



INFLUENCIA DEL USO DE CINTURÓN DE SEGURIDAD EN LA GRAVEDAD DE LESIONES DEL CONDUCTOR Y ANÁLISIS DE TENDENCIA DEL USO. CASOS DE ESTUDIO: VEHÍCULOS COMERCIALES LIGEROS Y TURISMOS

GIOVANNY PILLAJO-QUIJIA¹, EDINALVA GOMES-BASTOS², BLANCA ARENAS-RAMÍREZ², JOSÉ MIRA-MCWILLIAM³, F. APARICIO-IZQUIERDO²

¹ Coordinación de Investigación e Innovación, ABREC, Ecuador

² Instituto Universitario de Investigación del Automóvil Francisco Aparicio Izquierdo (INSIA-UPM), Ctra. De Valencia, km 7, 28031 Madrid, España

³ Statistical Laboratory, Escuela Técnica Superior de Ingenieros Industriales (ETSII), Universidad Politécnica de Madrid (UPM), 28006 Madrid, España

(Recibido 16 de febrero de 2024, para publicación 31 de marzo de 2024)

Resumen – La accidentalidad de vehículos comerciales ligeros VLC se ha incrementado en los últimos años, a priori en mayor medida por el uso profesional en el ámbito logístico, a mayor demanda del servicio hay mayor movilidad y exposición al riesgo de accidente de tráfico. El objetivo del presente trabajo es analizar las variables de mayor importancia que influyen en la severidad del conductor con implicación de cuatro tipos de VLC de su misma categoría N1, y posteriormente estudiar la tendencia evolutiva de las tasas para la variable más importante para datos del periodo: 2000-2015. En la primera parte de este estudio se describen algunos resultados de modelos de clasificación de severidad de conductor mediante técnicas de Machine Learning, que evidencian el uso del cinturón de seguridad como la variable de mayor importancia en los dos tipos de accidentes analizados. En la segunda parte se aplican modelos jerárquicos bayesianos para el análisis de tendencia en la tasa de uso del cinturón de seguridad de conductores de 2 tipos de VLC y un turismo. En este periodo de tiempo se destaca que la tasa de uso del cinturón de seguridad por parte de los conductores implicados en accidentes mortales (media estadística es de ~73%), porcentaje de uso muy inferior a lo que establecen las encuestas (~90%). El análisis de tendencias para los 3 subconjuntos de conductores indica el incremento del uso de este sistema de seguridad, destacando en mayor proporción de uso en conductores de camiones ligeros. Se recomienda el seguimiento de algunos colectivos específicos con el fin de reducir la probabilidad de comportamientos de riesgo del conductor, como es el caso del no uso del cinturón de seguridad.

Palabras clave – Gravedad de lesión en conductor, cinturón de seguridad, *Machine Learning*, modelo Jerárquico Bayesiano, vehículos comerciales ligeros, turismos.

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 más empleados en la logística, sean las furgonetas y camiones ligeros; lo que ha resultado 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 están expuestos a ese riesgo laboral. El objetivo de estudio es analizar las variables influyentes del accidente y seleccionar las de mayor importancia que clasifica a la severidad en el conductor, como siguiente paso es el estudio de tendencia de tasas de la variable más importante en la severidad.

Esta línea de investigación pretende contribuir como un indicador para el mejoramiento en la seguridad vial planteado en la meta 3.6 dentro de la Agenda 2030 - Objetivos de Desarrollo Sostenible; que plantea la reducción del número de muertes al 50% en cada decenio 2011-2020 y 2021-2030, y reducir a -cero- para el 2050 [1], [2], [3]. El informe del Consejo Europeo de Seguridad del Transporte (*ETSC* siglas en inglés) [4] para el año 2020, indica que en Europa solo dos países: Noruega y Grecia, han alcanzado el objetivo del primer decenio; España ha logrado alcanzar un valor cercano al objetivo -45% de reducción,

sin embargo, se hace importante seguir investigando desde otros enfoques y colectivos específicos como es el caso del presente estudio.

En España, el parque automotor de Vehículos Comerciales Ligeros VCL (*LTV: Light Truck and Van*) compuesto de camiones ligeros y furgonetas -cuya masa máxima autorizada inferior a 3500 Kg- representan un ~14% de media. Los vehículos tipo turismo representan de media el 68% del total del parque en los últimos 10 años [5].

Como se puede observar en la Fig. 1 [6], -en el eje vertical izquierdo- la variación de accidentes con víctimas [en valor índice 100] de los VCL -en línea azul - marcador triángulo - es superior a la variación del número 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 hasta 2012, a partir del cual cambian ambas tendencias (valores de base año 2000= ~12.000 accidentes). En cuanto a la tasa de fallecidos de VCL respecto al total (gráfico de barras -en el eje vertical derecho-), se observa que entre los años 2007-2012 hubo una reducción importante, debido entre otras razones al establecimiento del permiso de conducción por puntos en el año 2006.

En el último periodo se ha observado la recuperación de los valores previos a este hito de la legislación en materia de seguridad vial en España. Se ha elevado el índice accidental, a priori se podría decirse que debido a varios factores: el aumento del número de vehículos, conductores, incremento en la movilidad especialmente en largo recorrido, lo que indica mayor tráfico y riesgo.

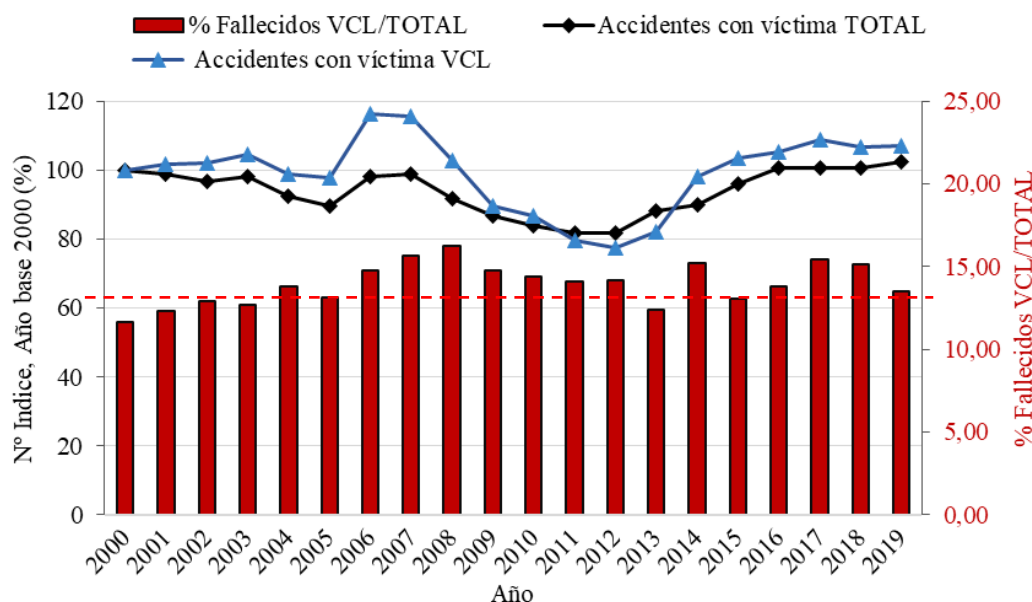


Fig. 1. Evolución de los fallecidos y número de accidentes con víctimas con implicación de vehículos comerciales ligeros.
Fuente: DGT, elaboración propia.

En referencia al uso de cinturón, las encuestas realizadas desde 2007 y 2012 por parte de la DGT indican que el uso de cinturón de seguridad (en todas las plazas) en vehículos ligeros 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 un estudio sobre seguridad vial (Proyecto ESRA1, Encuesta sobre Actitudes de los Usuarios de la Vía) con datos de encuestas hasta el año 2018 sostiene que, en España el 80% de conductores declara haber utilizado el cinturón de seguridad, un 81% como pasajero en el asiento delantero y un 70% como pasajero en los asientos traseros [7].

En 2018 las denuncias relacionadas por velocidad están en torno a 62% (45% 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% (cifra de 9% en 2011) y la utilización del móvil o distracciones mientras se conduce, se mantiene en un 9%. De la muestra de base de datos de conductores en accidente con víctima entre el año 2000-

2008, los que no usaron el cinturón representan un 14.25% (ver Tabla Anexo). Según datos de informes de siniestralidad de 2013 y 2018, el % de fallecidos entre ocupantes de vehículos ligeros (en turismo y furgonetas) que no usaban cinturón de seguridad aumentó de 21 y 24% [5], para el tramo entre los años 2019 y 2022 se tienen cifras de fallecidos que no usaban cinturón de seguridad entre 31 y 36% de en zonas urbanas, y entre 24 y 27% en zonas interurbanas [8], [9].

Por lo mencionado anteriormente, el presente trabajo analiza y estudia la relación de las variables influyentes para clasificar a la severidad del conductor aplicando técnicas estadísticas de Aprendizaje de Máquinas (*Machine Learning*), dichos modelos se han aplicado por su potencia descriptiva, explicativa y predictiva. En ese sentido, también se aplica técnicas de la estadística tradicional como es el modelo Jerárquico Bayesiano para el análisis de la evolución de tasas del uso del cinturón de seguridad, debido a potencia computacional y mejor estimación.

2. METODOLOGÍA

Se aplican Árboles de Clasificación y Regresión (*CART*, siglas en inglés) [10] para la investigación de accidentes de tráfico con implicación de diferentes tipos de vehículos y variables explicativas como lo evidencian en varios trabajos sobre la gravedad en el conductor [11], [12], [13]. En ésta línea, el modelo de clasificación *CART* es aplicado para el análisis de severidad de un conductor con implicación de un Vehículo Comercial Ligero VCL en dos accidentes más frecuentes: vuelco y salidas de vía, y posteriormente se aplica un modelo Bayesiano Jerárquico para el estudio de la evolución de tendencia de tasas de uso/no uso del cinturón de seguridad en una muestra de conductores (de VCL y Turismos) que han fallecido en un accidente de tráfico, como se muestra en la Fig. 2 y se detalla a continuación.

Para el estudio de severidad mediante modelos de clasificación, se parte con la integración de variables de 2 bases de datos (BD): de matriculaciones y de accidentes provistas por la Dirección General de Tráfico (DGT), obteniendo una BD general de accidentes de los vehículos de interés (BDA) con 25 variables preseleccionadas que se pueden observar en detalle descriptivo en la Tabla del Anexo. La BD de matriculaciones permite identificar y clasificar en 4 grupos de vehículos VCL: a) pick-up, b) camiones chasis-cabina, c) furgón-combi/mixto y d) derivado de turismo, en el período 2000-2008 [14], [15], [16]. Para la

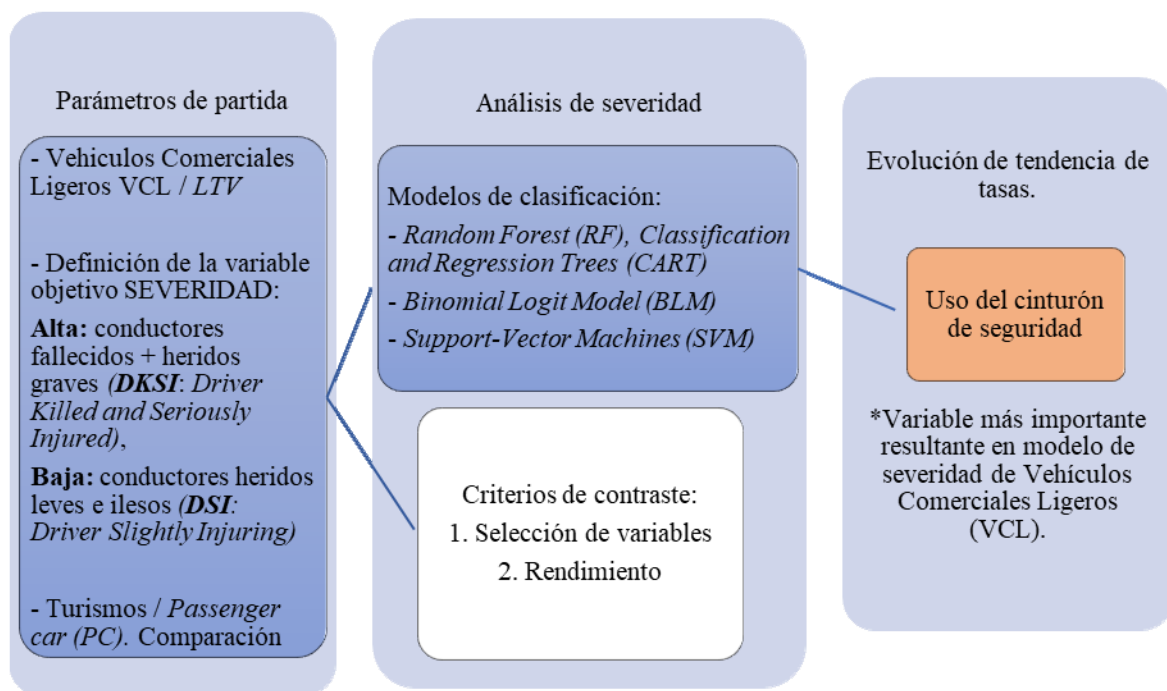


Fig. 2. Esquema de análisis de severidad del conductor y tendencias de tasas.

construcción de la base de datos de conductor (BDC) en el periodo completo hasta 2015 se compilan con BD de microdatos extraídos desde la web de la DGT; los vehículos VCL se reagrupan en 2 tipos: Furgonetas (F) que contienen a los pick-up, Furgón-Combi/Mixto y derivado de turismo, y Camiones ligeros (CL) que corresponde a camiones chasis-cabina, y se comparan con los tipos Turismo (T).

La selección de variables se realiza mediante el criterio de importancia de variables por el método de Bosques Aleatorios (*RF Random Forest*) [17]. Dichos resultados se comparan con otros modelos de ajuste de Machine Learning: Máquinas de Vectores de Soporte (*SVM Support-Vector Machines*) [18] y modelo de Regresión Logística Binomial (*BLM Binomial Logit Model*) [19], [20] de la estadística tradicional.

El estudio de evolución de uso del cinturón con los datos de BDC se realiza entre conductores de 3 tipos de vehículos: Furgonetas (F), Camiones Ligeros (CL) y Turismos (T) 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. [21] 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 el comportamiento con la evolución de todo el grupo conjunto.

3. RESULTADOS

3.1. Modelo de severidad

3.1.1. Análisis de importancia de variables

Como se observa en las Tabla 1 y Tabla 2, las variables de mayor importancia (entre las 3^o primeras y en los tres métodos: *RF*, *BLM* y *SVM*) para los dos tipos de accidentes son las relacionadas con el factor conductor, en concreto: uso del cinturón de seguridad (principal variable en importancia con valor máximo de % normalizado de la tasa promedio de importancia de clasificación, de los valores de la disminución media de la precisión -*MDA: Mean Decrease Accuracy*- en cada árbol, y valores altos de tasas de contribución a la homogeneidad de los nodos, es decir, a la disminución media del índice Gini -*MDG Mean Decrease Gini*-), ubicación de la lesión (74/87% en *MDA* de la contribución del uso del cinturón de seguridad) y condición psicofísica (con valores de 55/60% en *MDA* respecto a la contribución del uso del cinturón). También aparece la edad del conductor y la antigüedad del vehículo en menor medida (~20% en *MDA*). Para el accidente de vuelco, las variables de menor significancia que representa para los modelos se encuentran los relacionados con el tipo de vía y lugar del accidente (factor infraestructura, con 19/23% en *MDA* respecto a la contribución del uso del cinturón), acción e infracción del conductor y tipo de vehículo. Para los accidentes por salida de vía, las de menor importancia o significancia en la severidad de lesión del conductor son las variables: estación del año y hora del accidente (factor condiciones ambientales, con menores a 6% de *MDA* y <7 0% en *MDG* respecto al uso del cinturón), motivo de desplazamiento, hora, distancia recorrida e infracción (factor conductor, con < 10% de *MDA* y < 60% en *MDG* respecto al uso del cinturón), y lugar del accidente (factor infraestructura, con < 10% de *MDA* y < 70% en *MDG* respecto al % de uso del cinturón).

Para el modelo *BLM* se muestra -tercera columna- el coeficiente B (de las covariables) y su nivel de significancia (Pr). En accidente por vuelco, la más significativa es la variable uso del cinturón de seguridad (SEATBELT) que contribuye al modelo en clasificar y predecir para sus dos clases de severidad de lesiones. Siguiendo la interpretación tradicional, resulta que el coeficiente $B = -1.26$, con lo que la probabilidad de tener una mayor gravedad se reduce en un 71.63% ($\exp(-1.26) - 1) \times 100$) si la categoría es -SI/afirmativo- (YES) el uso del cinturón de seguridad respecto al -NO/No uso-.

Interpretando las métricas del modelo *SVM* -en la cuarta columna- que es el caso para problemas de clasificación no lineal, donde las funciones kernel permiten transformar espacios separables de forma no lineal en espacios linealmente separables. Se analizaron varios kernels (radiales y polinomiales) y en función de los mejores resultados de su métrica de clasificación se ha seleccionado la función kernel de base radial (*RBF Radial Base Function*) para la clasificación de la gravedad del conductor. Se indica que la variable de mayor importancia para clasificar y predecir el modelo de severidad de lesiones es el uso del cinturón de seguridad con un valor de 0.551 que es el más alto que el resto. De forma análoga se pueden

extraer conclusiones de la Tabla 2, obtenida para accidentes tipo salida de la vía, hay similitud en las 3 variables de mayor importancia.

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_uso_cinturón	100.00	100.00	-1.26 (YES)	0.0000 **	0.551
BODYINJURY_ubicación_lesión	50.68	73.90	0.79 (LW)	0.0000 **	0.082
PSYCHOP_condición_psicofísica	24.28	55.62	-1.18 (WOD)	0.0000 **	0.034
AGE_edad_conductor	11.80	19.71	0.47 ([>60])	0.0000 **	0.014
OCUPANT_número_ocupantes	11.34	23.00	0.17 ([1])	0.0065 **	0.025
ACTION_acción_del_conductor	10.08	19.29	-	0.1026	0.018
ROADFUN_tipo_vía	9.12	29.02	-0.50 (URB)	0.0005 **	0.110
ACCLOC_lugar_accidente	7.86	23.28	-	0.9167	0.017
INFDRIV_infracción_conductor	7.1	22.58	-0.406 (NINF)	0.0000 **	0.007
LTV_tipo_vehículo	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_uso_cinturón	62.04	100.00	-1.11 (YES)	0.0000 **	0.4860
PSYCHOP_condición_psicofísica	48.26	60.02	-1.17 (WOD)	0.0000 **	0.1360
BODYINJURY_ubicación_lesión	100.00	87.25	0.87 (LW)	0.0000 **	0.1650
SEASON_estación_del_año	69.43	3.92	-	0.9129	0.0220
AGELTV_antigüedad_vehículo	65.14	-	0.32 (>10)	0.0072 **	0.0040
TRIPPURP_motivo_desplazamiento	41.76	-	-	0.9754	0.0280
HOOR_hora_accidente	58.62	6.00	-	0.8692	0.0010
PLANTRIP_distancia_recorrida	58.52	6.20	-	0.4117	0.0010
ACCLOC_lugar_accidente	40.58	9.06	-	0.6063	0.0050
INFDRIV_infracción_conductor	38.29	16.57	0.31 (NINF)	0.0062 **	0.0150
OCUPANT_número_ocupantes	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 las variables de entrada de los árboles CART para cada tipo de accidente, son las de mayor importancia generado por el modelo Random Forest. La muestra de casos de registros de accidentes es: N=5607 (62% del total de accidentes), donde la variable respuesta se corresponde con:

- (i) Severidad alta, DKSI: 2075 (37.2%).
- (ii) Severidad baja, DSI: 3532 (62.8%).

Además, el 70% de la muestra de N se usa para el entrenamiento del árbol y con % restante se aplica el consiguiente proceso de validación, el modelo de clasificación da un resultado con una precisión de 78.07% de buenas predicciones. De la Fig. 3 [6], [22] se describe las siguientes características generales:

- El árbol tiene 9 divisiones y 10 nodos terminales (NT) que se interpreta por códigos de color: mientras el color sea más intenso mayor es la probabilidad, en concreto con un verde más oscuro mayor es su probabilidad de severidad de leve DSI (0.84); de forma análoga con el color azul, que indica una mayor probabilidad cuando es azul intenso (severidad alta DKSI con 0.83)

rimentan solo una gravedad baja (nodo 7). Si las lesiones se originan en las zonas bajas y están condicionadas a la no utilización del cinturón de seguridad, la severidad es mayor (nodo 20).

- SEASON: Estación del año. Los resultados presentan ligeras diferencias de severidad en cuanto a probabilidades, los accidentes ocurridos en primavera, verano y otoño presentan una mayor probabilidad de DKSI (nodo 86) que el resto de los nodos. El factor concurrente a éste puede ser el estado psicofísico del conductor y las exigencias de movilidad de los VCL (LTV en inglés) en las estaciones del año con mejores condiciones climáticas y más tiempo con luz natural, lo que generalmente conduce a una mayor productividad [29], [30], [31].
- AGELTV: Antigüedad del vehículo. Esta variable tiene un punto de corte a los 10 años. Una severidad alta ocurre cuando el vehículo tiene menos de 10 años de antigüedad (nodo 84), mientras que una baja gravedad ocurre cuando el vehículo es más antiguo (nodo 85). Se entiende que los LTV son de uso comercial, con una alta demanda de movilidad; el más nuevo presenta una mayor frecuencia de accidentes por su mayor uso. En el estudio de movilidad realizado en el Proyecto Furgoseg e ITV-DGT, se determinó que los vehículos más nuevos recorren más kilómetros que los de mayor antigüedad [16].

3.2. Evolución de la tendencia de uso de cinturón de seguridad entre conductores de vehículos ligeros implicados en accidentes mortales

De los modelos de severidad de lesiones de los conductores de furgonetas implicados en accidentes con víctima, se destaca como variable relevante el cinturón de seguridad. Unos estudios relativos al cinturón de seguridad han aplicado el análisis bayesiano jerárquico desde el punto de vista de la efectividad de su uso [32], [33] y entre otros trabajos relativos al no uso del cinturón y su incidencia en la gravedad [34], [35]. En este presente estudio se desarrolla y analiza la tendencia de uso de cinturón de conductores de furgonetas frente a la tendencia del ‘grupo conjunto’: de 3 tipos de vehículos: Furgoneta (F), Camión Ligero (CL) y Turismos (T).

Se hace importante el estudio del uso de cinturón de seguridad tanto en accidentes donde hay víctimas con heridos como cuando hay fallecidos. En términos globales del uso del cinturón de seguridad, tanto de datos de encuestas como de denuncias se sitúa entre 85-90%. Sin embargo, los datos de accidentes de tráfico con víctima mortales en este estudio señalan que los conductores usan el cinturón de seguridad en menor tasa: entre el 55% y 70% de media en el periodo 2000-2015.

En la Fig. 4, se muestran las curvas de tendencia de tasas uso de cinturón de seguridad del conjunto y de furgonetas, 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 probabilidad del conjunto del uso del cinturón de seguridad 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 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.
- La tendencia creciente hasta 2010, luego se produce un estancamiento en torno a 69,77% en los últimos 5 años.

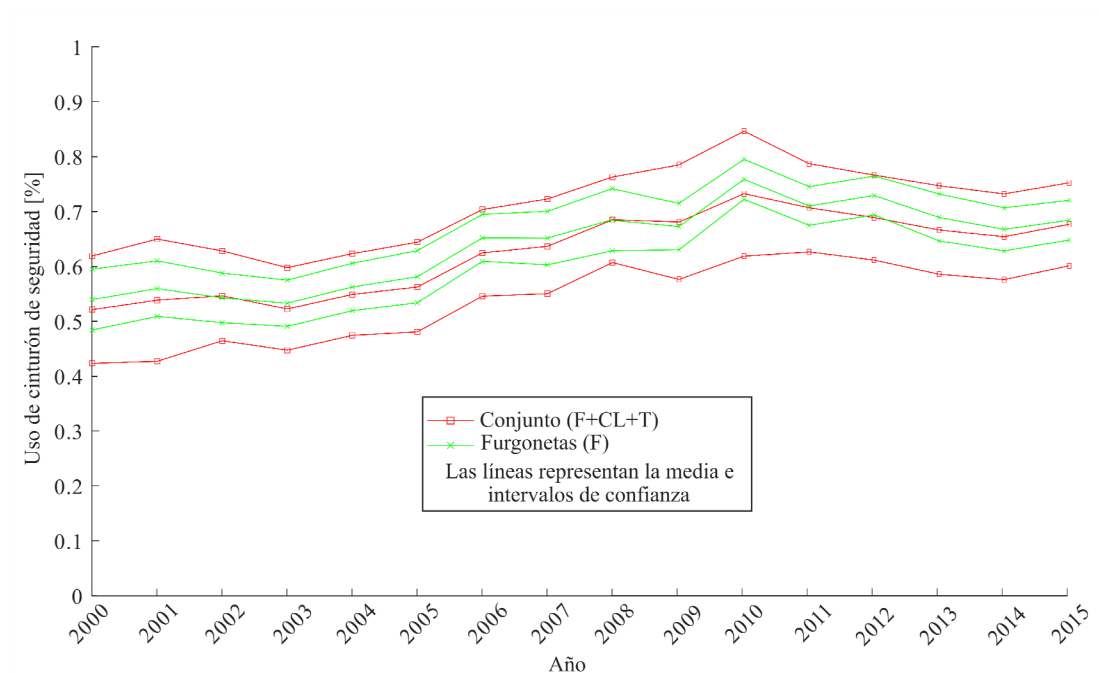


Fig. 4. Tendencia de tasas en Furgonetas y el grupo conjunto.

De la Fig. 5, respecto a la tendencia del grupo conjunto y de camiones ligeros se puede indicar lo siguiente:

- La amplitud de los intervalos de confianza de la probabilidad de uso del cinturón de seguridad del grupo conjunto es mayor que las de las bandas específicas de cada tipo de vehículo; además entre los tipos de vehículos, el de camiones muestra más amplitud que el resto.
- En los tramos de años 2000-2005 y 2013-2014, el valor medio del uso de cinturón de seguridad de los conductores de camiones ligeros es menor que la del conjunto, sin embargo, alcanza un máximo de 76,74% el año 2010, por encima de la media del grupo conjunto.
- La tendencia general del uso de cinturones en conductores de camiones ligeros es creciente hasta 2010, con una media de 57,22% con 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 se observa un punto de inflexión de la curva y crece a una media de 65,36% en el periodo final con una tasa media acumulativa de 5,02%. Se recomienda el seguimiento para la determinación si es un cambio de tendencia que se mantiene en el tiempo.

De la Fig. 6, respecto a la tendencia del conjunto y de turismos se puede describir lo siguiente:

- El uso del cinturón de conductores de turismos es mayor (valor medio) en comparación con el grupo conjunto, en todo el periodo.
- Muestra una tendencia creciente entre 2000 - 2010 con una tasa media acumulativa de 2,08% y un valor medio de 66,06%
- Desde 2011 no se observan cambios importantes.
- La amplitud de sus límites de confianza (CI) es más reducida frente a los demás tipos

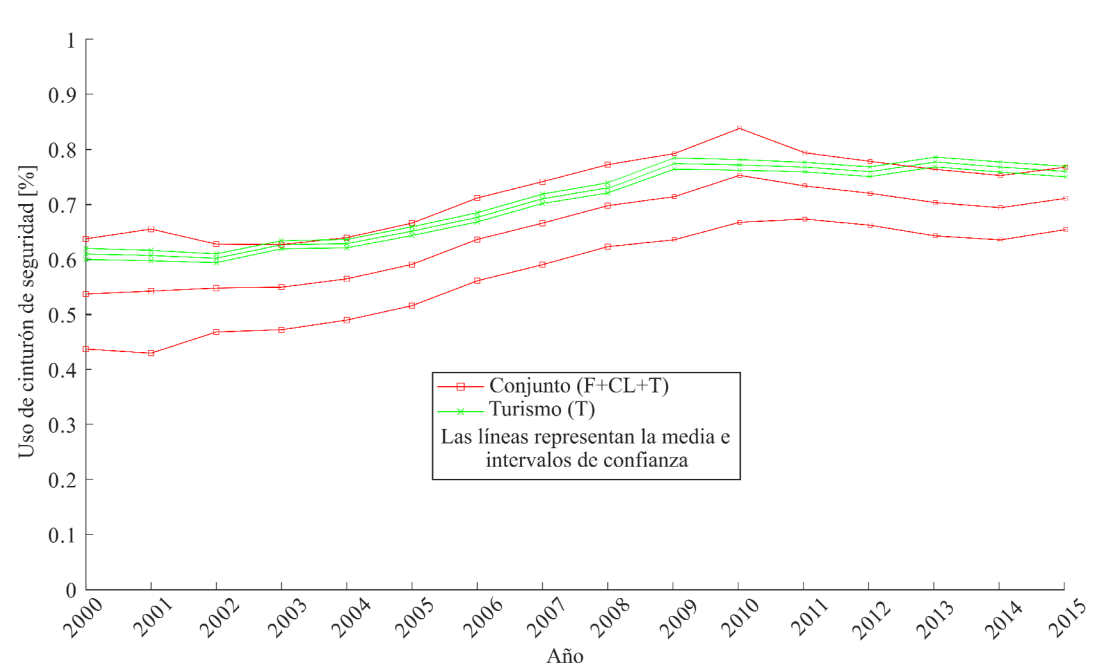


Fig. 5. Tendencia de tasas en Turismos y el grupo conjunto.

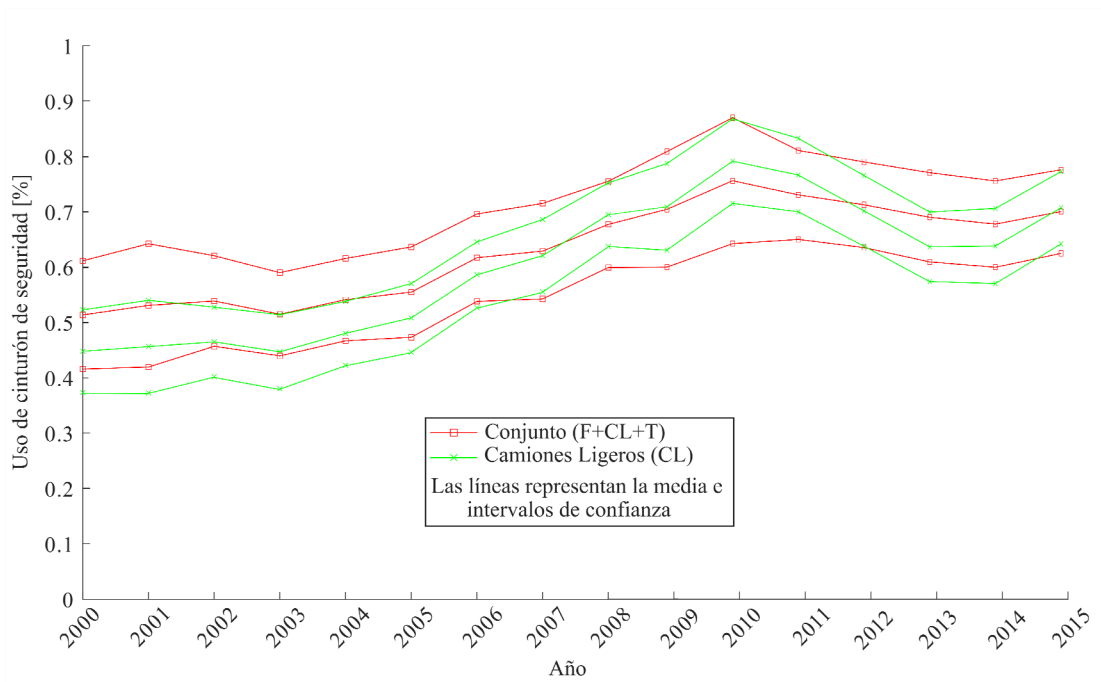


Fig. 6. Tendencia de tasas en Camiones Ligeros y el grupo conjunto.

4. CONCLUSIONES

- Mediante la aplicación de modelos de Machine Learning se ha logrado analizar dos niveles de severidad de lesiones del conductor en función de variables relacionadas con características del conductor, del vehículo, de la infraestructura y las condiciones ambientales, de ésta fase se destaca el uso del cinturón de seguridad como una de las variables de mayor importancia.
- La metodología de modelos de clasificación aplicados al estudio de severidad de lesiones de conductores de tres tipos de vehículos ligeros, ha permitido trabajar tanto con variables cuantitativas, como cualitativas, y los modelos CART muestran su potencia visual y descriptiva, además de potencia predictiva.
- El estudio de tendencia mediante un modelo Jerárquico bayesiano permite observar patrones de uso del cinturón entre 3 tipos de conductores de vehículos ligeros. La comparación permite plantear medidas específicas como 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 y por tanto han mejorado en relación con este comportamiento de riesgo entre los conductores específicos del estudio (aumenta desde 45% en 2003 al 70% en el año 2015).
- La evolución, también, es muy positiva entre 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). Se puede observar la correlación en el comportamiento de la tendencia, a mayor uso del cinturón de seguridad menor es el número de accidentes con víctima, especialmente con víctima fallecida.
- Los resultados indican discrepancias entre los porcentajes de uso del cinturón de seguridad en caso de ocurrencia de un accidente y los de encuestas y estudios observacionales, por lo que se recomienda 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.
- Por la versatilidad y el parsimonio de los modelos de clasificación CART se puede aplicar en diferentes campos que trabajen con variables cualitativas y cuantitativas. Se podría aplicar a diferentes medios de transporte, accidente con implicación de ciclistas, patinetes eléctricos cuyo uso son cada vez más frecuentes.

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.

REFERENCIAS

- [1] World Health Organization, "Global status report on road safety 2015." [Online]. Available: http://www.who.int/violence_injury_prevention/road_safety_status/2015/en/
- [2] United Nations, "Transforming our world: the 2030 Agenda for Sustainable Development." [Online]. Available: <https://sustainabledevelopment.un.org/post2015/summit>
- [3] United Nations, "Special edition: progress towards the Sustainable Development Goals." [Online]. Available: <https://sustainabledevelopment.un.org/sdgsummit#documentation>
- [4] Consejo Europeo de Seguridad del Transporte, "EU Road Deaths Down by 3900 in 2020," June. Accessed: Jul. 07, 2021. [Online]. Available: <https://etsc.eu/eu-road-deaths-down-by-3900-in-2020/>

- [5] Dirección General de Tráfico, “Las principales cifras de la Siniestralidad Vial. España. 2019.” Accessed: Aug. 30, 2020. [Online]. Available: <http://www.dgt.es/es/seguridad-vial/estadisticas-e-indicadores/publicaciones/principales-cifras-siniestralidad/>
- [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. doi: 10.20868/UPM.thesis.70349.
- [7] U. Meesmann, K. Torfs, H. Nguyen, W. Van den Berghe, “¿Nos preocupa la seguridad vial?. Principales resultados del proyecto ESRA1 en 38 países.” Bruselas, 2018. Accessed: Feb. 10, 2024. [Online]. Available: www.esranet.eu.
- [8] Dirección General de Tráfico, “Las principales cifras de la Siniestralidad Vial. España. 2022,” DGT (Observatorio Nacional de Seguridad Vial). Accessed: Feb. 01, 2024. [Online]. Available: <https://www.dgt.es/menusecundario/dgt-en-cifras/dgt-en-cifras-resultados/dgt-en-cifras-detalle/Las-principales-cifras-de-la-siniestralidad-vial-2022/>
- [9] Dirección General de Tráfico, “Uso del cinturón de seguridad en víctimas de siniestros viales,” 2023. Accessed: Feb. 10, 2024. [Online]. Available: <https://www.dgt.es/menusecundario/dgt-en-cifras/dgt-en-cifras-resultados/dgt-en-cifras-detalle/Uso-del-cinturon-de-seguridad-en-victimas-de-siniestros-viales-2022/>
- [10] L. Breiman, J.H. Friedman, R.A. Olshen, C.J. Stone, *Classification and regression trees*. CRC press, 1984. doi: 10.1201/9781315139470.
- [11] L.-Y.Y. Chang, H.-W.W. Wang, “Analysis of traffic injury severity: An application of non-parametric classification tree techniques,” *Accid. Anal. Prev.*, **38**(5), 1019–1027 (2006), doi: <https://doi.org/10.1016/j.aap.2006.04.009>.
- [12] L.-Y.Y. Chang, J.-T.T. Chien, “Analysis of driver injury severity in truck-involved accidents using a non-parametric classification tree model,” *Saf. Sci.*, **51**(1), 17–22 (2013), doi: 10.1016/j.ssci.2012.06.017.
- [13] C. Chen, G. Zhang, Z. Qian, R. A. Tarefder, Z. Tian, “Investigating driver injury severity patterns in rollover crashes using support vector machine models,” *Accid. Anal. Prev.*, **90**, 128–139 (2016), doi: 10.1016/j.aap.2016.02.011.
- [14] 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)
- [15] B. Dadashova, B.R. Arenas, J.M. Mira, F. Izquierdo, F.I. Aparicio, “Explanatory and prediction power of two macro models. An application to van-involved accidents in Spain,” *Transp. Policy (Oxf)*, **32**, 203–217, Mar. (2014), doi: 10.1016/j.tranpol.2014.01.014.
- [16] B. Arenas, J. Mira, “8. Movilidad y explotación de furgonetas. Monografía,” Desarrollo y aplicación de una metodología integrada para el estudio de los accidentes de tráfico con implicación de furgonetas, 101 (2011), doi: 978-84-695-9361-5.
- [17] L. Breiman, “Random forests,” *Mach Learn*, **45**(1), 5–32 (2001)
- [18] C. Cortes, V. Vapnik, “Support-vector networks,” *Mach. Learn.*, **20**(3), 273–297 (1995)
- [19] F.L. Mannering, C.R. Bhat, “Analytic methods in accident research: Methodological frontier and future directions,” *Anal Methods Accid Res.*, **1**, 1–22, (2014), doi: 10.1016/j.amar.2013.09.001.
- [20] P.T. Savolainen, F.L. Mannering, D. Lord, M.A. Quddus, “The statistical analysis of highway crash-injury severities: A review and assessment of methodological alternatives,” *Accid. Anal. Prev.*, **43**(5), 1666–1676 (2011), doi: 10.1016/j.aap.2011.03.025.
- [21] H.F. Martz, R.L. Parker, D.M. Rasmuson, “Estimation of trends in the scram rate at nuclear power plants,” *Technometrics*, **41**(4), (1999), doi: 10.1080/00401706.1999.10485934.
- [22] G. Pillajo-Quijia, B. Arenas-Ramírez, C. González-Fernández, F. Aparicio-Izquierdo, “Influential Factors on Injury Severity for Drivers of Light Trucks and Vans with Machine Learning Methods,” *Sustainability* **2020**, **12**(4), 1324, (2020), doi: 10.3390/SU12041324.
- [23] J.D. Febres, S. García-Herrero, S. Herrera, J.M. Gutiérrez, J.R. López-García, M.A. Mariscal, “Influence of seat-belt use on the severity of injury in traffic accidents,” *European Transport Research Review*, **12**(1), Dec. (2020), doi: 10.1186/s12544-020-0401-5.
- [24] S. Candefjord, R. Buendia, H. Fagerlind, A. Bálint, C. Wege, B.A. Sjöqvist, “On-Scene Injury Severity Prediction (OSISP) Algorithm for Truck Occupants,” *Traffic. Inj. Prev.*, **16**, S190–S196, (2015), doi: 10.1080/15389588.2015.1057578.

- [25] A. Jayaraman, M. Patel, J. Padmanaban, "Factors influencing injury severity to belted drivers in car crashes in India," *Traffic Inj. Prev.*, 23(S1), S161–S166 (2022), doi: 10.1080/15389588.2022.2085872.
- [26] A. Behnood, F.L. Mannering, "The effects of drug and alcohol consumption on driver injury severities in single-vehicle crashes," *Traffic Inj. Prev.*, **18**(5), 456–462, Jul. (2017), doi: 10.1080/15389588.2016.1262540.
- [27] D. Delen, L. Tomak, K. Topuz, E. Eryarsoy, "Investigating injury severity risk factors in automobile crashes with predictive analytics and sensitivity analysis methods," *J. Transp. Health*, **4** (2017), doi: 10.1016/j.jth.2017.01.009.
- [28] C. Chen, G. Zhang, Z. Qian, R.A. Tarefder, Z. Tian, "Investigating driver injury severity patterns in rollover crashes using support vector machine models," *Accid. Anal. Prev.*, **90**, 128–139 (2016), doi: 10.1016/j.aap.2016.02.011.
- [29] M. Zhu, Y. Li, Y. Wang, "Design and experiment verification of a novel analysis framework for recognition of driver injury patterns: From a multi-class classification perspective," *Accid. Anal. Prev.*, **120**, 152–164, 2018, doi: 10.1016/j.aap.2018.08.011.
- [30] C. Tingvall, H. Stigson, L. Eriksson, R. Johansson, M. Krafft, A. Lie, "The properties of Safety Performance Indicators in target setting, projections and safety design of the road transport system," *Accid. Anal. Prev.*, **42**(2), (2010), doi: 10.1016/j.aap.2009.08.015.
- [31] V. Gitelman, M. Vis, W. Weijermars, S. Hakkert, "Development of Road Safety Performance Indicators for the European Countries," *Adv. Soc. Sci. Res. J.*, **1**(4), (2014), doi: 10.14738/assrj.14.302.
- [32] I.M. Abdalla, "Effectiveness of safety belts and Hierarchical Bayesian analysis of their relative use," *Saf. Sci.*, **43**(2), (2005), doi: 10.1016/j.ssci.2005.02.003.
- [33] Z. Cai, F. Wei, Y. Guo, "A full Bayesian multilevel approach for modeling interaction effects in single-vehicle crashes," *Accid Anal Prev.*, **193**, 107331, (2023), doi: 10.1016/J.AAP.2023.107331.
- [34] S.J. Chamroeun Se Thanapong Champahom V. Ratanavaraha, "Empirical examination of interdependent relationship between usage of seatbelt restraint system and driver-injury severity of single-vehicle crashes in Thailand using a joint econometric analysis," *Traffic. Inj. Prev.*, **24**(6), 503–510 (2023), doi: 10.1080/15389588.2023.2218511.
- [35] E.B. Sartin, L.R. Lombardi, K.B. Metzger, R.K. Myers, M.R. Pfeiffer, A.E. Curry, "Variation in drivers' seat belt use by indicators of community-level vulnerability," *J. Safety Res.*, **85**, 140–146 (2023), doi: 10.1016/J.JSR.2023.01.013.

INFLUENCE OF SEAT BELT USE ON DRIVER SEVERITY INJURIES AND USE TREND ANALYSIS.

Abstract – The accident rate of Light Commercial Vehicles (VLC) has increased in recent years, a priori mainly due to professional use in the logistics area. The main objective is to analyse the most important variables that influence the severity of the driver with the involvement of four types of VLC of the same category N1. Subsequently, the evolutionary trend of the rates for the most important variable for data from the period: 2000-2015 is studied. In the first part of this work, some results of driver severity classification models using Machine Learning techniques are described, which show the use of seat belts as the most important variable in the two types of accidents analysed. In the second part, hierarchical Bayesian models are applied to analyse the trend in the rate of use of seat belts by drivers in 2 types of VLC and passenger car. In this period, it is highlighted that the rate of seat belt use by drivers involved in fatal accidents (statistical average is ~ 73%), percentage of use much lower than what the surveys establish (~ 90%). The trend analysis for the 3 groups of drivers indicates the increase in the use of this security system, highlighting a higher proportion of use in truck drivers. Monitoring of some specific groups is recommended to reduce the probability of risky behaviour by the driver, such as not using a seat belt.

Keywords – Driver injury severity, Seat belt, Machine Learning Methods, Bayesian Hierarchical Model, Light-duty vehicles N1, Passenger cars.

ANEXO

Tabla 3. Definiciones de las variables y datos descriptivos.

Variables	Categorías	Códigos	Tipo de severidad del conductor				Total
			Alta-DKSI	%	Baja-DSI	%	
Severidad:	1) Alta con conductores fallecidos + heridos graves (DKSI: <i>Driver Killed and Seriously Injured</i>). 2) Baja con conductores heridos leves e ilesos (DSI: <i>Driver Slightly Injured</i>).		2076	22.93%	6976	77.07%	9052
Tipo de accidente	Vuelcos	RO	711	20.64%	2734	79.36%	3445
	Salida de vías	ROR	1365	24.34%	4242	75.66%	5607
Variables explicativas							
Factor conductor							
TRIPPURP: motivo de desplazamiento	Dentro del trabajo	WW	886	23.27%	2922	76.73%	3808
	Fuera del trabajo	NW	260	25.59%	756	74.41%	1016
	Ocio	LT	921	23.79%	2951	76.21%	3872
ACTION: acción del conductor	Siguiendo la ruta	GOS	1933	24.17%	6063	75.83%	7996
	Parado/estacionado	STP	4	1.61%	245	98.39%	249
	Adelantando	OVT	67	18.46%	296	81.54%	363
	Maniobra repentina	SM	15	9.74%	139	90.26%	154
	Otros	OT	47	18.22%	211	81.78%	258
PSYCHOP: condiciones psicofísicas	Con defectos (alcohol/drogas/sueño/cansancio)	WD	1415	20.60%	5453	79.40%	6868
	Sin defectos / normal	WOD	194	18.56%	851	81.44%	1045
	Se ignora / desconocido	UKN	467	41.00%	672	59.00%	1139
INFSPEED: infracción de velocidad	Infracción	INF	716	23.28%	2360	76.72%	3076
	Sin infracción	NINF	883	21.87%	3154	78.13%	4037
	Se ignora/desconocido	UKN	477	24.60%	1462	75.40%	1939
INFDRIV: infracción del conductor	Conducción distraída	DIST	461	20.80%	1755	79.20%	2216
	Varias infracciones de tráfico	INF	345	16.02%	1809	83.98%	2154
	Sin infracción	NINF	1270	27.24%	3393	72.76%	4663
PLANTRIP: Distancia recorrida (km)	<50	<50	922	24.16%	2895	75.84%	3817
	50–200	50–200	615	24.12%	1935	75.88%	2550
	>200	>200	289	23.55%	938	76.45%	1227
	Se ignora / desconocido	UKN	250	17.15%	1208	82.85%	1458
SEATBELT: uso del cinturón de seguridad	SI	YES	1313	19.17%	5537	80.83%	6850
	No	NO	600	46.51%	690	53.49%	1290
	Se ignora / desconocido	UKN	163	17.87%	749	82.13%	912
BODYINJURY: Ubicación de lesión más graves	Extremidad y parte superior	UP	705	25.88%	2019	74.12%	2724
	Parte central del cuerpo	C	523	24.76%	1589	75.24%	2112
	Extremidad y parte inferior	LW	240	42.33%	327	57.67%	567
	Todo el cuerpo	WB	291	43.56%	377	56.44%	668
	Se ignora / desconocido	UKN	291	13.76%	1824	86.24%	2115
AGE: edad del conductor	<25	<25	345	19.87%	1391	80.13%	1736
	25–35	25–35	648	20.88%	2455	79.12%	3103
	36–60	36–60	903	25.22%	2677	74.78%	3580
	>60	>60	180	28.44%	453	71.56%	633
GENDER: género / sexo	Masculino	M	1903	23.25%	6281	76.75%	8184
	Femenino	F	173	19.93%	695	80.07%	868
Factor vehículo							
AGELTV: Antigüedad	<2	<2	657	24.34%	2042	75.66%	2699
	3–5	3–5	431	22.34%	1498	77.66%	1929
	6–10	6–10	479	24.06%	1512	75.94%	1991
	>10	>10	459	25.43%	1346	74.57%	1805
CONDICLTV: estado del vehículo	Defectos varios	WD	79	21.01%	297	78.99%	376
	Ningún defecto	WOD	1951	22.91%	6564	77.09%	8515
	Se ignora / desconocido	UKN	46	28.57%	115	71.43%	161
LTV / VCL: tipo de vehículo	Pick-up	G1	59	30.26%	136	69.74%	195
	Camión ligero / chasis cabina	G2	289	22.39%	1002	77.61%	1291
	Furgoneta / Furgón-Combi/Mixto	G3	868	23.16%	2880	76.84%	3748
	Derivados de turismo	G4	860	22.52%	2958	77.48%	3818
OCUPANT: ocupantes	1	1	1466	26.74%	4017	73.26%	5483
	2–3	2–3	519	17.57%	2435	82.43%	2954
	4–9	4–9	88	15.09%	495	84.91%	583
	Se ignora / desconocido	UKN	3	9.38%	29	90.62%	32
Factor infraestructura vial							
ROADFUN: tipo de vía	Urbana	URB	93	16.01%	488	83.99%	581
	Rural / Interurbana	RUR	1983	23.41%	6488	76.59%	8471

ACCLOC: ubicación del accidente	Recta	SR	954	22.96%	3201	77.04%	4155
	Curva	CR	1003	23.41%	3281	76.59%	4284
	Intersección con calle	IS	26	15.57%	141	84.43%	167
	Intersección con carretera	IH	93	20.85%	353	79.15%	446
Factor condiciones ambientales							
VISIBLTY: visibilidad restringida por	edificios, vegetación, otros	VR	404	23.95%	1283	76.05%	1687
	Sin restricción	OKV	1670	23.88%	5322	76.12%	6992
LIGHT: Luminosidad	Pleno día	DLS	1244	20.89%	4711	79.11%	5955
	Insuficiente / sin luz. (noche)	INL	832	26.86%	2265	73.14%	3097
WEATHER: factores atmosféricos	Buen tiempo	SUN	1681	24.00%	5323	76.00%	7004
	Adverso: niebla, lluvia, nieve, otros	ADV	395	19.29%	1653	80.71%	2048
HOUR: hora de accidente	00:00–05:59	0–6	288	27.56%	757	72.44%	1045
	07:00–11:59	6–12	594	20.94%	2242	79.06%	2836
	12:00–17:59	12–18	627	21.22%	2328	78.78%	2955
	18:00–23:59	18–24	526	25.35%	1549	74.65%	2075
SEASON: estación del año	Otoño	AUT	510	23.09%	1699	76.91%	2209
	Primavera	SPR	521	23.56%	1690	76.44%	2211
	Verano	SUM	557	21.37%	2050	78.63%	2607
	Invierno	WIN	488	24.10%	1537	75.90%	2025