos representa el principal cambio dentro de la seguridad vial.

Como queda recogido en el informe: Valoración de la implantación del permiso por puntos realizado tras 2 años de permiso por puntos. (RACC, 2008): *“El ahorro total en millones de euros si contabilizamos la reducción de muertos, heridos graves y leves en las carreteras españolas sería de 1.524 millones de €. Esta cifra no incluye el impacto que pueda haber tenido el Permiso por Puntos en el ámbito urbano y no contempla los costes (policía, radares, etc.) derivados de la aplicación de esta medida.”*

Más allá del impacto económico de la medida se pretende analizar las consecuencias de la introducción de este permiso sobre la mortalidad y accidentabilidad en las carreteras españolas a través de los datos disponibles, que se explican en el apartado 4 de este trabajo.

Para llevar a cabo este análisis, se opta por trabajar con modelos de datos de panel, como son el modelo de efectos fijos y el modelo de efectos aleatorios. El funcionamiento de estos modelos se desarrolla dentro del apartado 3. Dentro de este tercer apartado se revisa el funcionamiento del contraste de Hausman, herramienta fundamental para la selección de los resultados.

Por último, en el quinto apartado se muestran los modelos que se han desarrollado y estimado, junto con los resultados de sus estimaciones, la decisión basada en el contraste sobre qué modelo nos está generando los mejores resultados y un análisis acerca de las estimaciones que el modelo ofrece. Complementado con el análisis de datos totales ofrecidos por las diferentes autoridades e información revisada en otros estudios. Seguido por el apartado 6 donde se recogen las conclusiones obtenidas.

2. MARCO TEORICO

2.1. LOS DATOS DE PANEL

El concepto de datos de panel hace referencia a la combinación de datos para los que se dispone de información de diversas características en el tiempo para varios individuos, es posible realizar un seguimiento de las unidades que se están analizando durante un periodo de tiempo. Y se puede tomar para cada periodo de tiempo y cada unidad de estudio los mismos datos sobre diferentes variables. (Wooldridge, 2010).

Dentro de las posibilidades existentes en los datos de panel, se va a trabajar con paneles balanceados, es decir, que se disponen de datos para todos los individuos analizados, en este caso provincias, de todas las variables y en todas las observaciones.

Una característica fundamental de trabajar con este tipo de datos es la heterogeneidad no observada, que en los modelos se indica como a_i , que va a recoger los factores que no influyen sobre la variable dependiente, de manera constante en el tiempo, pero no podemos observar. En el caso que nos ocupa veremos de qué forma los diferentes modelos utilizan transformaciones para poder obtener las estimaciones más correctas posibles. (Wooldridge, 2010).

Ejemplos de factores que podrían quedar incluidos dentro de la heterogeneidad no observada en nuestro contexto pueden ser la habilidad de los conductores o el tiempo medio de respuesta de los servicios de emergencia ante un accidente.

2.2 EL MODELO DE EFECTOS FIJOS.

El modelo de efectos fijos realiza una transformación antes de llevar a cabo las estimaciones. Elimina la heterogeneidad no observada, a_i , y junto a ella las variables explicativas que tomen valores constantes en el tiempo. (Wooldridge, 2010).

Para visualizar el funcionamiento de esta transformación, se recurre al ejemplo recogido en Wooldridge (2010) donde, partiendo de la exposición de un modelo básico inicial, se muestra la transformación hasta obtener el estimador de efectos fijos.

Así a partir de la ecuación inicial (2.2.1):

$$y_{it} = \beta_1 x_{it} + a_i + u_{it} \quad (2.2.1)$$

Se obtiene para cada i , el promedio de la ecuación en el tiempo (2.2.2):

$$\bar{y}_i = \beta_1 \bar{x}_i + a_i + \bar{u}_i \quad (2.2.2)$$

Como la heterogeneidad no observada, a_i , no varía con el tiempo, aparece en ambas ecuaciones. Si efectuamos la resta de las 2 ecuaciones, la inicial y la ecuación en medias para el tiempo, obtenemos la que se denomina ecuación de efectos fijos (2.2.3). Donde se observa que la heterogeneidad ha desaparecido de la ecuación debido a la transformación. (Wooldridge, 2010)

$$\dot{y}_{it} = \beta_1 \dot{x}_{it} + \dot{u}_{it} \quad (2.2.3)$$

A partir de esta ecuación, se realiza una estimación combinada de mínimos cuadrados ordinarios, obteniéndose los estimadores de efectos fijos. (Wooldridge, 2010)

2.3 EL MODELO DE EFECTOS ALEATORIOS

La principal diferencia entre el modelo de efectos fijos y el modelo de efectos aleatorios radica en la correlación entre la heterogeneidad no observada y las variables explicativas. Mientras en el caso de los efectos fijos la heterogeneidad puede tener correlación con las variables, en el caso de los efectos aleatorios se ha de suponer que el efecto no observado, a_i , no presenta correlación con las variables independientes del modelo. (Wooldridge, 2010)

Se parte con la ecuación (2.3.1):

$$y_{it} = \beta_0 + \beta_1 x_{it1} + \dots + \beta_k x_{itk} + a_i + u_{it} \quad (2.3.1)$$

Al aplicar el supuesto de la no correlación entre a_i y las variables explicativas, resulta indeseable utilizar una transformación como la de efectos fijos que provoca que se elimine el efecto no observado. La forma en la que se desarrolla el modelo de efectos aleatorios es, una vez asumida la incorrelación de heterogeneidad y variables, se define un término de error compuesto (2.3.2):

$$v_{it} = a_i + u_{it} \quad (2.3.2)$$

que va a hacer que la ecuación quede definida de la siguiente forma (2.3.3):

$$y_{it} = \beta_0 + \beta_1 x_{it1} + \dots + \beta_k x_{itk} + v_{it} \quad (2.3.3)$$

Del análisis del término de error compuesto se extrae la conclusión de que existe una autocorrelación positiva en el término de error. Para superar este problema de autocorrelación se utiliza una transformación de mínimos cuadrados (2.3.4) generalizados que se define:

$$\lambda = 1 - [\sigma_u^2 / \sigma_a^2 + T\sigma_u^2]^{1/2} \quad (2.3.4)$$

obteniéndose la ecuación transformada (2.3.5):

$$y_{it} - \lambda \bar{y}_i = \beta_0(1 - \lambda) + \beta_1(x_{it1} - \lambda \bar{x}_{i1}) + \dots + \beta_k(x_{itk} - \lambda \bar{x}_{ik}) + (v_{it} - \lambda \bar{v}_i) \quad (2.3.5)$$

sobre la que se aplica una estimación de MCO combinados. (Wooldridge, 2010)

2.4 ¿EFECTOS FIJOS O EFECTOS ALEATORIOS?

Una vez se dispone de los resultados de estimar nuestro modelo tanto mediante estimaciones de efectos fijos, como en aleatorios, surge la cuestión de cuál de las dos estimaciones ofrece una mejor adecuación a los datos. Para resolver esta cuestión se emplea el Contraste de Hausman.

Sobre este tema Wooldridge (2010, p.493) recoge: “*Sigue siendo muy común ver a investigadores que aplican tanto los efectos fijos como los efectos aleatorios, y luego prueban de manera formal las diferencias estadísticamente significativas en los coeficientes de las variables explicativas que cambian con el tiempo. [...] Hausman propuso por primera vez este tipo de prueba*”

La idea del contraste es verificar que las estimaciones que se obtienen el modelo de efectos aleatorios cumplen la con la condición de incorrelación, donde la hipótesis nula (2.4.1) es que:

$$Cov(x_{it}, a_i) = 0 \quad (2.4.1)$$

Si se rechazase la hipótesis nula del contraste, se podrá concluir que la condición de incorrelación no se cumple y, por tanto, debe utilizarse el modelo de efectos fijos.

3. DATOS

El objetivo fundamental de este trabajo es la realización de un análisis de las variables que pueden explicar las cifras de mortalidad y accidentabilidad en transporte por carretera en España para el periodo 2003-2019. Para llevar a cabo el análisis se ha recopilado la información de las principales variables que afectan al tráfico y de las que estaba disponible su detalle por provincias.

Bajo la condición de obtener los datos desglosados por provincias se obtienen datos para las siguientes variables, que son las que formarán los modelos. El motivo de tal agrupación es la disponibilidad de datos de las variables de interés, que se puede considerar afectan la accidentalidad y a la gravedad de esta. Las variables de las que se dispone información para el periodo completo y para todas las provincias:

En primer lugar, la variable “*muertos*” que recoge las cifras totales de víctimas mortales como consecuencia de un accidente de tráfico, de forma inmediata o en el espacio de los 30 días posteriores al mismo. Y la variable “*accidentes*” donde se registra el número de accidentes de tráfico donde se ha reportado alguna víctima de cualquier tipo. (OTLE, 2022).

Para completar los modelos se incluyen como variables independientes el producto interior bruto, variable “*PIB*”, que recoge el valor de este indicador para cada provincia, tomando como año base 2010 y medido en miles de euros. (INE, 2022a). Y la población, que se incluye en el modelo en la variable “*población*”, de acuerdo con los datos del censo anual de cada provincia. (INE, 2022b).

También se incluye, “*voltrafico*”, que mide en millones de vehículos por kilómetro el volumen de tráfico que se produce en las carreteras. (OTLE, 2022).

A continuación, en la Tabla 3.1 se recogen los principales estadísticos que muestran las variables empleadas:

Tabla 3.1 Estadísticos principales de las variables.

Estadístico principales, usando las observaciones 1:01 - 50:17				
Variable	Media	Mediana	Mínimo	Máximo
muertos	55,2647	41,0000	5,00000	380,000
accidentes	1879,19	931,500	108,000	20986,0
poblacion	908168,	629873,	89501,0	6,64165e+006
PIB	2,09434e+007	1,21888e+007	1,72785e+006	2,41040e+008
voltrafico	4791,40	3600,40	1033,90	24347,8
Variable	Desv. Típica.	C.V.	Asimetría	Exc. de curtosis
muertos	47,3179	0,856204	2,58905	9,79112

accidentes	3211,63	1,70905	4,18914	17,8589
poblacion	1,12131e+006	1,23470	3,47143	12,7772
PIB	3,29810e+007	1,57477	4,29391	19,2575
voltrafico	4004,42	0,835752	2,88909	9,49749

Fuente: Elaboración propia con el software GRETL.

4. MODELOS Y RESULTADOS

4.1 MODELO 1 , PERIODO 2003-2019. IMPACTO DE LA INTRODUCCIÓN DEL CARNET POR PUNTOS EN EL NÚMERO DE ACCIDENTES

En el primer modelo a analizar, el objetivo principal es el estudio del impacto que tuvo la introducción en España del carnet por puntos en la accidentalidad por carretera. El carnet por puntos entra en vigor en España el día 1 de julio de 2006, dentro del Plan Estratégico de Seguridad Vial, con el objetivo de reducir la accidentabilidad en carretera y sus consecuencias derivadas de acciones individuales que generan riesgo

Hasta ese momento, los conductores sancionados por incumplir la normativo de trafico de algún modo, recibían una sanción económica. Ahora, con el nuevo carnet, los conductores podrían perder su permiso de conducción si acumulaban sanciones que implicasen la pérdida de puntos. El objetivo principal de este cambio normativo era lograr la disminución de accidentabilidad y mortalidad en las carreteras españolas corrigiendo el comportamiento de los conductores, concretamente la DGT marcó como meta la cifra del 40% de reducción de las víctimas mortales en accidente de tráfico para el periodo 2005-2008, tomando como referencia el año 2003.

En todos los modelos estimados se utiliza el logaritmo de las variables. De esta forma, además de restringir los rangos de las variables, se consigue limitar el efecto que puedan provocar variables atípicas en las estimaciones y las estimaciones resultarán más estables al reducirse la variabilidad. Y se incluye la variable “carnet”, una variable de tipo dummy para diferenciar los años en que el carnet por puntos estaba en vigor.

Se analiza para este primer periodo, el impacto de la medida sobre la accidentabilidad, para ello se estima un modelo utilizando la variable *accidentes* como variable dependiente. Quedando definido el Modelo 1 de la siguiente forma:

$$\log(\text{accidentes}_{it}) = \beta_0 + \beta_1 \log(\text{población}_{it}) + \beta_2 \log(\text{PIB}_{it}) + \beta_3 \log(\text{voltrafico}_{it}) + \beta_4 \text{carnet}_{it} + a_i + u_{it}$$

Tabla 4.1 Resultados de las estimaciones del Modelo 1

Modelo 1: Efectos fijos, utilizando 850 observaciones
Se han incluido 50 unidades de sección cruzada
Largura de la serie temporal = 17
Variable dependiente: l_accidentes

	<i>Coefficiente</i>	<i>Desv. Típica</i>	<i>Estadístico t</i>	<i>Valor p</i>	
const	-22,6794	3,27871	-6,9172	<0,00001	***
l_poblacion	1,86896	0,230586	8,1053	<0,00001	***
l_PIB	0,226807	0,124882	1,8162	0,06972	*
l_voltrafico	0,16017	0,0953869	1,6792	0,09351	*
carnet	-0,337006	0,030183	-11,1654	<0,00001	***

Media de la vble. dep. 6,956290 D.T. de la vble. dep. 0,963839

Suma de cuad. residuos	38,34652	D.T. de la regresión	0,219486
R-cuadrado	0,951381	R-cuadrado corregido	0,948143
F(53, 796)	293,8884	Valor p (de F)	0,000000
Log-verosimilitud	110,7956	Criterio de Akaike	-113,5912
Criterio de Schwarz	142,6516	Crit. de Hannan-Quinn	-15,43685
rho	0,658606	Durbin-Watson	0,619993

Contraste de diferentes interceptos por grupos -

Hipótesis nula: Los grupos tienen un intercepto común

Estadístico de contraste: $F(49, 796) = 29,9141$

con valor $p = P(F(49, 796) > 29,9141) = 2,41748e-147$

Modelo 1: Efectos aleatorios (MCG), utilizando 850 observaciones

Se han incluido 50 unidades de sección cruzada

Largura de la serie temporal = 17

Variable dependiente: I_accidentes

	Coeficiente	Desv. Típica	Estadístico t	Valor p	
const	-7,68534	0,723965	-10,6156	<0,00001	***
I_poblacion	0,787066	0,111228	7,0761	<0,00001	***
I_PIB	0,257493	0,108651	2,3699	0,01802	**
I_voltrafico	0,0209312	0,0857951	0,2440	0,80732	
carnet	-0,27737	0,0242459	-11,4399	<0,00001	***

Media de la vble. dep.	6,956290	D.T. de la vble. dep.	0,963839
Suma de cuad. residuos	117,2147	D.T. de la regresión	0,372225
Log-verosimilitud	-364,0754	Criterio de Akaike	738,1508
Criterio de Schwarz	761,8770	Crit. de Hannan-Quinn	747,2392

Varianza 'dentro' (Within) = 0,048174

Varianza 'entre' (between) = 0,0866227

theta usado para quasi-demeaning (casi quitar la media) = 0,81913

Contraste de Breusch-Pagan -

Hipótesis nula: Varianza del error específico a la unidad = 0

Estadístico de contraste asintótico: Chi-cuadrado(1) = 2452,07

con valor $p = 0$

Contraste de Hausman -

Hipótesis nula: Los estimadores de MCG son consistentes

Estadístico de contraste asintótico: Chi-cuadrado(4) = 30,8448

con valor $p = 3,29285e-006$

Fuente: Elaboración propia con el software GRET

En primer lugar, atendiendo al resultado que reporta el contraste de Hausman, donde p -valor $< 0,05$, se concluye que de las dos estimaciones resulta más deseable atender a los resultados que reporta el modelo de efectos fijos

La estimación por efectos fijos de este modelo genera estimaciones estadísticamente significativas individualmente, para todas las variables. Donde "población" y "carnet"

tienen una mayor significatividad, como se deduce observando sus valores más elevados del estadístico t.

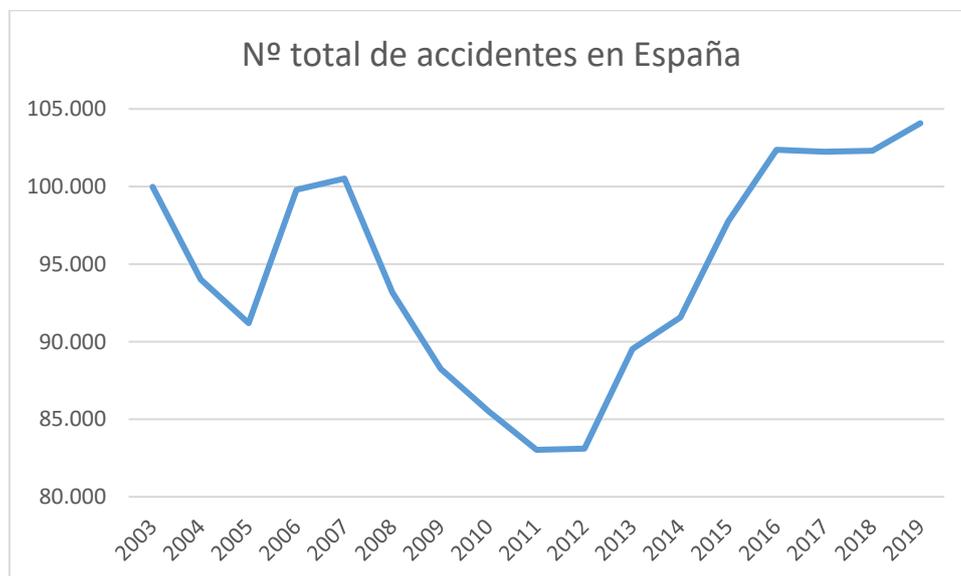
El impacto que el PIB tiene sobre el número de accidentes, de acuerdo con las estimaciones que ofrece el modelo de efectos fijos, es positivo. Esto es, aumentos en el PIB van a tener como consecuencia un aumento en el número de accidentes, Exactamente, un incremento porcentual unitario del PIB va a dar lugar a que el número de accidentes se incremente en un 0,22%

Se observa que el signo del resto de las estimaciones coincide con lo que se esperaría dadas las variables, los accidentes se ven afectados de forma positiva tanto por incrementos en el volumen de tráfico como por el nivel de población que existe en las provincias. Y queda reflejado el impacto negativo en la accidentabilidad que tuvo la introducción del carnet por puntos.

Este impacto no es tan evidente en los datos de accidentes recogidos por el Ministerio de Transportes donde en el año 2003 se registran 99.897 accidentes frente a los 104.080 que se registraron en 2019, es decir, la cifra total de accidentes ha aumentado. Sin embargo, hay que tener en cuenta el valor relativo de estos accidentes frente al resto de variables. Tanto población como PIB han experimentado un aumento continuado a lo largo del periodo analizado dando lugar a que, por ejemplo, se produzca un número similar de accidentes en 2003 y 2019, pero esos accidentes se producen en poblaciones con mayor número de habitantes y para mayores volúmenes de tráfico, dando como resultado una menor accidentabilidad.

Resulta sencillo, para visualizar el impacto que tuvo la entrada en vigor de la normativa del carnet por puntos, observar las cifras reales de accidentes anuales en España.

Gráfico 4.1. Número de accidentes de tráfico en España (2003-2019)



Fuente: Elaboración propia a partir de datos del Ministerio de Transportes (OTLE,2022)

La representación gráfica de los datos deja clara la tendencia en el número de accidentes tras la entrada en vigor del carnet por puntos, en julio de 2006, es evidente el decrecimiento en el periodo que transcurre entre 2007 y 2012, inmediatamente después del comienzo de la aplicación de este carnet.

Es posible encontrar una explicación a este inmediato y fuerte descenso en el número de accidentes en el principal factor determinante de los mismos, el factor humano.

Aunque los accidentes están condicionados por diferentes causas como el estado de la carretera, el mantenimiento de los vehículos o el clima, la principal causa de accidente en carretera es el comportamiento de los propios conductores (Montoro et al., 2000).

Por esto, el carnet por puntos penaliza directamente a los conductores de forma que, ante la posibilidad de perder el permiso de conducción, con las consecuencias que esto conlleva, los conductores tengan menos comportamientos merecedores de sanción.

Queda reflejado que la entrada en vigor del permiso por puntos ha provocado un cambio radical en el comportamiento de los conductores. Este cambio se ha analizado desde el punto de vista de la investigación social, a través del análisis de los cambios en el comportamiento y toma de decisiones de los conductores.

Los resultados de estos análisis apoyan el resultado obtenido en nuestras estimaciones, la puesta en marcha del carnet por puntos ha provocado un descenso del número de accidentes en carretera, que viene explicado por el factor humano. Cabe destacar de entre los resultados que aportan estos estudios, que un 40% de la muestra estudiada afirma haber cambiado su comportamiento en la carretera como consecuencia de la implantación del permiso por puntos. O que el hecho de poder perder su permiso de conducción es lo que más preocupa a los conductores a raíz de este nuevo formato de permiso. (Montoro et al., 2008)

4.2 MODELO 2. PERIODO 2003-2019. IMPACTO DE LA INTRODUCCIÓN DEL CARNET POR PUNTOS EN EL NÚMERO DE MUERTES EN ACCIDENTE DE TRAFICO.

Tras el análisis de las estimaciones del modelo sobre el número de accidentes de tráfico, se continúa profundizando en el análisis de los datos estimando, en este caso, un modelo similar al primero, sustituyendo la variable dependiente. Se empleará el número de muertes en accidente de tráfico en lugar del número de accidentes.

Se define el segundo modelo, que denominamos Modelo 2, de la siguiente forma:

$$\log(\text{muertos})_{it} = \beta_0 + \beta_1 \log(\text{población}_{it}) + \beta_2 \log(\text{PIB}_{it}) + \beta_3 \log(\text{voltrafico}_{it}) + \beta_4 \text{carnet}_{it} + a_i + u_{it}$$

El modelo estima como variable dependiente el logaritmo de la variable muertes frente a las variables independientes, también en forma logarítmica de *población*, *PIB* y *voltrafico*. Además, se incluye una variable dummy, *carnet*, que toma valor 1 para los años en los que el carnet por puntos ha estado en vigor (2007 en adelante) y valor cero para señalar los años en los que aún no existía este carnet.

Obtenemos los resultados de su estimación aplicando el modelo de efectos fijos y el modelo de efectos aleatorios:

Tabla 4.2 Resultados de las estimaciones del Modelo 2

Modelo 2: Efectos fijos, utilizando 850 observaciones
 Se han incluido 50 unidades de sección cruzada
 Largura de la serie temporal = 17
 Variable dependiente: I_muertos

	Coeficiente	Desv. Típica	Estadístico t	Valor p	*
const	7,75308	4,59076	1,6888	0,09164	*

ECONOMÍA DEL TRANSPORTE. ANÁLISIS DE ACCIDENTES DE TRÁFICO EN ESPAÑA

I_poblacion	0,153159	0,32286	0,4744	0,63536	
I_PIB	-0,973246	0,174856	-5,5660	<0,00001	***
I_voltrafico	1,25409	0,133558	9,3898	<0,00001	***
carnet	-0,639404	0,0422614	-15,1297	<0,00001	***
Media de la vble. dep.	3,735606	D.T. de la vble. dep.	0,737129		
Suma de cuad. residuos	75,17786	D.T. de la regresión	0,307318		
R-cuadrado	0,837035	R-cuadrado corregido	0,826184		
F(53, 796)	77,14099	Valor p (de F)	1,6e-275		
Log-verosimilitud	-175,3114	Criterio de Akaike	458,6228		
Criterio de Schwarz	714,8656	Crit. de Hannan-Quinn	556,7772		
rho	0,362574	Durbin-Watson	1,223926		

Contraste de diferentes interceptos por grupos -

Hipótesis nula: Los grupos tienen un intercepto común

Estadístico de contraste: $F(49, 796) = 8,23777$

con valor p = $P(F(49, 796) > 8,23777) = 2,19352e-044$

Modelo 2: Efectos aleatorios (MCG), utilizando 850 observaciones

Se han incluido 50 unidades de sección cruzada

Largura de la serie temporal = 17

Variable dependiente: I_muertos

	<i>Coefficiente</i>	<i>Desv. Típica</i>	<i>Estadístico t</i>	<i>Valor p</i>	
const	-1,1791	0,588108	-2,0049	0,04529	**
I_poblacion	0,306486	0,121525	2,5220	0,01185	**
I_PIB	-0,45065	0,117153	-3,8467	0,00013	***
I_voltrafico	1,06392	0,100813	10,5534	<0,00001	***
carnet	-0,749105	0,0304357	-24,6127	<0,00001	***
Media de la vble. dep.	3,735606	D.T. de la vble. dep.	0,737129		
Suma de cuad. residuos	117,0886	D.T. de la regresión	0,372025		
Log-verosimilitud	-363,6179	Criterio de Akaike	737,2358		
Criterio de Schwarz	760,9620	Crit. de Hannan-Quinn	746,3241		

Varianza 'dentro' (Within) = 0,0944445

Varianza 'entre' (between) = 0,0452972

theta usado para quasi-demeaning (casi quitar la media) = 0,64979

Contraste de Breusch-Pagan -

Hipótesis nula: Varianza del error específico a la unidad = 0

Estadístico de contraste asintótico: Chi-cuadrado(1) = 502,927

con valor p = 2,1939e-111

Contraste de Hausman -

Hipótesis nula: Los estimadores de MCG son consistentes

Estadístico de contraste asintótico: Chi-cuadrado(4) = 18,1427

con valor p = 0,0011573

Fuente: Elaboración propia con el software GRET.L.

Atendiendo al resultado del contraste de Hausman, donde $p\text{-valor}=0,0011573 < 0,05$, se rechaza la hipótesis nula. Por tanto, es preferible utilizar las estimaciones obtenidas en el modelo de efectos fijos.

De acuerdo a la información obtenida en la estimación de efectos fijos, se observa que las variables, a excepción de $\log(\text{población})$ son estadísticamente significativas individualmente y además su estimación tiene un sentido lógico.

La variable PIB, estadísticamente significativa, presenta signo negativo, es decir, del modelo se concluye que el impacto de aumentos del PIB sobre el número de muertes consecuencia de accidentes de tráfico es negativo. Concretamente, si se produjese un incremento de un 1% del PIB, se traduciría en un descenso del 0,97% del número de víctimas mortales.

En el caso de la variable voltrafico , cuyo parámetro se estima con signo positivo, entra dentro de lo esperado que ante una mayor ocupación de las carreteras se produzcan como consecuencia más víctimas mortales en accidentes.

Del mismo modo, si tomamos los resultados del modelo de efectos fijos para la variable carnet , se observa que esta tiene signo negativo, se evidencia que la medida ha dado lugar a una reducción del número de víctimas en accidentes. De acuerdo a la estimación del modelo, la disminución esperada en el número de muertos en accidentes de tráfico entre los años con vigencia del carnet por puntos y aquellos años en los que aún no estaba vigente se obtendrá aplicando al resultado de la variable dummy una exponencial. Así, el modelo indica que esta disminución será de un $\exp(-0.64) = 0,53\%$, es decir, el número de accidentes tras la introducción del carnet por puntos será un 0,53 de los que se producían con anterioridad.

Si atendemos a las cifras como tal, el éxito de la implantación del carnet por puntos queda reflejado en los datos de siniestralidad registrados en España. Si tomamos como referencia las diferencias en los datos entre 2005, último año sin este tipo de permiso en vigor, y 2008, con esta legislación vigente ya durante un año y medio.

Como podemos observar en la tabla 1 que recoge los datos de víctimas y accidentes en las CC.AA para los años 2005 y 2008, y las variaciones porcentuales de estos, la implantación del permiso por puntos tuvo como consecuencia directa la reducción de las víctimas en accidentes de tráfico en todas las CC.AA. Incluso en aquellas Comunidades Autónomas en las que el número de accidentes aumentó durante este periodo (Madrid, Cataluña Y País Vasco), a pesar de presentar una mayor accidentabilidad, el resultado fue de un menor número de víctimas mortales.

Tabla 4.3: Número de accidentes y víctimas mortales por CC.AA en los años 2005 y 2008 y su variación

ECONOMÍA DEL TRANSPORTE. ANÁLISIS DE ACCIDENTES DE TRÁFICO EN ESPAÑA

CC.AA	Año				Variación	
	2005		2008		Accidentes	Victimas
	Nº de accidentes con víctimas	Víctimas mortales	Nº de accidentes con víctimas	Víctimas mortales		
Andalucía	14.599	759	13.741	522	-5,88	-31,23
Aragón	3.217	214	2.937	153	-8,70	-28,50
Asturias	2.379	105	2.178	59	-8,45	-43,81
Baleares	2.567	131	2.116	82	-17,57	-37,40
Canarias	2.104	157	2.162	85	2,76	-45,86
Cantabria	891	32	867	25	-2,69	-21,88
Castilla - La Mancha	4.143	354	3.270	234	-21,07	-33,90
Castilla y León	6.001	440	5.169	318	-13,86	-27,73
Cataluña	20.965	647	24.590	450	17,29	-30,45
Comunidad	9.166	441	9.009	323	-1,71	-26,76
Extremadura	1.687	118	1.553	107	-7,94	-9,32
Galicia	4.742	355	3.785	266	-20,18	-25,07
Madrid	11.901	274	13.995	201	17,60	-26,64
Murcia	1.642	166	984	93	-40,07	-43,98
Navarra	394	83	341	48	-13,45	-42,17
País Vasco	3.536	110	5.136	102	45,25	-7,27
La Rioja	679	51	699	30	2,95	-41,18
TOTAL	91.187	4.442	93.161	3.100	2,16	-30,21

Fuente: Elaboración propia a partir de datos del Ministerio de Transportes (OTLE,2022)

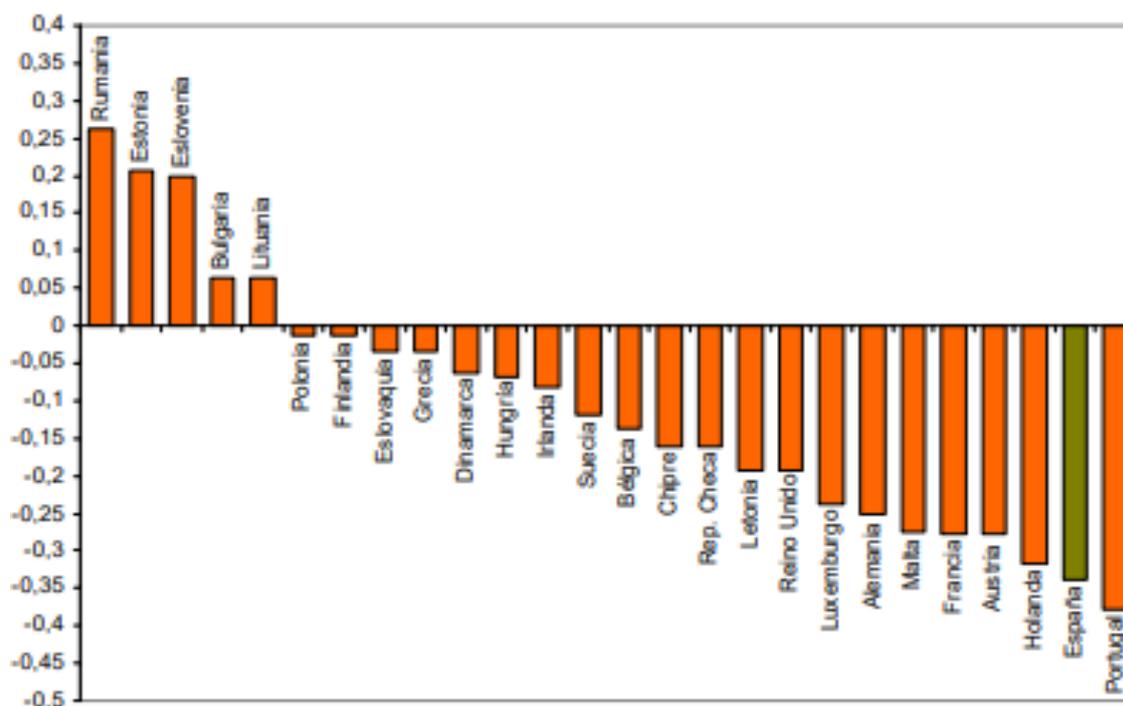
Queda claro, de acuerdo con los datos que la implantación del carnet por puntos dentro de la legislación española fue un acierto, el objetivo general de conseguir una reducción del número de víctimas mortales en accidente de carretera se ha logrado de forma evidente. Logrando en un espacio de tiempo de 3 años una reducción del 30% en las víctimas.

En concreto, como refleja la Agencia Estatal de Evaluación de las Políticas Públicas y la Calidad de los Servicios en la Evaluación del Plan Estratégico de Seguridad Vial 2005-2008 (2009, p. 94) “los resultados del Plan Estratégico de Seguridad Vial han sido un éxito” cumpliendo con el objetivo de reducción de las víctimas en España, para el periodo de referencia 2003-2008, de un 40%. Habiendo pasado de contar con 5.399 víctimas en carretera en 2003 a las 3.100 que se produjeron en 2008.

Si se hace una revisión de los datos dentro del contexto europeo, el resultado es de un gran avance en materia de control de la mortalidad en carretera. El Plan Estratégico de Seguridad Vial 2005-2008, además del objetivo revisado a nivel nacional, reducción de un 40% del número de fallecidos en el marco del Plan, tomando como referencia 2003 también incluye un objetivo a nivel europeo, la UE propone como meta la reducción para el periodo 2001-2010 del 50% en el número de fallecidos.

Dentro de este contexto, de acuerdo con los datos, es posible ver el gran avance que ha supuesto la puesta en marcha de este plan en España, en comparación con los avances de otros países de nuestro entorno.

Imagen 4.1. Variación de las muertes por millón de habitantes en la UE, 2003-2007



Fuente: Evaluación del PESV (2005-2008). (AEVAL, 2009)

Como se puede observar en la tabla 4.2, también el objetivo marcado desde la Unión Europea fue logrado en España, en gran parte gracias a la implementación del permiso por puntos.

Tabla 4.4 Variación del número de fallecidos, 2001-2010

	Año		Variación
	2001	2010	
N fallecidos	5.517	2.478	-55,08

Fuente: Elaboración propia a partir de datos del Ministerio de Transportes (OTLE,2022)

Estos objetivos logrados de reducción de la mortalidad como consecuencia de accidentes de tráfico no se hubiesen conseguido sin la puesta en marcha del carnet por puntos, dentro del Plan Especial de Seguridad Vial 2005-2008 (en adelante PESV), prueba de ello es la información recogida en la Evaluación del PESV 2005-2008 (p 149-150) que muestra una estimación de lo que se esperaría hubiese ocurrido si no se hubiesen adoptado las medidas recogidas en el PESV 2005-2008.

Obteniendo la siguiente idea “Estos datos son clave en términos de la ejecución del PESV, ya que indican que a pesar de la tendencia subyacente de reducción de la siniestralidad, en realidad, el impacto del plan, y específicamente de aquello que tuvo efectos desde 2006 (muy especialmente el carné por puntos y la reforma del Código Penal), ha sido el responsable de casi la totalidad de la reducción de víctimas mortales a 24 horas”.

De la comparación entre los resultados para el análisis de los modelos “*muer*tos” y “*accidentes*” es destacable una diferencia que se produce en los valores de las estimaciones para la variable “*PIB*” que afecta a sobre los accidentes de forma positiva, es decir, ante aumentos del PIB se producen incrementos en el número de accidentes. Y sobre los muertos en accidente de tráfico tiene un impacto negativo, que se traduce en decrecimientos del número de fallecidos ante aumentos del PIB

Históricamente, los estudios llevados a cabo sobre la relación entre crecimiento económico y sus consecuencias sobre la accidentabilidad o el número de fallecidos en carretera tenían como base la relación de que el crecimiento económico daba lugar a una reducción del número de accidentes y de víctimas mortales, aunque no ha sido hasta pasados los años 90 cuando los datos han permitido defender esta idea como una afirmación. (Regidor et al., 2002)

Sin embargo, España ha sido una excepción a esta tendencia. Esta relación entre crecimiento económico y reducción de accidentes y fallecidos se produce una vez superado un umbral de prosperidad económica. Una vez alcanzado ese umbral, los países desarrollados comienzan a cumplir esta relación, dando lugar a reducciones en accidentes y fallecidos. España excepcionalmente mantenía la relación inversa y a pesar del desarrollo económico no reducía sus cifras (Van Beek et al., 2000) como se observa en la tabla 3.

Tabla 4.5 N° de accidentes de tráfico en España. 1993-2003

Año	Nº accidentes
1993	79.925
1994	78.474
1995	83.586
1996	85.588
1997	86.067
1998	97.570
1999	97.811
2000	101.729
2001	100.393
2002	98.433
2003	99.987

Fuente: Elaboración propia a partir de datos del Ministerio de Transportes (OTLE, 2022)

Parece evidente, a la vista de los datos, que esta tendencia en España se ha mantenido en el tiempo, donde el número de accidentes de tráfico anuales ha ido creciendo constantemente desde los 90 hasta llegar a comienzos de los 2000 donde se estabiliza. Como se observa en el gráfico 1 de accidentes para el periodo 2003-2019, el número de accidentes en España solo se ve reducido tras la entrada en vigor del permiso por puntos, pero solo hasta el año 2012, tras el impacto de la entrada en vigor de la medida, comienza de nuevo a crecer hasta alcanzar valores similares a los que se producían antes de la implantación del carnet por puntos.

Con respecto al efecto del “*PIB*” sobre “*muer*tes” dentro del marco del impacto del crecimiento económico, de las estimaciones se extrae una relación negativa que puede venir explicada por la evolución vista en los últimos años en términos de seguridad vial. Un mayor incremento económico es indicador de mejores niveles de vida, lo cual se relaciona de forma directa con la capacidad de los individuos de disponer de vehículos propios.

Hoy en día el diseño de los vehículos se realiza de forma que estos puedan aportar los mayores niveles de seguridad que ha habido dentro de la industria automovilística. Si comparamos un vehículo del año 2000 con uno del 2020, la diferencia en materia de seguridad es diferencial tanto en seguridad activa como pasiva. Desde el número de airbags, los mecanismos de sujeción, ayudas a la estabilidad del vehículo a una mejor iluminación o la introducción de elementos de seguridad pasiva.

A esto podemos añadir, una mejor sanidad que haga posible mejores y más rápidos tratamientos sobre los heridos en accidentes, generando en consecuencia menor número de víctimas mortales. O también, como reflejo del crecimiento económico, podemos tener en cuenta el desarrollo de las carreteras, la conservación en mejor estado de las existentes y la inversión en elementos de control del tráfico como radares, cámaras de vigilancia, elementos de información del estado de las carreteras o una mayor presencia de agentes de la autoridad en las carreteras.

5. CONCLUSIONES

El objetivo principal de este trabajo es el análisis de los accidentes de tráfico en las carreteras españolas. Dentro de este contexto se lleva a cabo una diferenciación en los análisis entre los accidentes y las muertes causadas en accidentes. Para esto se ha acotado la información del periodo 2003-2019 para las 50 provincias que componen España, no incluyéndose en el estudio los datos de Ceuta y Melilla.

El principal condicionante de este periodo ha sido la implementación en España de un permiso de conducción por puntos, que ya se demostraba eficaz en otros países europeos. Para llevar a cabo estos análisis se desarrolla un modelo de datos de panel. Con la información recogida y el paquete de software "GRET" se han obtenido las estimaciones de los modelos de datos de panel.

Una primera conclusión que se obtiene a partir del desarrollo de los modelos y la comparación entre estimadores de efectos fijos y efectos aleatorios, es que con los datos obtenidos para los modelos y los modelos planteados en ambos casos el estimador de efectos fijos nos ofrece una mejor estimación.

Es decir, los resultados del test de Hausman, que rechaza la hipótesis nula en ambos casos, indican que sigue existiendo correlación entre el error, ϵ_i , y las variables regresoras. Siendo preferible utilizar el estimador de efectos fijos. (Montoro, 2011)

En segundo lugar, la conclusión más evidente del análisis de las estimaciones obtenidas, tanto en el caso del modelo que analiza el número de "accidentes" como para el modelo que analiza las "muertes" en carretera, es que la entrada en vigor de la legislación que incluía el carnet por puntos fue un éxito a la hora de cumplir con el objetivo de lograr que estas variables sufriesen una drástica disminución en España. El objetivo de reducir en un 40% las muertes entre 2005 y 2008, tomando como referencia los datos desde 2003, se cumple al lograr que se reduzcan las muertes de 5.399 a 3.100, una variación del -42,58%.

Una tercera conclusión que se obtiene es que en general las variables generan estimaciones de signo esperado. En este caso, es importante mencionar la situación de la variable "PIB" que, aunque ofrece signos distintos para los dos objetivos (reducir el número de accidentes y muertos en carretera), como se ha visto en el análisis de diferentes estudios, esta situación es explicable dentro del contexto español y es consistente con los datos registrados.

Está demostrado que el crecimiento económico genera una mejora de las cifras de accidentes y muertes en carretera en los países desarrollados (Regidor et al, 2002) Sin embargo el caso de España resalta como una excepción (Van Beek et al, 2000) donde las cifras de accidentes a pesar del avance económico mantienen una cierta estabilidad que solo se ha alterado temporalmente durante los primeros 5 años de carnet por puntos.

Finalmente, también debe mencionarse como conclusión a este trabajo que el éxito del carnet por puntos en cuanto a reducción de accidentabilidad y mortalidad está acompañado del avance en otros aspectos. Los cambios en la mentalidad de los conductores, el desarrollo de nueva tecnología de seguridad en los vehículos o la mejora de las condiciones de las vías son ejemplos de medidas que han complementado y apoyado la reducción de accidentes y víctimas mortales en las carreteras de España.

Debe ser un objetivo de las autoridades continuar implementando políticas que ayuden a que las cifras continúen disminuyendo. Ya que, como es observable en los datos, tras el comienzo del carnet por puntos accidentes y muertes cayeron durante varios años, pero en los últimos años esas cifras se han visto incrementadas de nuevo hasta estabilizarse en el caso de los accidentes en números similares a los que se producían antes de la introducción de este carnet.

6. BIBLIOGRAFÍA

Dirección General de Tráfico, DGT (2022): Inicio, DGT en cifras, DGT en cifras resultado, Accidentes de tráfico. <<https://www.dgt.es/menusecundario/dgt-en-cifras/dgt-en-cifras-resultados/?tema=accidentes-de-traffic&pag=1&order=DESC>> (último acceso 30.06.2022)

Instituto Nacional de Estadística, INE (2022a): INEbase, Demografía y población, Cifras de población y censos demográficos, Cifras de población, Series detalladas desde 2002. <<https://www.ine.es/jaxiT3/Tabla.htm?t=9687&L=0>> (último acceso 24.06.2022)

Instituto Nacional de Estadística, INE (2021, 10 de noviembre): *Defunciones según la Causa de Muerte Año 2020*. [Comunicado de prensa]

Instituto Nacional de Estadística, INE (2022b): INEbase, Economía, Cuentas económicas, Contabilidad regional de España. Serie homogénea 2000-2020. P.I.B. a precios de mercado y valor añadido bruto a precios básicos <<https://www.ine.es/jaxi/Tabla.htm?path=/t35/p010/rev19/homoge/l0/&file=01001.px&L=0>> (último acceso 24.06.2022)

Montero. R (2011): Efectos fijos o aleatorios: test de especificación. *Documentos de Trabajo en Economía Aplicada*. Universidad de Granada.

Montoro, L., Alonso, F., Esteban, C., y Toledo, F. (2000). *Manual de seguridad vial: el factor humano*. Barcelona: Ariel-INTRAS.

Montoro, L., Roca, J. 2007. El Permiso por Puntos: Percepción de los Conductores. Una Investigación Sociológica para Evaluar el Impacto Inicial del Sistema de Permiso por Puntos en la Población Española. Instituto Universitario de Tráfico y Seguridad Vial (INTRAS) Universitat de Valencia.

Montoro, L., Roca, J., Tortosa, F. (2008): Influencia del permiso de conducir por puntos en el comportamiento al volante: Percepción de los conductores. *Psicothema* 20(4), 652-658

Observatorio del Transporte y la Logística en España, OTLE (2022): Inicio, Datos, gráficas y mapas. <<https://apps.fomento.gob.es/BDOTLE/inicioBD.aspx?s=4>> (último acceso 30.06.2022)

RACC. (2007): Valoración de un año de Permiso por Puntos en España. Una primera aproximación.

Regidor, E., Reoyo, A., Calle, M. E., Domínguez, V. (2002). Fracaso en el control del número de víctimas por accidentes de tráfico en España: ¿La repuesta correcta a la pregunta equivocada? *Revista Española de Salud Pública*, 76, 105-113.

Van Beeck, E. F., Borsboom, G. J., & Mackenbach, J. P. (2000). Economic development and traffic accident mortality in the industrialized world, 1962–1990. *International journal of epidemiology*, 29(3), 503-509.

Wooldridge, J. M. (2010): *Introducción a la Econometría. Un Enfoque Moderno*. Cengage Learning Editores, Mexico D.F.