

Evolución de uso del cinturón de seguridad y modelos de severidad en conductores de vehículos N1 y M1

Giovanny Pillajo-Quijia¹, Edinalva Gomes-Bastos², Blanca Arenas-Ramírez³, José MIRA-McWILLIAM⁴,
Francisco Aparicio-Izquierdo⁵

¹Coordinación de Investigación e Innovación, ABREC, Ecuador. Email: giovanny.pillajo@gmail.com

²GIVET, Instituto Universitario de Investigación del Automóvil Francisco Aparicio Izquierdo (INSIA), UPM, España.
Email: edinalva.gbastos@upm.es

³GIVET, E.T.S.I. Industriales - INSIA, UPM, España. Email: blanca.arenas@upm.es

⁴Statistical Laboratory, E.T.S.I. Industriales, UPM, España. Email: josemanuel.mira@upm.es

⁵Instituto Universitario de Investigación del Automóvil Francisco Aparicio Izquierdo (INSIA), UPM, España. Email:
francisco.aparicio@upm.es

Resumen

El uso de cinturón de seguridad como medida de protección tiene una alta probabilidad en una menor de gravedad de lesión en un accidente, entre los conductores españoles se sitúa entre el 85-90%, porcentaje por debajo de lo que implica la obligatoriedad de su uso. En la primera parte de este trabajo se describen algunos resultados de modelos de clasificación de severidad de conductor mediante técnicas de Machine Learning, partiendo de dicho análisis se estudia a la variable de mayor importancia resultante en los dos tipos de accidentes analizados: uso del cinturón de seguridad. Como segunda parte se aplica modelos jerárquicos bayesianos para el análisis de tendencia en la tasa de uso del cinturón de seguridad de conductores en 3 tipos de vehículos ligeros. En la serie de años del estudio se destaca que la tasa de uso del cinturón de seguridad (media estadística) por parte de los conductores implicados en accidentes mortales (~73%) es inferior a lo que establecen las encuestas (~90%) lo que requieren un seguimiento continuo, respecto al análisis de los 3 subconjuntos de conductores resulta en una tendencia positiva en el incremento del uso del sistema de seguridad, destacando en mayor proporción de uso en conductores de camiones.

Palabras clave: gravedad de lesión en conductor, cinturón de seguridad, modelos de machine learning, modelo jerárquico bayesiano, vehículos ligeros N1, turismo

Abstract

The use of a seat belt as a protection measure represents a high probability of reducing the severity of injury in an accident. The use of the seat belt in Spanish drivers is between 85-90%, which indicates that it is a percentage below what is mandatory. As a first part of this work, Machine Learning model techniques are applied with a classification approach, for two levels of severity of the driver. Based on this analysis, it can be indicated that the most important variable in the two types of accidents analyzed is the seat belt use. As a second part, bayesian hierarchical models are applied for the trend analysis the seat belt use of drivers, while driving one of the three types of light vehicle considered. In the period of years of this study, it is highlighted that the rate of use of the seat belt by drivers involved in fatal accidents (~73%) is lower than what the surveys establish (~90%), this requires a continuous monitoring. Regarding the analysis of the 3 subsets of drivers, it results in a positive trend in the increase in use in all cases, highlighting a higher proportion of use in light truck drivers.

Keywords: driver injury severity, seat belt, machine learning methods, bayesian hierarchical model, light-duty vehicles N1, passenger cars

1. Introducción

En los últimos años, la demanda de compras en línea y la entrega rápida que ofrecen varias empresas multinacionales, hacen que unos de los medios de transporte logístico más empleados sean las furgonetas y camiones ligeros; con ello se ha reflejado en un incremento en la movilidad, un mayor índice tanto en número de accidentes como en el número de fallecidos, especialmente en los ocupantes -conductores- que es el objetivo de estudio en este trabajo.

Esta línea de investigación pretende contribuir como un indicador para el mejoramiento en la seguridad vial planteado como una de las metas dentro Agenda 2030 - Objetivos de Desarrollo Sostenible; dicha meta (3.6) es la de reducción del número de muertes al 50% en cada decenio 2011-2020 y 2021-2030, y reducir a -cero- para el 2050 [1]–[3]; para el año 2020 según el informe del ETSC (siglas en inglés) [4] indica que en Europa solo dos países: Noruega y Grecia, han alcanzado dicho objetivo del primer decenio; aunque el caso de España ha logrado alcanzar un 45% de reducción, cuyo valor es cercano al objetivo, sin embargo, se hace importante seguir investigando desde otros enfoques y colectivos específicos como es el caso del presente estudio.

En el contexto español, el parque automotor de vehículos comerciales ligeros -VCL- (en inglés -LTV- Light Truck and Van) que representan a camiones ligeros y furgonetas [con masa máxima autorizada de 3500 Kg.] los cuales corresponden a un ~14% de

media, igualmente los vehículos turismos representan un 68% de media del total del parque en los últimos 10 años [5].

Como se puede observar en la Figura 1 [6], la variación de accidentes con víctima [en valor índice] de los VCL -en línea azul- es superior respecto a la muestra total de accidentes con víctima en todo el período, a excepción de los años 2011-2013. En los dos casos presentan una tendencia de reducción acusada entre los años 2007 y 2012, y desde aquel año cambia la tendencia hacia el aumento de los accidentes tanto de VCL como en general (valores de base año 2000= ~12.000 accidentes). En cuanto a la tasa de fallecidos de VCL respecto al total (gráfico de barras), se observa que entre los años 2006-2009 y 2017-2018 presentan valores más altos que la media -en línea roja-. Este comportamiento en la tendencia de reducción (2008-2011), de entre varios criterios puede deberse al establecimiento del permiso por puntos en el año 2007 y posterior cambio en el comportamiento de la conducción.

2. Metodología

En este trabajo, se aplican Árboles de Clasificación y Regresión (CART, siglas en inglés) [7]–[10] para el análisis de severidad del conductor para los dos accidentes más frecuentes: vuelco y salidas de vías, y posteriormente se aplica modelos Bayesianos Jerárquicos para el estudio de la evolución de tendencia de tasas de uso/no uso del cinturón de seguridad en una

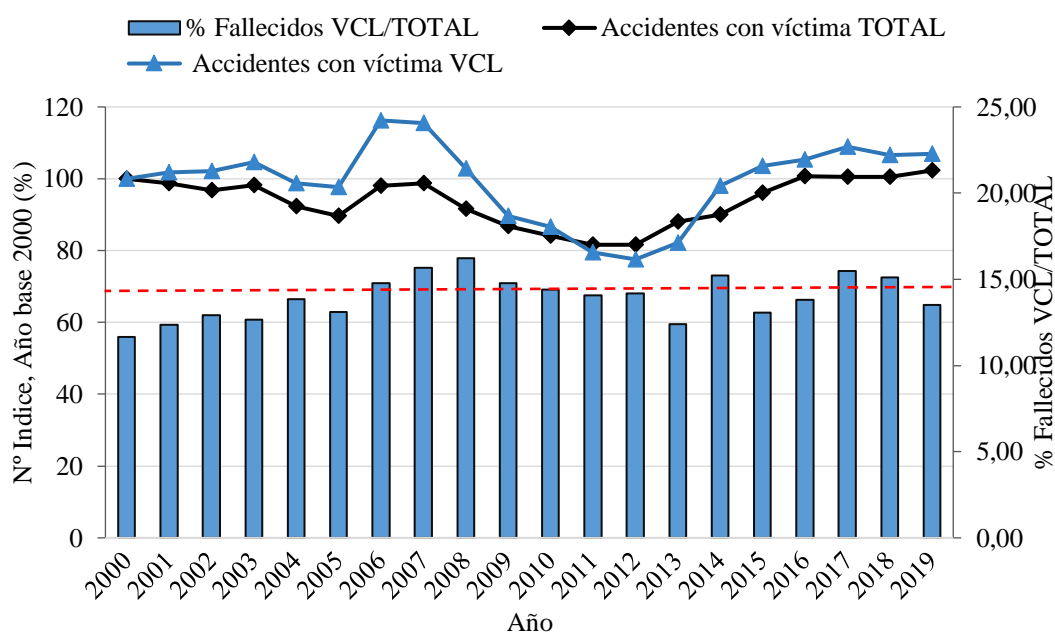


Figura 1. Evolución de los fallecidos y número de accidentes con víctimas con implicación de vehículos comerciales ligeros. Fuente: DGT, elaboración propia.

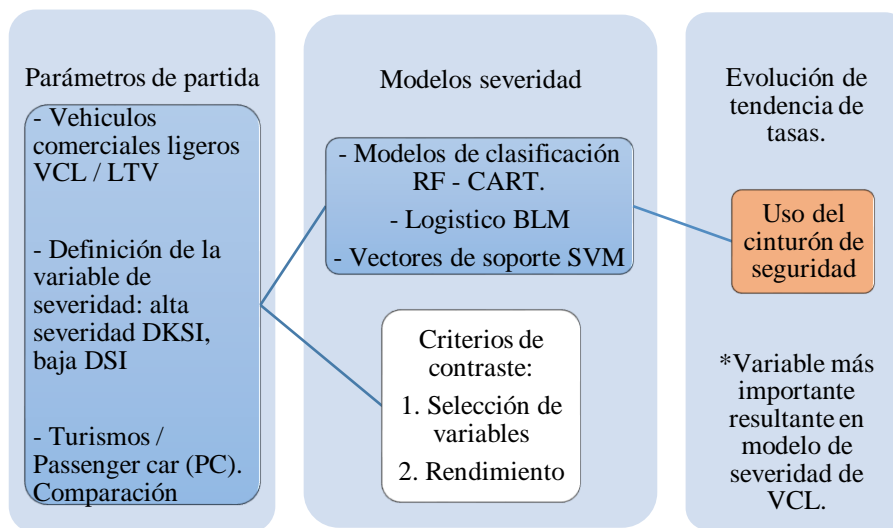


Figura 2. Esquema de análisis de severidad del conductor y tendencias de tasas.

muestra de conductores muertos en accidentes de tráfico mientras conducían un vehículo automovilístico, como se muestra en la Figura 2.

Para el estudio de severidad mediante modelos de clasificación, se parte con la integración de variables de 3 base de datos (BD): de características de vehículo, de matriculaciones y de accidentes obteniendo una BD general de accidentes (BDA) con 25 variables preseleccionadas por criterio de estudio, dicha BDA nos permite identificar y clasificar en 4 grupos de vehículos VCL [11], [12] como son: pick-up, camiones chasis-cabina, Furgón-Combi/Mixto y derivado de turismo. Previamente se realiza la definición de la variable severidad y se aplica la selección de variables mediante el criterio de importancia de variables por el método Random Forest (RF) [13]. Dichos resultados se comparan con otros modelos de ajuste de Machine Learning: Máquinas de Vectores de Soporte (SVM) [14] y modelo Logit Binomial (BLM) [15], [16] de la estadística tradicional.

Para el estudio de evolución de uso del cinturón se parte de la integración de BD micro-datos recogidos del portal de la Dirección General de Tráfico [5]. Se comparan entre 3 tipos de vehículos: furgonetas (LV), camiones ligeros (LT) y Turismos (PC) en el periodo 2000-2015. Para la generación de las curvas de evolución de tendencia de tasas de uso del cinturón se aplica la metodología de Martz et al. [17] y los gráficos de control EWMA (Exponentially Weighted Moving Average) por su ventaja computacional y estimación precisa del modelo jerárquico. El método consiste en estimar la tendencia de uso de cinturón de cada subconjunto de conductores y comparar la evolución con la evolución de todo el conjunto (global).

3. Resultados

3.1. Modelo de severidad

3.1.1. Análisis de importancia de variables

Como se observa las estadísticas en las Tabla 1 y Tabla 2. las variables de mayor importancia (especialmente los 5º primeros) para ambos tipos de accidentes son las relacionadas con el factor conductor, de forma análoga se muestra que dicho orden de ranking de variables se corresponden también para los tres métodos (RF, BLM y SVM), es decir: uso del cinturón de seguridad, ubicación de la lesión y condición psicofísica, edad y antigüedad del vehículo. Para el tipo de accidente de vuelco, las más relevantes en menor nivel se encuentran los factores de infraestructura (ROADFUN y ACCLOC), seguidos del factor vehículo (OCUPANT, AGELTV y LTV-VLC) y las condiciones ambientales (SEASON y HOUR). Para el caso de accidentes por salida de vía, las de menor importancia que clasifican a la severidad corresponden al factor ambiental seguido del vehículo y de infraestructura.

Para el modelo BLM se muestra el coeficiente B y su nivel significativo (Pr). En el caso accidente por vuelco, la más significativa es la variable cinturón de seguridad (SEATBELT), ya que el uso de cinturón de seguridad reduce la severidad. Siguiendo la interpretación tradicional, resulta que $B = -1.26$, con lo que la probabilidad de tener una mayor gravedad del choque se reduce en un 71.63% ($(\exp(-1.26) - 1) \times 100$).

Si se observa las métricas del modelo SVM, la variable con un valor mayor corresponde a la variable de mayor importancia, es decir el uso del cinturón de seguridad.

Tabla 1. Ranking de importancia de variables. Modelo de severidad de conductor en accidente por vuelco.

Variable	RF		BLM *		SVM (Kernel RBF)
	MDG Nrm (%)	MDA Nrm (%)	Coef. B	Pr	Metric
SEATBELT	100.00	100.00	-1.26 (YES)	0.0000 **	0.551
BODYINJURY	50.68	73.90	0.79 (LW)	0.0000 **	0.082
PSYCHOP	24.28	55.62	-1.18 (WOD)	0.0000 **	0.034
AGE	11.80	19.71	0.47 ([>60])	0.0000 **	0.014
OCUPANT	11.34	23.00	0.17 ([1])	0.0065 **	0.025
ACTION	10.08	19.29	-	0.1026	0.018
ROADFUN	9.12	29.02	-0.50 (URB)	0.0005 **	0.110
ACCLOC	7.86	23.28	-	0.9167	0.017
INFDRIV	7.1	22.58	-0.406 (NINF)	0.0000 **	0.007
LTV	5.87	4.43	-	0.3397	0.024

Fuente: elaboración propia.

* DKSI (alta severidad) referencia clase = 1, ** p < 0.05.

Tabla 2. Ranking de importancia de variables. Modelo de severidad en accidente por salida de vía.

Variable	RF		BLM *		SVM (Kernel RBF)
	MDG Nrm (%)	MDA Nrm (%)	Coef. B	Pr	Metric
SEATBELT	62.04	100.00	-1.11 (YES)	0.0000 **	0.4860
PSYCHOP	48.26	60.02	-1.17 (WOD)	0.0000 **	0.1360
BODYINJURY	100.00	87.25	0.87 (LW)	0.0000 **	0.1650
SEASON	69.43	3.92	-	0.9129	0.0220
AGELTV	65.14	-	0.32 (>10)	0.0072 **	0.0040
TRIPPURP	41.76	-	-	0.9754	0.0280
HOUR	58.62	6.00	-	0.8692	0.0010
PLANTRIP	58.52	6.20	-	0.4117	0.0010
ACCLOC	40.58	9.06	-	0.6063	0.0050
INFDRIV	38.29	16.57	0.31 (NINF)	0.0062 **	0.0150
OCUPANT	33.31	10.25	-	0.9039	0.0080

Fuente: elaboración propia.

* DKSI (alta severidad) referencia clase = 1, ** p < 0.05.

3.1.2. Modelos CART – Accidente por salida de vía

En este apartado tomamos como datos de entrada las variables de mayor importancia resultado del primer análisis, con ello generamos los árboles CART para cada tipo de accidente, en este caso por salida de vías. Considerando:

Casos N=5607 (62% del total de accidentes)

- Severidad alta, DKSI: 2075 (37.2%)

- Severidad baja, DSI: 3532 (62.8%)

Luego del entrenamiento del 70% de la muestra de N y con el consiguiente proceso de validación, resulta el modelo de clasificación con una precisión de 78.07% de buenas predicciones. De la Figura 3 [18] se extrae las siguientes características generales descriptivas:

- El árbol generado corresponde a 9 divisiones y 10 nodos terminales (NT) en esta descripción lo llamaremos nodos, ya que tienen numeración.
- Los nodos terminales en color verde muestran a los conductores con severidad leve DSI, y los nodos en color azul muestran del conductor con severidad grave DKSI.
- En cuanto a la intensidad del color de los nodos, en caso DSI cuanto el color verde es más oscuro, mayor será su probabilidad; de forma análoga será para el caso DKSI con el color azul.
- Las variables ubicadas en la parte superior son las que aplican una mayor discriminación, es decir tienen una ponderación mayor para clasificar el modelo.

3.2. Evolución de la tendencia de uso de cinturón de seguridad

De los modelos de severidad de lesiones de los conductores de furgonetas, se destaca como variable relevante el uso / no uso del Cinturón de seguridad en caso de ocurrencia de accidente de tráfico. En este apartado se muestra la tendencia de uso de cinturón de conductores de furgonetas frente a la tendencia general de uso de conductores de 3 tipos de vehículos: furgoneta (Light Van - LV), camión ligero (Light truck - LT) y turismos (Passenger car - PC).

Las encuestas sobre el uso de cinturón en todas las plazas de vehículos ligeros, realizadas desde 2007 y 2012 por parte de la DGT indican que el uso de cinturón de seguridad tuvo una evolución positiva y aumentó de 72% al 88.3 % como valores medios. Estos porcentajes descienden en vías urbanas al 70-80%, mientras que en vías interurbanas alcanza el 93-96% [5].

En 2018 las denuncias relacionadas por velocidad están en torno a 62% (45% fue en el año 2011) del total. Le siguen las sanciones por no utilizar cinturón con un 13%, conducción bajo los efectos del alcohol con un 12% (9% en 2011) y la utilización del móvil o distracciones mientras se conduce, se mantiene en un 9%. Según datos de informes de siniestralidad de 2013 y 2018, el % de fallecidos entre ocupantes de vehículos ligeros (en turismos y furgonetas) que no usaban cinturón de seguridad aumentó de 21 y 24% [5].

Consolidando estas informaciones se entiende que el uso de cinturón de seguridad, tanto de datos de encuestas como en denuncias está entre 85-90%. Sin embargo, los datos de accidentes de tráfico con víctima

extraídos para este estudio señalan que los conductores usan el cinturón de seguridad en menor tasa, es decir entre 55% a 70% de media en el periodo 2000-2015.

En la Figura 4, se muestra las curvas de tendencia global y de furgonetas (LV) sobre la tasa de uso de cinturón de seguridad, con sus respectivos estadísticos: media y sus intervalos de confianza, en el periodo 2000-2015. Del gráfico se puede extraer que:

- La amplitud de los intervalos de confianza de la P conjunta (Global) es mayor que las de las bandas específicas de cada tipo de vehículo.
- El uso de cinturón de los conductores de furgonetas es mayor que la del conjunto global en todo el periodo 2000-2015, alcanzando un máximo de 75,67% de tasa (valor medio EWMA) en el año 2010.
- En los últimos años (2010-2015), la tasa media se encuentra cerca del límite superior del conjunto global.
- La tendencia creciente hasta 2010, luego se produce un estancamiento en torno a 69,77% en los últimos 5 años.

De la Figura 5, respecto a la tendencia global y de camiones ligeros (LT) se puede indicar lo siguiente:

- La amplitud de los intervalos de confianza de la P conjunta (Global) es mayor que las de las bandas específicas de cada tipo de vehículo; además entre los tipos de vehículos, el de camiones es el más ancho en amplitud que el resto.
- En los tramos de años 2000-2005 y 2013-2014, el valor medio del uso de cinturón de seguridad es menor que la del conjunto global, sin embargo, alcanza un máximo de 76,74% el año 2010, por encima de la media global.

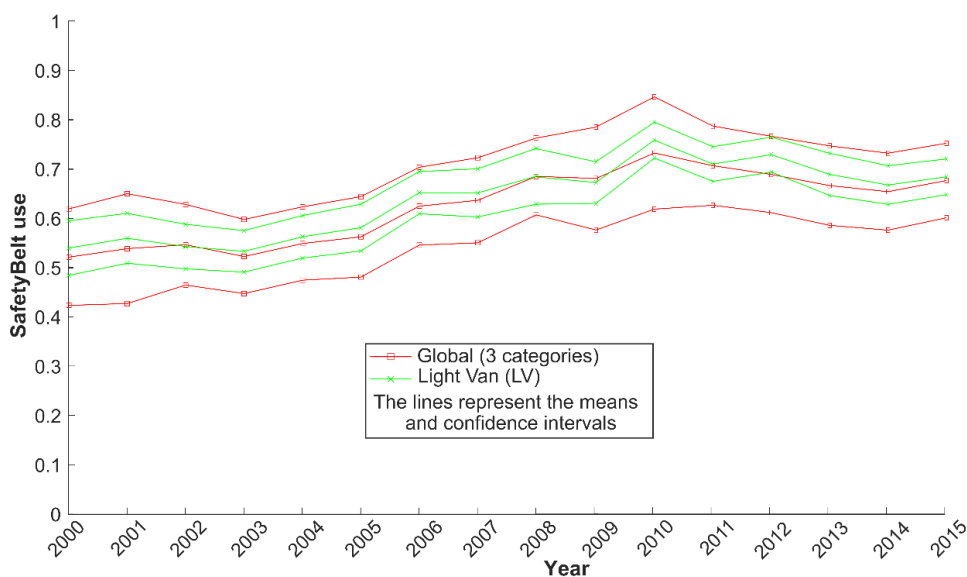


Figura 4. Tendencia de tasas en furgonetas y global (media e intervalos de confianza).

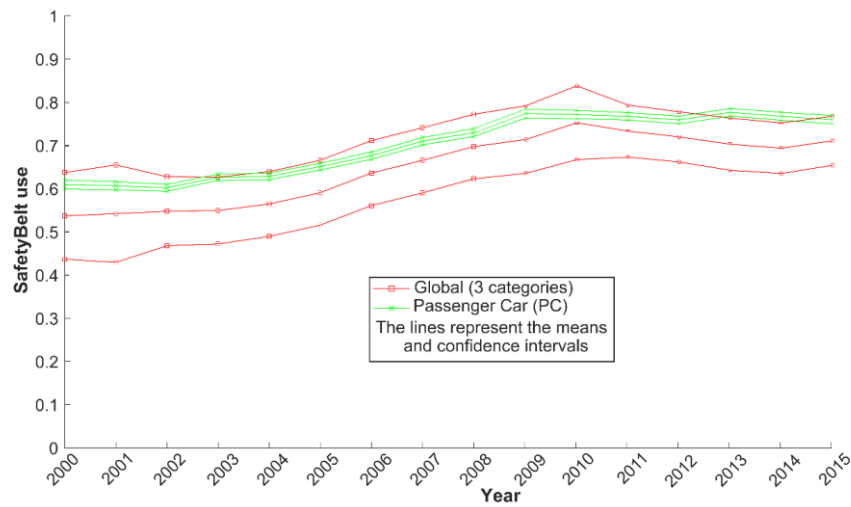


Figura 5. Tendencia de tasas en turismos (media e intervalos de confianza).

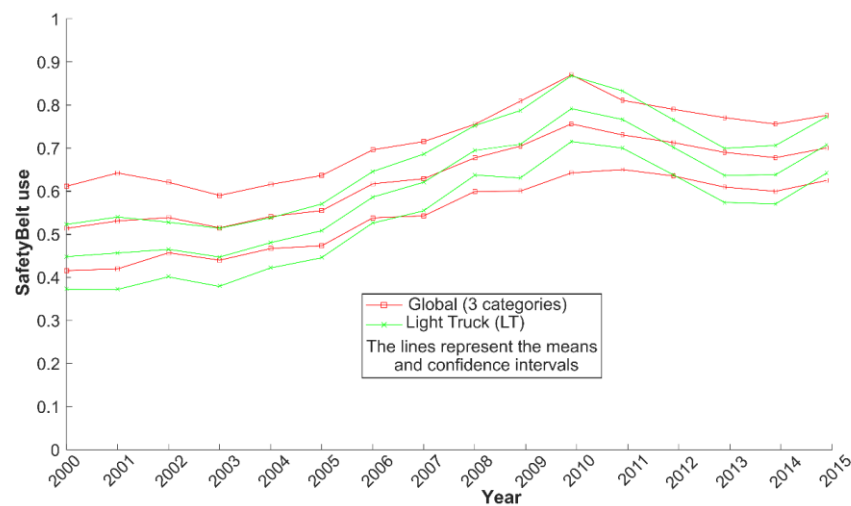


Figura 6. Tendencia de tasas en camiones y global (media e intervalos de confianza).

- La tendencia creciente del uso de cinturones en camiones es creciente hasta 2010, con una media de 57,22% y una tasa media acumulativa de 4,65%.
- En el tramo 2011 – 2013 presenta un descenso con una media de 68,09% y una tasa media acumulativa de -5,83%.
- A partir del año 2013 (punto de inflexión), el uso retoma una curva creciente con una media de 65,36% y una tasa media acumulativa de 5,02%. Se recomienda el seguimiento para la determinación si es un cambio de tendencia acusada.
- El uso del cinturón de conductores de turismos es mayor (valor medio) en comparación con el conjunto global, en todo el periodo.
- Tendencia creciente entre 2000 - 2010, con una media de 66,06% y una tasa media acumulativa de 2,08%.
- Desde 2011 en adelante la tendencia es prácticamente horizontal, con una media de 74,88% y una tasa media acumulativa de -0,26%.
- La amplitud de sus límites de confianza (CI) es más reducida frente a los demás tipos.

De la Figura 6, respecto a la tendencia global y de Turismos (PC) se puede describir lo siguiente:

4. Conclusiones

- Mediante la aplicación de modelos de Machine Learning se ha logrado analizar dos niveles de severidad en el conductor en función de variables relacionadas al factor de conducción, del vehículo, de infraestructura y condiciones ambientales, de ésta fase se destaca el uso del cinturón de seguridad como una de las variables de mayor importancia.
- La metodología del estudio de severidad con aplicación de modelos de clasificación han permitido trabajar tanto con variables cuantitativas, como cualitativas, y con un buen rendimiento predictivo; además en el caso del modelo CART se muestra su potencia visual y descriptiva.
- El estudio de tendencia mediante modelo Jerárquico bayesiano nos ha permitido observar patrones de uso del cinturón entre 3 tipos de conductores de vehículos ligeros, lo que nos ha permitido comparar con el fin de plantear relaciones causales o no causales frente a las campañas de vigilancia por parte de las entidades de control.
- El análisis de tendencias del uso de cinturón de seguridad, revela que hay diferencia en la evolución, resultando que los conductores de camiones son los que tienen el mejor salto incremental (aumenta desde 45% en 2003 al 70% en el año 2015).
- Esta evolución es muy positiva cuando se comparan con los conductores de furgonetas y turismos (del 54% en el año 2000 pasó al 68% en el año 2015 y de 62% en 2002 a 77% en 2015 respectivamente).
- Los resultados indican discrepancias entre los porcentajes de uso del cinturón de seguridad en caso de ocurrencia de un accidente y los que indican en encuestas y estudios observacionales, por lo que requieren un seguimiento continuo, más campañas de concienciación y medidas concretas de vigilancia del uso de este elemento de seguridad pasiva de los conductores en general.

5. Agradecimientos

El equipo investigador agradece a la Dirección General de Tráfico (DGT) y el Ministerio de Transporte por proporcionar la base de datos. Además, los autores también quieren agradecer a la Comunidad de Madrid, que mediante el programa SEGVAUTO 4.0-CM (S2018-EMT-4362), ha contribuido a la difusión de este trabajo.

6. Referencias

- [1] World Health Organization, “Global status report on road safety 2015.” 2015. http://www.who.int/violence_injury_prevention/road_safety_status/2015/en/.
- [2] United Nations, “Transforming our world: the 2030 Agenda for Sustainable Development,” 2015. <https://sustainabledevelopment.un.org/post2015/summit>.
- [3] United Nations, “Special edition: progress towards the Sustainable Development Goals,” 2019. <https://sustainabledevelopment.un.org/sdgsummit#documentation>.
- [4] Consejo Europeo de Seguridad del Transporte, “EU Road Deaths Down by 3900 in 2020,” *June*, 2021. <https://etsc.eu/eu-road-deaths-down-by-3900-in-2020/> (accessed Jul. 07, 2021).
- [5] Dirección General de Tráfico, “Las principales cifras de la Siniestralidad Vial. España. 2019,” 2019. <http://www.dgt.es/es/seguridad-vial/estadisticas-e-indicadores/publicaciones/principales-cifras-siniestralidad/> (accessed Aug. 30, 2020).
- [6] G. Pillajo-Quijia, “Métodos estadísticos para la identificación de patrones de influencia en la accidentalidad de conductores con implicación de vehículos comerciales ligeros,” Universidad Politécnica de Madrid, 2022.
- [7] L. Breiman, J. H. Friedman, R. A. Olshen, and C. J. Stone, *Classification and regression trees*. CRC press, 1984.
- [8] L.-Y. Y. Chang and H.-W. W. Wang, “Analysis of traffic injury severity: An application of non-parametric classification tree techniques,” *Accid. Anal. Prev.*, vol. 38, no. 5, pp. 1019–1027, 2006, doi: <https://doi.org/10.1016/j.aap.2006.04.009>.
- [9] L.-Y. Y. Chang and J.-T. T. Chien, “Analysis of driver injury severity in truck-involved accidents using a non-parametric classification tree model,” *Saf. Sci.*, vol. 51, no. 1, pp. 17–22, 2013, doi: [10.1016/j.ssci.2012.06.017](https://doi.org/10.1016/j.ssci.2012.06.017).
- [10] C. Chen, G. Zhang, Z. Qian, R. A. Tarefder, and Z. Tian, “Investigating driver injury severity patterns in rollover crashes using support vector machine models,” *Accid. Anal. Prev.*, vol. 90, pp. 128–139, 2016, doi: <https://doi.org/10.1016/j.aap.2016.02.011>.
- [11] I. FURGOSEG, *FURGOSEG research project P24–08: Development and Application of an Integrated Methodology for the Study of Road Accidents with Involvement of Vans of the Spanish National Research Plan 2008–2011*. Ministry of Innovation and Science.(MICINN). 2011.

- [12] B. Dadashova, B. R. Arenas, J. M. Mira, F. Izquierdo, and F. I. Aparicio, "Explanatory and prediction power of two macro models. An application to van-involved accidents in Spain," *Transp. Policy*, vol. 32, pp. 203–217, Mar. 2014, doi: 10.1016/j.tranpol.2014.01.014.
- [13] L. Breiman, "Random forests," *Mach. Learn.*, vol. 45, no. 1, pp. 5–32, 2001.
- [14] C. Cortes and V. Vapnik, "Support-vector networks," *Mach. Learn.*, vol. 20, no. 3, pp. 273–297, 1995.
- [15] F. L. Mannering and C. R. Bhat, "Analytic methods in accident research: Methodological frontier and future directions," *Anal. Methods Accid. Res.*, vol. 1, pp. 1–22, 2014, doi: <https://doi.org/10.1016/j.amar.2013.09.001>.
- [16] P. T. Savolainen, F. L. Mannering, D. Lord, and M. A. Quddus, "The statistical analysis of highway crash-injury severities: A review and assessment of methodological alternatives," *Accid. Anal. Prev.*, vol. 43, no. 5, pp. 1666–1676, 2011, doi: <https://doi.org/10.1016/j.aap.2011.03.025>.
- [17] H. F. Martz, R. L. Parker, and D. M. Rasmuson, "Estimation of trends in the scram rate at nuclear power plants," *Technometrics*, vol. 41, no. 4, 1999, doi: 10.1080/00401706.1999.10485934.
- [18] B. Arenas and J. Mira, "8. MOVILIDAD Y EXPLOTACIÓN DE FURGONETAS. Monografía.," *Desarro. y Apl. una Metodol. Integr. para el Estud. los Accid. tráfico con implicación furgonetas*, p. 101, 2011, doi: 978-84-695-9361-5.
- [19] I. M. Abdalla, "Effectiveness of safety belts and Hierarchical Bayesian analysis of their relative use," *Saf. Sci.*, vol. 43, no. 2, 2005, doi: 10.1016/j.ssci.2005.02.003.
- [20] V. Gitelman, M. Vis, W. Weijermars, and S. Hakkert, "Development of Road Safety Performance Indicators for the European Countries," *Adv. Soc. Sci. Res. J.*, vol. 1, no. 4, 2014, doi: 10.14738/assrj.14.302.