

ESTIMACIÓN ECONÓMETRICA DEL IMPACTO DE LA MODIFICACIÓN DE LOS LÍMITES DE VELOCIDAD EN ESPAÑA¹.

AUTORES

José I. Castillo Manzano (jignacio@us.es).

Departamento de Análisis Económico y Ec. Política

Facultad de Ciencias Económicas y Empresariales, Universidad de Sevilla

41018, Sevilla.

Tel: +34 (9)54556727.

Mercedes Castro Nuño (mercas@us.es).

Departamento de Análisis Económico y Ec. Política

Facultad de Ciencias Económicas y Empresariales, Universidad de Sevilla

41018, Sevilla.

Tel: +34 (9)54554477.

Diego J. Pedregal (diego.pedregal@uclm.es).

Instituto de Matemática Aplicada a la Ciencia y la Ingeniería.

Escuela Técnica Superior de Ingenieros Industriales, Universidad Castilla-La Mancha

13071, Ciudad Real.

Tel: +34 (9)26 295430.

RESUMEN

Los límites de velocidad son el instrumento fundamental en la Política de Gestión de la Velocidad, importante causa de muertes en la carretera en todo el mundo. Mediante la aplicación de Modelos de series temporales de Componentes no Observables, el presente

¹ Esta investigación ha sido financiada mediante el contrato con referencia 1671/0085, de la Dirección General de Tráfico (Ministerio de Fomento) finalizado el 30/11/12.

estudio investiga los efectos de la reducción coyuntural de los límites de velocidad máximos, implementada en España durante la primavera de 2011 (dentro del Plan Nacional de Ahorro y Eficiencia Energética). Nuestro análisis demuestra que dicha medida causó un limitado efecto positivo, próximo al 1,5%, aunque de escasa significatividad estadística, sobre la principal variable en la que se pretendía incidir, el consumo de gasolina. Además provocó una reducción del 8%, en la siniestralidad en carreteras (que se reduce al 6,5% si se tiene en cuenta la siniestralidad total tanto en carretera como en vías urbanas). Estos resultados, en primer lugar, discrepan con las previsiones mucho más optimistas tanto del Gobierno Español como de otros organismos internacionales, como la IRTAD.

PALABRAS CLAVE: Seguridad vial, Política de Gestión de la Velocidad, Ahorro energético, Espacio de los Estados, Modelos de Componentes no Observables.

AGRADECIMIENTOS

Los autores desean expresar su gratitud a la Dirección General de Tráfico (DGT) por los recursos económicos y humanos que nos han brindado para la realización de esta investigación.

1. INTRODUCCIÓN.

Durante los últimos 50 años, los ciudadanos de los países motorizados se han beneficiado de la producción de vehículos capaces de alcanzar cada vez velocidades mayores (ECMT, 2006). De este modo, la velocidad en el transporte por carretera ha contribuido al desarrollo económico de los países y ha mejorado el bienestar y la calidad de vida, como consecuencia fundamentalmente del tiempo ahorrado en los desplazamientos (GRSP, 2008); lo que según

Metz (2008) generaría sustanciales ganancias de productividad y reduciría los costes de oportunidad en términos de tiempo para los usuarios.

Sin embargo, la velocidad en la conducción también puede tener impactos bastante adversos en forma de consumo de energía, contaminación ambiental y acústica, crecimiento urbano descontrolado y, sobre todo, accidentes de tráfico, tal como apunta Peden et al. (2004). En la actualidad, la *velocidad excesiva* y la *velocidad inapropiada*² representan uno de los problemas más relevantes de la seguridad vial (Elvik, 2010b; Wegman y Aarts, 2006), tanto en países ricos y altamente motorizados (Elvik, 2010a) como en países en vías de desarrollo (Afukaar, 2003), a pesar de tratarse de un fenómeno habitual, altamente tolerado por la opinión pública.

La mayoría de los gobiernos no dudan en otorgar al exceso de velocidad un papel prioritario en sus políticas de seguridad vial preventivas, en el contexto de estrategias internacionales como la *Vision Zero* de Suecia, la *Sustainable Safety* de Holanda y el *Safe System* de Australia. Para ello, se aplican diversos instrumentos que aspiran a optimizar la efectividad de la política de *Gestión de la Velocidad* (GRSP, 2008), siendo los *límites de velocidad*, el instrumento que más amplio desarrollo ha alcanzado en la literatura (Ritchey y Nicholson-Crotty, 2011).

Siguiendo a ERSO (2006) y SWOV (2010), los límites de velocidad deben ser *seguros* y *creíbles*, reflejando las características de diseño de la vía, las condiciones ambientales y la composición del tráfico en cada momento. Recientemente se están realizando diferentes

² De acuerdo con la terminología de ECMT (2006), podemos definir la *velocidad excesiva* como aquella velocidad de circulación que supera los límites legales máximos, y la *velocidad inapropiada* como aquella velocidad que, aun estando dentro de los límites máximos legales, se considera demasiado elevada en relación con el estado de la vía, las condiciones climáticas y la congestión del tráfico. El denominado *exceso de velocidad* engloba a ambos conceptos, tanto velocidad excesiva como velocidad inapropiada.

investigaciones acerca de la implementación y efectividad de los denominados *Límites de Velocidad Variables o Dinámicos* (Variable Speed Limits, VSL), ampliamente utilizados en Estados Unidos y en países europeos pioneros en seguridad vial, como Alemania y Reino Unido, con el objetivo de avisar a los conductores (mediante paneles variables) para que ajusten su velocidad a las circunstancias concretas de la vía y la meteorología.

Tras consultar las investigaciones precedentes sobre el tema (véanse por ejemplo, las revisiones sistemáticas y los meta-análisis realizados por Aarts y Van Schagen, 2006; Elvik, et al., 2004; Finch et al., 1994; McCarthy, 2001; Wilmot y Khanal, 1999), podemos concluir que, inicialmente, los gobiernos suelen utilizar las leyes de límites de velocidad con motivaciones de índole económica para ahorrar consumo de carburantes, mientras que la seguridad vial, aparece como un objetivo secundario. Sin embargo, la relación entre límites de velocidad y seguridad vial es un tema ampliamente abordado por investigadores de todo el mundo (EE.UU.: Albalate y Bel, 2012; Forester et al., 1984; Dee y Sela, 2003; Friedman et al., 2009; Retting y Teoh, 2008; Europa: Burns et al., 2001; Johansson, 1996; Peltola, 2000; Richter et al., 2004; Australia: Sliogeris, 1992; Asia: He et al., 2012; Wong et al., 2005; y África, Afukaar, 2003).

En general, partiendo de las estimaciones iniciales obtenidas por Solomon (1964), existe cierto consenso en cuanto al hecho de que la velocidad tiene un efecto relevante en la seguridad vial (incluso con cierta causalidad, de acuerdo con Elvik, 2012), de forma que, tanto es previsible que, tanto la incidencia de los accidentes como su severidad, se incrementen a medida que se elevan los límites de velocidad máximos permitidos (Ashenfelter y Greenstone, 2004). Sin embargo, “.....a pesar de años de investigación, todavía no existe un consenso claro en la literatura sobre el impacto que los límites legales de

velocidad, tienen sobre la siniestralidad vial”, como apuntan Ritchey y Nicholson-Crotty (2011), ya que este efecto está influido por múltiples factores, como la dinámica y seguridad del vehículo, el estado de la vía, el comportamiento del conductor, la interacción entre vehículos y la severidad del accidente (SWOV, 2012).

Por ello, el efecto de los cambios en los límites de velocidad sobre las velocidades reales de circulación y sobre los accidentes de tráfico, han sido abordados desde varios enfoques: influencia de la velocidad individual elegida por el conductor sobre el riesgo de accidente (bien conocidos son el Modelo Potencial de Nilsson, 1982, 2004, y sus posteriores evaluaciones llevadas a cabo por Elvik et al., 2004; Elvik, 2009; Hauer y Boneson, 2008); influencia de la diferencia de velocidad sobre el riesgo de accidente (Solomon, 1964 y Cirillo, 1968; Lave, 1985 y Kloeden et al., 2001).

En general, la evidencia parece confirmar el impacto negativo/positivo que elevar/reducir los límites de velocidad provoca sobre la velocidad de circulación media y, consecuentemente, sobre los accidentes de tráfico. Estudios como los realizados por Elvik et al. (2004) y GRSP (2008) apuntan que, en las vías afectadas por el cambio de límites, la velocidad media varía en el mismo sentido que el cambio aplicado a los límites, aunque la magnitud es, aproximadamente, un 25% menor. Si bien, los cambios en los límites de velocidad pueden tener efectos que vayan más allá de las vías afectadas, como una generalización de velocidades (Richter et al., 2004) o trasvases de tráfico y control policial a otras vías (Lave y Elias, 1994). Estas circunstancias, en opinión de estos autores, podrían ocasionar que, un aumento de los límites de velocidad máximos, tenga un efecto neutro, o incluso positivo, sobre la siniestralidad vial de toda la red.

Teniendo en cuenta las consideraciones precedentes, entendemos que nuestro trabajo contribuye a aportar luz a esta controversia. Concretamente, analizamos un reciente cambio coyuntural de los límites de velocidad máximos permitidos en autovías y autopistas, aplicado en España entre marzo y junio de 2011, establecido con el objetivo prioritario de ahorrar en consumo de combustible. Esta reducción en los límites de velocidad, fue la medida más llamativa dentro del denominado *Plan de Ahorro y Eficiencia Energética (2008-2011)*, aprobado por el Gobierno Español, para contrarrestar los efectos adversos de los elevados precios del petróleo en esos momentos, sobre una debilitada economía española.

La idoneidad de este análisis se debe, en primer lugar, a que, aunque España cuenta con límites legales de velocidad desde mediados de los años 70, todavía no existe ninguna evaluación de sus efectos, ni sobre la velocidad de circulación real, ni sobre la seguridad del tráfico, ni en términos de consumo de combustible o de impacto ambiental.

En segundo lugar, a pesar de su corta vigencia, sólo tres meses y medio, esta limitación reabrió un intenso debate en España en la opinión pública, mantenido entre asociaciones ecologistas, asociaciones de víctimas de accidentes, fabricantes de vehículos y en todos los medios de comunicación, sobre la pertinencia y efectividad real de los límites de velocidad. La pregunta central que delimitó este debate, y que este trabajo intenta responder, es si merece la pena cambiar de forma temporal los límites de velocidad de un país, con los importantes costes que ello conlleva, para poder ahorrar combustible. Entre los costes de esta medida cabe destacar, el cambiar dos veces la señalización de los límites de velocidad de todas las autovías y autopistas del país, una al inicio del periodo y otra al final, aunque también existen otros muchos más difíciles de cuantificar, como la reprogramación de todos los radares, la

adaptación del cuadro de sanciones y multas, o las pérdidas de eficiencia en la economía, al ralentizarse los desplazamientos en España.

Para aportar luz a este debate, este estudio analiza el impacto de los cambios en los límites de velocidad de circulación en España, medidos en términos de mortalidad vial y consumo de combustible, mediante una metodología basada en modelos avanzados de series temporales, de tipo de función de transferencia de tiempo lineal discreto, con múltiples variables explicativas y que incluye la detección automática de atípicos. Esta metodología, usada por otros estudios precedentes como los realizados por Balkin y Ord (2001) en U.S. y Johansson (1996) en Suecia, da respuesta a la necesidad planteada por Dee y Sela (2003) y Shafi y Gentilello (2007), de desarrollar resultados que controlen posibles factores de confusión y eliminen los sesgos que puedan deberse a aspectos no observados o específicos de la seguridad vial, como la aplicación simultánea de otras políticas.

El trabajo se estructura de la siguiente forma: tras esta introducción, el apartado 2 explica los datos, variables y metodología empleados; los resultados obtenidos y su discusión se incluyen en el apartado 3 y las conclusiones derivadas de ellos, se analizan en el apartado 4. Finalmente, incluimos referencias bibliográficas.

2. DESCRIPCIÓN DE LOS DATOS, VARIABLES Y METODOLOGÍA.

Las series temporales utilizadas se pueden dividir en 3 grupos:

A) Variables endógenas: víctimas mortales en accidentes de carretera y consumo de gasolina y gasoil tipo A para transporte. Con el fin de usar series consistentes, se han utilizado las

series de víctimas mortales que consideran muertes de tráfico las que suceden dentro de las 24 horas siguientes a los accidentes (fuente: DGT).

B) Variables artificiales exógenas:

- b.1) VELOCIDAD: Tiene en cuenta el cambio de los límites de velocidad en autovías (desde el 7 de marzo al 30 de junio de 2011). Se han utilizado varias versiones, de las cuales la más conveniente es considerar que el efecto del primer mes fue un 25% menos importante, dado que la medida se implementó desde la segunda semana de marzo.
- b.2) PASCUA: Se define mediante pesos máximos en los días que se espera tráfico más denso, de forma que la suma de los pesos sea la unidad.
- b.3) LABORABLE: Número de días laborables por mes en proporción a los días de fin de semana, asumiendo que cada semana tiene cinco días laborables y le corresponden dos días de fin de semana.
- b.4) BISIESTO: Variable que toma valor 1 en todos los febreros de 29 días.
- b.5) Cambios legales: En primer lugar, la introducción del carnet por puntos en 2006 (PPS; Castillo-Manzano *et al.*, 2010). En segundo lugar, la reforma del Código Penal español en 2007. Aunque la reforma entró en vigor en diciembre (variable DIC07), sus efectos se empezaron a notar ya en noviembre (NOV07), por el gran impacto que tuvo a través de los medios de comunicación (Castillo-Manzano *et al.*, 2011).
- b.6) Hay otra serie de valores atípicos, a menudo relacionados con malas condiciones atmosféricas (en enero de 2006, ENE06) y otras causas que se han detectado mediante herramientas estadísticas (en septiembre y octubre de 2000, SEP00 y

OCT00). Estos últimos más que previsiblemente debidos a la huelga de camioneros y de comercio minorista que se produjo en octubre del 2000.

C) Otras variables exógenas: Asumimos que el consumo de gasolina y gasóleo para transporte, además de las víctimas mortales en los accidentes responden a causas comunes, de las cuales las más importantes son los precios del carburante y el nivel de actividad económico (o ciclo económico, ver p.ej. Castillo-Manzano et al., 2010 y García-Ferrer et al., 2007). El precio del combustible se aproxima por el precio del barril Brent medido en euros. El nivel de actividad se aproxima por el Índice Sintético de Actividad (ISA) para la economía española que estima el Ministerio de Economía y Competitividad (<http://serviciosweb.meh.es/apps/dgpe/default.aspx>). Dado que el ISA está disponible desde enero de 1995, el periodo muestral comenzará en dicha fecha, a pesar de que existen estadísticas anteriores para las demás variables. No obstante, esta restricción no afecta a la estimación el efecto del límite de velocidad, puesto que éste se produce muy al final de la muestra.

La Figura 1 muestra que el consumo de combustible depende principalmente del ISA, puesto que las caídas se dan precisamente en las crisis de 1993 y 2008. Además, los precios se mantuvieron constantes en la década de los 90 y crecieron considerablemente en la primera del siglo XXI, como consecuencia del crecimiento económico. Cuando el crecimiento se ralentizó con la crisis de 2008, el efecto de los precios aparece más evidente. Resulta llamativo además que el perfil de la serie se encuentra algo distorsionada justo en los años anteriores a la entrada en vigor del límite de velocidad. Así, 2008 muestra una caída importante en el consumo de combustible, y la subida típica en marzo-abril debida al efecto Pascua, no se ve en 2009, mientras que sí se aprecia claramente en 2010, justo el año anterior

a la medida. Un hecho interesante, es que el consumo continuó cayendo después de que la reducción de los límites de velocidad se eliminara.

La Figura 1 también muestra la reducción importante en el nivel de muertes en las carreteras españolas durante las tres últimas décadas, además de una reducción de su volatilidad. La gravedad de la crisis económica puede verse claramente en la Figura 1, donde el ISA sufrió una importante caída durante 2008, que se recuperó algo después, pero que acabó plano al final de la muestra.

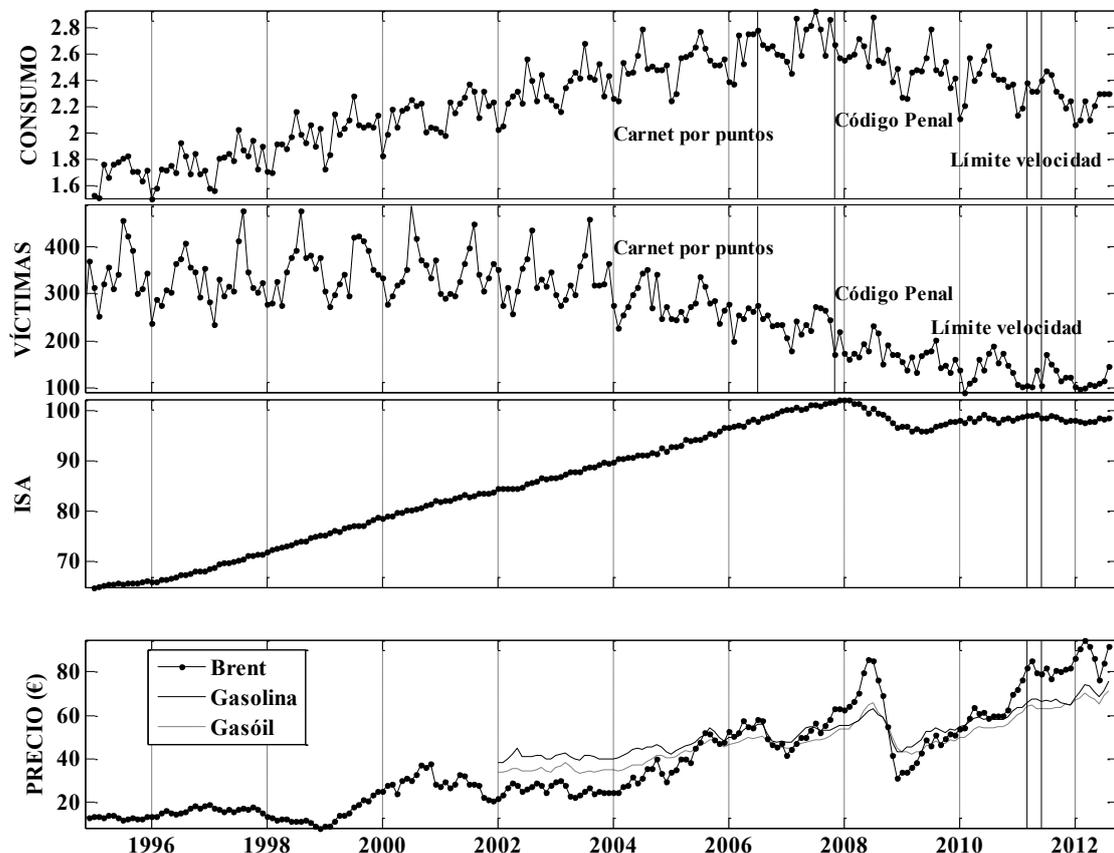


Figura 1. De arriba a abajo: consumo de combustible en España en millones de toneladas métricas, víctimas mortales en autopistas, Índice de Actividad Sintético y precio del barril Brent en Euros. En el panel inferior, se han añadido los precios de gasolina y diesel para facilitar la comparación. Las líneas verticales indican el período en el que la limitación de velocidad estuvo vigente. Las demás indican los momentos en los que se introdujo el carnet por puntos y la reforma del Código Penal.

Fuente: Elaboración propia.

Los modelos usados son del tipo de Modelos de Componentes no Observables (UC por las siglas en inglés), que permiten la descomposición de una serie temporal en sus componentes con sentido económico, aunque son no observados, ver ecuación (1). Otras aplicaciones de este tipo de modelos en ámbitos de la economía se pueden ver en Chen y Mills (2012) y Algieri (2012).

$$z_t = T_t + S_t + \mathbf{DI}_t + v_t \quad (1)$$

z_t , T_t , S_t y v_t denotan la variable endógena, la tendencia, el componente estacional y el irregular, respectivamente. \mathbf{DI}_t mide los efectos de otras variables exógenas acumuladas en columnas en la matriz \mathbf{I}_t mediante un modelo típico de regresión lineal.

La forma de Espacio de los Estados (EE) representa un esquema en el que los modelos UC se acomodan de forma natural. El sistema dinámico se divide en dos tipos de ecuaciones, de estado y observación. Las ecuaciones de estado reflejan toda la dinámica del sistema relacionando el valor actual de los estados del sistema con su valor futuro además de con variables exógenas de tipo estocástico o determinista. La ecuación de observación define cómo las variables de estado se relacionan con los datos observados (en realidad la ecuación (1) es la ecuación de observación para el modelo UC, ver más abajo). Existen muchas formulaciones EE, de las cuales la que utilizamos aquí se corresponde con el sistema (2).

$$\begin{cases} \mathbf{x}_{t+1} = \mathbf{\Phi}\mathbf{x}_t + \mathbf{\Gamma}\mathbf{I}_t + \mathbf{w}_t : & \text{StateEquations} \\ z_t = \mathbf{H}\mathbf{x}_t + \mathbf{DI}_t + v_t : & \text{ObservationEquation} \end{cases} \quad (2)$$

donde \mathbf{x}_t es el vector estocástico de estados del sistema de dimensión n ; \mathbf{I}_t es una matriz de k columnas, siendo cada una de ellas una variable exógena; \mathbf{w}_t y v_t son vectores de dimensión n y escalar de ruidos blancos gaussianos, es decir, ruidos con media cero, sin correlación serial y con matriz de covarianzas \mathbf{Q} y \mathbf{R} e independientes entre sí; y Φ , Γ , \mathbf{H} y \mathbf{D} son las matrices del sistema, en las que algunos elementos son conocidos y otros deberán ser estimados por algún procedimiento.

Dado el modelo (1), el conocido Filtro de Kalman (FK, Kalman, 1960) proporciona las estimaciones óptimas de los primeros y segundos momentos (media y covarianza) del vector de estados, condicionadas a la información hasta el momento actual en el sentido de minimizar el error cuadrático medio. Un algoritmo que se usa en paralelo con el FK, pero que no es tan conocido en determinados contextos es el algoritmo de suavizado fijo, que permite una operación similar a la del FK, pero con la información de toda la muestra.

La estimación de los parámetros desconocidos de las matrices del sistema $\Phi, \Gamma, \mathbf{H}, \mathbf{D}, \mathbf{Q}$ y \mathbf{R} se pueden realizar mediante distintos procedimientos, de los que máxima verosimilitud es el más extendido por sus buenas propiedades teóricas. Bajo el supuesto de gaussianidad, la función de verosimilitud se puede calcular usando el FK por la descomposición del error de predicción (ver p.ej. Harvey, 1989; Pedregal y Young, 2002).

Una descripción del sistema completo de EE completo para un caso simplificado con una variable exógena se muestra en la ecuación (3) (ver Harvey, 1989; Pedregal y Young, 2002).

$$\mathbf{x}_{t+1} = \begin{bmatrix} T \\ F \\ S_1 \\ S_1^* \\ S_2 \\ \vdots \\ f_1 \end{bmatrix}_{t+1} = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 0 & 0 & 0 & \cdots & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & \cdots & 0 \\ \hline 0 & 0 & \cos \omega_1 & \sin \omega_1 & 0 & \cdots & 0 \\ 0 & 0 & -\sin \omega_1 & \cos \omega_1 & 0 & \cdots & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & \cos \omega_2 & \cdots & 0 \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & \cdots & -a_1 \end{bmatrix} \mathbf{x}_t + \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ \vdots \\ -a_1 b_1 \end{bmatrix} I_t + \begin{bmatrix} w_0 \\ w_0^* \\ w_1 \\ w_1^* \\ w_2 \\ \vdots \\ 0_1 \end{bmatrix} \quad (3)$$

$$z_t = T_t + S_t + f_t + v_t = \begin{bmatrix} 0 & 1 & 0 & 1 & 0 & \cdots & 1 \end{bmatrix} \bar{\mathbf{x}}_t + b_1 I_t + v_t$$

La comparación de los sistemas (2) y (3) permite identificar las matrices del sistema. Aparte de los elementos comentados anteriormente aparecen otros nuevos: F_t es la pendiente o la tasa de crecimiento de la tendencia; S_{it} ($i=1,2,\dots,P/2$) son los armónicos estacionales en las frecuencias $\omega = 2\pi i/P$, de forma que $S_t = \sum_i^{P/2} S_{it}$, siendo P el período fundamental (12 observaciones por año en el caso de datos mensuales con estacional anual); S_{it}^* ($i=1,2,\dots,6$) son estados adicionales necesarios para la definición de los subcomponentes estacionales.

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.

Se han estimado dos modelos, que se muestran en la Tabla 1, uno para cada variable endógena. En particular, para las víctimas mortales en carretera (VÍCTIMAS en la tabla) y el consumo de gasolina y gasoil para automoción (CONSUMO). El período de la muestra abarca de enero de 1995 hasta agosto de 2012.

	<i>VÍCTIMAS</i>	<i>CONSUMO</i>
VELOCIDAD	-0,091**	-0,017*
PRECIO	-0,053**	-0,029***
ISA	2,027***	1,481***
PASCUA	0,018	0,008
LABORABLE	-0,009***	0,006***
BISIESTO		0,030***
PUNTOS	-0,188***	
PUNTOS Denominador	-0,876***	
NOV2007 (Código Penal)	-0,233***	
DIC2007 (Código Penal)	-0,130***	
ENE2006	0,158**	
SEP2000		0,078***
OCT2000		-0,079***
Tendencia	$1,16 \times 10^{-5}$	$1,17 \times 10^{-10}$
Pendiente	$9,62 \times 10^{-8}$	$3,94 \times 10^{-8}$
Estacional	0	$1,32 \times 10^{-7}$
Irregular	$5,51 \times 10^{-3}$	$2,23 \times 10^{-4}$
Q(4)	6,073	4,075
Q(8)	12,698	6,635
Q(12)	14,734	9,455
Q(24)	20,390	16,290
Bera-Jarque	0,238	1,257
	(0,888)	(0,534)
H	0,761	0,982
	(0,139)	(0,472)
REDUCCIÓN	40 víctimas 8,24%	148.374 toneladas métricas 1,55%

Tabla 1 . Resultados de estimación. Uno, dos y tres asteriscos indican significación de los parámetros al 10%, 5% y 1% de significación, respectivamente. Tendencia, Pendiente, Estacional e Irregular indican las varianzas de los ruidos asociadas con cada componente. Q(p) es el test Q de Ljung y Box de autocorrelación para p retardos. Bera-Jarque es un test de normalidad (los probabilidad en las colas se indica entre paréntesis). H es un test de ratio de varianzas, se compara la varianza del primer tercio de la muestra con el último tercio. Fuente: Elaboración propia.

Las principales conclusiones que se extraen son:

- Existe significación estadística de la limitación de velocidad en las muertes por accidentes de tráfico al 5% de significación. La significación en el caso del consumo de combustible es menor (10%). La magnitud del efecto a juzgar por el número de víctimas o combustible ahorrado no parece muy grande. Las estimaciones puntuales indican una caída de 40 víctimas (8,2% menos en cuatro meses) y 148.374 toneladas métricas (1,55%). Con los modelos de la Tabla 1 se puede simular además cuál habría sido el resultado si la medida se hubiera mantenido durante todo un año: se habrían ahorrado 137 víctimas y 500.245 toneladas

métricas. Las diferencias entre los porcentajes de caída entre una y otra variable, se explican porque en el caso de las víctimas, se consideran únicamente las víctimas en carretera, mientras que el consumo de combustible es el total, tanto en carretera como en zonas urbanas, donde el número de muertes es mucho menor.

- El precio del carburante tiene un efecto negativo y significativo, tanto en el consumo como en los accidentes. El nivel de actividad económica tiene un efecto positivo. Su signo positivo y su alto valor absoluto, en el caso de las víctimas mortales, indica que durante el período de expansión económica, priman los efectos negativos derivados de mayores desplazamientos, sobre los positivos (mejores carreteras, mejores vehículos o mejor mantenimiento de los vehículos).
- Una cuestión que puede sorprender, es que el efecto Pascua no es significativo, contradiciendo un resultado habitual en la bibliografía sobre el tema (p. ej. Castillo-Manzano et al., 2010 y García-Ferrer et al., 2007). Modelos univariantes estimados con series más largas de varios tipos, indican que con más datos, el efecto es significativo, aunque desaparece para los datos más recientes. Esto implica que el efecto pierde fuerza en el tiempo, mostrando un cambio de comportamiento en los viajes de Semana Santa, quizá debido a que se utilizan más los viajes en avión de bajo coste.
- El efecto de los días laborables es positivo en el consumo y negativo para las víctimas, lo que implica que la siniestralidad vial se concentra en los fines de semana, aunque el consumo de combustible es menor, debido a que la conducción es más arriesgada (ver Kanaan et al., 2009), porque ciertos grupos de riesgo utilizan más el coche en los desplazamientos.
- Los cambios legales considerados, la introducción del carnet por puntos en 2006 y la reforma del Código Penal de 2007, fueron efectivos sólo en lo que respecta a las víctimas mortales, sin producir ningún cambio apreciable en el consumo de carburante.

- Desde un punto de vista estadístico, los modelos se pueden considerar adecuados, ya que las innovaciones no muestran problemas de dependencia serial, gaussianidad o heteroscedasticidad.

4. CONCLUSIONES.

Nuestro análisis demuestra que la reducción de los límites de velocidad máximos en autovía y autopista, establecidos por el gobierno español desde marzo a junio de 2011, pudo tener un efecto positivo, aunque de escasa significatividad estadística (al 10%), sobre la principal variable en la que se pretendía incidir: el consumo de gasolina, con una reducción estimada del 1,55%. Además, esta estrategia de ahorro energético, adoptada con carácter transitorio, logró una disminución del 8% sobre el total de muertos en carreteras por accidentes de tráfico. Aunque dicho efecto se reduciría al 6,5% si lo calculamos sobre el total de muertos por accidentes de tráfico en dicho periodo, tanto en carreteras como en zonas urbanas.

Nuestras estimaciones están muy lejos de las previsiones difundidas por el Gobierno Español en los medios de comunicación. Según las cuales el gobierno esperaba una reducción del consumo de gasolina del 15% para la gasolina y el 11% para el gasóleo. Nuestras conclusiones también son muy diferentes de los resultados obtenidos por la IRTAD (2012) que, mediante un análisis comparativo antes-después, estimó un 8,4% de ahorro de combustible y una reducción del 30% en el número de víctimas mortales de accidentes. Gran parte de estas discrepancias se pueden simplemente deber a que estas otras estimaciones han atribuido de forma errónea parte de la reducción en el consumo de combustible y los accidentes que experimentó España en ese periodo a la reducción del límite de velocidad.

Por otra parte, la fuerte reducción de la movilidad debida a la crisis puede ser la explicación de que hayamos obtenido porcentajes inferiores a los encontrados en trabajos anteriores a

nivel internacional, como el de Elvik y Vaa (2004), quienes en su meta-análisis, determinan una reducción media del 15% en los accidentes mortales, derivada de una reducción de los límites de velocidad máximos permitidos.

Lo cierto es que si comparamos estos presuntos beneficios, con los costes reales de esta medida, es difícil atribuir a la misma un balance claramente positivo. Entre los múltiples costes se deben señalar los siguientes: los derivados de cambiar dos veces toda la señalización de las carreteras (que, siguiendo las únicas estimaciones no oficiales disponibles en prensa, ascienden a 250.000 euros por las pegatinas utilizadas en las 6.000 señales de limitación de velocidad afectadas), la adaptación de todo el sistema de multas y sanciones de tráfico, los gastos derivados de publicitar la medida o la pérdida de eficiencia económica al ralentizarse los desplazamientos realizados por los usuarios.

En resumen, las enseñanzas del caso español parecen decirnos que no parece rentable aplicar una medida de este tipo, por un periodo tan corto, de forma que los costes fijos de su aplicación acaben devorando sus beneficios, que son directamente proporcionales al tiempo de duración de la medida. Parece que son las medidas a largo plazo, generalmente incompatibles con las prisas del ciclo político, las que realmente deben ser la base de un verdadero Plan Nacional de Ahorro y Eficiencia Energética. Si lo que se pretende es ahorrar combustible durante la conducción, disminuir la innata dependencia energética española y racionalizar el consumo de energía, posiblemente resulte más eficiente y productiva, la implementación de otras medidas alternativas que inciten a los usuarios de las vías a adoptar un verdadero cambio estructural en su conducta, como podrían ser estimular el rejuvenecimiento del parque de vehículos y el correcto mantenimiento de los mismos, así como incentivar el uso de vehículos eléctricos.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Aarts, L., Van Schagen, I. (2006). Driving speed and the risk of road crashes: a review. *Accident Analysis and Prevention*, 38, 215-224.
- Afukaar, F.K. (2003). Speed control in developing countries: issues, challenges and opportunities in reducing road traffic injuries. *Injury control and safety promotion*, 10, 77-81.
- Albalade, D., Bel, G. (2012). Speed limits laws in America: The role of geography, mobility and ideology. *Transportation Research Part A*, 46, 337-347.
- Algieri, B. (2012). Modelling export equations using an unobserved component model: the case of the Euro Area and its competitors. *Empirical Economics*, 41, 593-637.
- Ashenfelter, O., Greenstone, M. (2004). Using Mandated Speed Limits to Measure the Value of a Statistical Life. *Journal of Political Economy*, 112, 226-267.
- Balkin, S., Ord, J.K. (2001). Assessing the impact of speed-limit increases on fatal interstate crashes. *Journal of Transportation and Statistics*, 4, 1-26.
- Blomquist, G. (1984): The 55 m.p.h. Speed Limit and Gasoline Consumption. *Resources and Energy*, 6, 21-39.
- Burns, A., Johnstone, N., Macdonald, N. (2001). 20mph speed reduction initiative. Development department research programme findings no 104. Scottish Executive, Edinburgh.
- Castillo-Manzano, J.I., Castro-Nuño, M., Pedregal, D.J (2010). An econometric analysis of the effects of the penalty points system driver's license in Spain. *Accident Analysis and Prevention*, 42, 1310-1319.

- Castillo-Manzano, J.I., Castro-Nuño, M., Pedregal, D. J. (2011). Can fear of going to jail bring down the number of road accidents? The Spanish experience. *Journal of Safety Research*, 42, 223-228.
- Cirillo, J.A. (1968). Interstate system accident research study II. Interim Report II. *Public Roads*, 35, 71-75.
- Chen, X., Mills, T.C. (2012). Measuring the Euro area output gap using a multivariate unobserved components model containing phase shifts. *Empirical Economics*, 43, 671-692.
- Dee, T.S., Sela, R.J. (2003). The fatality effects of highway speed limits by gender and age. *Economic Letters*, 79, 401-408.
- DGT (Dirección General de Tráfico) (2010). Las principales cifras de la Siniestralidad Vial. España, 2010. Ministerio del Interior, Gobierno de España. Available at: http://www.dgt.es/was6/portal/contenidos/documentos/prensa_campanas/notas_prensa/NotasDePrensa0184.pdf.
- DGT (Dirección General de Tráfico). Website: <http://www.dgt.es>. Accessed November 2012.
- ECMT (European Conference of Ministers of Transport) (2006). Speed Management. Transport Research Centre of OECD. OECD Publishing, France.
- Elvik, R., Vaa, T. (2004). *The Handbook of Road Safety Measures*. Elsevier Science, Amsterdam.
- Elvik, R., Christensen, P., Amundsen, A. (2004). Speed and road accidents. An evaluation of the Power Model. Institute of Transport Economics TOI Report. Oslo. Norway.
- Elvik, R. (2009). The Power Model of the relationship between speed and road safety: update and new analyses. Institute of Transport Economics TOI Report. Oslo. Norway.
- Elvik, R. (2010a). Why some road safety problems are more difficult to solve than others. *Accident Analysis and Prevention*, 42, 1089-1096.
- Elvik, R. (2010b). A restatement of the case of speed limits. *Transport Policy*, 17, 196-204.

- Elvik, R. (2012). Speed limits, enforcement and health consequences. *Annual Review of Public Health*, 33, 225-238.
- ERSO (European Road Safety Observatory) (2006). Speeding, retrieved January 20, 2007, from website www.erso.eu.
- Finch, D. J., Kompfner, P., Lockwood, C. R., Maycock, G. (1994). Speed, speed limits and crashes. Project Record S211G/RB/Project Report PR 58. Transport Research Laboratory TRL, Crowthorne, Berkshire. UK.
- Forester, T.H., McNown, R.F., Singell, L.D. (1984). A cost-benefit analysis of the 55 mph speed limit. *Southern Economic Journal*, 50, 631-641.
- Friedman, L.S., Hedeker, D., Richter, E. (2009). Long-term effects of repealing the national maximum speed limit in the United States. *American Journal of Public Health*, 99, 1626-1631.
- García-Ferrer, A., De Juan, A., Poncela, P. (2007). The relationship between road traffic accidents and real economic activity in Spain: common cycles and health issues. *Health Economics* 16, 603-626.
- GRSP (Global Road Safety Partnership) (2008). Speed management: a road safety manual for decision-makers and practitioners. Geneva. Switzerland.
- Harvey, C. (1989). Forecasting structural time series models and the Kalman Filter. Cambridge. Cambridge University Press. Cambridge.
- Hauer, E., Boneson, J.A. (2008). An empirical examination of the relationship between speed and road accidents. In Harkey, D.L. et al. (2008). Accident Modification Factors for Traffic Engineering and ITS improvements. National Cooperative Highway Research Programme, Report NCHRP-617. Transportation Research Board.

- He, J., King, M., Watson, B., Rakotonirainy, A., Fleiter, J. (2012). Speed enforcement in China: national, provincial and city initiatives and their success. *Accident Analysis and Prevention*, in press, <http://dx.doi.org/10.1016/j.aap.2012.04.017>.
- IRTAD (International Road Traffic Accidents Database) (2012). Annual Report 2011. OECD. ITF.
- Johansson, P. (1996). Speed limitations and motorway casualties: a time series count data regression approach. *Accident Analysis and Prevention*, 28, 73-87.
- Kalman, R.E. (1960). A new approach to linear filtering and prediction problems. *ASME Transactions, Journal Basic Engineering* 83, (D), 95–108
- Kanaan, A., Huertas, P., Santiago, A., Sánchez, J.A., Martínez, P. (2009). Incidence of different health factors and their influence on traffic accidents in the province of Madrid, Spain. *Legal Medicine*, 11, S333-S336.
- Kloeden, C.N., Ponte, G., McLean, A.J. (2001). Travelling speed and the risk of crash involvement on rural roads. Report CR 204. Australian Transport Safety Bureau ATSB, Civic Square, ACT.
- Lave, C. (1985). Speeding, coordination, and the 55 mph limit. *American Economic Review*, 75, 1159-1164.
- Lave, C., Elias, P. (1994). Did the 65 mph speed limit save lives?. *Accident Analysis and Prevention*, 26, 49-62.
- McCarthy, P. (2001). Effect of speed limits on speed distributions and highway safety: a survey of recent literature. *Transport Reviews*, 21, 31-50.
- Metz, D. (2008). The myth of travel time saving. *Transport Reviews*, 28, 321-336.
- Nilsson, G. (1982). The effects of speed limits on traffic accidents in Sweden. In: *Proceedings of the international symposium on the effects of speed limits on traffic accidents and transport energy use*, 6-10 October 1981, Dublin, OECD. Paris, 1-8.

- Nilsson, G. (2004). Traffic safety dimensions and the power model to describe the effect of speed on safety. Lund Bulletin, 221. Lund Institute of Technology, Lund. Sweden.
- Peden, M., Scurfield, R., Sleet, D., Mohan, D., Hyder, A.A., Jarawan, E., Mathers, C. (2004). World Report on Road Traffic Injury Prevention. World Health Organization (WHO). Geneva, Switzerland.
- Pedregal, D. J., Young, P. C. (2002). Statistical approaches to modelling and forecasting time series. In M. P. Clements, y D. F. Hendry (Eds.). A companion to economic forecasting. 69– 104. Oxford Blackwell.
- Peltola, H. (2000). Seasonally changing speed limits: effects on speeds and accidents. Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board, 1734, 46-51.
- Retting, R.A., Teoh, E.R. (2008). Traffic speeds on interstates and freeways 10 years after repeal of national maximum speed limit. Traffic Injury Prevention, 9, 119-124.
- Richter, E. D., Barach, P., Friedman, L., Krikler, S., Israeli, A. (2004). Raised speed limits, speed spillover, case-fatality rates, and road deaths in Israel: a 5-year follow-up. American Journal of Public Health, 94, 568-574.
- Ritchey, M., Nicholson-Crotty, S. (2011). Deterrence theory and the implementation of speed limits in the American States. Policy Studies Journal, 39, 329-346.
- Shafi, S., Gentilello, L. (2007). A nationwide speed limit ≤ 65 miles per hour will save thousands of lives. The American Journal of Surgery, 193, 719-722.
- Sliogeris, J. (1992). 110 Kilometre Per Hour Speed Limit - Evaluation of Road Safety Effects. Report No: GR 92 – 8. VIC ROADS, Road and Environment Safety, Road Safety Division, Carlton. Australia.
- Solomon, D. (1964). Accidents on main rural highways related to speed, driver and vehicle. Bureau of Public Roads, U.S. Department of Commerce, Washington D.C. U.S.

Spanish Economic Ministry. Website: <http://serviciosweb.meh.es/apps/dgpe/default.aspx>.

Accessed November 2012.

SWOV (2010). Towards credible speed limits. Fact Sheet of September. Leidschendam, The Netherlands.

SWOV (2012). The relationship between speed and crashes. Fact Sheet of April, Leidschendam, The Netherlands.

Wegman, F. y Aarts, L. (eds.) (2006). Advancing sustainable safety; National Road Safety Outlook for 2005-2020. SWOV, Leidschendam. The Netherlands.

Wilmot, Ch. G., Khanal, M. (1999). Effect of speed limits on speed and safety: a review. *Transport Reviews*, 19, 315-329.

Wilson, C., Willis, C., Hendrikz, J.K., Bellamy, N. (2006). Speed enforcement detection devices for preventing road traffic injuries. *Cochrane Database of Systematic Reviews*, 2, 1-49.

Wong, S.C., Sze, N.N., Lo, H.K., Hung, W.T., Loo, B.P.Y. (2005). Would relaxing speed limits aggravate safety? A case study of Hong Kong. *Accident Analysis and Prevention*, 37, 377-388.