

PROGRAMA DE DOCTORADO EN INGENIERÍA INDUSTRIAL

TESIS DOCTORAL

**Análisis de accidentes de tráfico por salidas de calzada:
Definición de medidas de prevención y mitigación de sus
consecuencias.**

Presentada por **Aquilino Molinero Martínez** para optar al grado
de Doctor por la Universidad de Valladolid

Dirigida por:

Dr. D. Miguel Alejandro Fernández Temprano

Dr. D. Alfonso Gordaliza Ramos

Dr. D. Alberto Mansilla Gallo

D. Miguel Alejandro Fernández Temprano y D. Alfonso Gordaliza Ramos, Catedráticos de Universidad de la Universidad de Valladolid, y D. Alberto Mansilla Gallo, Profesor Contratado Doctor de la Universidad de Valladolid, certifican que la presente memoria ha sido realizada, dentro del plan 595 —Doctorado en Ingeniería Industrial según RD 99/2011— y bajo su tutela, por Aquilino Molinero Martínez, alumno de doctorado en el programa del RD 778/1998 de la Universidad de Valladolid.

Valladolid, 1 de Septiembre de 2022

Agradecimientos

La gratitud en silencio no sirve a nadie

Gladys Berthe Stern, 1890-1973

En todo trabajo de investigación participan numerosos agentes que, gracias a su aportación, llega a su fin. Esta tesis doctoral no es una excepción. Por ello deseo expresar ante todo mi más sincero agradecimiento a quienes, directa e indirectamente, han colaborado en su elaboración.

A todos ellos, agradecerles su amistad y su aportación en esta tesis durante todos estos años. Sólo espero ser capaz de devolverles algún día lo mucho que me han ayudado.

Índice general

1. Introducción	5
1.1. Tipologías de las salidas de calzada a analizar en esta tesis	6
2. Objetivos y relevancia	13
2.1. Objetivos	13
2.2. Relevancia de la tesis	16
2.3. Interpretación práctica de los resultados	18
3. Metodología	20
3.1. Fuentes de investigación	20
3.2. Diseños estadísticos	22
3.3. Metodologías estadísticas aplicadas	24
3.3.1. Regresión logística binaria (RLB) y múltiple (RLBM)	24
3.3.2. Escalado multidimensional	29
4. Publicaciones en el compendio de la Tesis	31
4.1. Artículo 1: Injuries among powered two-wheeler users in eight European countries: A descriptive analysis of hospital discharge data	31
4.1.1. Introducción	31
4.1.2. Objetivos	32
4.1.3. Metodología	32
4.1.4. Resultados	33
4.1.5. Conclusiones y Líneas Futuras	34
4.1.6. Contribuciones del Doctorando	34
4.2. Artículo 2: Analysis of real crashes against metal roadside barriers	35

4.2.1.	Introducción	36
4.2.2.	Objetivos	36
4.2.3.	Metodología	37
4.2.4.	Resultados	37
4.2.5.	Conclusiones y Líneas Futuras	38
4.2.6.	Contribuciones del Doctorando	38
4.3.	Artículo 3: Geometric road design factors affecting the risk of urban run-off crashes. A case-control study	39
4.3.1.	Introducción	39
4.3.2.	Objetivos	40
4.3.3.	Metodología	40
4.3.4.	Resultados	42
4.3.5.	Conclusiones y Líneas Futuras	43
4.3.6.	Contribuciones del Doctorando	43
4.4.	Artículo 4: Detection of geometric risk factors affecting head-on collisions through multiple logistic regression. Improving two-way rural road design via 2+1 road adaption	44
4.4.1.	Introducción	45
4.4.2.	Objetivos	45
4.4.3.	Metodología	46
4.4.4.	Resultados	47
4.4.5.	Conclusiones y Líneas Futuras	48
4.4.6.	Contribuciones del Doctorando	49
4.5.	Discusión de resultados	50
5.	Conclusiones y Líneas Futuras	53
5.1.	Conclusiones	53
5.2.	Líneas futuras	56
6.	ANEXOS	59
	ANEXO I: Artículos publicados	60
	ANEXO II: Sobre el doctorando	170

Capítulo 1

Introducción

Según la Organización Mundial de la Salud (Mohan, 2003), los accidentes de tráfico han sido considerados hasta la fecha como una de las grandes pandemias del siglo XXI, causando cada año en el mundo alrededor de 1,35 millones de fallecidos y más de 50 millones de heridos de diversa consideración (WHO, 2019b). Desde que en 1886, Karl Benz patentase el primer vehículo propulsado por un motor de explosión y hasta hoy, se estima que en el mundo pueden haber fallecido por accidente de tráfico más de 60 millones de personas y 2.500 millones hayan resultado heridas.

No obstante, a pesar de estas cifras, gran parte de los accidentes de tráfico podrían considerarse como previsible y evitables, a la vez que mitigables, implementando las correspondientes contramedidas. Algunos expertos en seguridad vial señalan que *“los siniestros viales son explicables y prevenibles. La explicación viene desde el estudio y la investigación”* (Montoro, 2019).

Dentro de la casuística de los accidentes de tráfico, destacan las **salidas de calzada**, que consisten en que el vehículo o parte del mismo abandona la calzada por diversos motivos. Las cifras estadísticas indican que un tercio de los accidentes mortales ocurridos en Europa (WHO, 2019b) fueron salidas de calzada en las que el vehículo abandonó la propia calzada y, o bien colisionó contra un obstáculo fijo, o volcó (dando vueltas sobre su eje transversal o longitudinal), o se precipitó por un desnivel. En España, a pesar de haber descendido un 7% el número de fallecidos por salida de calzada en el último año (DGT, 2022), las cifras siguen siendo preocupantes al suponer dichas salidas de calzadas el 35% de los fallecidos por accidente de tráfico (la Figura 1.1. muestra esta distribución), llegando incluso a suponer un 42% si nos centramos en las vías interurbanas.

La presente tesis por compendio de publicaciones se va a centrar en aportar conocimiento sobre algunas tipologías concretas de salidas de calzada, que se detallarán en el apartado siguiente, con el fin de ayudar a definir posibles medidas para evitar o mitigar de ese tipo de salidas de vía.

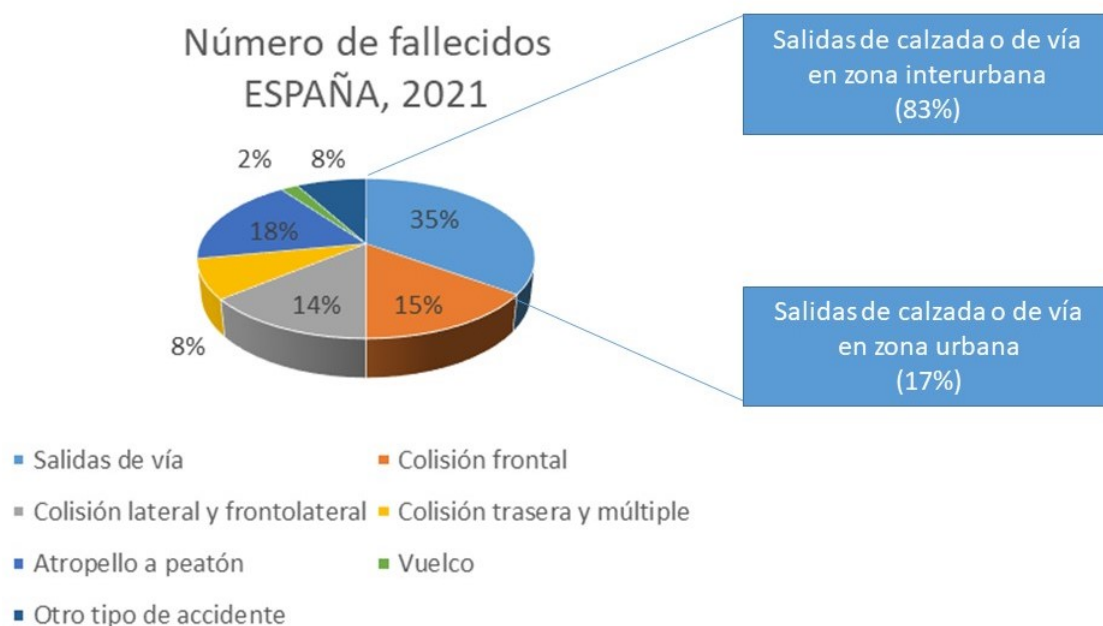


Figura 1.1: Tipologías de accidentes de tráfico con fallecidos en España en 2021. Fuente: (DGT, 2022).

1.1. Tipologías de las salidas de calzada a analizar en esta tesis

El objetivo de esta tesis es aportar conocimiento sobre determinado tipo de salidas de calzada, y de manera específica sobre cómo influye en estos accidentes uno de los tres factores que entran en juego en las colisiones según se define en la denominada “Matriz de Haddon” (Haddon Jr, 1968): la infraestructura (frente al factor humano y frente al vehículo). La Figura 1.2 muestra esta matriz en la que se detalla cómo los tres factores (factor humano, infraestructura y vehículo) interaccionan en los tres momentos de un accidente: antes, durante y después.

Al analizar las estadísticas sobre salidas de calzada se detectan varios aspectos de interés. Respecto a las localizaciones donde se producen estas salidas de vía, las cifras muestran que la mayoría se producen en entorno interurbano: un 83% de las salidas de vía con fallecidos se produjeron en vías interurbanas, como mostraba la Figura 1.1 (DGT, 2022). Sin embargo, también las salidas de calzada en **entorno urbano** merecen atención con el fin de evitarlas o reducir sus consecuencias. Así, en países como Australia o Nueva Zelanda, las salidas de calzada en entorno urbano suponen el 20% de los accidentes de tráfico con víctimas en zona urbana o el 48% de las víctimas mortales también en zona urbana (Beck, 2014).

MATRIZ DE HADDON: FACTORES DE RIESGO				
¿DÓNDE INTERVENIR?				
¿CUÁNDO INTERVENIR?	PERSONA (huésped)	VEHÍCULO (vector)	MEDIO AMBIENTE	
			FÍSICO (vía)	SOCIOECONÓMICO
PRE-EVENTO	Alcohol y/o drogas, experiencia al volante, fatiga, etc.	Velocidad, inestabilidad, sistemas de frenos, ruedas, etc.	Diseño vía, estado superficial, condiciones climáticas	Legislación, exceso de velocidad, uso de cinturón de seguridad, permiso de conducción, etc.
EVENTO	Uso cinturón, casco, enfermedades previas.	Velocidad, masa y geometría del vehículo, rigidez, airbag.	Objetos en la vía, mediana, postes.	Legislación y situación del mercado de vehículos, observancia límites de velocidad.
POST-EVENTO	Otras enfermedades previas, edad, etc.	Peligro incendio o explosión, capacidad extracción, etc.	Proximidad a la asistencia sanitaria.	Disponibilidad y rapidez de asistencia sanitaria y rehabilitación, sistema de seguro médico, calidad asistencial.

Figura 1.2: Presencia de la infraestructura (diseño de la vía, objetos en la vía,...) en un accidente de tráfico según la Matriz de Haddon. Fuente: (Haddon Jr, 1968).

Por otro lado, al abordar qué tipos de usuarios suelen estar involucrados en las salidas de calzada, destacan los llamados “usuarios vulnerables” como son los **motociclistas** (usuarios de motocicletas y/o ciclomotores). Mientras que este tipo de usuario supone el 36 % del total de fallecidos (DGT, 2022), las cifras estadísticas muestran que el 50 % de estos usuarios fallecidos se produjeron por salida de vía (García et al., 2009) a pesar que el riesgo relativo de que un motociclista sufra una lesión grave por salida de calzada es 30 % menor que en el resto de tipos de colisiones para estos usuarios (Budd et al., 2018). La Figura 1.3 muestra una salida de vía de motociclista, en este caso colisionando contra una parte de la infraestructura, una barrera metálica.



Figura 1.3: Análisis, por parte del doctorando, de los mecanismos lesionales en una salida de calzada de motociclista fallecido al colisionar contra una barrera metálica. Fuente: @Aquilino Molinero.

Si se desearan focalizar las cifras en plantear contramedidas sobre las salidas de calzada, una de las más eficaces en cuanto a mitigar las lesiones de los ocupantes y deformaciones del vehículo en las salidas de la calzada es la instalación de los conocidos como Sistemas

de Contención de Vehículos (SCV), tales como las **barreras metálicas** en los márgenes de las carreteras (ver Figura 1.3). La instalación de un SCV (ver Figura 1.4) puede suponer la reducción del 50 % de lesionados, o reducir hasta 4 o 5 veces el número de víctimas mortales (ERF, 2016).



Figura 1.4: Evolución de las calzadas ante las salidas de vía (sin y con Sistema de Contención, con dos mil años de diferencia entre ambas). Fuente: @Aquilino Molinero.

Además, este tipo de elementos de seguridad pasiva de la infraestructura (SCV) están siendo utilizados en nuevos conceptos/diseños de carreteras económicamente más asumibles, como es la conversión de las denominadas “**carreteras 1+1**” en “carreteras 2+1”. Este procedimiento consiste en considerar carreteras que sólo tienen una calzada y, para evitar que los vehículos abandonen su carril durante un adelantamiento y sufrir colisiones frontales, transformarlas en carreteras 2+1, instalando un SCV u otro elemento segregador del tráfico entre ambos sentidos (DGC, 2021a), como muestra la Figura 1.5.

La situación accidentalológica descrita en este apartado ha motivado este trabajo de investigación que pretende aportar evidencias científicas sobre diversos aspectos (factores de riesgo, dinámicas de colisión, mecanismos lesionales,...) en los siguientes cuatro tipos de salidas de calzada:

- Accidentes (entre ellos las salidas de calzada) de motociclistas: La Figura 1.6 muestra cómo los usuarios de este tipo de vehículos (motocicletas y ciclomotores) suponen un alto porcentaje de fallecidos en las carreteras. En España suponen, como ya se ha mencionado anteriormente, el 36 % del total de fallecidos DGT (2022). Esta tesis pretende analizar los mecanismos lesionales de este tipo de usuarios en cualquier tipo de accidente, incluyendo salidas de vía, y así poder ayudar a reducir el número de

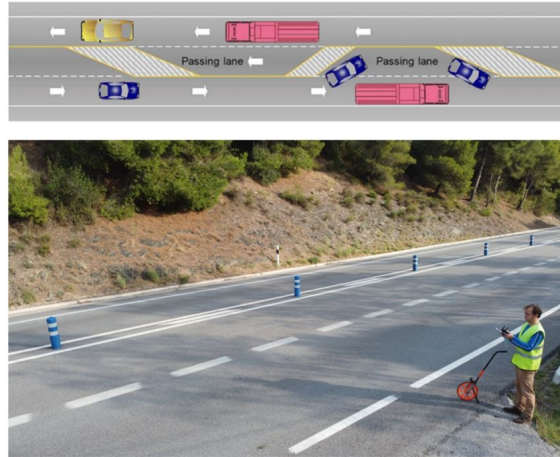


Figura 1.5: Análisis de un tramo de carretera 2+1 por parte del doctorando. Fuente: @Aquilino Molinero.

fallecidos mediante aspectos como la mejora del equipamiento de los motociclistas o en la mejora en el diagnóstico de las lesiones.

- Salidas de calzada contra barreras metálicas: La Figura 1.7 indica que este tipo de colisiones supone el 18 % del total de fallecidos por salida de calzada en zona interurbana (DGT, 2022). Este trabajo se centrará en esta tipología de colisiones con el fin de poder aportar conocimiento en la dinámica de estas colisiones y en los parámetros que puedan ser de interés a considerar en posibles futuras revisiones de las normativas que regulan el comportamiento de este tipo de elementos presentes en la infraestructura.
- Salidas de calzada en entorno urbano: El doctorando intentará que, mediante las investigaciones realizadas sobre la influencia del diseño de la vía en la ocurrencia de una salida de vía en entorno urbano, se consigan reducir las cifras de este tipo de colisiones (mostradas en Figura 1.1.).
- Salidas de carril de una misma calzada: Por último, se va a abordar en esta tesis una configuración especial de salida, en concreto la de la salida de carril de un vehículo que circula en una carretera de una calzada con un carril en cada sentido (las denominadas carreteras 1+1, y que suponen alrededor del 75 % de las víctimas mortales en zona interurbana, (DGT, 2022)). La razón de analizar el diseño de la vía en las localizaciones donde se produce este tipo de salidas de carril (y posterior impacto frontal o frontolateral con otro vehículo) es porque la dinámica de este tipo de situaciones es muy parecida a lo que es una salida de calzada convencional. A través del análisis de estas colisiones y la influencia de la infraestructura en la ocurrencia de las mismas, se pretende ayudar a reducir las cifras asociadas a estas colisiones (alrededor de un 20 %



Figura 1.6: Los usuarios de motocicletas y ciclomotores suponen un alto porcentaje de los fallecidos por accidente de tráfico - España 2021. Fuente: DGT (2022)

de los fallecidos en carreteras 1+1 de zona interurbana se produce por esta causa). La Figura 1.9 muestra estos porcentajes en el caso de España, mostrando el alcance de influencia de esta tesis en cuanto a reducción potencial de fallecidos.

Como se puede observar, esta tesis se focaliza, principalmente, en cómo puede influir el factor infraestructura en la ocurrencia y desarrollo de una salida de vía. Una de las principales razones por las que el doctorando se haya centrado en este aspecto es que, sin lugar a dudas, la vía puede que sea el factor (dentro de la matriz de Haddon) que más margen posee a la hora de proponer mejoras de seguridad vial, mientras que, por ejemplo, en otros factores como puede ser el vehículo, dichas investigaciones y mejoras ya están muy avanzadas desde hace décadas.

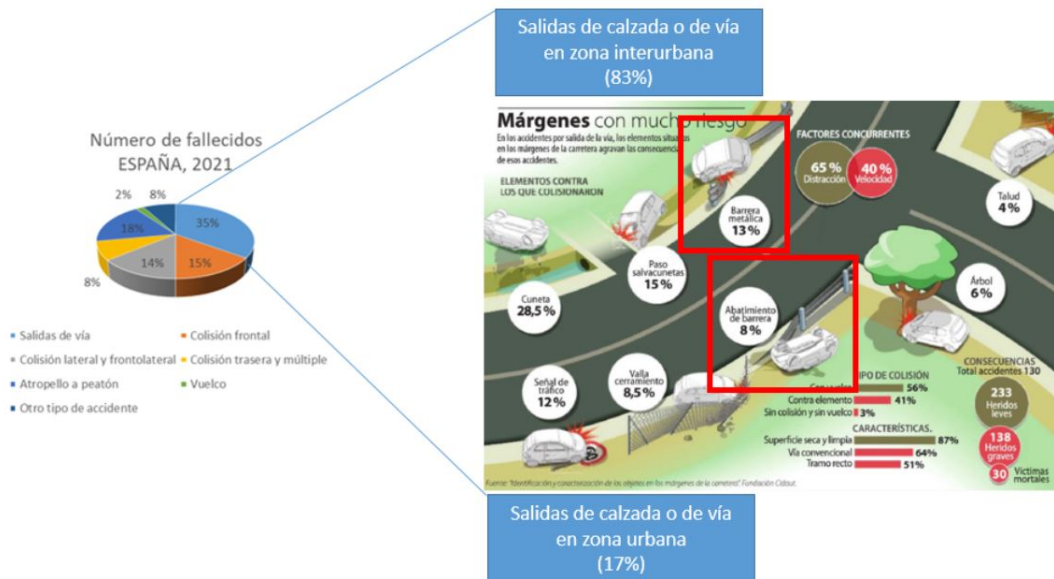


Figura 1.7: Porcentaje de fallecidos por salida de vía en zona interurbana - España - tras haber impactado contra una barrera metálica. Fuente: DGT (2022).



Figura 1.8: Análisis, por parte del doctorando, del comportamiento de una barrera metálica en una salida de calzada y posterior impacto de un vehículo contra este elemento. Fuente: @Aquilino Molinero.

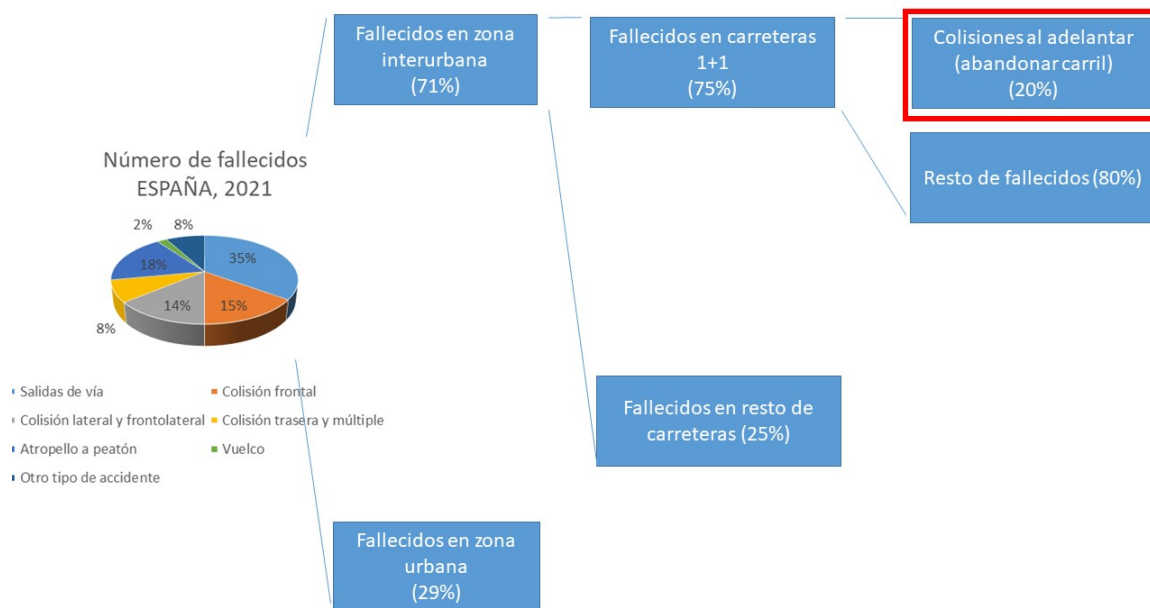


Figura 1.9: La colisiones frontales (supuestamente al adelantar indebidamente) implican un alto porcentaje de fallecidos en carreteras 1+1 de zona interurbana. Fuente: [DGT \(2022\)](#).

Capítulo 2

Objetivos y relevancia

2.1. Objetivos

El **Objetivo General (OG)** que el doctorando ha perseguido con esta tesis por compendio de publicaciones ha sido el de *“Profundizar en el conocimiento de determinado tipo de salidas de calzada con el fin de poder mitigar las consecuencias de las mismas. Como ya se ha mencionado en el apartado anterior, las tipologías de accidentes que esta tesis aborda son: salidas de calzada en zona urbana, salidas de calzada de usuarios motociclistas, salidas de calzada en ámbito interurbano y colisionando contra una barrera metálica y las salidas del propio carril que supongan una posterior colisión frontal o frontolateral contra otro vehículo”*. No obstante, y como podrá observarse a continuación, en el planteamiento inicial de los objetivos de esta tesis, el doctorando ha abordado también otras casuísticas de salidas de calzada en la que la infraestructura obviamente juega un papel clave, como las colisiones contra los llamados pasos salvacunas, si bien esta parte del trabajo continúa en curso.

El cumplimiento de este OG supone el tener que abordar los siguientes **objetivos específicos (OE)** en esta tesis:

- OE1: Estudio de las salidas de calzada en zona urbana:
 - OE1.1: Definición de las características geométricas de los lugares donde se pueden producir dichas salidas de calzada en zona urbana.
 - OE1.2: Análisis de las características necesarias y deseables que deberían tener los sistemas de contención de vehículos (SCV) a instalar en aquellos sitios donde es más probable que se produzca una salida de calzada en estas zonas.
- OE2: Estudio de las salidas de calzada de motociclistas:
 - OE2.1: Definición de las características geométricas de los lugares donde se pueden producir salidas de calzada de motociclistas en carreteras interurbanas. La Figura 2.1 muestra una imagen de este tipo de colisiones.



Figura 2.1: Análisis de la dinámica de una salida de calzada de motociclista contra una barrera metálica. Fuente: @Aquilino Molinero.

- OE2.2: Determinación de los requisitos de mejora de comportamiento de algunos sistemas de seguridad pasiva en el equipamiento de los motociclistas. La Figura 2.2 muestra una colisión de motociclista contra vehículo y en el que se analiza el equipamiento de protección del motociclista.



Figura 2.2: Análisis, por parte del doctorando, de los mecanismos lesionales en impacto de motociclista contra vehículo. Fuente: “Aprosys SP4” (EC, 2018).

- OE2.3: Conocimiento de los mecanismos lesionales de los motociclistas en cualquier tipo de accidente, incluyendo salidas de calzada. La Figura 2.3 muestra un ejemplo de una salida de motociclista contra barrera metálica y en la que el doctorando ha analizado, entre otros aspectos, la dinámica del accidente.



Figura 2.3: Análisis, por parte del doctorando, de los mecanismos lesionales en impacto de motociclista contra barrera metálica. Fuente: @Aquilino Molinero

- OE3: Estudio de las salidas de calzada contra determinados obstáculos:
 - OE3.1: Conocimiento del tipo de obstáculos contra los que colisionan los vehículos (motocicletas incluidas) en las salidas de calzada en carreteras interurbanas.
 - OE3.2: Determinación de las características necesarias y deseables que deberían tener determinados sistemas de seguridad pasiva instalados en la infraestructura y que las normativas actuales no los definen en detalle, como es el caso de los protectores de pasos salvacunetas (ver Figura 2.4).



Figura 2.4: El doctorando al lado de un protector de pasos salvacunetas desarrollado con el codirector de esta tesis, Alberto Mansilla, que consigue mitigar las colisiones contra este tipo de obstáculos. Fuente: @Aquilino Molinero

- OE3.3: Análisis de la dinámica y cinemática de las salidas de calzada contra los Sistemas de Contención de Vehículos y posterior comparativa con las normativas que rigen estos sistemas.
- OE4: Estudio de las salidas de carril en carreteras de una calzada:

- OE4.1: Caracterización geométrica de las carreteras de una calzada con un carril de ida y otro de vuelta, donde es mayor el riesgo de producirse una colisión frontal o frontolateral, y posterior análisis de una posible transformación a carretera 2+1. La Figura 2.5 muestra los efectos de una colisión de este tipo en una carretera 1+1.



Figura 2.5: Colisión frontal en una carretera 1+1 tras un adelantamiento indebido. Fuente: @Aquilino Molinero

Siendo ambiciosos estos objetivos, se podrá comprobar a lo largo de esta tesis cuál ha sido el grado de cumplimiento de los mismos, tras haber publicado cuatro artículos en revistas indexadas en el “*Journal Citation Reports (JCR)*”. Por otra parte, las líneas futuras que se derivan de esta tesis incluyen no sólo campos futuros en los que investigar profundizando en lo avanzado en cada una de las publicaciones, sino también aspectos asociados a los objetivos específicos iniciales a los que esta tesis no ha dado respuesta completa.

2.2. Relevancia de la tesis

Los objetivos que se han intentado abordar en esta tesis son de especial relevancia en la actualidad de la seguridad vial, bien en cuanto a la evitabilidad de las salidas de vía como en la mitigación de sus consecuencias. Se muestra a continuación cómo, a través de las cuatro publicaciones asociadas a esta tesis, se abordan diferentes aspectos de interés para los diversos “actores” que entran en juego en la seguridad vial:

- Relevancia de la tesis sobre la seguridad vial de los motociclistas: Analizando a los diferentes usuarios de la vía, recientes estudios ([ATRESMEDIA y AXA, 2021](#)) muestran cómo una mayoría de los conductores —un 94 % de motociclistas y un 87 % de automovilistas— considera que los ciclomotores/motocicletas son los tipos de usuarios que más está ayudando a resolver los problemas de movilidad. Pero lo que realmente

preocupa es que, de acuerdo con este estudio realizado entre mil conductores (500 de automóviles y otros 500 de motocicletas), en el apartado de protección, uno de cada cinco motociclistas reconoce que no emplea ropa adecuada para circular. Por otro lado, otros estudios (AEC y MAPFRE, 2021) muestran que analizando las lesiones de los motociclistas, las lesiones no mortales más frecuentes se produjeron principalmente en el tronco (28 %) y en las piernas (27 %), y la mayoría de los incidentes mortales fueron resultado de una salida de la vía (41,3 %), una colisión frontolateral (16,8 %) propia de una intersección o una caída (15 %).

Por último, cifras de accidentalidad a nivel nacional (DGT, 2021a), muestran por ejemplo que en España, en el año 2019, se produjeron 36.143 accidentes con víctimas en los que se vieron implicadas motos o ciclomotores y en los que fallecieron 466 usuarios (conductores o acompañantes). Esta cifra, la más alta desde el año 2010, supuso el 27 % del total de fallecidos en ese año y un incremento del 11 % con respecto al año anterior. Además, el aumento de víctimas mortales se produjo mayoritariamente en vías interurbanas. Las cifras muestran que, aunque sólo el 22 % de los accidentes de motocicletas se produjeron en estas vías, la mayor parte de motociclistas fallecidos estuvieron en estas vías, lo cual invita a pensar en la vulnerabilidad de estos usuarios. De todos estos accidentes interurbanos, más de la mitad (57 %) fueron salidas de vía.

Ante estos datos, es clave la necesidad de investigar sobre los mecanismos lesionales en los motociclistas para mejorar su seguridad en aspectos como tratamiento de las lesiones y mejora del equipamiento de los mismos, orientado a cualquier tipo de accidente o de manera específica en las salidas de calzada. La primera publicación de esta tesis, Forman et al. (2012), aporta conocimiento a este campo de especial relevancia.

- Relevancia de la tesis sobre las barreras metálicas durante las salidas de calzada: Como ya se ha comentado anteriormente y según recientes estudios, Tahmasseby et al. (2021) y ERF (2016), una de las contramedidas de mayor eficacia a la hora de mitigar las salidas de vía es la instalación de sistemas de contención, siendo las barreras metálicas las más comúnmente existentes en nuestras carreteras. Desde enero de 2011 es obligatorio que cualquier barrera metálica instalada en una carretera de Europa cumpla con la normativa que rige estos sistemas, EN-1317-2-2010 (ECS, 2010). Habiendo transcurrido doce años desde esta última versión de la normativa que regula los criterios que deben cumplir las barreras metálicas para su comercialización (ECS, 1998), parece razonable que las nuevas investigaciones aborden aspectos que trata esta normativa y puedan tenerse en cuenta para una posible actualización.

Mediante la segunda publicación de esta tesis, Fernández et al. (2019), se aporta conocimiento sobre este tipo de colisiones (salidas de calzada contra barrera metálica) que pudiera tenerse en cuenta en una futura actualización de la normativa que regula el comportamiento de estas barreras.

- Relevancia de la tesis sobre las salidas de vía en entorno urbano: Durante la pasada “VI Semana Mundial para la Seguridad Vial”, (ONU, 2021), se puso de manifiesto la

necesidad de crear ciudades seguras y adecuadas para convivir. Una de las acciones por las cuales se puede llegar a conseguir unas ciudades más seguras y adecuadas desde el punto de vista de la movilidad, es la de reducción de accidentes de tránsito en las ciudades. En ellas, entre el 20 % y el 40 % de los accidentes con víctimas en zona urbana (ECS, 2010) son salidas de vía, por lo que se hace necesario dedicar esfuerzos para determinar cómo se pueden reducir este tipo de colisiones.

Mediante la tercera publicación de esta tesis, Alvarez et al. (2020), se van a caracterizar los lugares donde el riesgo de que se produzca una salida de calzada es mayor. Los resultados se centrarán en variables puramente geométricas para que los ingenieros puedan localizar emplazamientos urbanos poco seguros y de esta manera se haya contribuido a la mejora de la seguridad vial, demandada a nivel mundial como ha podido detallarse en las diferentes estrategias planteadas políticamente.

- Relevancia de la tesis sobre las salidas de carril: Se ha observado cómo las administraciones titulares de las carreteras están abordando rediseños de las vías optimizando aspectos como la disposición en planta. Así por ejemplo, se observa cómo administraciones regionales de España continúan transformando carreteras 1+1 en 2+1 con el fin de evitar y prohibir salidas de carril inseguras (adelantamientos) y así evitar principalmente colisiones frontales (ONU, 2021). Diferentes administraciones están recomendando este tipo de conversión (DGT, 2021c), de ahí que su regulación sea de máxima actualidad (DGC, 2021a).

Es por ello que la cuarta y última publicación de esta tesis, Cáceres et al. (2021), ha abordado esta temática de conversión de carreteras 1+1 a carreteras 2+1, y la cual está muy presente en los proyectos de diseño de nuevas carreteras. El objetivo de esta publicación ha sido el de caracterizar esos emplazamientos de carreteras 1+1 donde el riesgo de producirse una salida de carril es alto y a la vez dichos emplazamientos sean fácilmente convertibles en tramos de carreteras 2+1.

2.3. Interpretación práctica de los resultados

Para cada uno de los estudios realizados, la interpretación física de los resultados ha sido una parte importante de la investigación con el fin de ayudar a la comunidad científica a mejorar la seguridad vial en, al menos, dos de los tres pilares que la matriz de Haddon define, como se muestra en la Figura 2.6 (Haddon Jr, 1968) y que se detallan a continuación:

- Aportación al pilar “Infraestructura” (Medio Ambiente): Los resultados obtenidos en esta tesis abordan aspectos propios del pilar “Medio Ambiente: vía o infraestructura”. Se va a observar a lo largo de la misma, cómo se han analizado “variables relacionadas con el diseño de nuevas carreteras” con el fin de evitar salidas de calzada, o con “variables relacionadas con las normativas que regulan el comportamiento de elementos

existentes en la vía”, como son los sistemas de contención de vehículos, y que ayudan a mitigar las consecuencias de las salidas de calzada.

- Aportación al pilar “Usuario” (Persona): Las investigaciones llevadas a cabo abordarán a los diferentes usuarios de la vía que han estado involucrados en una salida de calzada. Los objetivos de estos estudios centrados en los usuarios son la caracterización de la dinámica de las salidas de calzada que sufren sólo los turistas contra las ya mencionadas barreras metálicas y cuya información pueda ser de utilidad a los fabricantes de estos elementos, y la determinación de las lesiones más comunes de los motociclistas y que pueda de utilidad para los diagnósticos de los servicios médicos de emergencia o para mejorar los equipos de protección.

“Objetivos Específicos”
de la Tesis

MATRIZ DE HADDON: FACTORES DE RIESGO				
¿DÓNDE INTERVENIR?				
¿CUÁNDO INTERVENIR?	PERSONA (huésped)	VEHÍCULO (vector)	MEDIO AMBIENTE	
			FÍSICO (vía)	SOCIOECONÓMICO
PRE-EVENTO	Alcohol y/o drogas, experiencia al volante, fatiga, etc.	Velocidad, inestabilidad, sistemas de frenos, ruedas, etc.	Diseño vía, estado superficial, condiciones climáticas	Legislación, exceso de velocidad, uso de cinturón de seguridad, permiso de conducción, etc.
EVENTO	Uso cinturón, casco, enfermedades previas.	Velocidad, masa y geometría del vehículo, rigidez, airbag.	Objetos en la vía, mediana, postes.	Legislación y situación del mercado de vehículos, observancia límites de velocidad.
POST-EVENTO	Otras enfermedades previas, edad, etc.	Peligro incendio o explosión, capacidad extracción, etc.	Proximidad a la asistencia sanitaria.	Disponibilidad y rapidez de asistencia sanitaria y rehabilitación, sistema de seguro médico, calidad asistencial.

OE1.1

OE2.1

OE4.1

OE1.2

OE3.1

OE3.2

OE3.3

OE2.2

OE2.3

Figura 2.6: Relación de los Objetivos Específicos (OE) de esta tesis con la Matriz de Haddon.
Fuente: (Haddon Jr, 1968).

Capítulo 3

Metodología

La metodología empleada en una tesis depende de la temática y de los objetivos planteados. Como ha podido observarse en los capítulos anteriores, son varios los Objetivos Específicos (OE) definidos para poder *“profundizar en el conocimiento de determinado tipo de salidas de calzada con el fin de poder mitigar las consecuencias de las mismas”*.

En este apartado se van a detallar los elementos y procedimientos que se han aplicado en las investigaciones desarrolladas en los cuatro artículos que forman parte de esta tesis. La aplicación específica de esta metodología a cada una de las cuatro investigaciones se detalla de manera particular en el apartado correspondiente a cada artículo.

3.1. Fuentes de investigación

Las bases de datos que se han utilizado en los cuatro artículos de esta tesis han sido seleccionadas en función de la información que las mismas albergan y la posibilidad de acceder a las mismas. Dichas bases de datos, todas ellas focalizadas en información sobre accidentes de tráfico, han sido de los siguientes tipos:

- Bases de datos básicas:

Se denominan así a las bases de datos de carácter nacional, y que provienen de fuentes policiales o compañías de seguros u hospitalarias en las que se tiene información de muchos casos (accidentes de tráfico) pero que suelen tener pocas variables que poder analizar (Diez et al., 2011). Varias han sido las bases de datos básicas que se han utilizado en esta tesis. Sobre ellas, los estudios que se han realizado han sido observacionales de tipo descriptivo y, posteriormente, analíticos. Mediante los descriptivos, se ha pretendido medir la presencia, característica o distribución de un fenómeno dentro de la población de estudio (salidas de calzada). Mientras que en los analíticos, se ha pretendido conocer la relación de determinados factores de riesgo (por ejemplo, que

la vía sea geoméricamente de una determinada manera) con un determinado efecto (se produzca finalmente esa salida de vía).

Así, en tres de los cuatro artículos que forman parte de esta tesis, [Fernández et al. \(2019\)](#); [Alvarez et al. \(2020\)](#); [Cáceres et al. \(2021\)](#), que abordan respectivamente las salidas de calzada contra barreras metálicas, salidas de calzada urbanas y salidas de carril en carreteras 1+1, la base de datos que se ha utilizado ha sido la base de datos de accidentes con víctimas a nivel nacional de la Dirección General de Tráfico denominada ARENA ([DGT, 2014](#)), con más de 100.000 accidentes cada año. Tanto el doctorando como los directores de la tesis están habilitados para poder acceder a ella al estar inscritos en el Registro Nacional de Investigadores de esta administración.

También se ha utilizado en esta tesis la base de datos de accidentes con y sin víctimas a nivel local de la ciudad de Valladolid denominada PIMUSSVA ([AVA, 2001](#)). Dicha base de datos sólo contiene información de las colisiones ocurridas en la ciudad de Valladolid recogida por los cuerpos policiales de esta ciudad. Esta base de datos ha sido utilizada en uno de los artículos, concretamente el que aborda las salidas de calzada en entorno urbano ([Alvarez et al., 2020](#)).

Finalmente, y con el fin de analizar los mecanismos lesionales de los motociclistas, en el primero de los artículos de esta tesis ([Forman et al., 2012](#)) se han utilizado ocho bases de datos hospitalarias de varios países (Bulgaria, Hungría, Holanda, Noruega, Portugal, Eslovenia, Suecia y España).

- Bases de datos de investigaciones en profundidad:

Este tipo de investigaciones se caracteriza porque el número de variables recogidas en cada accidente de tráfico es muy superior a las bases de datos básicas ([Fitsa, 2003](#)). Sin embargo, el número de casos (accidentes) que contienen estas bases es mucho menor que en el caso de las bases de datos básicas. El conseguir tan alto grado de detalle de los accidentes supone que el coste de este tipo de investigaciones sea muy superior al de las básicas, y ello se debe a que para obtener esa información hay que conjuntar a equipos multidisciplinares (policías, médicos, ingenieros,...).

Gracias a las bases de datos de este tipo a las que ha tenido acceso el doctorando, como “*DIANA*” ([CIDAUT, 2005](#)), “*MAIDS*” ([ACEM, 2009](#)) o “*Aprosys SP4*” ([EC, 2018](#)), se han podido detectar aspectos en los que se estima sea necesario investigar sobre las salidas de calzada, y así de esta manera hayan ayudado a poder definir los objetivos específicos (OE) de esta tesis.

Este tipo de bases de datos se ha utilizado en el artículo relacionado con las salidas de calzada contra barrera metálica ([Fernández et al., 2019](#)). Como podrá observarse en este artículo, ha sido necesario disponer de información procedente de las propias reconstrucciones de este tipo de colisiones y ello sólo es posible con este tipo de bases de datos.

- Bases de datos intermedias:

Se trata de bases de datos que pueden considerarse una mezcla entre las bases de datos básicas y las bases de datos en profundidad, bien por el número de variables que contienen como por el coste que supone generarlas. Normalmente se suelen crear para abordar temáticas muy concretas.

Éste ha sido el caso de dos de los artículos que forman esta tesis, en concreto, el que caracteriza geométricamente las localizaciones donde se pueden producir salidas de calzada urbanas y el que se centra en las salidas de carril en carreteras 1+1 (Alvarez et al., 2020; Cáceres et al., 2021), respectivamente. Para poder desarrollar las correspondientes investigaciones, ha sido necesario ampliar la base de datos básica ARENA de la Dirección General de Tráfico y de la que se ha partido inicialmente, con variables específicas de caracterización geométrica de la vía y que no estaban incluidas en la base de datos inicial. La inclusión de nuevas variables se ha realizado mediante la consulta de otras fuentes específicas que puedan aportar información para estas variables.

3.2. Diseños estadísticos

En cualquier investigación, el diseño de los estudios a realizar es una de las etapas más complicadas, ya que se deben tener en cuenta una serie de aspectos: información que existe al respecto, los diseños que se han utilizado previamente en estudios similares, la facilidad de realizar la investigación utilizando el diseño elegido, el tamaño de la muestra a elegir, consideraciones éticas, posibles costes asociados,...

Los diseños estadísticos podrían definirse como “Estudios Observacionales (EO)” y “Estudios Experimentales (EE)”. En el caso de realizar un Estudio Observacional, se ha de decidir si la medición será única (estudio de corte transversal) o, a lo largo de un período de tiempo (estudio longitudinal); además se debe seleccionar si el estudio se centrará en hechos pasados (estudio retrospectivo) o si se hará un seguimiento de los individuos durante un periodo de tiempo hacia el futuro (estudio prospectivo). Por otro lado, los Estudios Experimentales se caracterizan porque su metodología lleva implícita la intervención en el curso normal de los acontecimientos por parte del investigador. Ante estas circunstancias, el tipo de diseño que se ha empleado en esta tesis ha sido el de carácter observacional (EO), y de manera más concreta los llamados “estudios caso-control” (cabe mencionar que otros tipo de EO son los denominados “estudios de cohortes”, “reporte y series de casos”, “estudios de corte transversal”, “poblacionales”, “correlacionales”, “ecológicos”, o “de pruebas diagnósticas”).

Este tipo de diseños (caso-control) es muy común en epidemiología, donde es ideal para el análisis de eventos poco frecuentes y aligera notablemente el tiempo necesario para dicho análisis, aportando información descriptiva y permitiendo generar hipótesis de investigación y estudiar el grado de asociación entre un evento (el accidente de tráfico, en el caso de esta tesis) y él o los factores de exposición en estudio. No obstante, posee limitaciones como el no permitir establecer secuencia de acontecimientos (los eventos ya han ocurrido), pueden

presentar potenciales sesgos (selección de la muestra y medición) y no permiten determinar prevalencia ni incidencia.

Un estudio de casos-controles comienza con la identificación de un número de situaciones con la ocurrencia del evento de interés que se pretende analizar (en este caso, la ocurrencia de “una determinada salida de calzada”) y un grupo adecuado de situaciones de control (de comparación o de referencia) en las que no ha sucedido ese tipo de evento. Así por ejemplo, en estudios como [Perandonos et al. \(2008\)](#) en los que el doctorando ha utilizado esta técnica para poder caracterizar geoméricamente las localizaciones donde el riesgo de salida de calzada de un motociclista es mayor, los casos se refirieron a los propios tramos de vías donde se habían producido las salidas de vía de los motociclistas, mientras que los controles elegidos fueron tramos de esas mismas vías y en los cuales no se había producido ningún accidente.

El objetivo que se persigue con esta técnica es el de examinar las relaciones entre un factor y la existencia de la salida de calzada, mediante la comparación de los casos con los controles con respecto a la frecuencia con que el factor de riesgo se halla presente en cada uno de los grupos. Este tipo de estudios se califica, como ya se ha mencionado, como retrospectivo ya que comienza después de la ocurrencia del evento (accidente) y busca en el pasado los supuestos factores causales. Es ésta la metodología que se ha utilizado en dos de las cuatro publicaciones que se adjuntan en esta tesis ([Alvarez et al., 2020](#); [Cáceres et al., 2021](#)). En dichas publicaciones se ha intentado valorar el riesgo de determinados factores relacionados con la infraestructura en la ocurrencia de salidas de calzada en zona urbana, o bien en la ocurrencia de salidas del propio carril produciéndose colisiones frontales o frontolaterales al intentar adelantar en las carreteras 1+1.

Las principales etapas metodológicas a tener en cuenta para la ejecución de este tipo de estudios son:

a. Definición precisa de la variable dependiente:

En las dos publicaciones mencionadas, la variable dependiente ha sido la ocurrencia o no del accidente (salida de calzada en zona urbana o salida de carril provocando una colisión frontal-frontolateral contra otro vehículo en una carretera 1+1).

b. Definición de las variables independientes o de exposición de interés:

Las variables independientes han sido diversas, teniendo en común todas ellas que están relacionadas con características relacionadas con el diseño de la vía. De esta manera, los resultados que se obtengan de estos estudios puedan ayudar a los ingenieros de caminos, de seguridad vial, . . . a prevenir estos tipos de salidas o mitigar sus consecuencias.

c. Fuente y criterios de selección de los casos:

Los casos han sido elegidos analizando bases de datos de nivel básico, principalmente la base de datos ARENA ([BOE, 2014](#)), estando focalizados en el área geográfica cercana

al doctorando, la ciudad de Valladolid, para el caso de salidas de calzada en entorno urbano o la región de Castilla y León para el caso de salidas de carril en carreteras 1+1.

d. Definición, fuente y criterios de selección de los controles:

En cada uno de los dos artículos en los que se ha utilizado esta técnica, se describe cómo han sido seleccionados (ver capítulos 4.3.3 y 4.4.3) los casos y sobre todo los controles, observándose que es una de las etapas más complicadas y que ha exigido cierta innovación. El número de casos elegido en cada estudio ha venido determinado por el periodo y zonas analizadas, mientras que para el número de controles se ha aplicado un ratio 1:1, siendo suficiente al objeto de alcanzar una determinada potencia para detectar determinados valores de Odds Ratio (para el caso de (Cáceres et al., 2021), un rOR mayor que 1,5 con una potencia del 90 % para un nivel de significancia del 5 % y con una hipotética proporción de 0,3 para los controles expuestos, o un rOR mayor que 2 con una potencia del 80 % y con una hipotética proporción de 0,2 para los controles expuestos).

e. Obtención de la información:

Para llevar a cabo los correspondientes análisis, se ha obtenido la necesaria información de los casos y de los controles (mismo número de casos y controles).

f. Determinación del tipo de análisis epidemiológico y estadístico de los datos ya recopilados (y que se define en el siguiente apartado).

3.3. Metodologías estadísticas aplicadas

Obtenida la información sobre la cual realizar determinados análisis estadísticos, se detallan a continuación las metodologías que se han aplicado en los artículos que forman parte de esta tesis.

3.3.1. Regresión logística binaria (RLB) y múltiple (RLBM)

▪ ¿Qué supone la RLB y la RLBM?:

Los estudios epidemiológicos que analizan la posible relación entre la aparición o no de un determinado tipo de evento (como puede ser una “salida de vía”) y una serie de variables, suelen basarse a menudo en modelos de Regresión Logística (RL).

En las ocasiones en las que la variable dependiente (resultado) es una variable binaria (dicotómica o dummy), es decir, tiene solo dos categorías, los análisis que se realizan son mediante modelos de RLB.

Cuando estos análisis se aplican a más de una variable independiente o con múltiples categorías, la RLB pasa a denominarse Regresión Logística Binaria Múltiple (RLBM).

- Esquema de los modelos de regresión:

El modelo de regresión logística puede expresarse de la siguiente matemáticamente como se detalla en la ecuación 3.1.

$$\log\left(\frac{p}{1-p}\right) = \alpha + \beta_1 X_1 + \beta_2 X_2 + \dots + \beta_k X_k + \epsilon \quad (3.1)$$

donde p es la probabilidad de ocurrencia del evento, X_1, X_2, \dots, X_k son las variables explicativas, α es el término independiente, $\beta_1, \beta_2, \dots, \beta_k$ son los coeficientes de regresión que denotan la magnitud del efecto que pueden suponer las variables aleatorias independientes y ϵ es el error aleatorio.

- El concepto Odds Ratio (OR) en la evaluación del riesgo:

Una de las características de este tipo de modelos es la determinación del riesgo mediante el denominado “Odds Ratio (OR)”. El Cuadro 3.1 y la ecuación 3.2 muestran cómo se calcula el OR y, que básicamente, es mediante el cociente entre la probabilidad de que ocurra un evento (casos) y la probabilidad de que no ocurra (controles), habiendo sido expuestos a una determinada situación (variable de exposición). Es decir, este cociente indica cuánto más probable es la ocurrencia del evento (casos) que su no ocurrencia (controles), frente a la presencia de una determinada variable de exposición.

		Resultado	
		+ (Casos)	- (controles)
Variable de exposición	+ (expuesto)	A	B
	- (no expuesto)	C	D

Cuadro 3.1: Relación entre la variable de exposición y el resultado para el cálculo del Odds-ratio

$$Odds - Ratio = \frac{\frac{\text{casos expuestos}}{\text{casos no expuestos}}}{\frac{\text{controles expuestos}}{\text{controles no expuestos}}} = \frac{\frac{A}{C}}{\frac{B}{D}} = \frac{AD}{BC} \quad (3.2)$$

Cálculo del Odds-ratio

Por otro lado, el Cuadro 3.2 detalla la interpretación de los valores que puede adquirir el OR. Así, si el OR es mayor que 1, se considerará a esta variable como factor de riesgo, mientras que si el OR es menor que 1, supondrá que esa esa variable se considerará como factor de protección en cuanto a la ocurrencia de ese evento.

Como ya se ha mencionado previamente, en dos de los artículos que forman parte de esta tesis, [Alvarez et al. \(2020\)](#); [Cáceres et al. \(2021\)](#), se ha utilizado esta técnica. En ellos, las variables analizadas han estado relacionadas principalmente con aspectos

OR	SIGNIFICADO	TIPO DE ASOCIACIÓN	Tipo de factor
=1	El factor no influye en el transcurso del evento estudiado (salida de calzada).	No existe asociación entre la variable respuesta y la variable de exposición.	No existe asociación
>1	El factor aumenta el riesgo probabilidad de que se produzca el evento estudiado	Existe asociación positiva entre la variable respuesta y la variable de exposición.	Factor de riesgo
<1	El factor disminuye el riesgo de que se produzca el evento estudiado	Existe asociación negativa entre el factor de exposición y la variable respuesta.	Factor de protección

Cuadro 3.2: Interpretación del Odds-ratio

geométricos o de diseño de la vía: radio de curvatura, tipo de intersección, anchura de la calzada, del carril y del arcén, sección recta previa, pendiente,...

■ Técnicas utilizadas en la RLBM:

En estos estudios ha sido necesario considerar algunos tópicos de la RLBM, que se detallan brevemente a continuación:

a. Selección de variables:

Hay múltiples posibilidades para seleccionar variables en un modelo RLBM. En esta tesis se consideran los siguientes tres métodos de selección por pasos:

- Método Forward, o método de selección hacia adelante. Consiste en comenzar incluyendo con el modelo vacío, e ir añadiendo variables en función de si mejoran la capacidad explicativa del modelo o no. El proceso finaliza cuando las variables no incluidas en el modelo no aportan explicaciones adicionales estadísticamente significativas, o cuando ya han sido añadidas todas las variables.
- Método Backward, o método de selección hacia atrás. Comienza incluyendo todas las variables en el modelo (k variables), y elimina paso a paso variables del modelo cuya influencia sobre la capacidad explicativa no es significativa. Se eliminan variables paso a paso, hasta que la eliminación de una variable supone una disminución acusada de la capacidad explicativa del modelo.
- Método Stepwise, es una combinación de los dos métodos anteriores. Es decir, en cada paso permite eliminar o añadir variables al modelo.

Finalmente, obtenidos los modelos que determinan la influencia de cada variable en la ocurrencia de una salida de vía, el uso de los Intervalo de Confianza (IC) permite tener un indicador de la significación estadística del Odds-ratio. Cuanto

este intervalo no contiene al valor 1 se puede afirmar que es estadísticamente significativo.

- b. Cálculo de la capacidad discriminante de una prueba diagnóstica. Sensibilidad y especificidad. Curvas ROC y área bajo la curva ROC (AUC):

Al estar analizando en esta tesis cuestiones en las que el resultado de la variable respuesta de los modelos estadísticos obtenidos es “presencia o ausencia” del evento, es decir, del accidente (positivo o negativo, respectivamente), la exactitud de la prueba puede definirse en función de su “**sensibilidad y especificidad**” diagnósticas. Estos dos parámetros se definen del siguiente modo en los casos, como ocurre en esta tesis, en los que la variable respuesta es dicotómica (ocurrencia o no de salida de vía):

- La sensibilidad es la probabilidad de clasificar correctamente a un sujeto como positivo frente al desenlace estudiado. Se denomina Fracción de Verdaderos Positivos (FVP)
En esta tesis, la sensibilidad es la probabilidad de que el modelo clasifique a un determinado individuo como “salida de calzada” cuando realmente lo es.
- La especificidad, por el contrario, es la probabilidad de clasificar correctamente a un sujeto como negativo (FVN).

En el caso concreto de los estudios de esta tesis, los individuos “enfermos” corresponden a lugares donde se han producido salidas de calzada (el evento de estudio), mientras que los individuos “sanos” equivalen a lugares donde no se han producido salidas de calzada. En conclusión, la Sensibilidad será la probabilidad de obtener un resultado igual a “salida de calzada” cuando se trata de un lugar donde se ha producido este hecho. Por el contrario, la Especificidad indica la probabilidad de obtener un resultado equivalente a “no salida de calzada” cuando el individuo es un lugar en el que no se ha producido esa eventualidad. A la hora de interpretar los resultados de estos parámetros, el modelo ideal debería tener una sensibilidad y una especificidad lo más próximas posibles al 100%.

La **curva ROC** es un gráfico en el que se observan todos los pares sensibilidad/especificidad (descritos anteriormente) y resultantes de la variación continua de los puntos de corte en todo el rango de resultados observados. Estas curvas ROC permiten obtener un indicador de la exactitud global del modelo. Mediante la representación de las dos magnitudes (sensibilidad en el eje “Y” calculada para los que han sufrido una salida de vía, y 1-especificidad en el eje “X” para los que no han sufrido el accidente), obtenidas al considerar todos los posibles valores de corte de la prueba, se obtiene la curva ROC. Esta curva proporciona una visión global de la capacidad de clasificación de los modelos obtenidos.

En la Figura 3.1 se muestran diferentes tipos de curvas ROC. La capacidad de clasificación de la curva ROC aumenta a medida que la curva se desplaza de la diagonal hacia el vértice. Esto significaría que no existe solapamiento entre los

individuos que han experimentado el desenlace estudiado (salida de vía), y aquellos que no lo han hecho. Por ello, cuando la sensibilidad es 1, la inespecificidad es 0, y viceversa.

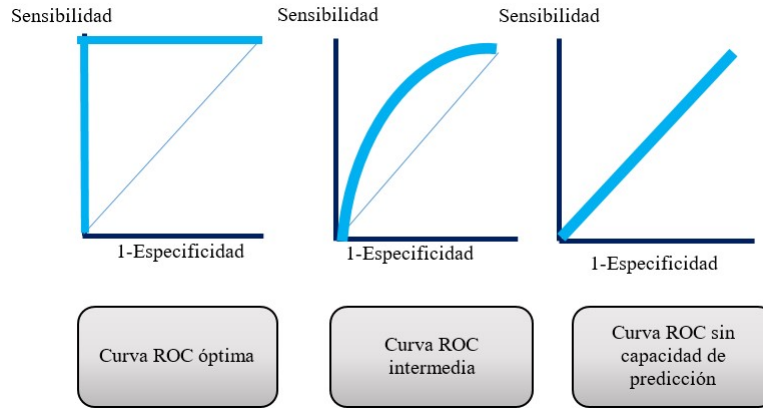


Figura 3.1: Comparación de diferentes curvas ROC.

El punto de corte hace referencia a la probabilidad a partir de la que un determinado caso es considerado como positivo. Es decir, si el punto de corte es 0,75, todos aquellos individuos cuya probabilidad de experimentar el resultado estudiado sea mayor de 0,75 son incluidos en el grupo de los positivos, y aquellos cuya probabilidad sea menor que 0,75 son considerados como negativos. En la situación de la izquierda de la ilustración del cuadro 3.3, la sensibilidad y la especificidad serían perfectos, por lo que se trata de la curva óptima o ideal (si bien, habitualmente inalcanzable).

Además, las curvas ROC también permiten realizar los análisis estadísticos para la evaluación cuantitativa de los distintos modelos. A través del **área bajo la curva ROC (AUC)** es posible realizar un contraste y seleccionar el modelo más adecuado, teniendo en cuenta las siguientes consideraciones:

- La exactitud máxima se corresponde con un área igual a la unidad. Este caso se corresponde con aquel modelo en que el 100 % de los individuos, hayan experimentado o no el resultado a estudiar (en este caso la ocurrencia de salida de vía), se clasifican correctamente.
- La exactitud mínima se corresponde con un área igual a 0,5. Y eso implica aquella situación en la que los individuos presentan la misma probabilidad de clasificarse en un grupo que en otro. Es por ello que el modelo se considera inútil, al no eliminarse la incertidumbre inicial.

Por todo ello, cuanto más se aproxime el área a un valor igual a la unidad, mayor capacidad de discriminación presentará el modelo. Con el fin de obtener un modelo definitivo de las regresiones logísticas llevadas a cabo en algunas de las

publicaciones de esta tesis, el denominado test de De Long (DeLong et al., 1988) ha sido utilizado para comparar las diferentes AUC de las curvas ROC de los posibles modelos estadísticos obtenidos. Si el p-valor de la comparación de las dos curvas es menor de 0,05 puede considerarse como una diferencia estadísticamente significativa entre las dos curvas, y por tanto, entre la capacidad predictiva de los dos modelos comparados.

c. Validación de los resultados: Leave-one-out (LOOCV):

Se trata de un método de validación (dentro de los procedimientos de validación cruzada o cross-validation) de los resultados obtenidos. Las técnicas de validación están motivadas esencialmente por los dos principales problemas que surgen a la hora de realizar un análisis estadístico: la selección del modelo y la estimación de su error. En el primero de los casos se trata de seleccionar el modelo óptimo cuando éste depende de una serie de parámetros. En el segundo de los casos, una vez seleccionado un modelo, se trata de valorar su rendimiento real, lo que generalmente se mide a través de la tasa de clasificación correcta.

Para poder validar un modelo estadístico a través de este método se deben crear dos grupos de datos:

- Grupo del “*dato excluido*”: se refiere a aquel grupo con el que se realiza el test, e incluye únicamente al caso excluido en una determinada iteración.
- Grupo del “*resto de datos*”: en este caso se incluye el resto de información del estudio, y se denominan “datos de entrenamiento”.

Este método es bastante aproximado y puede presentar gran variabilidad. Es por ello que el proceso se repita un número de veces igual al número de datos disponibles, y así todos sean usados alguna vez como “*dato excluido*”. En cada una de las iteraciones se entrena el modelo sin el dato excluido y se clasifica ese dato con el modelo obtenido, de modo que se obtiene si ha sido clasificado correctamente. El error se calcula como la media aritmética de los errores de cada iteración para obtener un único resultado.

Este método presenta como ventaja el hecho que permite obtener una estimación del error más precisa, dado que el error no depende de los individuos que se incluyan en cada grupo, y se repite para cada uno de los datos. No obstante, conlleva una gran carga computacional.

Dada la precisión de este método de validación (LOOCV), se ha utilizado para la validación de los modelos considerados en las dos publicaciones de esta tesis donde la RLBM se ha empleado (Alvarez et al., 2020; Cáceres et al., 2021).

3.3.2. Escalado multidimensional

Con esta técnica multivariante se parte de una matriz de distancias entre determinados individuos (por ejemplo, diferentes tipos de accidentes de tráfico) y se genera una representación de estos individuos en una escala euclídea de modo que las distancias

en dicha escala se aproximen lo mejor posible a las distancias de partida (Cox y Cox, 2008).

El objetivo de esta técnica es colocar cada objeto en un espacio de D dimensiones, de manera que las distancias entre estos objetos o individuos en el nuevo espacio de representación sean lo más próximas posibles a las distancias de partida. A cada objeto se le asignan coordenadas en las “ D ” dimensiones. Se suele elegir $D = 2$ (por ser representables en papel), y así se optimizan las ubicaciones de los objetos para un diagrama de dispersión bidimensional. Se trata por lo tanto de asignar coordenadas a los individuos de manera que las distancias entre esas coordenadas representen las distancias dadas en el enunciado del problema. Es frecuente denominar “coordenadas principales” a estas coordenadas, y por este motivo, también se conoce al escalamiento multidimensional como “análisis de coordenadas principales”.

Básicamente, el método intenta encontrar la estructura de un conjunto de medidas de distancia entre diferentes casos (por ejemplo casos procedentes de accidentes reales y casos que proceden de otra fuente de información como puede ser la caracterización de pruebas de choque de vehículos que simulen cómo podría ser una salida de calzada). Una ventaja interesante del uso del escalamiento multidimensional (MDS), con respecto a otros enfoques posibles, es que también se pueden aplicar distancias basadas en variables numéricas, ordinales o incluso categóricas si es necesario.

Como podrá observarse en esta tesis, esta técnica ha sido utilizada en una de las publicaciones, Fernández et al. (2019), para poder analizar cómo determinadas salidas de calzada reales contra barreras metálicas pueden asemejarse a los tipos de ensayos de choque a escala real que se definen en las normativas que regulan el comportamiento de este tipo de sistemas de contención de vehículos (se ha aplicado un escalado de 2-dimensiones).

Debe mencionarse que todos los análisis estadísticos realizados en esta tesis han sido llevados a cabo utilizando los dos siguientes programas estadísticos, bajo licencia de la Universidad de Valladolid: “*IBM SPSS*” para las estimaciones de los modelos, selección de variables y “*SAS*” para las evaluaciones LOO y los test de las curvas.

Capítulo 4

Publicaciones en el compendio de la Tesis

El propósito de este capítulo es detallar en qué han consistido cada una de las cuatro publicaciones que el doctorando (por orden de fecha de publicación) adjunta en esta tesis por “*compendio de artículos*”. Paralelamente, en el apartado “*Anexos*” se puede consultar de forma íntegra cada una de estas publicaciones, tal y como aparecen en las correspondientes revistas indexadas en el “*Journal Citation Reports (JCR)*”.

4.1. Artículo 1: Injuries among powered two-wheeler users in eight European countries: A descriptive analysis of hospital discharge data

Este artículo ha sido publicado en “*Accident Analysis and Prevention*” en 2011, con un índice de impacto en el Journal Citation Reports (JCR) igual a 1,867 (año 2011-2012) y con un cuartil igual a Q1.

Su referencia completa es: Forman JL, Lopez-Valdes FJ, Pollack K, Heredero-Ordoyo R, Molinero A, Mansilla A, Fildes B, Segui-Gomez M. Injuries among powered two-wheeler users in eight European countries: a descriptive analysis of hospital discharge data. *Accid Anal Prev.* 2012 Nov;49:229-36. doi: 10.1016/j.aap.2011.02.020. Epub 2011 Mar 15. PMID: 23036399.

4.1.1. Introducción

En los últimos años el uso de las motocicletas o ciclomotores es, en todo el mundo, uno de los medios de movilidad en auge ([IMMA, 2019](#)). Esto incluye incluso el periodo de pandemia Covid´19, habiendo crecido, por ejemplo en 2020, un 4% sus ventas en la Unión Europea

con respecto al año anterior (ACEM, 2021). En paralelo, el número de víctimas que utilizan estos vehículos ha aumentado, pasando del 23 % al 28 % de víctimas mortales entre 2013 y 2016 en el mundo sobre el total de víctimas de accidentes (WHO, 2019a), contribuyendo ello a que los usuarios vulnerables, peatones, ciclistas y usuarios de ciclomotores y motocicletas, supongan el 46 % de las víctimas mortales en las carreteras del mundo (WHO, 2019a).

4.1.2. Objetivos

Los objetivos específicos que se han planteado en esta tesis se han centrado en el análisis de la accidentalidad sobre aspectos relacionados con las salidas de calzada: según localización (urbana, interurbana); según obstáculo contra el que pueda colisionar un vehículo (sistema de contención, otro vehículo, . . .); o incluso según el tipo de usuario de la vía, entre ellos los motociclistas. A través de este primer artículo se abordan dos de los objetivos específicos (OE) que en esta tesis se han detallado inicialmente:

- OE2.2: Determinación de los requisitos de mejora de comportamiento de algunos sistemas de seguridad pasiva en el equipamiento de los motociclistas.
- OE2.3: Conocimiento de los mecanismos lesionales de los motociclistas en cualquier tipo de accidente, incluyendo salidas de calzada.

Es conocido que el uso del casco reduce el riesgo de lesiones entre los usuarios de motocicletas y ciclomotores, (EC, 2012a; Molinero, 2014a), y por ello entendible que las políticas de los diferentes países deberían centrarse en el incremento de su uso (EC, 2012b). No obstante, y con el fin de mejorar la seguridad vial de estos usuarios, es necesario conocer los patrones lesionales que existen en cualquier accidente en el que estén involucrados para que, de esta manera, los fabricantes de equipamiento de seguridad pasiva para los motociclistas desarrollen equipos cada vez más seguros, bien pensados para el propio motociclista, Frechoso (2017) y CIDAUT (2007), o bien pensados para la posible interacción que tenga el motociclista con la infraestructura o con otro vehículo, Molinero (2017f) y Molinero et al. (2009).

Con el objetivo de mitigar las consecuencias de los accidentes de los usuarios de los ciclomotores y motocicletas en cualquier tipo de accidente, no sólo específicamente en las salidas de calzada, este artículo ha pretendido conocer los patrones de las lesiones entre estos usuarios y así profundizar en los mecanismos lesionales, además de predecir la pérdida de capacidad funcional (movimientos).

4.1.3. Metodología

El conocimiento de las lesiones y los mecanismos lesionales exige el análisis de bases de datos accidentológicas-hospitalarias, bien de carácter nacional (procedentes en su mayoría de los

cuerpos policiales o aseguradoras) o bien de bases de datos denominadas “en profundidad” como “*DIANA*” (CIDAUT, 2005) o “*MAIDS databases*” (ACEM, 2009).

Aunque el doctorando ha estado involucrado en diferentes estudios sobre los motociclistas analizando este tipo de bases de datos de manera aislada, Díez et al. (2008), García et al. (2009), EC (2018) y Molinero y Mansilla (2016a), en el presente artículo se ha conseguido analizar información de manera conjunta procedente de bases de datos de motociclistas lesionados en accidentes de tráfico, mayores de 14 años y hospitalizados en ocho países (Bulgaria, Hungría, Holanda, Portugal, Eslovenia, España y Suecia). Dicha información se obtuvo de los propios hospitales y catalogando las diferentes lesiones en base a la codificación ICD-9 CM o ICD-10, que se usa para catalogar enfermedades a nivel mundial y mecanismos lesionales; en base a los códigos Abbreviated Injury Severity Score AIS98 (AAAM, 2008) y en base a la escala Injury Severity Scores ISS (Baker et al., 1974), utilizados en el mundo de la automoción para catalogar la severidad de las lesiones; y finalmente un índice de la catalogación de los datos funcionales FCI del paciente (ECIP, 2007).

Las variables analizadas se han centrado en la tipología de lesión y la localización de la misma. De igual manera, se ha tenido en cuenta la pérdida de funcionalidad de cada usuario y el tipo de mecanismo lesional (aceleraciones, impactos de cabeza, rotaciones, traslaciones, . . .).

4.1.4. Resultados

El análisis de casi un millón de lesiones de 13.000 motociclistas, desvela los siguientes resultados:

- Los principales diagnósticos de estos pacientes ingresados fueron fracturas de las extremidades inferiores (29,4 %) y de las extremidades superiores (13,1 %).
- Aproximadamente el 80 % de los casos de lesiones en las extremidades inferiores ha presentado alguna discapacidad funcional un año después del alta (Índice de capacidad funcional previsto, pFCI-AIS98 <100), en comparación con el 47 % de los casos de lesiones en las extremidades superiores y el 24 % de los Casos de TBI (lesiones cerebrales traumáticas o traumatismos craneoencefálicos).
- Se ha comprobado que los pacientes con traumatismos craneoencefálicos han experimentado limitaciones funcionales peores, en promedio, que los pacientes con lesiones en las extremidades.
- La conmoción cerebral ha sido el traumatismo craneoencefálico más común observado (ocurriendo en el 56 % de los casos de traumatismo craneoencefálico), y la mayoría de los casos de conmoción cerebral (78 %) no han presentado ningún otro traumatismo craneoencefálico (en los tres códigos ICD más importantes). Entre las lesiones en la cabeza AIS3+ (es decir, con severidad AIS 3 o más) que podrían asignarse a un mecanismo de lesión, el 48 % de ellas se asociaron con un mecanismo de impacto traslacional y el 37 % se asociaron con un mecanismo de rotación.

4.1.5. Conclusiones y Líneas Futuras

Habiendo detectado altas tasas de discapacidad a largo plazo debido a lesiones de las extremidades inferiores y superiores de los usuarios de motocicletas y ciclomotores que sufren un accidente de tráfico, y sobre todo habiendo observado las altas tasas de conmoción cerebral y lesiones en la cabeza asociadas con un mecanismo de rotación, se plantea como necesario seguir profundizando en:

- Determinación, mediante las denominadas “investigaciones en profundidad”, de las causas exactas de las lesiones más frecuentes y de gravedad que se han detallado en este artículo (así como las situaciones en las que ocurren), con el único fin de mejorar o desarrollar los sistemas de protección (seguridad pasiva del motociclista), y que de esta manera aborden estas problemáticas.
- Actualmente existen normativas sobre determinados equipos de protección de motociclistas. Una de ellas es la relacionada con los cascos: ECE R22.05 (UN R22.05). Ante los resultados obtenidos en este artículo, se antoja necesaria una revisión de esta normativa para que los futuros cascos puedan contemplar la protección de los motociclistas ante el mayor abanico posible de mecanismos lesionales que puedan ocurrir en la cabeza, por ejemplo, el mecanismo de rotación en toda su magnitud como se ha visto en este artículo ([Molinero, 2014a](#)).
- Formación de los equipos de atención hospitalaria sobre este tipo de lesiones, y el tipo de accidentes en los que suelen estar presentes. De esta manera, durante la atención a los potenciales pacientes en primera instancia (in situ) se tendrá en consideración estas posibles lesiones, muchas veces no tan fácilmente detectables en este tipo de asistencias prehospitalarias.

4.1.6. Contribuciones del Doctorando

Los aspectos en los que el doctorando ha contribuido en este artículo son:

- Delimitación del problema: Aprovechando la cercanía del doctorando a diferentes actores del mundo del motociclismo —como se puede ver en la Figura 4.1— dentro del estudio ([EC, 2012a](#)), durante el planteamiento del problema se han considerado las necesidades de este sector en cuanto a mejorar su seguridad vial: mejora del equipamiento de protección de los motociclistas (casco, protectores de espalda, protectores de cuello,...).
- Análisis de las bases de datos: Previo a la selección final de las bases de datos a analizar, el equipo de trabajo, en el que se encontraba el doctorando, planteó la idoneidad o no de la información que contienen de las bases de datos “en profundidad”, “*DIANA*” ([CIDAUT, 2005](#)) y “*MAIDS databases*” ([ACEM, 2009](#)), así como las “bases de datos

nacionales”, (DGT, 2020), a las cuales el doctorando tuvo acceso para poder ser utilizadas como fuente de información.

- Análisis de las normativas existentes sobre equipamiento de los motociclistas: Considerando que este artículo muestra cómo las deceleraciones rotacionales de la cabeza constituyen uno de los mecanismos de lesión, el doctorando ha analizado hasta qué punto las actuales normativas de equipamiento de los motociclistas, en especial la normativa de cascos ECE R22.05 (UN R22.05), abordan este mecanismo de lesión suponiendo su ausencia una posible actualización de estas normativas para una mayor protección.
- Redacción del artículo e interpretación de resultados: El doctorando ha colaborado en la redacción del artículo, así como en la interpretación de los resultados desde el punto de vista de poder aplicar o trasladar estos resultados a la industria de los fabricantes de equipamiento de seguridad pasiva de los motociclistas.



Figura 4.1: Asamblea General de la Federación Internacional de Motociclismo - FIM en la que el doctorando pudo conocer con Marc Márquez (ocho veces campeón del mundo de motociclismo) y Marc Coma (cinco veces campeón del Rally Dakar), las inquietudes de los motociclistas. Fuente: MOSAFIM (EC, 2012b)

4.2. Artículo 2: Analysis of real crashes against metal roadside barriers

Este artículo ha sido publicado en “*PLOS ONE*” en 2019, con un índice de impacto en el Journal Citation Reports (JCR) igual a 2,740 (año 2019-2020) y con un cuartil igual a Q2. Su referencia completa es: Miguel Alejandro Fernández Temprano; Luis Ángel García Escudero; Aquilino Molinero Martínez. PLOS ONE. Analysis of real crashes against metal roadside barriers // <https://journals.plos.org/plosone/article/comments?id=10.1371/journal.pone.0211674>

4.2.1. Introducción

Una de las maneras más eficientes de mitigar las salidas de calzada es la instalación de Sistemas de Contención de Vehículos (SCV) en los márgenes de las carreteras (ERF, 2016). Entre estos SCV, destacan las Barreras Metálicas (BM) por ser la tipología más común.

Por otro lado, para que las empresas conservadoras de carreteras, independientemente de la titularidad de la carretera (local, provincial, regional o nacional), puedan instalar una BM es necesario que ese sistema cumpla con los requisitos que define la normativa actual en cada país. En Europa, por ejemplo, debe cumplir con los valores que define la normativa EN-1317-2 (ECS, 2010), mientras que en Estados Unidos debe cumplir con los parámetros definidos en la normativa MASH (FHT, 2016).



Figura 4.2: Análisis, por parte del doctorando, de una salida de calzada contra Sistema de Contención de Vehículos (tipo Barrera Metálica). Fuente: @Aquilino Molinero

4.2.2. Objetivos

Con el objetivo de profundizar en el conocimiento de cómo son dinámicamente y cinemáticamente estas salidas de calzada contra una barrera metálica, se han llevado a cabo una serie de investigaciones “en profundidad” (Fitsa, 2003), como muestra la Figura 4.2.

Un segundo objetivo ha sido el de conocer, mediante estos accidentes, qué variables relacionadas con la dinámica del impacto pueden haber tenido influencia en que dicha BM no haya conseguido contener adecuadamente al vehículo. De este modo podría considerarse dicha variable como una variable de interés en una posible revisión de la normativa que regula el comportamiento de las BM (normativa EN-1317-2 al haber ocurrido estos accidentes en España).

La consecución de estos dos objetivos habrá supuesto el haber abordado con éxito el objetivo específico “OE3.3”.

4.2.3. Metodología

Sin lugar a dudas, uno de los pilares de este artículo ha sido el poder disponer de información suficiente gracias a las investigaciones en profundidad de doce salidas de calzada de turismos contra barrera metálica ocurridas en la provincia de Valladolid. Este tipo de investigaciones se caracteriza porque en ellas toman parte diferentes actores (Guardia Civil, equipos sanitarios, forenses,...) para poder obtener toda la información posible para su reconstrucción.

Con la información obtenida de estos doce accidentes, el doctorando pudo llevar a cabo la reconstrucción de estos accidentes para poder determinar las variables que caracterizaron a cada una de estas salidas: velocidad de impacto, ángulo de impacto, ángulo relativo de impacto, Exit Box (un paralelogramo que se dibuja para conocer sólo si el redireccionamiento del vehículo después de impactar con la BM ha sido seguro o no), y si la barrera se ha comportado de manera segura. La Figura 4.3 muestra la interpretación de los ángulos “ángulo de impacto o impact angle” y “ángulo de orientación relativa o relative orientation impact angle”.

Posteriormente, se llevó a cabo la comparativa entre los valores reales de las variables que caracterizaron la dinámica de estas doce salidas de calzada y los valores de las variables según la normativa que define el correcto comportamiento de las BM durante un ensayo a escala real (normativa EN-1317-2). Esta comparativa se realizó utilizando las denominadas técnicas de Escalado MultiDimensional (MDS), véase el capítulo 3.3.2 y Cox y Cox (2008). A través de este tipo de análisis multivariante, se consigue representar a los individuos a analizar (cada uno de las doce salidas de calzada) en una matriz de distancias y compararlas con las distancias asociadas a los datos de partida, y que son los valores de los parámetros que define la norma europea EN-1317-2. Las variables que se utilizaron para hacer esta comparativa fueron: velocidad de impacto, ángulo de impacto, masa total del vehículo y energía cinética lateral (que es la cantidad de energía que impactaría perpendicularmente con la barrera) .

4.2.4. Resultados

Los análisis realizados sobre las variables que caracterizaron la dinámica de estos accidentes determinaron que en aquellos casos en los que el “*ángulo relativo de impacto*” es muy diferente al “*ángulo de impacto*”, la BM no consigue comportarse de manera segura.

Por otro lado, el escalado multidimensional llevado a cabo ha mostrado que los ensayos definidos en la normativa como “TB11” (turismo de 900 kg que impacta contra la BM a 100 Km/h a 20º) y “TB32” (turismo de 1500 kg que impacta contra la BM a 110 Km/h

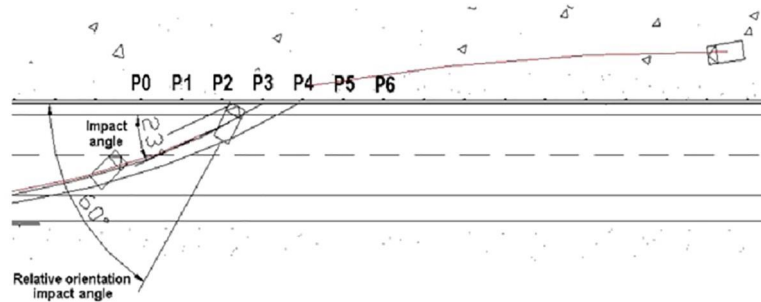


Figura 4.3: Ángulo de impacto y ángulo de orientación relativa durante una salida de calzada en el que la BM no se ha comportado de manera segura al haber traspasado el turismo dicha BM. Fuente: @Aquilino Molinero

a 20^o) son de especial interés porque son los ensayos a los cuales las 12 salidas de calzada reales más se han asociado.

4.2.5. Conclusiones y Líneas Futuras

Las principales conclusiones de este estudio detallan que la mayoría de las salidas de calzada reales se podrían asociar principalmente a los ensayos teóricos “TB11” y “TB32” según normativa EN-1317-2.

Por otro lado, se ha observado que existe una variable (ángulo relativo de impacto) que no está siendo tenida en cuenta en la actual normativa de homologación de BM. Habiéndose comprobado que la BM no contiene de manera correcta (segura) al vehículo en los casos en los que el valor de esta variable difiere de la variable “ángulo de impacto” (sí incluida esta última variable en la normativa), se estima necesario que el “ángulo relativo de impacto” debería ser considerada en futuras revisiones de esta normativa.

No obstante, se antoja también como necesario el poder disponer de una muestra mayor de accidentes reales para poder confirmar estas conclusiones. Además, sería conveniente que en esta nueva muestra con mayor número de casos se incluyesen otro tipo de vehículos que no se han considerado en este estudio (autocares, vehículos pesados, . . .) y que sí aparecen en la normativa EN-1317-2. De igual manera, este estudio podría ser extrapolable a la otra normativa que caracteriza los SCV, MASH, ya mencionada anteriormente.

4.2.6. Contribuciones del Doctorando

La aportación del doctorando se ha centrado en:

- Definición de la problemática y conceptualización: La experiencia adquirida por el doctorando en este sector de los sistemas de contención (Molinero y Mansilla, 2016a; García-Peña et al., 2009; Molinero, 2013, 2015, 2016d,a,b,c, 2017a,b,c), así como el

conocimiento en reconstrucción de accidentes de tráfico (Díez et al., 2009; Molinero et al., 2010), ha ayudado a definir, junto con el resto de autores del artículo, qué aspectos eran necesarios de investigar en este tipo de accidentes.

- Revisión de literatura: Previo a conocer los precedentes que existen al respecto, ha sido necesario un análisis bibliográfico sobre las normativas existentes al respecto de los sistemas de contención.
- Obtención de los datos: El doctorando ha llevado a cabo las investigaciones de las doce salidas de calzada contra barrera metálica y su posterior reconstrucción.
- Análisis e interpretación física de los resultados: El doctorando ha estado implicado profundamente en esta parte, gracias a la experiencia en diferentes estudios/proyectos de esta temática en los que ha estado involucrado.
- Redacción del artículo: El doctorando ha colaborado en esta tarea desde el borrador inicial hasta las revisiones antes de su publicación final.
- Difusión del artículo: Por último, el doctorando, junto con los otros dos autores, ha respondido a las preguntas planteadas por medios de divulgación científica y de interés general para la difusión de este artículo, una vez ya publicado en la revista indexada “PLOS ONE”:
 - Difusión de este artículo en la “Agencia Iberoamericana para la Difusión de la Ciencia y la Tecnología, DiCYT.”
 - Difusión de este artículo en “El Mundo - Diario de Valladolid” (Figura 4.4).

4.3. Artículo 3: Geometric road design factors affecting the risk of urban run-off crashes. A case-control study

Este artículo ha sido publicado en “*PLOS ONE*” en 2020, con un índice de impacto en el Journal Citation Reports (JCR) igual a 2,740 (año 2019-2020) y con un cuartil igual a Q2. Su referencia completa es: Patricia Álvarez Fernández; Miguel Alejandro Fernández Temprano; Alfonso Gordaliza Ramos; Alberto Mansilla Gallo; Aquilino Molinero Martínez. PLOS ONE. Geometric road design factors affecting the risk of urban run-off crashes. A case-control study. PLoS ONE 15(6): e0234564. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0234564>.

4.3.1. Introducción

Aunque son las vías interurbanas donde el mayor número de fallecidos se producen, son las vías urbanas las que aglutinan el mayor número de accidentes con víctimas. Por ejemplo,



Figura 4.4: “El Mundo - Diario de Valladolid” (Fuente: <https://diariodevalladolid.elmundo.es/articulo/innovadores/cinturon-seguridad-mira-retrovisor/20190423075500281166.html>).

en España el 64 % de los accidentes de tráfico con víctimas en 2019 tuvieron lugar en vías urbanas (DGT, 2020), habiendo incluso aumentado el número de fallecidos en esta zona con respecto al año anterior.

Si se focalizan las estadísticas urbanas en las salidas de calzada, las cifras muestran que entre el 20 % y el 40 % de los accidentes con víctimas en zona urbana (Austroads, 2014) son salidas de calzada (véase un ejemplo en la Figura 4.5). Es por ello que el doctorando haya estimado necesario investigar sobre ellas intentando conocer aspectos como dónde se producen o se pueden producir (objetivo específico “OE1.1”).

4.3.2. Objetivos

El objetivo de este artículo es caracterizar las localizaciones donde se pueden producir nuevas salidas de calzada en zona urbana, a través de, únicamente, parámetros geométricos de la vía.

Mediante estos resultados, los ingenieros podrán detectar aquellos lugares con mayor probabilidad de sufrir este tipo de accidente, y de esta manera tratar de evitarlos o mitigar sus consecuencias.

4.3.3. Metodología

A través de la revisión bibliográfica que se ha realizado, se ha observado que sí existen estudios que describen las características geométricas de los lugares en los cuales se han producido salidas de calzada en zona urbana, pero lo que se ha detectado es que no existe



Figura 4.5: Ejemplo de salida de calzada en zona urbana (ciudad de Valladolid). Fuente: @Aquilino Molinero

ningún estudio que se centre en análisis inferenciales que determinen las variables geométricas de una vía (radios de curvatura, anchuras de la calzada,...) que están asociadas a un mayor riesgo de que ocurra una salida de calzada urbana.

La metodología empleada en este artículo ha sido la de aplicar *“técnicas caso-control”* (véase el capítulo 3.2), es decir realizar un estudio epidemiológico analítico no experimental basado en la observación. Para ello ha sido necesario seleccionar una serie de “casos” (lugares donde han ocurrido salidas de calzada urbana) y “controles” (lugares aparentemente similares a los casos pero donde no han ocurrido este tipo de colisiones).

Los casos a analizar se han elegido tras haber seleccionado las salidas de calzada ocurridas en la ciudad de Valladolid entre los años 2009 y 2013, y cuya información ha procedido de una base conjunta formada por la base de datos de accidentes con víctimas de la Dirección General de Tráfico (base de datos ARENA) y por la base de datos de accidentes con y sin víctimas del Ayuntamiento de Valladolid (base de datos PIMUSSVA). Esta selección ha supuesto 82 casos sucedidos bien en curvas o en intersecciones (los dos escenarios mayoritarios en los que se ha visto que se producen las salidas de vía tras un estudio descriptivo previo de la base de datos conjunta que se ha generado).

Por otro lado, en la selección de los controles (82) se ha utilizado una novedosa metodología desarrollada por los autores y consistente en dividir la ciudad de Valladolid en mallas cuadradas como muestra la Figura 4.6. El tamaño elegido de estas mallas ha sido de 150 metros por cada lado, lo cual supone un tamaño equilibrado para poder abordar la ciudad de Valladolid de una manera adecuada que permitiera identificar lugares concretos de interés en cuanto a la potencial ocurrencia del evento en estudio.

A su vez, a cada una de estas mallas se la asignó un número (concretamente a uno de los

vértices de cada malla), de manera que se pudo obtener una distribución uniforme en función de las filas y las columnas en las que había sido mallada la ciudad de Valladolid. Posteriormente, se eligieron aleatoriamente 82 números asociados a los 82 curvas o intersecciones “control” más cercanos a cada uno de esos vértices seleccionados.



Figura 4.6: Imagen del mallado de la ciudad de Valladolid y localización espacial de los 82 casos y 82 controles. Fuente: @Aquilino Molinero

Obtenidos los casos y controles, se aplicaron regresiones logísticas múltiples sobre tres posibles escenarios: sólo curvas, sólo intersecciones y ambas a la vez. Para cada uno de estos escenarios, las diferentes variables relacionadas con aspectos geométricos de la carretera fueron analizadas: Radio de curvatura, Distancia al semáforo anterior, Anchura de calzada, Anchura de carril, Número de carriles en el mismo sentido, Prioridad existente, . . . habiendo categorizado aquellas variables continuas con el fin de dar más flexibilidad a las posibles asociaciones a observar. Para cada conjunto de datos, se ha considerado primeramente el modelo con todas las variables, para posteriormente obtener modelos más sencillos con los métodos habituales de selección de variables (introducción de todas las variables; hacia delante y hacia atrás). La validación final de los modelos se ha realizado mediante técnicas anteriormente detalladas en el capítulo 3 de esta tesis: método de validación cruzada Leave-One-Out, así como contrastes ROC para cada conjunto de datos.

4.3.4. Resultados

Los resultados de este estudio han determinado las variables relacionadas con mayor riesgo en la ocurrencia de una salida de calzada en los tres siguientes escenarios urbanos: rectas, curvas o ambos lugares. Inicialmente, las variables analizadas han sido: tipo de intersección, radio de curvatura, anchura de la calzada, anchura del carril, número de carriles por sentido, sentido del tráfico (único, doble o doble con separación), longitud previa de la sección recta, distancia hasta el siguiente semáforo, presencia o no de arcén, y tipo de regulación (señal de STOP, señal de CEDA EL PASO o semáforo).

En el caso de considerar ambos escenarios, el riesgo de sufrir una salida de calzada urbana

aumenta hasta cinco veces en vías de doble sentido (con mediana de separación) con respecto a las de un único sentido; o aumenta casi nueve veces cuando existe una sección previa que es recta y tiene más de 500 metros de longitud.

Por otro lado, en el caso de considerar sólo intersecciones, el riesgo aumenta más de cinco veces si la vía tiene 2 o más carriles por sentido; o como ya ocurriera en el escenario conjunto de curvas e intersecciones, el riesgo aumenta casi nueve veces cuando existe una sección previa que es recta y tiene más de 500 metros de longitud.

Finalmente, para el caso de las curvas, los resultados muestran que el riesgo es seis veces mayor cuando la anchura del carril es mayor de 3,75 metros o el riesgo es doce veces mayor cuando existe la regulación previa del tráfico es semafórica frente a no existir ningún tipo de regulación.

4.3.5. Conclusiones y Líneas Futuras

Los resultados obtenidos en este estudio han permitido caracterizar, desde un punto de vista de variables relacionadas únicamente con la geometría de la vía, aquellas localizaciones urbanas donde existe un mayor riesgo de que se produzca una salida de calzada.

Dichos resultados pueden considerarse de relevancia sobre todo para los ingenieros de caminos o de seguridad vial de las administraciones locales (Ayuntamientos) debido a que suelen ser ellas las que tienen las competencias de estas vías urbanas. Mediante la elección de adecuadas contramedidas de seguridad vial en estos emplazamientos, se podrían evitar nuevas salidas de calzada (por ejemplo a través de un rediseño de la vía o la instalación de sistemas de prevención) o mitigar sus consecuencias (a través de la instalación de sistemas de contención de vehículos diseñados para zona urbana).

Cabe una especial consideración en este estudio y es el hecho de que en los análisis no se han considerado variables como la velocidad o el tipo de vehículo, debido a que no están relacionadas directamente con la geometría de la vía. Nuevos estudios que analizaran estos dos aspectos y ver su influencia en la ocurrencia de una salida de calzada, podrían considerarse de interés. En el caso de la velocidad, debería tenerse en cuenta que desde mediados de 2021, los límites de velocidad urbano han variado al haber considerado la Dirección General de Movilidad y Transportes de la Comisión Europea que la reducción de la velocidad influye en la disminución de accidentes en las ciudades: 20 km/h en vías que dispongan de plataforma única de calzada y acera; 30 km/h en vías de un único carril por sentido de circulación y 50 km/h en vías de dos o más carriles por sentido de circulación (DGT, 2021b).

4.3.6. Contribuciones del Doctorando

La aportación del doctorando se ha centrado en:

- La revisión de literatura: Siempre que se inicia una investigación, es importante detectar si ya hay precedentes y si dicha investigación va a ser capaz de aportar conocimiento nuevo sobre la temática a tratar. La revisión de literatura previa a esta investigación ha sido llevada a cabo principalmente por el doctorando detallando qué aporta este artículo sobre la literatura ya existente.
- El diseño del estudio: Siendo consciente el doctorando de la problemática de las salidas de calzada en zona urbana y de las actividades de investigación realizadas en cuanto a la mitigación de las consecuencias de estas salidas mediante la instalación de sistemas de seguridad pasiva en la infraestructura, como pueden ser los sistemas de contención de vehículos en zona urbana (Díez et al., 2009; Molinero y Mansilla, 2015a,b, 2016a,b,c; Molinero, 2013, 2014b,c, 2015, 2016a,b,d,e, 2017c,d,e), el diseño de este estudio (estudio caso-control sobre las salidas de calzada ocurridas en la ciudad de Valladolid) ha contado también con la colaboración del doctorando, habiendo sido coordinado por los directores de la tesis.
- La selección de los casos: El doctorando ha gestionado la obtención de los datos procedentes de las dos bases de datos utilizadas (ARENA y PIMUSSVA) al pertenecer, al igual que los directores de esta tesis, al Registro Nacional de Investigadores (RNI) de la DGT. Igualmente, ha determinado los criterios de elección de los “casos” mediante las variables de selección a implementar en las dos bases de datos utilizadas.
- El análisis y la interpretación física de los resultados: Siendo ésta una parte importante de cualquier investigación, el doctorando ha podido interpretar los resultados obtenidos y así ayudar a los ingenieros de caminos y técnicos de seguridad vial de los Ayuntamientos o de cualquier administración con competencias en carreteras en zona urbana, a evitar nuevas salidas de calzada o a mitigar sus consecuencias con la instalación de sistemas de contención de vehículos para zona urbana.
- El doctorando ha colaborado de manera intensa en la redacción del artículo, bajo la supervisión de los directores, así como su revisión final.
- Difusión del artículo: El doctorando ha colaborado en la difusión de este artículo en ciertos foros/revistas científicas (Figura 4.7).

4.4. Artículo 4: Detection of geometric risk factors affecting head-on collisions through multiple logistic regression. Improving two-way rural road design via 2+1 road adaptation

Este artículo ha sido publicado en “*International Journal of Environmental Research and Public Health*” en 2021, con un índice de impacto en el Journal Citation Report (JCR) igual a 3.390 (año 2020), y con un cuartil igual a Q1.



Figura 4.7: Difusión de este artículo en la Agencia Iberoamericana para la Difusión de la Ciencia y la Tecnología, DiCYT (Fuente: <https://www.dicyt.com/noticias/estadistica-matematica-para-reducir-las-salidas-de-via-en-las-ciudades>).

Su referencia completa es: Cáceres, L.; Fernández, M.A.; Gordaliza, A.; Molinero, A. Detection of Geometric Risk Factors Affecting Head-On Collisions through Multiple Logistic Regression: Improving Two-Way Rural Road Design via 2+1 Road Adaptation. *Int. J. Environ. Res. Public Health* 2021, 18, 6598. <https://doi.org/10.3390/ijerph18126598>.

4.4.1. Introducción

Este artículo se focaliza en la necesidad de evitar adelantamientos indebidos o imprudentes en carreteras de una calzada y así prevenir la consecuente colisión frontal o frontolateral entre dos vehículos que circulen en sentido contrario. Técnicamente puede considerarse a un adelantamiento como abandono o salida del propio carril por parte del conductor, por lo que se ha considerado apropiado abordar esta temática dentro de esta tesis y así dar respuesta al objetivo específico “OE4.1” planteado inicialmente.

4.4.2. Objetivos

El objetivo principal de este artículo es caracterizar geoméricamente los lugares donde se producen “*adelantamientos no seguros*” en carreteras interurbanas de una calzada con un carril por cada sentido (las denominadas “carreteras 1+1”) y que desembocan en colisiones frontales o incluso frontolaterales en el sentido de que uno de los dos vehículos que va a colisionar frontalmente intenta evitar dicha colisión y finalmente se produce una colisión frontolateral tras su maniobra de evasión. La caracterización de estos lugares pretende ayudar a las administraciones titulares de estas carreteras a evitar este tipo de colisiones.

Por otro lado, siendo inviable, económica y técnicamente, el transformar todas estas carreteras 1+1 en carreteras de doble calzada (autovías, autopistas o carreteras convencionales de doble calzada), las administraciones han encontrado una solución intermedia para poder mejorar la seguridad vial en dichas carreteras 1+1. Esta solución es la transformación de ciertos tramos de estas carreteras en las denominadas “carreteras 2+1”: dos carriles en un sentido y otro carril en el contrario (la Figura 1.5 muestra un ejemplo de este tipo de carreteras). La conversión de determinados tramos de carreteras 1+1 en carreteras 2+1 puede suponer alrededor de un 40 % de reducción en accidentes en las carreteras (Beck y Duerden, 2016; DGC, 2021b). Es por ello que el segundo objetivo de ese artículo es el de ayudar a las administraciones a detectar en qué lugares habría que priorizar la transformación de una carretera 1+1 a 2+1.

Es importante hacer énfasis que este artículo no aporta conocimiento alguno sobre cómo debe ser el trazado de los tramos de carreteras 2+1, y más teniendo en cuenta la reciente normativa española al respecto que ha salido a la luz y que es la más actual de los diferentes países que están apostando por la conversión de carreteras 1+1 a 2+1, (DGC, 2021b).

4.4.3. Metodología

Teniendo en cuenta que el objetivo de este artículo es el de determinar la influencia de un factor en el riesgo de ocurrencia de un accidente, en este caso relacionado con las características geométricas de la carretera, la metodología empleada ha sido nuevamente la de un estudio “*caso-control*”. Los “casos” analizados fueron elegidos de la base de datos “ARENA” de la DGT, habiendo aplicado el filtro de ser una colisión frontal o frontolateral, de todo tipo de vehículos (incluyendo motocicleta, vehículos pesados, . . .), en vías convencionales de una calzada interurbanas de Castilla y León (bien en carreteras autonómicas o estatales, habiéndose descartado las carreteras provinciales por ser casi todas estrechas y conociendo que las Diputaciones Provinciales, titulares de estas vías, no pueden afrontar fácilmente este tipo de transformaciones a 2+1), entre los años 2009 y 2013, fuera de intersecciones, y sin existencia de sistema de contención entre carriles (para ser susceptible de convertirla más fácil y eficientemente en 2+1). Esto supuso una selección de 588 casos, de entre los cuales 278 tuvieron lugar en curvas y 310 en rectas. Toda la información de las variables elegidas procedió de la base de datos ARENA, excepto las variables “Radio de curvatura” e “Intensidad Media Diaria (IMD)”, cuya información fue elaborada a partir de Google Maps y de los mapas de tráfico de los titulares de estas carreteras (Junta de Castilla y León y Ministerio de Fomento de España).

Por otro lado, para poder seleccionar la misma cantidad de “controles” y teniendo en cuenta que no hay un censo de estas curvas y rectas, se diseñó un sistema de selección de controles de la siguiente forma. Se dividió toda la red de carreteras donde se eligieron los casos en tramos de un hectómetro, resultando 164.596 tramos. Esos tramos se ordenaron como si una distribución uniforme se tratara (cada tramo estaba internamente asociado a una carretera y a un punto kilométrico). Posteriormente se procedió a la selección de los 588 controles,

considerando que si en el tramo seleccionado como control se había producido un accidente, se descartaría ese control. Sin lugar a dudas, la selección de los controles puede considerarse como uno de los aspectos claves de este estudio. Obtenidos los casos y los controles, se procedió al análisis de estos datos mediante regresiones logísticas en tres posibles escenarios: sólo rectas, sólo curvas y ambas a la vez. En cada uno de estos escenarios, se eligieron dos modelos: uno completo incluyendo todas las posibles variables geométricas y un modelo procedente de un proceso “backward” de selección de variables. La validación final de los modelos se realizó mediante técnicas anteriormente detalladas en el capítulo 3.3.1 de esta tesis: método de validación cruzada Leave-One-Out, así como contrastes ROC para cada conjunto de datos.

4.4.4. Resultados

Las variables analizadas en este artículo se han centrado en caracterizar geoméricamente las localizaciones en las “carreteras 1+1” donde el riesgo de que se produzca una colisión frontal o frontolateral es mayor, y que a su vez son susceptibles de ser transformadas en zonas “2+1”. Estas variables han sido: anchura de la calzada, anchura del carril, radio de curvatura, anchura del arcén, presencia de hitos de aristas y flujo de tráfico (mediante el valor de IMD).

Los resultados obtenidos muestran que el riesgo es mayor en aquellos tramos en los que: la “anchura de la calzada” excede los 7 metros, la “anchura de los carriles” está entre 3,25 y 3,75 metros, el radio de curvatura es menor de 250 metros (tramos de curvas cerradas) y hay presencia de “hitos de aristas”. Por otro lado, se ha detectado que en los tramos de carreteras 1+1 que poseen “arcenes pavimentados” el riesgo de este tipo de colisiones es menor.

La interpretación física de estos resultados, bien en el caso de considerarse factores de riesgo o de factores de protección, puede suponer una gran ayuda para los técnicos de carreteras al conocer aspectos como:

- En el caso de factores de riesgo, las situaciones en las que mayor influencia sobre la ocurrencia de este tipo de accidentes son las calzadas cuya anchura sea superior a 6,99 metros (el valor de referencia utilizado en los análisis ha sido el de 3,25 metros) y zonas en las que la IMD es superior a 10.000 vehículos por día (en este caso el valor de referencia utilizado ha sido el de 500 veh/año).

La presencia conjunta de ambos factores supondría que la probabilidad de colisión frontal o frontolateral aumentaría incluso hasta 260 veces, tal y como se obtendría de la siguiente ecuación fruto de los análisis realizados en el artículo:

$$\text{OR de ambos factores} = \exp \{2,616 \cdot X_{\text{Anchura de pavimento}} + 2,947 \cdot X_{\text{IMD}}\} = 260,72$$

Cabe destacar además que la variable IMD se podría utilizar como variable de priorización de los puntos a intervenir por la administración titular, al no ser propiamente una variable geométrica (seleccionando aquellas localizaciones con mayor IMD).

Por último, una interpretación sobre los valores de riesgo de la variable “anchura de la calzada”, es el hecho que si existe mayor riesgo cuando la anchura es mayor de 7 metros, eso implica que supondrá un menor coste a las titulares de esas carreteras el transformar ese tramo 1+1 a 2+1, ya que será un tramo ya de por sí “ancho” para dicha transformación.

- En el caso de factores de protección, los resultados detallan que es la presencia de arcén pavimentado la variable que supone que cuanto mayor sea este arcén, más se reduciría el riesgo de ocurrencia de estas colisiones.

Así por ejemplo, la presencia de un arcén pavimentado mayor que 2,5 metros reduciría casi 32 veces el riesgo de colisiones frontales/frontolaterales.

- Cabe mencionar que se han detectado incluso variables que, dependiendo de su valor, pueden comportarse como factores de riesgo o como factores de protección. Así por ejemplo, cuando la anchura del carril está entre 3,25 y 3,75 metros, el riesgo de colisión frontal-frontolateral aumentaría 1,6 veces (OR=1,605), mientras que carriles con anchura mayor a 3,75 metros supondría un factor de protección, reduciendo casi la tercera parte el riesgo de que se produzcan colisiones frontales (OR=0,339).

Una interpretación de estos valores para esta variable podría ser la asociación entre valores intermedios (3,25-3,75) de esta anchura y la sensación de inseguridad a los conductores, mientras que valores altos de esta variable estarían asociados a mayor seguridad en la conducción.

- Finalmente, existen variables que sólo influyen en determinados escenarios, como por ejemplo el radio de curvatura en tramos curvos. En el caso de curvas muy cerradas (radio inferior a 250 metros y que coincide este valor con el valor de referencia escogido), el riesgo que se produzcan colisiones frontales-frontolaterales aumentaría 3,5 veces.

4.4.5. Conclusiones y Líneas Futuras

A través de este artículo se han determinado las características geométricas de los lugares de las carreteras convencionales de 1+1 carriles en los que el riesgo de producirse colisiones frontales y frontolaterales es mayor que en otras localizaciones y que, además, por sus especiales dimensiones de calzada, serían susceptibles de ser convertidas en carreteras 2+1.

Esta caracterización supone una valiosa herramienta para que los ingenieros de caminos, civiles o personal técnico en seguridad vial puedan detectar qué zonas de sus carreteras 1+1 tienen mayor riesgo de colisión, y planteen en sus planes estratégicos regionales o nacionales de seguridad vial el poder transformar esos tramos en carreteras 2+1.

Considerando que, en muchas ocasiones, los recursos económicos de las administraciones titulares son muy limitados para incluso abordar la conversión de estas localizaciones 1+1

a 2+1, puede que sea necesario priorizar estas conversiones. Para llevar a cabo estas priorizaciones, se pueden considerar aspectos como: localizaciones con mayor IMD o tramos con mayor anchura de calzada (para que así esa transformación sea lo más económica posible). La información sobre estas variables está recogida en el estudio y por lo tanto podría realizarse esta priorización.

Aunque el presente estudio se ha realizado sobre carreteras de Castilla y León, se es conscientes que hay varias administraciones regionales de España que están apostando por este tipo de carreteras (Navarra, Cataluña,...) y por lo tanto sería interesante ampliar estos análisis con datos procedentes de estas otras comunidades.

4.4.6. Contribuciones del Doctorando

La aportación del doctorando se ha centrado en:

- El análisis previo de la problemática: Previamente al planteamiento del estudio, el doctorando ha participado en eventos específicos de carreteras 2+1, detectando sobre qué áreas era necesario investigar al respecto (como el que muestra la Figura 4.8).



Figura 4.8: Jornada sobre carreteras 2+1 en la que ha participado el doctorando.

- La revisión de literatura: Dicha acción ha sido realizada en su mayor parte por el doctorando dado su conocimiento previo sobre la temática. Se han detectado estudios similares, pero, como se detalla en el artículo, ninguno de ellos abarcaba esta problemática de poder conocer qué zonas interurbanas 1+1 son susceptibles de ser transformadas en 2+1.
- El diseño del estudio: Habiendo sido muy similar el planteamiento de este estudio al del tercer artículo de esta tesis (Alvarez et al., 2020), el doctorando también ha estado involucrado en esta fase del estudio, siempre bajo la coordinación de los directores.

- La selección de los casos: El doctorando ha ayudado a determinar los criterios de selección de los casos, teniendo además acceso a la base de datos desde donde se ha obtenido la mayoría de información —Base de datos de accidentes de la Dirección General de Tráfico (DGT)—, al estar inscrito el doctorando en el “Registro Nacional de Investigadores de la DGT”.
- Redacción del artículo: El doctorando ha colaborado en la redacción y revisión del artículo, siendo supervisada esta tarea por los directores.
- El análisis y la interpretación física de los resultados: La experiencia laboral del doctorando en este campo ha ayudado a esta interpretación y a que, de esta manera, los resultados sean planteados para que sean de utilidad a los ingenieros de caminos o civiles de las administraciones regionales o nacionales titulares de estas carreteras.

4.5. Discusión de resultados

Analizando los aspectos que define la matriz de Haddon (planteada al comienzo de esta tesis), se puede observar que los resultados de esta tesis se han centrado, principalmente, en detectar cómo puede influir el factor “infraestructura” en la ocurrencia y desarrollo de una salida de vía. Se da la circunstancia que este aspecto (la infraestructura) es uno de los que más capacidad de avance en seguridad vial posee frente a otros de la matriz de Haddon que, desde hace décadas, han tenido una amplia evolución (como por ejemplo, seguridad activa y pasiva de los vehículos).

Así, en tres de las cuatro publicaciones de esta tesis, el doctorando (el cual aparece como coautor en orden alfabético tras decisión de todos los coautores, en lugar de haberse regido por la aportación clave individual de cada autor), se ha discutido sobre cómo se podría caracterizar geoméricamente las localizaciones donde la probabilidad de ocurrencia de diversas tipologías de salidas de calzada es mayor:

- Comenzando por las salidas de calzada contra barreras metálicas, esta tesis plantea como discutible y recomendable, el hecho que las actuales normativas (EN-1317-2 (ECS, 2010) o normativa MASH (FHT, 2016)) que rigen la homologación de los sistemas de contención de vehículos que se instalan en los márgenes de las carreteras, necesiten una actualización para considerar determinados parámetros que esta tesis ha detectado como de interés en una nueva versión de estas normativas (el denominado “ángulo relativo de impacto”). Continuando con esta tipología de salidas contra barrera metálica, se ha comprobado que la mayoría de las mismas están protagonizadas por turismos, lo cual parece lógico al ser este tipo de vehículo el más común. Actualmente, gran parte de las barreras metálicas que están instaladas en nuestras carreteras están diseñadas para contener únicamente a este tipo de vehículos, lo cual invita a discutir sobre hasta qué punto el resto de los usuarios (vehículos pesados, motociclistas, . . .) están protegidos en una salida de calzada o peor aún, hasta qué punto están protegidos

si estos usuarios colisionan contra una barrera metálica no diseñada para ellos. Los análisis realizados en esta tesis muestran como la mayor parte de los accidentes investigados se asocian a tipología de ensayos normalizados que corresponden a impactos de turismos (bien de 900 kg o de 1500 kg). Sin lugar a dudas, es necesario invitar a los fabricantes de este tipo de infraestructura vial a seguir diseñando estos sistemas de contención, y que ya lo están haciendo, pensando en todo tipo de usuarios.

- Cuando esta tesis se ha centrado en las salidas de calzada urbana, se han detallado las variables que caracterizan aquellos lugares (curvas o rectas) en las que la probabilidad de sufrir una salida de calzada es mayor. Sí es verdad que esta tesis sólo se ha centrado en variables geométricas para que esta localización de esos lugares con mayor probabilidad de accidente sea más fácil a los ingenieros de caminos. Podría discutirse la influencia de variables como la “velocidad” o “flujo de tráfico” en la ocurrencia de una salida de calzada en zona urbana. En el caso que ocupa esta tesis, sí es cierto que la velocidad máxima de las vías urbanas era de 50 km/h, un poco diferente a la situación que se vive en algunas ciudades en las que ya es muy común encontrar zonas de “20 o 30 Km/h”, por lo que podría pensarse en una nueva línea futura de investigación considerando estas nuevas zonas. Respecto a flujo de tráfico, podría discutirse que a mayor flujo de tráfico, mayor probabilidad de ocurrir una salida de calzada en este ámbito urbano, pero tal y como se ha mencionado en el artículo en sí, existen estudios en los que no existe correlación entre esta variable y la existencia de una salida de calzada.
- En esta tesis se ha discutido indirectamente sobre la importancia de disponer de espacio suficiente para poder hacer más seguras las carreteras interurbanas. Una de las soluciones que se discute como de interés y eficacia probada es la ampliación de la plataforma de las carreteras interurbanas que sólo poseen de un carril por sentido (carreteras 1+1) y así poderlas transformar en carreteras 2+1 (dos carriles en un sentido y uno en el sentido contrario, y alternando este orden). Mediante esta tesis, se han caracterizado, desde un punto de vista geométrico, aquellas localizaciones de las carreteras 1+1 en las que existe mayor probabilidad de producirse colisiones frontales/frontolaterales tras abandonar el carril, y por lo tanto optar esos lugares a ser transformados a zonas 2+1. Sí es cierto que es discutible que este tipo de colisiones puedan asemejarse con salidas de calzada, pero la dinámica es a veces similar con lo que es propiamente una salida de calzada y es que en este caso, lo que se produce es una salida de carril finalizando en esa colisión frontal/frontolateral. También es cierto que se antoja como discutible que muchas administraciones vayan a apostar por este tipo de transformaciones de esas localizaciones puntuales, pero esta tesis lo muestra como solución posible ante la transformación completa de una carretera 1+1 a una carretera de doble calzada. También es verdad que asociado a esta publicación, se hace discutible la necesidad de diseñar y dotar a estas localizaciones 2+1 de sistemas de contención adecuados que consigan disgregar ambos sentidos de una manera segura. Sin lugar a dudas es una oportunidad para los fabricantes de estos sistemas.

Finalmente, esta tesis ha querido abordar de manera colateral a la relación que existe entre la ya mencionada infraestructura con uno de los usuarios más vulnerables, los motociclistas. En este caso, el énfasis ha recaído en las lesiones que este tipo de usuarios puede sufrir (no sólo en salidas de calzada) y cómo prevenirlas (mejoras del equipamientos de los motociclistas y mejora de la infraestructura) o detectar estas lesiones en las atenciones prehospitalarias. Los resultados de esta tesis al respecto plantean encima de la mesa un aspecto a discutir entre los fabricantes de equipamiento, como puede ser los cascos. Y es que, aunque se ha avanzado mucho en el diseño de los mismos, las actuales normativas (ECE R22.05 (UN R22.05)) son susceptibles de ser mejoradas para poder abordar aspectos de diseño de estos dispositivos que consideren determinados mecanismos lesionales como son los asociados a los mecanismos de rotación. Pero lo que se plantea como una importante discusión es que, a pesar que esta tesis muestra dónde se producen las lesiones más frecuentes y severas en los motociclistas, hasta qué punto las administraciones competentes en materia de legislación de seguridad vial en las vías estarían dispuestas a la obligatoriedad de uso de determinado equipamiento de protección a estos usuarios (no sólo el uso del casco) para evitar muchas de estas lesiones.

Capítulo 5

Conclusiones y Líneas Futuras

5.1. Conclusiones

La situación accidentalógica asociada a las salidas de calzada, y detallada a lo largo de esta tesis, ha motivado que el doctorando haya centrado este trabajo de investigación en dicha problemática, y así aportar evidencias científicas sobre diversos aspectos (factores de riesgo, dinámicas de colisión, mecanismos lesionales,...) relacionados con este tipo de accidentes.

Las cuatro publicaciones científicas publicadas en revistas indexadas resultantes de estas investigaciones han abordado de manera específica las salidas de calzada en zona urbana, las salidas de calzada y posterior colisión contra una clase concreta de sistema de contención de vehículo como son las barreras metálicas, las salidas de carril en calzadas de dos sentidos y finalmente los accidentes, incluyendo las salidas de vía, de los motociclistas.

Las conclusiones generales de esta tesis son varias, centrándose la mayoría de ellas en aportar conocimiento sobre la relación entre la infraestructura y la ocurrencia de una determinada tipología de salida de calzada. Se citan a continuación estas conclusiones generales y el aporte que las mismas suponen a la comunidad científica:

- Salidas de calzada contra barreras metálicas: La principal conclusión sobre este tipo de colisiones que esta tesis aporta como novedosa es el hecho que el correcto comportamiento (redireccionamiento) de las barreras metálicas frente al impacto de un vehículo depende del valor que adquiera la variable “ángulo relativo de impacto”. Hasta ahora no se había investigado sobre este aspecto, y se ha observado que en aquellos casos en los que el “ángulo relativo de impacto” es muy diferente al “ángulo de impacto”, la barrera metálica no consigue comportarse de manera segura. Una de las consecuencias de este resultado es el que posibles nuevas actualizaciones de las normativas que regulan la homologación de las barreras metálicas, considere este parámetro en su protocolo de aceptación para que esa barrera metálica pueda ser instalada en una carretera.

- Salidas de calzada en zona urbana: Los estudios existentes sobre los accidentes de tráfico (de todo tipo, y no sólo salidas de calzada) con o sin víctimas en zona urbana nunca se habían centrado en caracterizar geoméricamente las localizaciones en las cuales la probabilidad de sufrir una salida de calzada en zona urbana. Ningún estudio había realizado análisis estadísticos sobre esta tipología de accidentes, lo cual supone un paso importante en la mejora de la seguridad vial.
- Salidas de carril en carreteras 1+1: Aunque existe bibliografía sobre estudios inferenciales de accidentes en carreteras interurbanas o colisiones frontales, esta tesis detalla información pionera sobre las colisiones frontales/frontolaterales únicamente en carreteras 1+1 y que además por la tipología de la calzada (anchura, sobre todo) pueda ser transformada fácilmente en una carretera 2+1. Ningún estudio hasta la fecha ha tratado esta temática tan concreta y que hoy en día puede ser de gran utilidad teniendo en cuenta el auge y la eficacia de las carreteras 2+1.

Cabe destacar en éste y en el anterior artículo, la metodología novedosa que se ha planteado a la hora de llevar a cabo la técnica de “caso-control” (elección de los controles) empleada.

- Accidentes (salidas de calzada incluidas) de motociclistas: La gran aportación en este artículo se centra en haber detectado, tras analizar por primera vez varias bases de datos europeas, altas tasas de discapacidad a largo plazo debido a lesiones de las extremidades inferiores y superiores de los usuarios de motocicletas y ciclomotores que sufren un accidente de tráfico, y sobre todo habiendo observado las altas tasas de conmoción cerebral. Todo ello supone que se tenga información de gran utilidad para la comunidad científica.

Habiendo sido catalogada esta tesis como compendio de publicaciones, las contribuciones del doctorando en los diferentes artículos han sido claves y de vital relevancia. Aunque estas aportaciones se han detallado en cada uno de los apartados correspondientes de cada artículo, podrían resumirse en los siguientes aspectos. En primer lugar el doctorando ha realizado o ha ayudado a realizar profundas revisiones de literatura con el fin de detectar la problemática asociada a cada tipología de accidente analizado y sobre todo a detectar qué aspectos novedosos se podría aportar en las investigaciones que asociadas a cada artículo. Posteriormente, y sobre todo bajo la coordinación de los directores, el doctorando ha participado en el diseño de los estudios a realizar sobre la información disponible, desde simples estudios descriptivos de bases de datos, pasando por estudios caso-control, o escalados multidimensionales. Todos estos estudios o técnicas estadísticas aplicadas no podrían haberse realizado si el doctorando no hubiese podido tener acceso a las bases de datos de accidentes de tráfico que se han tratado en estos artículos, destacando principalmente la información procedente de las reconstrucciones de accidentes de tráfico que el propio doctorando ha realizado, y la información almacenada en la base de datos de accidentes con víctimas de la Dirección General de Tráfico (DGT) para lo cual hace falta estar registrado en el Registro

Nacional de Investigadores (RNI) como así lo está el doctorando. Cualquier investigación conlleva la obtención de unos resultados, los cuales cobran importancia cuando se realiza una interpretación física de los mismos con el fin que sean de interés a la comunidad científica, y que en este caso, el doctorando la ha realizado pensando en los ingenieros de caminos y técnicos de seguridad vial para que tengan información útil que les ayude a evitar nuevas salidas de calzada o a mitigar sus consecuencias. Por último, y no menos importante, el doctorando ha estado involucrado de manera profunda en la redacción, revisión y difusión de estos artículos con el fin de ampliar la comunicación de estos resultados al mayor número de foros científicos de interés.

Cabe destacar que, como ya se ha mencionado en el apartado anterior, la interpretación física de los resultados realizada por el doctorando, se estima puedan ser considerados como de especial interés por la comunidad científica multidisciplinar en este ámbito de la seguridad vial, especialmente teniendo en cuenta que las actuales guías, directivas y recomendaciones de seguridad vial (EP, 2019; WRA, 2019; WHO, 2020; DGT, 2021b; ONU, 2021), se centran en aspectos como la mejora de la infraestructura vial, ciudades más seguras, usuarios más protegidos. . . . De manera específica, se detalla a continuación el interés que los resultados y conclusiones de esta tesis pueden propiciar a los diferentes “stakeholders”:

- A los ingenieros de diseño de carreteras (ingenieros de caminos, ingenieros civiles, . . .) bien de las administraciones titulares de las carreteras (urbanas o interurbanas) o de las ingenierías que redactan los correspondientes proyectos de diseño o rediseño de las vías:
 - Se les está proporcionando información de los emplazamientos urbanos en los que el riesgo de sufrir una salida de calzada es mayor. De esta manera, estos ingenieros pueden tomar decisiones objetivas y técnicas para implementar contramedidas que eviten este tipo de salidas (medidas preventivas) o bien mitiguen las consecuencias en caso de producirse dichas salidas (instalación de sistemas de contención urbanos en estas localizaciones caracterizadas en esta tesis).
 - Igualmente, se han detallado las características geométricas de los emplazamientos de las denominadas carreteras 1+1 donde es más probable la ocurrencia de una colisión frontal-frontolateral entre dos vehículos, debido a abandonar (salida) el carril uno de los dos vehículos de forma insegura. Este tipo de resultados puede ayudar a los técnicos de carreteras a detectar estos emplazamientos, y poder transformar esas localizaciones concretas en tramos de carreteras 2+1.
- A los fabricantes de equipamiento de los motociclistas: Habiendo determinado altas tasas de discapacidad a largo plazo debido a lesiones de las extremidades inferiores y superiores de los usuarios de motocicletas y ciclomotores, y sobre todo habiendo observado las altas tasas de conmoción cerebral y lesiones en la cabeza asociadas a mecanismos de rotación, estos resultados invitan a los fabricantes de equipamientos de protección de motociclistas a seguir desarrollando nuevos sistemas que aborden estas casuísticas.

- A los servicios médicos de emergencia (SME): Se les está detallando información para poder confirmar que las extremidades superiores, inferiores y la cabeza son las tres zonas más vulnerables de los motociclistas en caso de accidente.
- A los comités de normalización: Siendo conscientes que los comités de normalización están continuamente recabando información para poder actualizar las correspondientes normativas, los resultados de esta tesis pueden ayudar a abordar las siguientes temáticas:
 - Barreras metálicas: Habiéndose observado que en las salidas de calzada contra barrera metálica, un nuevo parámetro como es el “*ángulo relativo de impacto*” no considerado en la norma EN-1317-2 (ECS, 2010) puede tener influencia en el comportamiento dinámico del vehículo al colisionar con la barrera metálica, los resultados de esta tesis pueden ser de utilidad al comité de revisión de esta normativa.
 - Casco: Aunque la actual normativa, ECE R22.05 (UN R22.05), aborda los requisitos que debe cumplir la comercialización de este tipo de equipamiento, se antoja necesaria una revisión sobre esta normativa para conocer si esta normativa aborda con la profundidad necesaria todos los posibles mecanismos lesionales que puedan ocurrir en la cabeza (por ejemplo, el mecanismo de rotación).

5.2. Líneas futuras

Finalizada esta tesis y siendo conscientes que siempre existen aspectos en los que seguir investigando, se mencionan a continuación algunas líneas que se podrían abarcar en acciones futuras de investigación:

- Línea 1: Ampliación de la información a analizar: En cualquier análisis estadístico que se lleve a cabo, es clave el poder disponer de suficiente información (en cantidad y calidad) para poder extraer conclusiones validadas.

Aunque durante las cuatro publicaciones de esta tesis, las bases de datos utilizadas han sido lo suficientemente apropiadas, en las propias conclusiones de cada artículo se ha detallado cómo sería de interés poder ampliar la información de estas bases para, de esta manera, hacer extensiva las conclusiones al mayor abanico posible de circunstancias. Así, esta ampliación de las bases de datos supondría:

- En el caso del artículo [Fernández et al. \(2019\)](#), considerar en el análisis otro tipo de vehículo implicado (por ejemplo, vehículos pesados y no sólo turismos), para así detectar a qué tipo de “ensayo de impacto” según normativa se asocian estas colisiones.

- En los artículos en los que se han utilizado técnicas “caso-control”, [Alvarez et al. \(2020\)](#) y [Cáceres et al. \(2021\)](#), las bases de datos se han centrado en áreas geográficas concretas (la ciudad de Valladolid en el caso de las salidas urbanas y la región de Castilla y León en el caso de carreteras 2+1). Aunque han sido zonas que pueden considerarse representativas de la realidad nacional, sí es cierto que el considerar otras ciudades u otras regiones, ayudaría a contrastar las conclusiones con lo que ocurre en otras áreas geográficas.
- Línea 2: Consideración de otro tipo de variables en los estudios: En dos de las publicaciones presentadas en esta tesis, [Alvarez et al. \(2020\)](#) y [Cáceres et al. \(2021\)](#), la caracterización de los lugares donde el riesgo de producirse estos accidentes es mayor, se ha basado únicamente en factores geométricos. Sin embargo, cabe pensar que hay otras variables que pueden tener influencia en la ocurrencia de estas colisiones, como son la “*Velocidad máxima de la vía*” y la “*Intensidad Media Diaria*”, aunque al no ser geométricas, no se han tenido en cuenta en los análisis.
Se estima que una actualización de este tipo de estudios considerando cómo afectan estas dos variables, y más teniendo las últimas actualizaciones de velocidades máximas de las vías en las ciudades ([DGT, 2021b](#)), sería de interés.
 - Línea 3: Estudios sobre otros Objetivos Específicos (OE) de esta tesis: Presentándose esta tesis como compendio de cuatro publicaciones en revistas indexadas, otras de las investigaciones realizadas sobre algunos de los “OE” detallados inicialmente no han podido ser culminadas aún con la publicación del correspondiente artículo científico. De estas investigaciones, destaca una en la que el doctorando y directores de la tesis han dedicado bastantes recursos: “*OE3.2: Determinación de las características necesarias y deseables que deberían tener determinados sistemas de seguridad pasiva instalados en la infraestructura y que las normativas actuales no los definen en detalle, como por ejemplo, los protectores de pasos salvacunetas*”.



Figura 5.1: Salida de calzada de un turismo e impacto (mortal) contra un paso salvacunetas sin proteger. Fuente: @Aquilino Molinero

Efectivamente, las salidas de calzada contra pasos salvacunetas sin proteger pueden suponer hasta un 15 % de las salidas graves y mortales en zona interurbana (la Figura 5.1 ilustra la severidad de este tipo de accidentes), lo que motiva la necesidad de continuar con el estudio. Para una eficiente protección de este tipo de obstáculos, es necesario conocer previamente la dinámica de las salidas de calzada contra este tipo de obstáculos, y posteriormente analizar las normativas al respecto, [DGC \(2014\)](#) y [FHT \(2016\)](#), por si hubiese algún campo de posible mejora en dichas normativas. Se han analizando la cinemática y dinámica de este tipo de impactos mediante investigaciones “*en profundidad*”, en concreto 27 impactos, obteniendo resultados de interés para la comunidad científica:

- En el 90 % de los 27 casos, el tipo de vehículo implicado fue de un turismo de 1.500 kg (es decir, un vehículo “tipo medio” en el parque automovilístico de Europa). La mayoría de los vehículos colisionaron contra el paso salvacunetas con un ángulo cercano a los 6° y a una velocidad de 75 Km/h. Las dimensiones medias del paso salvacuneta contra el que colisionó el vehículo fue de 0,5 metros de alto y 3 metros de ancho, estando situado en el 80 % de las ocasiones en la parte derecha de la calzada (sentido de avance).
- Mediante ensayos de impacto a escala real de vehículos (turismos de 1.500 kg a 100 Km/h) contra protectores de pasos salvacunetas específicos ([CIDRO, 2014](#)) y variando la pendiente longitudinal del protector (4:1, 5:1 y 6:1), y aplicando los criterios de ensayo definidos en la reciente normativa española UNE 135126 ([AENOR, 2019](#)), se ha observado que con protectores de pasos salvacunetas con pendientes menores a 6:1 (ver esquema en la Figura 5.2), no se puede asegurar su eficacia en cuanto a mitigación de lesiones de los ocupantes.

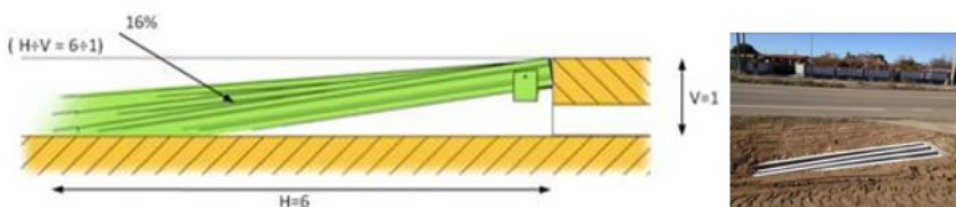


Figura 5.2: Ejemplo de pendiente longitudinal 6:1 (16 % de pendiente). Fuente: @Aquilino Molinero

Aunque algunos de estos resultados han sido considerados en recientes recomendaciones propuestas por organismos como la Dirección General de Tráfico ([DGT, 2021c](#)) para proteger este tipo de obstáculos, sí se pretende realizar una publicación en revista indexada detallando con más profundidad estas investigaciones.

Capítulo 6

ANEXOS

ANEXO I: Artículos publicados

Publicaciones en revistas de impacto y que forman parte de la presente tesis por compendio de publicaciones (por orden de fecha de publicación).

- Artículo 1: Injuries among powered two-wheeler users in eight European countries: A descriptive analysis of hospital discharge data.
- Artículo 2: Analysis of Real Crashes against Metal Roadside Barriers.
- Artículo 3: Geometric road design factors affecting the risk of urban run-off crashes. A case-control study.
- Artículo 4: Detection of Geometric Risk Factors Affecting Head-on Collisions through Multiple Logistic Regression. Improving Two-way Rural Road Design via 2+1 Road Adaptation.

Artículo 1: Injuries among powered two-wheeler users in eight European countries: A descriptive analysis of hospital discharge data.

- Artículo publicado en “*Accident Analysis and Prevention*” en 2011.
- Referencia completa: Forman JL, Lopez-Valdes FJ, Pollack K, Heredero-Ordoyo R, Molinero A, Mansilla A, Fildes B, Segui-Gomez M. Injuries among powered two-wheeler users in eight European countries: a descriptive analysis of hospital discharge data. *Accid Anal Prev.* 2012 Nov;49:229-36. doi: 10.1016/j.aap.2011.02.020. Epub 2011 Mar 15. PMID: 23036399.
- Recibido: 30 Julio 2010 / Revisado: 29 Diciembre 2010 / Aceptado: 19 Febrero 2011.
- Índice de impacto: Journal Citation Reports (JCR) igual a 1,867 (año 2011-2012) con un cuartil igual a Q1.
- Base de indexación: WOS: Web Of Science.

**Injuries among powered two-wheeler users in eight European countries: A descriptive
analysis of hospital discharge data**

Jason L. Forman¹, PhD, jlf3m@virginia.edu

Francisco J. Lopez-Valdes^{1,3}, BEng, fjl2j@virginia.edu

Keshia Pollack², PhD, MPH, kpollack@jhsp.h.edu

Rafael Heredero-Ordoyo¹, rhereder@unav.es

Aquilino Molinero⁴, Beng, aqumol@cidaut.es

Alberto Mansilla⁵, PhD, albman@eis.uva.es

Brian Fildes⁶, PhD, Brian.Fildes@muarc.monash.edu.au

Maria Segui-Gomez^{1,2,3} MD, PhD, msegui@unav.es

All correspondence should be addressed to: Jason L. Forman, PhD (jlf3m@virginia.edu)

European Center for Injury Prevention (ECIP) at Universidad de Navarra

Irunlarrea 1 (Ed. Los Castaños) 31080 Pamplona, Navarra, Spain

Phone: +34 948 425 600 ext. 6469

Fax: +34 948 425 649

¹ European Center for Injury Prevention (ECIP) at Universidad de Navarra

Irunlarrea 1 (Ed. Los Castaños) 31080 Pamplona, Navarra, Spain

² Johns Hopkins Bloomberg School of Public Health, Center for Injury Research and Policy,
Baltimore, Maryland

³ University of Virginia Center for Applied Biomechanics

4040 Lewis and Clark Drive, 22911 Charlottesville, Va, USA

⁴ Fundacion CIDAUT

Parque Tecnológico de Boecillo, 47151 Boecillo, Castilla y Leon, Spain

⁵ Universidad de Valladolid

Paseo del Cauce s/n, 47011, Valladolid, Spain

⁶ MUARC Europe, Monash University Prato Center

Palazzo Vaj, via Pugliesi 26, 59100, Prato, Italy

Abstract (word count 297; max 300 words)

Powered two-wheelers (PTWs - mopeds, motorcycles, and scooters) remain the most dangerous form of travel on today's roads. This study used hospital discharge data from eight European countries to examine the frequencies and patterns of injury among PTW users (age ≥ 14 years), the predicted incidence of the loss of functional ability, and the mechanisms of the head injuries observed (all in light of increased helmet use). Of 977,557 injured patients discharged in 2004, 12,994 were identified as having been injured in PTW collisions. Lower extremity injuries accounted for 26% (25.6-26.7, 95% C.I.) of the total injuries, followed by upper extremity injuries (20.7%: 20.3-21.2), traumatic brain injuries (TBI) (18.5%: 18-19), and thoracic injuries (8.2%: 7.8-8.5). Approximately 80% of the lower extremity injury cases were expected to exhibit some functional disability one year following discharge (predicted Functional Capacity Index, pFCI-AIS98 < 100), compared to 47% of the upper extremity injury cases and 24% of the TBI cases. Although it occurred less frequently, patients that were expected to experience some functional limitation from TBI were predicted to fair worse on average (lose more functional ability) than patients expected to have functional limitations from extremity injuries. Cerebral concussion was the most common head injury observed (occurring in 56% of head injury cases), with most concussion cases (78%) exhibiting no other head injury. Among the AIS3+ head injuries that could be mapped to an injury mechanism, 48% of these were associated with a translational-impact mechanism, and 37% were associated with a rotational mechanism. The observation of high rates of expected long-term disability suggests that future efforts aim to mitigate lower and upper extremity injuries among PTW users. Likewise, the high rates of concussion and head injuries associated with a rotational mechanism provide goals for the next phase of PTW user head protection.

Keywords

motorcycles; two-wheelers; hospital discharge; epidemiology; injury; biomechanics

1. Introduction

Despite trends towards increasing helmet use rates, powered two wheelers (PTWs - mopeds, motorcycles) remain the most dangerous form of travel on today's roads. In European Union countries from 2001-2002, PTWs resulted in 440 deaths per million passenger-travel hours, compared to 75 for pedestrian travel, 25 each for cars and cycles, and 2 for buses, coaches, and rail (WHO 2004). There were approximately 7,030 PTW deaths in European countries in 2005, accounting for 15% of all road traffic fatalities (SafetyNet, 2009). In a regional Canadian study spanning 1995-2006, Monk et al. (2009) observed that motorcycle users were 3.5 times more likely to be severely injured or killed compared to other motor vehicle users (based on the number of registered vehicles). There were approximately 30,505 motorcycle-related hospital discharges in the United States in 2001, producing estimated hospital charges of over \$841 million (Coben et al. 2004). It is possible that the burden of PTW user deaths and injuries will increase in coming years. Recent efforts to promote PTW use (e.g., in response to fuel economy and environmental concerns) have resulted in a substantial increase in PTW sales and users in Europe (e.g., a 172% increase in new PTW registrations in Spain between 2004 and 2005; Segui-Gomez and Lopez-Valdes, 2007).

The fatality-reducing benefit of helmets has been demonstrated in the literature (Schuller et al., 1984; Latorre et al., 2002; Liu et al., 2009), and there is little doubt that the greatest reduction of PTW deaths world-wide will result from efforts to increase helmet use. In many developed countries and some developing countries (such as Zambia, Suriname, Solomon Islands, Chile, and Cuba), helmet use is between 90 and 100% (WHO 2009). As a result, further improvement of PTW safety requires a re-examination of the distribution and determinants of PTW injuries to identify research and intervention priorities (Liu et al. 2009). This is true not just for fatalities,

but also for cases resulting in severe injury, hospitalization, and/or long-term functional disability.

The majority of epidemiological studies on PTW injuries in Europe have used either sample-based collision databases (e.g., the Motorcycle Accident In-depth Study, MAIDS; ACEM 2009) or police report databases. The sample-based collision databases are generally limited to specific geographical regions for data collection, and despite controls and weighting they are not necessarily representative samples of the countries or communities of they seek to represent. In contrast, police databases can be considered a census of collisions occurring within their jurisdiction, but they often lack detailed information on the injuries that occur.

Hospital discharge data have been used before as a source to observe injury patterns and frequencies for specific types of road users (Arregui-Dalmases et al., 2010; Fitzharris et al., 2009; Coben et al., 2004; Latorre et al., 2002). Hospital discharge sources combine a large volume of data with detailed information on injuries and injury severity. Although hospital discharge data is limited in studying fatalities (because it often does not include at-scene deaths), it has proved useful in studying non-fatal injuries by injury severity, injury type, road-user type, and predicted functional outcome. In the current study, we retrieved and consolidated hospital discharge data from eight European countries for the year 2004, creating the second largest gathering of PTW hospital discharge data ever examined. Injury severity, body region, and injury type were described for those discharged patients (age 14 and older) identified as having been injured in PTW collisions. The functional outcomes resulting from those injuries were then predicted, based on the predicted Functional Capacity Index (pFCI-AIS98 - AAAM 2008; European Center for Injury Prevention, 2007c). Finally, the mechanisms associated with the

observed head injuries were examined using injury-code-mapping algorithms previously published (Martin and Eppinger 2003).

2. Data and Methods

A descriptive analysis was performed with hospital discharge data from eight European countries (Bulgaria, Hungary, Netherlands, Norway, Portugal, Slovenia, Spain, and Sweden) for the year 2004.. Case information was coded using either the ICD-9-CM (NCHS) or ICD-10 (WHO 1992) classification systems (depending on the country). Hospital discharge records were included if they had at least one injury code (ICD-9-CM 800.0-995.85 or ICD-10 S00.0-T98.3) in any of the first 3 diagnoses fields. Discharges classified as readmissions were excluded from further analysis. In the discharge data, PTW users were defined as having E-Codes 810 to 819 or 820 to 825 but only if the fourth digit was .2 in the ICD-9-CM classification, or V20 to V29 in the ICD-10 classification. The analysis was restricted to subjects 14 years old or older at the time of admission since that is the minimum legal driving age for PTW vehicles in the included countries.

Participating countries submitted their data on age, gender, type of admission, discharge disposition (dead, home, transfer to another hospital), up to 3 diagnoses, the external cause of injury code (E codes in ICD-9-CM or VXYZ codes in ICD-10), and duration of hospital stay. Data on injury diagnoses was further categorized into the Barell Matrix in order to present frequency counts (Barell et al., 2002; European Center for Injury Prevention at Universidad de Navarra, 2007b; European Center for Injury Prevention at Universidad de Navarra, 2007a; Fingerhut and Warner, 2006).

These data were augmented with algorithms to derive Abbreviated Injury Severity Score AIS98 (AAAM, 1998), Injury Severity Scores ISS, (Baker et al., 1974; Center for Injury Research and Policy of the Johns Hopkins University School of Public Health and Trianalytics, Inc, 1998; European Center for Injury Prevention at Universidad de Navarra, 2007d), as well as the Functional Capacity Index FCI (European Center for Injury Prevention at Universidad de Navarra, 2007c).

The AIS is the most widely used scale in the motor vehicle safety and injury prevention literature to assess severity as defined by a threat to life. The AIS severity score is an ordinal scale ranging from 1 to 6 that uses consensus-derived information on the severity of individual anatomical injuries (six being the highest severity score attainable). Although the score has been revised several times, the 1998 update of the 1990 version was used for this paper (AAAM, 1998). ICD-9-CM codes were mapped to AIS98 using an algorithm developed by the Center for Injury Research and Policy of the Johns Hopkins University School of Public Health and Trianalytics, Inc (1998). ICD-10 codes were mapped using a complementary algorithm developed by the European Center for Injury Prevention at the Universidad de Navarra (2007d). Because ICD-9-CM, ICD-10, and AIS98 differ in the specificity of their injury classifications, certain assumptions and process definitions were required to facilitate the construction of these mapping algorithms. Where such assumptions were required, the mapping algorithms used in this study were based on the processes described in detail by MacKenzie et al. (1986, 1989). The Injury Severity Score (ISS) was then used to integrate the severity of subjects sustaining several injuries. This metric combines the three most severe injuries in three separate body regions to create an ordinal scale ranging from 1 to 75 (Baker et al., 1974).

The Functional Capacity Index (FCI) is a preference-based outcome measure developed for non-fatally injured adult patients that defines health across 10 dimensions (eating, excretory, sexual, ambulatory, hand, bending & lifting, visual, auditory, speech and cognition) and varying levels of functioning within dimension. It was designed to describe reductions in the capacity of an individual to perform “certain tasks considered important for daily living” (MacKenzie et al. 2002). Although the measure can be applied in a variety of formats, one such application involves a consensus-based process of a group of experts who assigned predicted functional limitations to every AIS 1998 code, this is known as the pFCI-AIS98 (AAAM, 2008). The predicted FCI (pFCI) is intended to predict residual functional limitations one year following a particular injury (the terms pFCI and pFCI-AIS98 are used interchangeably here). These predictions can be transformed into a single numeric code ranging from 0 (worst possible state) to 100 (no limitation, perfect health state one year post-discharge). The following simplifying assumptions were made in the development of the pFCI-AIS98: “1) the afflicted individual survives the injury, 2) the individual is 18 to 34 years old and has no preinjury morbidities, 3) the acute care and rehabilitation received is appropriate and timely, and 4) the injury described is the only injury sustained by an adult” (MacKenzie et al. 1996). The development of the pFCI is described in detail by MacKenzie et al. (1996). The predictive ability of the pFCI-AIS98 has been investigated by MacKenzie et al. (2002) and Barnes and Morris (2009).

Because of the relevance of traumatic brain injuries in PTW users, AIS diagnoses related to head injury were further classified by injury mechanism according to an algorithm developed by Martin and Eppinger (2003; automated algorithm - European Center for Injury Prevention at Universidad de Navarra, 2008). This algorithm classifies head injuries into those related to translational acceleration/impact mechanisms, rotational acceleration mechanisms, or those that

can be attributed to either translational or rotational acceleration. This algorithm was based on the work of Gennarelli et al. (1993), who classified brain injuries into two basic categories – diffuse and focal. Focal injuries (such as certain skull fractures, lacerations, and contusions) were observed to be caused by direct, translational impacts to the head. Diffuse brain injuries (such as Diffuse Axonal injury, DAI; some vessel injuries; and some types of hematomas) were observed to occur as a result of inertial loading of the head where there was relative motion of the brain. Some types of diffuse injuries were associated with translational-type acceleration, and others were associated with a rotation of the head. Based on this information, Martin and Eppinger mapped an array of AIS 1998 head injury codes into injuries that were consistent with a translational mechanism (either from direct impact or translational acceleration), a rotational mechanism, or injuries that could be attributable to either mechanism. This algorithm has been used to relate head injuries to assumed mechanisms in previous epidemiological studies (Arbogast et al. 2005, Arregui-Dalmases et al. 2010).

Analyses are individual-based except when specifically presented as injury-based. AIS and pFCI-AIS98 are presented according to the worst such injury sustained by the individual. Country- and age-specific population data (from the end of 2004) were extracted from EuroStat (<http://epp.eurostat.ec.europa.eu/portal/page/portal/eurostat/home/>). Rates per 100,000 population were computed using the direct standardization method. Descriptive analyses with point estimates and 95% Confidence Interval estimates were done using Stata (version 9.0, Stata Corporation, College Station, Texas).

3. Results

The eight countries examined represented 103.3 million Europeans at the end of 2004 (1

January, 2005; EuroStat). In the hospital discharge database, 977,557 discharges were identified of injured individuals 14 years old or older (90% of all injury discharges submitted). The proportion of cases identifying the cause of injury (e.g., collision, fall, etc.) varied, ranging from 17% for Norway to 100% for the Netherlands. Injury causation information was available for $\geq 80\%$ of the cases for the Netherlands, Portugal, Hungary, and Slovenia. In total 12,994 injured individuals were identified as PTW users, and 197 (1.5%) of them died during the hospitalization. Table 1 provides the counts per country, and the age-adjusted PTW hospitalization rates for the four countries with near-complete ($\geq 80\%$) injury causation coding. The mean age of the hospitalized PTW users was 31.2 (standard deviation = 15.8; quartiles - 25%: 18, 50%: 27, 75%: 40), and 87.7% of the injured individuals were male.

The 12,994 hospitalized PTW user cases contained data on 24,305 injuries, with an average of 1.9 injuries per case (standard deviation = 0.86; quartiles – 25%: 1, 50%: 2, 75%: 3). Ninety-two percent of these injuries could be mapped into the body region and injury type classifications of the Barell matrix (Table 2). Fractures to the lower and upper extremities were the most frequent injuries, accounting for 20.1% (95% confidence interval: 19.5-20.6) and 15.2% (14.7-15.7) of the total number of injuries, respectively. These were followed in frequency by internal traumatic brain injuries (TBI, 13.4%: 12.9-13.8); fractures to the thorax (e.g., rib fractures, 4.0%: 3.7-4.3); and fractures of the head (3.6%: 3.3-3.8). Vertebral fractures occurred in 3.6% (3.3-3.6) of the cases. Ten percent of those (0.36% of the total injuries) occurred in the cervical spine – the remainder (90% of the vertebral fractures) occurred in the thoracic or lumbar spine. Fractures to the pelvis and hip were present in less than 3% of the cases.

It was possible to map approximately 97% of the injuries into AIS98 codes. Most of the hospitalized subjects sustained a maximum AIS score (MAIS) of 2 (57%: 56.4-58.2 C.I.).

Twenty-one percent (19.9-21.4) sustained an MAIS of 3; 12% (11.5-12.6) had an MAIS of 1; 3% (2.8-3.4) had an MAIS of 4; 3% (2.5-3.1) had an MAIS of 5; and 0.6% (0.5-0.8) had an MAIS of 6. Sixty-nine percent (67.9-69.5) of hospitalized PTW users had ISS scores in the 1 to 8 range; 20% (19.5-20.9) had ISS scores ranging from 9 to 15; 4% (3.6-4.3) ranged from 16 to 24; and 3.7% (3.4 to 4.1) ranged from 25 to 75. Only around 3.0% of the cases had unspecified ISS values.

Of the 12,797 PTW users 14 years old or older who were discharged alive, 7,561 had injury codes specific enough to be matched to a predicted Functional Capacity Index, pFCI-AIS98, value. The distributions of injury severity and body region were similar between the cases for which a pFCI value could be determined and those for which a pFCI value could not be determined. The only exception was AIS2 head injuries, which accounted for 1.7% of the cases for which a pFCI could be determined, and 19% of the cases for which a pFCI value could not be determined. Of the individuals for which a pFCI value could be determined, 53.6% (52.5-54.8) were expected to be fully functional and well one year after the injury; the remaining 46.4% were expected to exhibit varying degrees of functional limitations. Of those people that were expected to have some functional limitation after one year, the average pFCI-AIS score was 84 (84.0-84.6), out of a perfect (no limitation) score of 100. The three body region injury classifications with the largest average losses in functional capacity score were spinal cord injuries (average pFCI of cases with limitations: 66.8: 63.9-69.8 C.I.), traumatic brain injury (72.3: 71.1-73.4) and neck injuries (73.0: 70.2-75.7) (Figure 1). The injury types with the largest predicted losses were crush injuries (66.8: 64.5-69.1), internal injuries (75.6: 74.3-76.9) and amputations (77.7: 75.5-80.0). Figure 2 presents the percentage of individuals predicted to sustain any limitations (one year post-trauma) by the body region injured and by the type of

injury sustained (shown are the worst injuries for each individual). Hip injuries and injuries to the lower extremity presented the largest percentage of individuals predicted to have some residual disability one year after the crash (almost 80% of the victims). This was followed by injuries to the upper extremity, multiple injuries, injuries to the neck, spinal cord and traumatic brain injury.

Twenty-five percent of the injuries of the admitted PTW users occurred in the head (Table 2). Of these, 3,178 individuals sustained at least one injury that could be mapped into the algorithm to determine the head injury mechanism (translational, rotational, either; Martin and Eppinger 2003). Most of these subjects (44%) exhibited only cerebral concussion, with no other head injuries reported in the top-three ICD codes. Although concussion is classified by Martin and Eppinger (2003) as a rotational head injury, the authors note that this mechanism is less than certain. Because of this uncertainty, and because of the large relative frequency of concussion injury in these data, concussion cases are presented here separate from cases of other rotational-type head injuries (Table 3). Some subjects exhibited concussion plus another rotational head injury (4.7%), concussion plus a translational head injury (0.5%), or concussion plus a head injury categorized as “either” (6.6%). For subjects that did not exhibit concussion, 9.7% (of the 3,178 head injury cases) sustained only other types of rotational head injuries; 10.7% sustained only translational head injuries; 6.2% sustained either-type head injuries; and 17.6% sustained multiple head injuries in a combination of categories (not including concussion). Among the head injuries that could be mapped to an injury mechanism, 43% were of AIS severity 3 or greater (cerebral concussions are AIS 2 injuries, and are thus not included in this group). Of these AIS3+ head injuries, 48% were associated with a translational mechanism, 37% were associated with a rotational mechanism, and 15% could be associated with either mechanism.

4. Discussion

4.1 Injury Distributions

The general injury distributions observed in this research were consistent with previous large-dataset, hospital discharge studies examining injuries to PTW users. Coben et al. (2004) studied a sample-based hospital discharge database representing approximately 30,505 motorcycle-injury patients in the U.S. in 2001. Coben and colleagues found that the most common principal diagnoses for admitted motorcycle injury patients were fractures of the lower extremity (29.4%) and fractures of the upper limb (13.1%). These findings are consistent with the injury frequency ranking presented in the current study, despite the fact that the Coben study included both on-road and off-road cases. The percentage of intracranial injuries in that study (12.3% of all principal diagnoses) was also consistent with the percentage of internal traumatic brain injuries in the current study (13.4% of all injuries: 12.9-13.8 C.I.), despite a generally lower helmet rate use in the U.S. (58% in 2007; WHO 2009). Among other factors, this may be attributable to a greater risk of on-scene mortality for non-helmeted riders suffering head injuries in the U.S. data. Massive, unsurvivable, rapidly-fatal head injuries are more likely to occur when a rider is not helmeted. Such cases are often not transported to a hospital, and thus do not appear in hospital discharge data. Instead, hospital discharge data tend to describe the distribution of potentially-survivable injuries. This is indicated by the low post-admittance mortality rates in the current study (1.5%) and in the study of Coben et al. (2%). Although lesser helmet use may increase the risk of fatal head injury in the population of the Coben et al. study, the distribution of survivable head injuries (compared to other body regions) may be similar to other populations with greater helmet use (such as that studied here).

The injury distributions observed here are also consistent with the smaller European hospital discharge study of Latorre et al. (2002). Hospital data from two large Italian cities (Rome and Naples) were collected during six months in 1999, aiming specifically to analyze the frequency of head injuries. Included in the study were injured PTW users between 14 and 35 years old that had been admitted to the Emergency Department but not necessarily admitted into the hospital afterwards. A total of 736 PTW-injury patients were analyzed. Most of the injuries occurred in the knee or lower leg (27.5%), followed by the head (17.5%), elbow and forearm (8.8%), wrist and hand (8.6%), shoulder and upper arm (8.4%) and ankle and foot (6.9%). Once again, the rate of head injuries in that study was roughly consistent with the overall rate of all head injuries in the current study (24.7%), despite a very low helmet use rate (12%) among the injured in the Italian data. The urban locations of those hospitals, however, may have caused an under-representation of high-speed crashes.

Fitzharris et al. (2009) analyzed hospital records of 378 injured PTW users brought to hospitals in Hyderabad, India. That study included both patients treated at the hospital and fatalities who were brought to the hospital post-mortem. In contrast to the current study (and the other hospital studies described above), open wounds and superficial injuries to the head were the most common injury (69.3%), followed by injuries to the upper extremity (27%), and the lower extremity (24%). Only 19.6% of the case subjects had worn their helmet correctly, and failure to wear a helmet was associated with a five times greater risk of intracranial injury (risk ratio 4.99, 95% CI 1.23–20.1). Of the 19 pre-hospital deaths, 16 (84%) had not worn a helmet (Fitzharris et al. 2009). Similarly, Zettas et al. (1979) analyzed data from 260 hospital admissions of motorcyclists in the Fresno County, California, over a period of time of 4.5 years – also

including roadside deaths and deaths on arrival. Head injury occurred in 31% of those patients and 54% of the patients sustained major long bone fractures.

The current study also observed very few cervical spine injuries, with c-spine fractures representing just 10% of the total vertebral fractures and 0.36% of the total injuries. This is also consistent with previous studies. In a review of the literature, Hinds et al. (2007) observed that most studies reported that damage to the thoracic spine was more common than damage to the cervical spine in motorcyclists. Similarly, in their study of 260 admissions of injured motorcyclists in a region of California, Zettas et al. (1979) found only 1 case exhibiting a cervical spine fracture. In a study of 1,121 injured motorcyclists in the UK (1993-2000), Robertson et al. (2002) found cervical spine injury in 1.96% of the cases. It should be noted that the frequency metric used by Robertson et al. (percent of cases with a c-spine injury) is not directly comparable to the frequency metric used in the current study (percent of all injuries that were c-spine injuries). Differences in study selection criteria may also have caused the Robertson study to tend towards more severe cases. The current study included all patients admitted to a hospital (for any length of time), whereas the Robertson study included only patients that were admitted for >72 hours, were admitted to a high-dependency unit, or died in the hospital as a result of the trauma.

4.2 Functional Disabilities

In this study, 46.4% (45.2-47.5) of the PTW-injury patients were expected to have some functional limitation as a result of their injuries at least one year post-discharge. In discussing the population-level impact of functional disability, it is important to consider not only the magnitude of the individual injuries, but also the relative frequency of the injuries in the

population. In this study, spinal cord injuries – when they occurred and when they resulted in some functional limitation – were predicted to result in the largest average loss in function per case compared to other injuries (average pFCI-98 = 66.8: 63.9-69.8). Spinal cord injuries were very rare, however (only 0.7% of the total injuries), and only 30% of the spinal cord injuries that occurred resulted in some functional limitation. In contrast, lower extremity injuries accounted for 26% of the total injuries, and of the lower extremity injury cases 80% were expected to experience some lasting disability. The overall ranking of functional disability frequency in these data (conceptually related to the injury frequency multiplied by the rate of disability per injury case) appears to follow the frequency ranking of the injury distribution. Following lower extremity injury, upper extremity injury accounted for 21% of the total injury count, and 47% of the upper extremity injury cases were expected to exhibit disability one year post-collision. Traumatic brain injury accounted for 19% of the injuries, and 24% of the TBI cases were expected to exhibit disability one year later. Of these three most frequently occurring injuries, traumatic brain injury was predicted to result in the greatest average loss in functional ability (pFCI 72.3: 71.1-73.4) in the cases that were expected to result in some functional disability. The high frequency of expected long-term disabilities from lower and upper extremity injuries suggests that future efforts aim to mitigate lower and upper extremity injuries among PTW users. The high severity and relatively high rate of expected long term disability from traumatic brain injury suggests that efforts to mitigate PTW head injury should be continued, including both surveillance and novel intervention efforts.

4.3 Head Injuries and Injury Mechanisms

Cerebral concussion was the most commonly diagnosed head injury, occurring in 56% of head injury cases. Most of these (44% of head injury cases) exhibited concussion as the only reported head injury (in the top three ICD codes), while combinations of concussion and other head injuries were reported in 11.7% of the head injury cases. While these concussions may be considered a minor injury (AIS 2) relative to other injuries that could occur, they do present a possible area for improvement.

Among the AIS3+ head injuries that could be mapped to an injury mechanism, 48% were associated with a translational-impact mechanism. Because actual helmet use was not recorded in the hospital records, it is unknown whether these injuries resulted from direct impacts of the head with a hard surface, or if they resulted from impacts padded by a helmet. In contrast, 37% of the AIS 3+ head injuries (that could be mapped to a mechanism) were of a type usually associated with a rotational mechanism. Although it is unknown whether or not these subjects were helmeted, it is also unknown the degree to which helmets protect against rotational head injuries. Current European Union helmet performance regulations are based predominantly on the mitigation of translational head acceleration in PTW collisions. Regulation 22 (ECE/ONU, 2002) includes a mandatory head-drop test procedure whereby a helmet fitted on an instrumented headform is dropped onto a rigid anvil (in various orientations). Helmet impact-attenuation performance is assessed based on the linear acceleration measured at the center of gravity of the headform (both in terms of the peak acceleration and the Head Injury Criterion, HIC). Neither this test type nor this assessment measure are designed to assess the risk of rotational traumatic brain injury.

Despite the observed prevalence of concussion, and the high frequency of rotational brain injuries, understanding the exact causes of these injuries may be more difficult than

understanding the causes of translational brain and head injury. Conceptually, translational head injuries are caused by a direct, linear impact of the head (either helmeted or not helmeted) against an object. As a result, the design of evaluation tests for translational head injury mitigation is relatively straight forward (e.g., head-form drop tests). The cause of concussion and rotational head injuries may be less obvious – they may occur from a direct impact; a padded impact; a direct eccentric head impact resulting in rapid head rotation; or from inertial mechanisms whereby the head experiences a rapid free rotation secondary to a rapid deceleration of the thorax. These may also occur from tangential forces on the helmet (e.g. from snagging or friction forces) as the helmet moves across a surface (e.g., the road). The current R22 regulation indirectly addresses this final possible mechanism, dictating peak friction and snagging forces that can occur in helmet drag/friction tests. Prior to determining interventions or evaluation tests to mitigate concussion and rotational head injuries, it is necessary to determine the mechanisms that are causing these injuries to occur. This may be best accomplished through in-depth investigations of PTW collisions. Future work should also include determining whether or not the observed higher-severity (AIS3+) translational-impact cases were, in fact, helmeted – and, if so, how we may improve helmets to prevent those injuries from occurring.

4.4 Limitations and Future Work

The major limitation of the hospital discharge data used in the current study is that it cannot be used to study on-scene fatalities. As a result, these data are of limited use in studying the distribution of injuries resulting in death. This study also did not include the set of patients that were injured, but were not admitted to a hospital. Thus, these data are best suited to the study of the range of injuries that were severe enough to require admittance to a hospital, but

were potentially survivable. It is possible, however, that differences in hospital admittance practices may introduce biases in observed injury types and severities across countries. The countries of this study do exhibit different injury-related hospitalization rates (per population; Segui-Gomez et al. 2008). It is currently unknown, however, if this is caused by differing hospital admittance practices, or if this is the result of actual differences in injury incidence. These results may also be affected by differing definitions of various injuries. While some injuries (such as long-bone fractures) are relatively well-defined, injuries that require an assessment based on personal function or subjective observation (for example, cerebral concussion) may vary by locale, by hospital, or by individual physician. Future work should include studying differences in hospital admittance practices and injury definitions across Europe, and how this may affect perceptions of injury prevention priorities.

As with most hospital discharge data, helmet use was not reported on an individual basis in the current study. As a result, it was not possible to determine the rate of helmet use in the population of injured patients studied. It was also not possible to explore the relationship between helmet use and the types of injuries observed. Previous reports have indicated, however, an overall helmet use rate of 92% or greater in at least five of the countries studied (2007 data, Table 1; WHO, 2009). Future work may include comparing these results to regions with lower helmet use rates to study the effects of helmet use on injury patterns, frequencies, and severities.

This study investigated injury patterns among PTW users of age 14 years and older. Injury patterns among younger illegal PTW drivers or patterns may be affected by age, either through differences in collision scenario, collision severity, helmet use, or because of biomechanical factors. Future work could include studying injury patterns among younger PTW users, or as a function of age in general.

The injury data presented here are representative at the population level for the four countries that reported the mechanism of injury (through the E or V codes) for most ($\geq 80\%$) of their hospital discharge cases (Table 1). There was a lower rate of proper coding in the other countries in this study, and in general in most countries throughout the world. Limited past studies have indicated that such sub-optimal coding may adversely affect the population-representative nature of such data. In a study of ICD-9-CM E codes in hospital discharges in Maryland (time period 1979-1988), Marganitt et al. (1990) found that E code absence was biased by both age and Injury Severity Score (ISS). That study did observe, however, a steady increase in the coding rate throughout the time period studied. It was postulated that E code absences were affected by the available space in record forms, and by changes in hospital reimbursement practices related to ICD-9-CM coded information. Unfortunately, to our knowledge no recent studies have investigated biases in ICD external cause coding in the time period of the current study, or in the European countries investigated here. It is possible that coding bias may exist in the three countries that exhibited relatively low coding rates – but the existence, extent, and nature of any possible bias is currently unknown. If there was bias by ISS (similar to the study of Marganitt et al. 1990), then this may affect counts of multiple-injury cases. If there was bias by injury type or body region, then this may affect our observation of injury distributions and/or predicted functional outcomes. Future work should include investigating the possibility of bias in external-cause information in modern hospital discharge coding (in Europe and elsewhere). Ultimately, this concern may be mitigated through improved coding practices at the hospital level.

Finally, the AIS, ISS, pFCI, and the head injury mechanism classifications are all descriptive measures that were determined from the ICD codes based on translational algorithms.

These are all subject to assumptions and case losses inherent to shifting between different coding criteria. For example, the severity coding of certain acute injuries can differ in different versions of the Abbreviated Injury Scale. Thus, care must be taken when comparing these results to other studies to ensure that consistent versions of the AIS code are used. In addition, while the ICD codes could be mapped to the AIS scale for 97% of the injuries, only 60% of the cases contained injury information that could be mapped to pFCI-AIS98 values. This is primarily a function of the compatibility of the injury classification systems (as opposed to being a function of inspecificity in the injury coding). There are also fundamental limitations of using acute injury data to predict functional outcomes. Some injury definitions were intentionally left out of the definition of the pFCI due to uncertainty or variability in their associated long-term outcomes. The pFCI is also intended to predict the functional losses anticipated to occur in otherwise healthy, injured adult patients. In retrospective studies such as this one, however, the study population usually includes patients outside of the specific demographic used in the development of the pFCI (for example, patients with other ages and health statuses). Ideally, such an outcome assessment would be performed in a prospective cohort study following injured patients for a period of time post-discharge. Similarly, the description of the head injury mechanisms is predicated on assumed associations between specific injuries and their causes. Ideally, an investigation of head injury mechanisms would be complemented with a large number of in-depth investigations of PTW collisions.

5. Conclusions

This study examined the second largest collection of hospital discharge data for PTW users ever gathered, and the largest ever gathered for countries in Europe. Based on previous data, at least five of the eight countries studied tended to exhibit very high (>90%) overall helmet use

rates (WHO 2009). Lower extremity injuries were the most common injuries observed, followed by upper extremity injuries and traumatic brain injuries. In addition to being the most common injury, 80% of the lower extremity injury cases were expected to have some functional disability one year post-collision (compared to 47% of upper extremity injury cases and 24% of TBI cases). Although it occurred less frequently, patients that were expected to experience some functional limitation from TBI were predicted to fair worse (lose more functional ability) than patients with functional limitations from upper extremity or lower extremity injuries. Overall, the hospitalized PTW users of this study were predicted to exhibit a disability rate (some functional limitation one year post-trauma) nearly double that previously reported for passenger car occupants hospitalized following collisions.

Cerebral concussion was the most common head injury observed (occurring in 56% of head injury cases), with most concussion cases (78%) exhibiting no other head injury (in the top three ICD codes reported). Among AIS3+ head injuries that could be mapped to an injury mechanism, 48% of these were associated with a translational-impact mechanism, and 37% were associated with a rotational mechanism. This predominance of concussion, and high frequency of rotational head injuries, provides direction for next phase of head protection among PTW users. The exact mechanism of these concussions remains unknown, however, and neither current helmet performance standards nor current injury criteria are designed to assess the risk of rotational head injuries in collisions. Even with near universal helmet use, these injuries are likely to persist until they are specifically addressed. The development of intervention strategies for concussion and rotational head injuries should begin with in-depth study to determine the exact causes of these injuries (and the situations in which they occur).

Finally, both the high rates of predicted disability from upper and lower extremity injuries suggest a need for a fundamental re-examination of the current and future priorities for reducing the societal burden of PTW user injuries. Lower and upper extremity injuries account for the highest frequency of disability resulting from PTW collisions, despite being traditionally marginalized (in terms of research focus) in favor of more life-threatening injuries. The recent shift towards increasing PTW use has the potential to result in a generation with lasting disabilities, unless specific efforts are made to mitigate upper and lower extremity injuries in PTW collisions.

Acknowledgements

The authors would like to acknowledge the assistance of the staffs of the European Center for Injury Prevention and the University of Virginia Center for Applied Biomechanics. This manuscript was prepared in part with support from a Whitaker International Scholars Grant.

References

AAAM, 1998. The Abbreviated Injury Severity Scale, AIS, 1990 update 1998. Association for the Advancement of Automotive Medicine.

AAAM, 2008. The Abbreviated Injury Severity Scale, AIS, 2005 update 2008. Association for the Advancement of Automotive Medicine, Barrington IL.

ACEM, Association des Constructeurs Europeens de Motocycles, 2009. MAIDS In-depth investigations of accidents involving powered two wheelers, Final Report 2.0. Brussels.

Arbogast, K.B., Jermakian, J.S., Ghali, Y., Smith, R., Maltese, M.R., Menon, R.A., 2005. Predictors and patterns of pediatric head injury in motor vehicle crashes. Proceedings of the International Research Council on the Biomechanics of Impact, Prague, Czech Republic.

Arregui-Dalmases, C., Lopez-Valdes, F.J., Segui-Gomez, M., 2010. Pedestrian injuries in eight European countries: an analysis of hospital discharge data. *Accid. Anal. Prev.* 42:4, 1164-1171.

Baker, S.P., O'Neill, B., Haddon, W. Jr, Long, J.B., 1974. The injury severity score: a method for describing patients with multiple injuries and evaluating emergency care. *J.Trauma* 14, 187-196.

Barell, V., Aharonson-Daniel, L., Fingerhut, L.A., Mackenzie, E.J., Ziv, A., Boyko, V., et al., 2002. An introduction to the Barell body region by nature of injury diagnosis matrix, *Inj.Prev.* 8, 91-96.

Barnes, J., Morris, A., 2009. A study of impairing injuries in real world crashes using the Injury Impairment Scale (IIS) and the predicted Functional Capacity Index (pFCI-AIS). *Annals of Advances in Automotive Medicine* 53, 195-205.

Center for Injury Research and Policy of the Johns Hopkins University School of Public Health and Trianalytics, Inc., 1998. ICDMAP-90: A program to map ICD-9-CM diagnoses into AIS and ISS severity scores.

Coben, J.H., Steiner, C.A., Owens, P., 2004. Motorcycle-related hospitalizations in the United States, 2001. *Am J Prev Med* 27(5), 355–362.

ECE/ONU Regulation 22 rev. 5., 2002. Uniform provisions concerning the approval of protective helmets and of their visors for drivers and passengers of motorcycles and mopeds.

European Center for Injury Prevention at Universidad de Navarra, 2008. Algorithm to estimate the type of forces related to brain injury using AIS98, 1.0 Stata.

European Center for Injury Prevention at Universidad de Navarra, 2007a. Algorithm to calculate the Barell matrix with ICD-9-CM diagnostic codes, 1.0 Stata.

European Center for Injury Prevention at Universidad de Navarra, 2007b. Algorithm to calculate the Barell matrix with the ICD-10 diagnostic codes, 1.0 Stata.

European Center for Injury Prevention at Universidad de Navarra, 2007c. Algorithm to calculate the Functional Capacity Index (version 2.0) using AIS98, 1.0 Stata.

European Center for Injury Prevention at Universidad de Navarra, 2007d. Algorithm to translate ICD-10 codes into AIS98 codes, 1.0 Stata. Available for download: http://www.unav.es/ecip/english/products_pag6.html, December 2010.

EuroStat. Available: <http://epp.eurostat.ec.europa.eu/portal/page/portal/eurostat/home/>. European Commission, Brussels.

Gennarelli, T.A., 1993. Mechanisms of brain injury. *J. Emergency Medicine* 11. 5-11.

Fingerhut, L.A., Warner, M., 2006. The ICD-10 injury mortality diagnosis matrix. *Inj. Prev.* 12:1, 24-29.

Fitzharris, M., Dandona, R., Anil Kumar, G., Dandona, L., 2009. Crash characteristics and patterns of injury among hospitalized motorised two-wheeled vehicle in urban India. *BMC Public Health* 9, 11.

Hinds, J.D., Allen, G., Morris, C.G., 2007. Trauma and motorcyclists: born to be wild, bound to be injured? *Injury* 38:10, 1131-1138.

Latorre, G., Bertazzoni, G., Zotta, D., Van Beeck, E., Ricciardi, G., 2002. Epidemiology of accidents among users of two-wheeled motor vehicles. *European Journal of Public Health* 12, 99-103.

Liu, BC., Ivers, R., Norton, R., Boufous, S., Blows, S., Lo SK., 2009. Helmets for preventing injury in motorcycle riders (Review). *Cochrane Database of Systematic Reviews* 1. Art. No.: CD004333. DOI: 10.1002/14651858.CD004333.pub3.

MacKenzie, E.J., Steinwachs, D.M., Shankar, B.S., Turney, S.Z., 1986. An ICD-9CM to AIS conversion table; development and application. *American Association for Automotive Medicine, 30th Annual Proceedings, October 6-8, Montreal, Quebec*, pp. 135-151.

MacKenzie, E.J., Steinwachs, D.M., Shankar, B.S., 1989. Classifying trauma severity based on hospital discharge diagnoses. Validation of an ICD-9CM to AIS-85 conversion table. *Med. Care* 27(4), 412-22.

MacKenzie, E.J., Damiano, A., Miller, T., Luchter, S., 1996. The development of the Functional Capacity Index. *J. Trauma* 41(5), 799-807.

MacKenzie, E.J., Sacco, W.J., Luchter, S., Ditunno, J.F., Forrester Staz, C., Gruen, G.S., Marion, D.W., Schwab, W.C., 2002. Validating the Functional Capacity Index as a measure of outcome following blunt multiple trauma. *Quality of Life Research* 11, 797-808.

Marganitt, B., MacKenzie, E.J., Smith, G.S., Damiano, A.M., 1990. Coding external causes of injury (E-codes) in Maryland hospital discharges 1979-88: a statewide study to explore the uncoded population. *Am. J. Public Health* 10(12), 1463-1466.

Martin, P. Eppinger, R., 2003. Incidence of head injuries attributable to rotation. *Proc. 31st International Workshop on Injury Biomechanics Research*.

Monk, J.P., Buckley, R., Dyer, D., 2009. Motorcycle-related trauma in Alberta: a sad and expensive story. *Can. J. Surg.* 52(6), 235-240.

National Center for Health Statistics (NCHS). International Classification of Diseases v.9, Clinical Modification (ICD-9-CM).

Robertson, A., Branfoot, T., Barlow, I.F., Giannoudis, P.V., 2002. Spinal injury patterns resulting from car and motorcycle accidents. *Spine* 27:24, 2825-2830.

SafetyNet, 2009. Powered Two Wheelers. Available at http://ec.europa.eu/transport/road_safety/ (retrieved 07/12/2010).

Schuller, E., Beier, G., Spann, W., 1984. Effectiveness of Protective Clothing in Munich Area Motorcycle Accidents. Proceedings of the 26th Stapp Car Crash Conference, pp 259-266, Society of Automotive Engineers, Warrendale, PA.

Segui-Gomez, M., Martinez-Gonzalez, M.A., de Irala, J., 2008 Injury-related hospitalizations in Europe, 2004. Peer-reviewed Report to the European Commission DG Sanco, contract 2004119 (APOLLO).

Segui-Gomez, M., Lopez-Valdes, F.J., 2007. Recognizing the importance of injury in other policy forms: the case of motorcycle licensing policy in Spain. *Injury Prevention*; 6: 429-430.

WHO (World Health Organization). (2004) World report on road traffic injury prevention: summary.

WHO (World Health Organization), 2009. Global status report on road safety: time for action.

WHO (World Health Organization), 1992. International Classification of Diseases v.10 (ICD-10).

Zettas, J.P., 1979. Injury patterns in motorcycle accidents. *J. Trauma* 19:11, 833-836.

Figure Captions

Figure 1. Mean (and 95% CI) Predicted Functional Capacity Index scores (pFCI, based on AIS98) of hospitalized PTW users discharged alive who were expected to have some functional limitation one year post discharge (pFCI-AIS98<100), by body region and type of injury. A score of 100 indicates no loss of functional ability; a score of 0 indicates a complete loss of functional ability. Eight European countries (BG, HU, NL, NO, PT, SI, ES, SE), 2004. (N=4053 subjects 14 years old or older, average pFCI-AIS98=84).

Figure 2. Percentage (and 95% CI) of hospitalized PTW users discharged alive who were expected to have some functional limitation one year post discharge, according to the Predicted Functional Capacity Index based on AIS98 scores by body region and type of injury. Eight European countries (BG, HU, NL, NO, PT, SI, ES, SE), 2004. (N=12,797 subjects 14 years old or older, average p(pFCI-AIS)<100= 46%).

Tables

Table 1. 2004 injury-related hospital discharge data by country (N=88.2 million inhabitants 14 years old or older, 1 January 2005; EuroStat)

	<i>Overall PTW Helmet Use Rate (2007 data; WHO 2009)</i>	<i>Injury Hospitalization counts (all external causes, excluding readmissions)</i>	<i>% discharges with external cause of injury information</i>	<i>Discharges identified as PTW user</i>	<i>Age-adjusted PTW user hospitalization rates (per 100.000 pop)</i>	<i>PTW users dead during hospitali- zation</i>
Bulgaria	NR ^a	40,591	14.5	46	NC ^b	1
Hungary	95%	130,417	88.8	1,990	23.0	10
Netherlands	92%	119,437	100.0	2,279	17.0	28
Norway	100%	103,789	16.8	493	NC	10
Portugal	NR	77,748	99.7	1,603	17.82	50
Slovenia	NR	29,587	87.5	662	38.19	2
Spain	98%	310,872	44.8	3,403	NC	83
Sweden	95%	164,655	77.7	2,518	NC	13

^a NR: Not Reported

^b NC: Not calculated because % of external cause of injury information was available in less than 80% of cases.

Table 2. Barel matrix for 12.994 hospitalized PTW users (age ≥ 14 years) in eight European countries in 2004 (BG, HU, NL, NO, PT, SI, ES, SE). Percent distribution and 95% CIs^a (N=22,438 injuries)

	Fracture	Dislocation	Internal	Open wound	Amputations	Blood Vessels	Contusion/superficial	Crush	Burns	Others	Unspecified	TOTAL
Traumatic brain injury	3.4 (3.1-3.6)	-- ^b	13.4 (12.9-13.8)	0.8 (0.6-0.9)	--	--	--	0.7 (0.6-0.8)	--	0.3 (0.2-0.4)	<0.1	18.5 (18-19)
Other head	3.6 (3.3-3.8)	<0.1	--	1.8 (1.6-1.9)	<0.1	<0.1	0.7 (0.5-0.8)	--	0	<0.1	0.2 (0.1-0.23)	6.2 (5.9-6.5)
Neck	0.1	0	--	0.1	0	--	<0.1	0	0	0.2 (0.1-0.2)	<0.1	0.4 (0.3-0.4)
Neck and head other	--	--	--	--	--	<0.1	0.7 (0.6-0.8)	<0.1	<0.1	<0.1	0.1	0.8 (0.6-0.9)
Spinal cord	0.3 (0.2-0.3)	--	0.4 (0.3-0.5)	--	--	--	--	--	--	--	--	0.7 (0.5-0.8)
Vertebral column	3.6 (3.3-3.8)	0.2 (0.1-0.3)	<0.1	--	--	0	--	--	--	0.6 (0.4-0.7)	--	4.3 (4.1-4.6)
Thorax	4.0 (3.7-4.3)	<0.1	2.9 (2.6-3.1)	<0.1	0	<0.1	0.9 (0.8-1.1)	<0.1	0	0.2 (0.1-0.3)	<0.1	8.2 (7.8-8.5)
Abdomen, pelvis, trunk and lower back	1.9 (1.7-2.1)	0.1	3.2 (3-3.5)	0.3 (0.2-0.4)	0	0.1	1.3 (1.1-1.5)	<0.1	<0.1	<0.1	0.2 (0.1-0.3)	7.2 (6.9-7.6)
Upper Extremity	15.2 (14.7-15.7)	1.9 (1.7-2.1)	--	1.1 (0.9-1.2)	0.1	0.1	1.5 (1.4-1.7)	<0.1	<0.1	0.7 (0.6-0.8)	0.1	20.7 (20.3-21.2)
Lower Extremity	20.1 (19.5-20.6)	0.7 (0.5-0.8)	--	1.6 (1.4-1.7)	0.2 (0.1-0.3)	<0.1	1.6 (1.3-1.7)	0.1	0.1	1.6 (1.4-1.8)	0.2 (0.1-0.3)	26.2 (25.6-26.7)
Hip	1.3 (1.1-1.4)	0.3 (0.2-0.4)	--	<0.1	0	--	0.3 (0.2-0.4)	<0.1	--	0.1	--	2.0 (1.8-2.2)
Multiple body regions, system wide and unspecified	0.6 (0.4-0.6)	0	<0.1	1.5 (1.3-1.6)	0	0.1	1.2 (1.1-1.4)	<0.1	0.1	0.2 (0.1-0.3)	1.1 (0.9-1.3)	4.8 (4.5-5.1)
TOTAL	53.9 (53.2-54.5)	3.2 (2.9-3.4)	19.9 (19.4-20.4)	7.1 (6.7-7.4)	0.3 (0.2-0.4)	0.3 (0.2-0.4)	8.2 (7.8-8.6)	1.0 (0.8-1.1)	0.2 (0.1-0.3)	3.9 (3.6-4.1)	1.9 (1.7-2)	100

^a Confidence intervals not calculated when n<2.

^b -- Cells for which neither ICD-9 nor ICD-10 codes exist.

Table 3. Distribution of head injury types¹, by case, for hospitalized PTW users with head injuries that were discharged alive (N=3,178 subjects 14 years old or older). Eight European countries (BG, HU, NL, NO, PT, SI, ES, SE), 2004.

Cases with Cerebral Concussion ²	
Concussion Only	44%
+ Other Rotational Injury	4.7%
+ Translational Injury	0.5%
+ Either-Type Injury	6.6%
Cases Without Concussion	
Other Rotational Injury	9.7%
Translational Injury	10.7%
Either-Type injury	6.2%
Combination	17.6%

¹ Head injury types classified based on the injury code mapping algorithm of Martin and Eppinger, 2003.

² Note that cerebral concussion is classified by Martin and Eppinger (2003) as a rotational-type head injury. Because of uncertainty of the mechanism of this injury, and the high frequency of this injury in these data, cerebral concussion is presented here separate from other injury-type classifications.

Artículo 2: Analysis of Real Crashes against Metal Roadside Barriers

- Artículo publicado en “*PLOS ONE*” en 2019.
- Referencia completa: Miguel Alejandro Fernández Temprano; Luis Ángel García Escudero; Aquilino Molinero Martínez. PLOS ONE. Analysis of real crashes against metal roadside barriers // <https://journals.plos.org/plosone/article/comments?id=10.1371/journal.pone.0211674>.
- Recibido: 29 Junio 2018 / Aceptado: 20 Enero 2019 / Publicado: 4 Febrero 2019.
- Índice de impacto: Journal Citation Reports (JCR) igual a 2,740 (año 2019-2020) con un cuartil igual a Q2.
- Base de indexación: WOS: Web Of Science.

RESEARCH ARTICLE

Analysis of Real Crashes against Metal Roadside Barriers

Miguel Fernández^{1*}, Luis Ángel García Escudero¹, Aquilino Molinero Martínez²

¹ IMUVA – Departamento de Estadística e Investigación Operativa. Universidad de Valladolid. Valladolid. Spain.

² Departamento de Ingeniería Energética y Fluidomecánica. Escuela de Ingenierías Industriales. Universidad de Valladolid. Valladolid. Spain.

* Corresponding author:

E-mail Miguel Fernández (MF): miguelaf@eio.uva.es

Abstract

Objective

Metal Road Safety Barriers (MRSB) are one of the devices implemented in roadsides to mitigate the consequences of run-off crashes. In Europe, they have to meet the requirements of the European Standard EN-1317-2. This article analyzes a set of run-off crashes against MRSB, for which an in-depth investigation has been performed, comparing them with the standard tests. It has been observed that in many of these real crashes, the barriers have not worked properly in spite of having passed these standard tests. This paper demonstrates which variables may be responsible for this, with the objective of helping to improve the current test standard through the analysis of new test variables.

Methods

Multidimensional Scaling, a dimension reduction multivariate statistical technique, has been used to better understand how real crashes compare to standard tests, using several impact variables at the same time. Then, a statistical analysis has been developed to show the influence of the *“Relative orientation impact angle”* on the performance of the MRSB.

Results

Most of the real crashes analyzed are close to “TB11” and “TB32” standard tests. In many of these real crashes, the *“Relative orientation impact angle”* is very different from the *“Impact angle”*, and in these situations, the vehicle is not safely redirected to the road concerning the so-called *“Exit-Box”*.

Conclusions

MRSB are not working properly in some situations that are not far from the standard tests. To handle this, it could be interesting to include the *“Relative orientation impact angle”* as a control variable in new versions of the EN-1317-2 tests to guarantee the behavior of the MRSB. These results can help to adapt some test variables from the EN-1317-2 to what is happening in crashes.

Introduction

Although around 1.25 million people die yearly on the roads, traffic crashes are predictable, preventable and, in particular, can be mitigated [1]. In most countries around the world, about 30% of all road fatalities are single vehicle crashes [2], where one vehicle leaves the road and strikes a rigid object, rolls over or goes down a steep slope. Statistics illustrate the fact that when it comes to crash severity, run-off-road crashes are an important subset of crashes worldwide and crashes resulting from lane departure constitute a high proportion of severe or fatal crashes. For instance, the average fatality rate for this type of crashes accounted for approximately 1/3 of road deaths in the European Union [3, 4] or 53% of all fatal crashes in the United States [5]. With the aim of mitigating the possible consequences of these single vehicle crashes, Road Restraint Systems (RRS) are installed in roadsides as they are one of the most efficient road infrastructure solutions. For example, the installation of a median barrier on a single carriage way in Israel resulted in a 23% estimated reduction of impacts and 50% estimated reduction in injuries [6], or the existence of RRS may reduce fatalities by a factor of four in France [6], of five in Belgium [6], or of three in some European studies [6] when compared to collisions against other road obstacles.

An RRS is generally a collapsible or sliding structure that, through its deformation or displacement, absorbs part or all of the energy of a vehicle that hits it, and afterwards redirects and/or stops it safely. There are several types of RRS: Road Safety Barriers (RSB), (the most common systems in roads, these are placed along the roadside or on the central reservation with the role of preventing errant vehicles from crashing into roadside obstacles, and to retain them safely), crash cushions, terminals for RSB, motorcycle protection systems and transitions between two RSB [6]. Each of these RRS has to comply with several safety requirements defined in different standards (EN-1317-2 [7] in the European Union (EU) or MASH [8] in the United States of America (USA)) which assess the behavior of the RRS during the impact of a vehicle. This is why crash tests are performed in the standards. The crash conditions established by the standard tests are settled to guarantee the conventional levels of (passive) safety at roadsides, considering the “state-of-the-art” of crash-testing technology, the repeatability of the tests and, of course, the need to assess reliable safety features.

With the aim of improving the “state-of-the-art” in run-off crashes against the most common RRS, metal road safety barriers (MRSB), this article shows information gathered during 12 in-depth crash investigations. In all of them,

crash variables (speed impact, impact angle, total weight, vehicle type,...) have been analyzed using reconstruction techniques and compared with test impact requirements defined in one of these specific standards (EN-1317-2), with the objective of helping to improve this current test standard - (or even other similar standards) and helping to prevent injuries in crashes.

Materials and methods

Data

Information analyzed in this article comes from two sources:

1. - EN-1317-2 test impact requirements

To implement RRS on roads within the European Union (EU), these systems must meet the requirements of the European Standard EN-1317. In the case of MRSB, which are the most common RRS, EN-1317-2 defines the impact tests to be carried out for assessing them once a vehicle impacts against them. These definitions include the vehicle type to be used - passenger cars, heavy goods vehicles or buses - and how to evaluate whether the impact against these barriers can be considered as “safe” or not based on bio-mechanical parameters measured with sensors and on the deformation of the barrier after the impact. The first part of Table 1 shows the tests detailed in EN-1317-2 to be carried out only with passenger cars (which is the most common vehicle on roads and the one considered in this study). The combination of these tests will be used to give the so-called “*containment level*” to an MRSB. For example, the most common containment level on roads is the “N2 level”, which means that the MRSB complies with tests TB32 and TB11, so this MRSB should be able to contain a passenger car weighing 1,500 kg at 110 Km/h and a passenger car weighing 900 kg at 100 Km/h. This level is what is needed on most non-urban roads.

Table 1. (First part) Impact tests for MRSB taking into account passenger car impacts based on standard EN-1317-2 [7] and (second part) characteristics of real crashes analyzed in this study.

Test or Crash number	Impact speed (km/h) (V1)	Impact angle (degrees) (V2)	Total vehicle mass (kg) (V3)	Lateral Kinetic Energy (kJ) (V4)
Test TB11	100	20	900	40.6
Test TB21	80	8	1,300	6.2
Test TB22	80	15	1,300	21.5
Test TB31	80	20	1,500	43.3

Test TB32	110	20	1,500	81.9
Crash 1	103	16	1,100	34.2
Crash 2	115	21	1,340	87.8
Crash 3	119	15	955	34.9
Crash 4	95	23	1,040	55.3
Crash 5	119	22	1,625	124.6
Crash 6	105	20	1,400	69.7
Crash 7	95	16	1,445	38.2
Crash 8	114	17	985	42.2
Crash 9	105	12	890	16.4
Crash 10	102	25	1,300	93.1
Crash 11	84	11	1,255	12.4
Crash 12	125	20	1,420	100.1

2. - In-depth crash investigations

The collection of data, investigation, reconstruction and analysis of each one of the 12 run-off crashes against an “N2 level” MRSB included in this article has been carried out by a special team of crash research experts since 2010 in the Spanish province of Valladolid. All these crashes are single vehicle crashes, involved injured people (otherwise the police did not report them to us), happened on any type of non-urban road (belonging to national, regional or provincial road administrations), and were analyzed after the expert accident research team had received the notification of the crash from the police, moved immediately to the scene and gathered all the necessary data for the reconstruction (*scene*: sketches, prints, vestiges, interviews of non-injured occupants and witnesses; *vehicle*: type, dimensions, weight, deformations, intrusions, ...; and specially information concerning the *metal barrier*: type, dimensions, deformations, contact points,...). These types of investigations are called “*in-depth investigations*” because the special team of crash researchers gathers a lot of detailed information. They are not easy to perform since they require the collaboration of traffic police and a quick displacement of full data collection equipment at a very early stage of the crash investigation and they are economically very expensive. These are the main reasons for the low number of in-depth real crashes in this study. Future research may focus on analyzing more accidents, including not only passenger cars, but also heavy goods vehicles or buses. Fully detailed information coming from these accidents is not public (due to confidentiality reasons), but is incorporated into a private accident database for road safety studies [9-11] and this is taken as the basis for the development of new regulations.

Variables

There are two types of variables considered in this study. The first set comes from the variables considered in the crash tests (Table1), and the second one from those variables collected during the in-depth investigations. These variables are summarized in Table 2, and their definitions are detailed below.

Table 2. List of variables considered in this study based on crash tests for MRSB from standard EN-1317-2, and on in-depth investigations of real crashes.

Crash Tests Variables	In-Depth Investigation Variables
Impact speed against safety barrier	Exit Box
Impact angle	Barrier Safety
Total vehicle mass	Relative Orientation Impact Angle
Lateral kinetic energy	

The list of variables (Table 2) included in this study related to the parameters detailed in the EN-1317-2 standard and also measured in the 12 run-off crashes investigated in-depth are:

- Impact speed against safety barrier “v” (V1): Vehicle speed at the moment the vehicle impacts against the metal barrier (km/h).
- Impact angle “α” (V2): Angle between the velocity vector of the center of gravity of the vehicle and the barrier face at the moment of impact (°).
- Total vehicle mass “m” (V3): Total weight of the vehicle, including occupants and load (kg).
- Lateral kinetic energy “E” (V4): This variable is defined as:

$$E = \frac{1}{2} * m * (v * \sin \alpha)^2 \text{ (Equation 1)}$$

The EN-1317-2 standard includes an additional variable describing the type of vehicle (passenger car, bus, rigid or articulated heavy goods). Since, in this study, all crashes considered are passenger car crashes, this variable is not further considered here.

A second list of variables analyzed in this article is related to the moment just before and after the impact (either for the tests or for the crashes) to analyze the behavior of the MRSB:

- “Exit Box”: EN1317 defines this variable to consider post impact vehicle trajectories as “acceptable”. The exit box is characterized by a parallelogram whose sides are A (2.2 meters plus the width of the vehicle plus 16% of the length of the vehicle) and B (10 meters for the case of passenger cars). This parallelogram is virtually positioned from the last contact point between the vehicle and the RRS (see Fig 1).

The RRS will be “safe” if all the vehicle’s wheels cross the last line A (this means the vehicle must leave the box at a relatively low angle).

In the opposite case (the vehicle wheel tracks re-cross the line B), the barrier is considered as “not safe” (see Table 3), as well as in the cases when the vehicle has overrun the RRS.

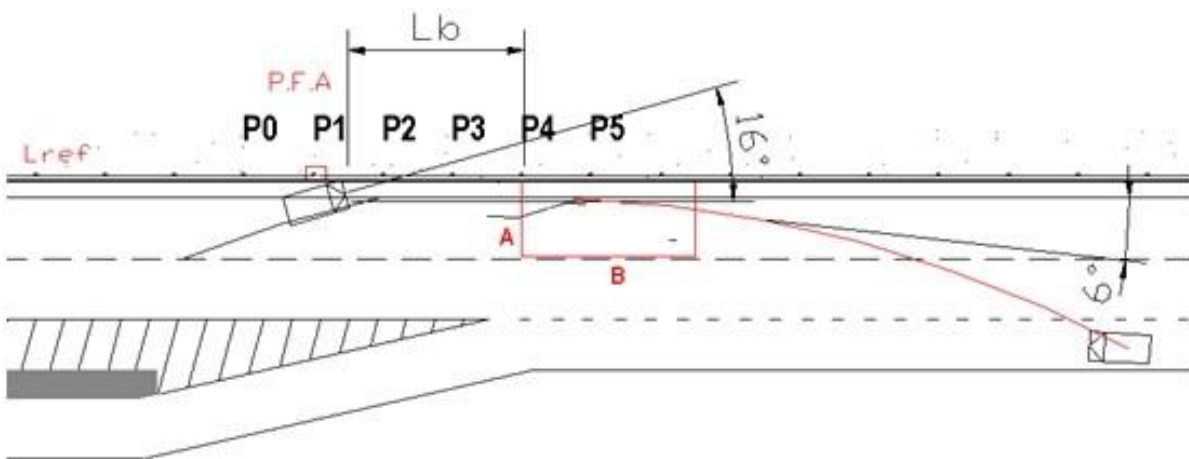


Fig 1. Exit Box in a collision in which the vehicle crashes with an impact angle of 16° , stops contacting the barrier at pole P4 with an exit angle of 6° , and crosses lateral line A of the exit box (“safe behavior”).

- “Barrier Safety”: This variable records whether the barrier has behaved in a safe way during the crash (i.e., the vehicle has not crossed the barrier and has not crossed line B of the exit box in Figure 1) or not.
- “Relative Orientation Impact Angle”: Angle between the longitudinal axis of the vehicle and the safety system at the same point of the barrier. Even though, during all the tests defined in EN-1317-2, the “*impact angles*” coincide with the “*relative orientation impact angles*”, in real crashes, this equivalence does not exist. To measure these two different angles in the scene, it is very important to distinguish correctly the vehicle prints on the carriageway and those belonging to each vehicle wheel (see Fig 2). For example, if a *relative orientation*

impact angle is equal to 146° , this would mean the vehicle was in a reverse motion before impacting the barrier, although the *impact angle* could be, for example, 23° .

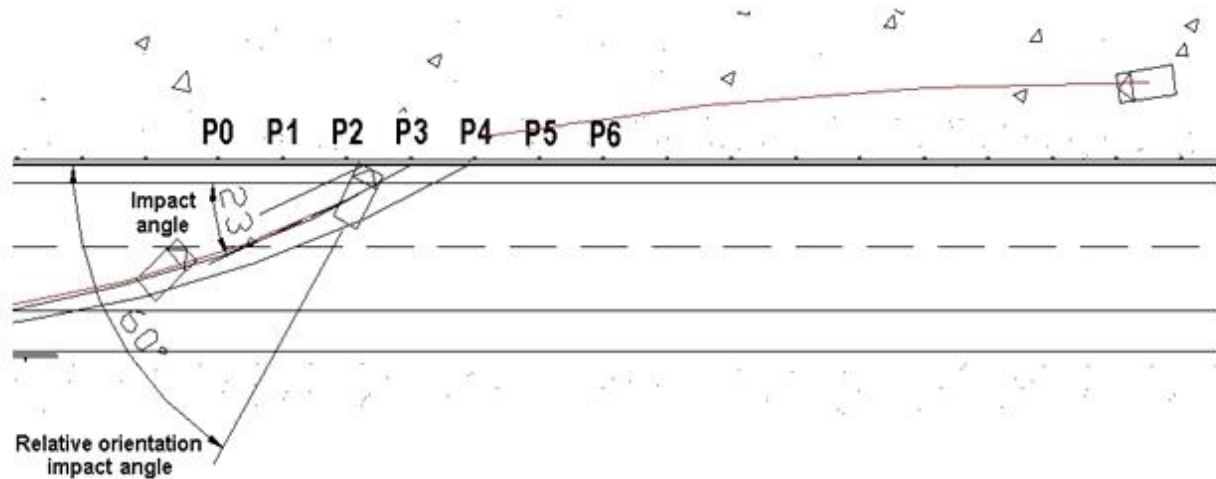


Fig 2. “*Impact angle and Relative orientation impact angle in the analysis of one of the crashes.*”

Study design and sample selection

A set of 12 run-off crashes against N2-level MRSB have been analyzed after receiving the notification of the crash from the police, moving immediately to the scene and gathering all the necessary information. These collisions took place from 2010 onwards in the Spanish province of Valladolid, outside urban areas and mainly on main roads or highways.

These have been the selection criteria for the crashes:

- Crashes with a single vehicle involved, independently of the vehicle type. As has already been mentioned, all the vehicles in the study were passenger cars.
- Run-off with later impact against a road safety barrier, irrespective of the system type. In the study, all the RRS analyzed were N2-level MRSB, which is the most common type of barrier on the roads.
- Only crashes with injured people were considered. Casualties involved in the 12 crashes were only slightly injured, except for one case where the driver sustained an intracranial injury scored as AIS 3 (using the Abbreviated Injury Scale [12]).

The analysis from these 12 run-off crashes has been compared with information coming from the standard EN 1317-2. This standard serves as the framework for the CE (Conformité Européenne) marking of road safety systems such as MRSB. In order to receive the CE marking, these road safety systems must be tested following the requirements described in this standard (variables and acceptance criteria), so they can be implemented within Europe once they have complied with this norm.

Data Analysis and Statistical Methods

1. - Analysis of the real crashes and test cases

The main objective of this study is to achieve a better insight into the behavior of vehicles during a real impact against an MRSB with the aim of helping to improve current test standards to assess, in general, RRS behavior. For this, real crashes studied in-depth have been compared with the standard tests. Although there are two standards for evaluating MRSB in the world (EN-1317-2 [7] and MASH [8]), taking into account the fact that the 12 in-depth crashes happened in Spain, the standard used to compare the real crashes and the configuration standard tests has been the European one, EN-1317-2. As the investigations of real crashes have been carried out specifically for passenger cars, the relevant test configurations to be considered in this study are TB11, TB21, TB22, TB31 and TB32 (see Table 1).

The statistical method used for this comparison is the so-called Multidimensional Scaling (MDS [13]), which is a way of visualizing the level of similarity of individual cases in a dataset. It is a form of non-linear dimensionality reduction. An MDS algorithm aims to place each object in D-dimensional space such that the between-object distances are preserved as nearly as possible. Each object is then assigned coordinates in each of the D dimensions. The number of dimensions of an MDS plot D can exceed 2 and is specified a priori. Choosing $D = 2$ optimize the object locations for a two-dimensional scatterplot. In this application, the method tries to find the structure of a set of distance measurements between different cases (between crash cases and test cases). This is possible by the allocation of the crash and test observations to specific positions in a conceptual space (usually two or three dimensions). The dimensions of this conceptual space are sometimes interpretable and can be used to better understand the data. An interesting advantage of the use of Multidimensional Scaling (MDS), with respect

to other possible approaches, is that it can be generally applied to cases even where only distances between crashes are available. Therefore, many distances (based on numerical, ordinal or even categorical variables) can be also applied if needed.

In this study, the initial data belong to a four dimension space (original space), as the four variables used for the comparison are: Impact speed (“v” or V1), Impact angle (“α” or V2), Total vehicle mass (“m” or V3) and Lateral Kinetic Energy (“E” or V4). Starting from the Euclidean distance $d(ij)$ defined in that four dimension space between

two crashes ‘i’ and ‘j’ as $d(ij) = \sqrt{(v_i - v_j)^2 + (\alpha_i - \alpha_j)^2 + (m_i - m_j)^2 + (E_i - E_j)^2}$, the multidimensional scaling method allows us to work in a new, two dimensional space (conceptual space) with only a small loss of information, as will be seen later. In this new conceptual space, it is possible to visualize the proximity between each crash and each test in an easier way. Prior to the application of this procedure, the original data should be suitably standardized, so that the original variables can be combined independently of their measurement units and their different dispersions.

2.- Analysis of the crash dynamics

The second part of this study is focused on the analysis of the vehicle dynamics before and after the impact against the MRSB, so as to be able to explain why the MRSB can perform poorly in situations that are not far from the standard test conditions. To achieve this aim, the differences between “*Impact angle*” and “*Relative orientation impact angle*” and its relation with the safety performance of the barrier have been studied in the real crashes and the final trajectory of the vehicle after the crash (“*Exit Box*”) using descriptive and inferential statistical procedures.

Results

1. - Comparison between real crashes and test configurations proposed in the standard

To perform the MDS, the distribution free software R [14] has been used. Fig 3 shows the representation of the real crashes and test cases in the conceptual space, obtained through the application of the MDS methodology.

To understand completely the graphic, it should be noted that the cases from 1 to 12 refer to the real world crashes detailed in Table 1, while the tests are represented as TBxy.

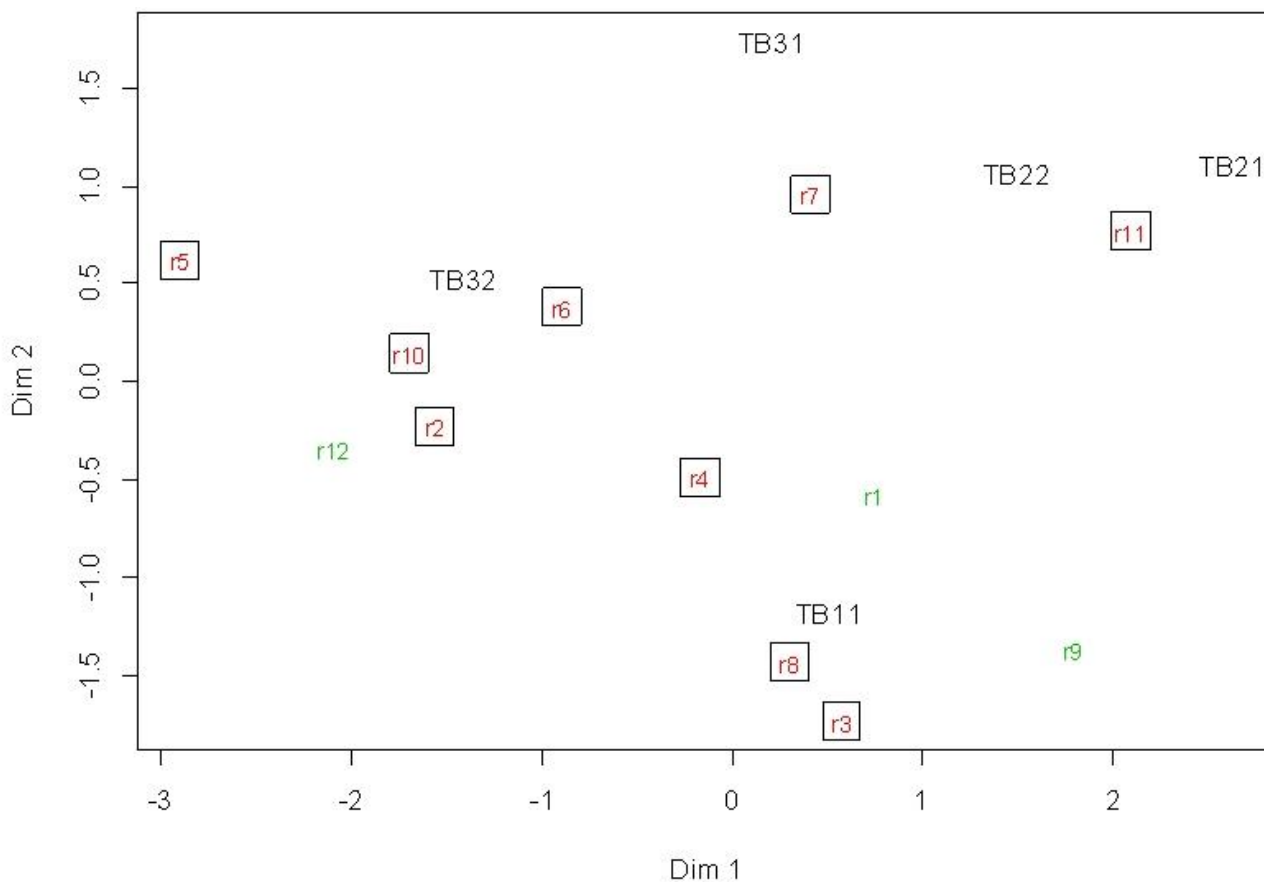


Fig 3. Representation of crashes and the tests proposed in the EN-1317-2 in the (2-dimensional) conceptual space provided by the multidimensional scaling method (MDS). In green, crashes considered as “safe” due to the behavior of the MRSB and in boxed red the crashes considered as “unsafe”.

It can be observed that most of the crashes can be assigned to the “TB11 test” (cases r1, r3, r4, r8 and r9), and “TB32” (cases r2, r5, r6, r10 and r12). Remember that these two tests are the relevant ones for the N2 containment level. There is one collision (case 7) equally close to “TB22” and “TB31” and one more equally comparable to “TB21” and “TB22” (case 11). Thus, due to the equidistance of case r7 and case r11 to their closest tests, these two crashes cannot be assigned clearly to any of them.

The axes in the plot can also be given an interpretation. It can be said that dimension 1 is mainly related to variables V2 “impact angle” and V4 “lateral kinetic energy”, as it opposes tests TB32 (on the left of the graph) and TB21 (on the right side), which are the tests with the lowest and highest values for both variables V2 and V4, respectively

(see the values for the tests in Table 1). As for dimension 2, this dimension is mainly related to variable V3 “total vehicle mass” as it opposes the tests with more than 1000 kg above the 0 value with TB11 (below the 0 value in this axis) which is the only test with a mass under 1000 kg.

It may be considered that analyzing data after reducing the number of dimensions might cause a loss of information. However, the R-squared value of the MDS procedure ($R^2=0.92$) shows that less than 8% of the information is lost by mapping the original four dimensional dataset to that conceptual two dimensional space and, therefore, the representation reflects the original distances very accurately. For this reason, there is no need to consider a higher number of dimensions to represent the distances between the original data.

2. - Relation between the absolute difference between “Impact angle” and “Relative orientation impact angle” and “Exit Box”

From the previous analysis, it can be observed (see Fig 3 and Table 3) that, although the barrier has met the EN-1317-2 standard and the real crashes are close to the standard test, the vehicle trajectory frequently crosses the lateral line B of the “Exit Box”, or the vehicle even crosses the barrier and consequently the barrier is not performing safely. For example, it can be seen that crashes r6, r10 and r2 are the closest ones to the standard “TB32” and r8 and r3 are close to “TB11”. This means that there may be additional variables not included in the tests that can play an interesting role in crashes.

Table 3 offers the values of the variables, “*Impact angle*” and “*Relative orientation impact angle*”, for the real crashes together with variables describing the safety performance of the barrier (the barrier is safe when the vehicle does not cross the barrier or the line B of the exit box). The values of the “*Impact angle*” already appeared in Table 1, but are included again in Table 3 so that they can be easily compared with the values of the “*Relative orientation impact angle*”. The full Table containing the data on the real crashes can be found in Supplementary file S1. Fig 4 shows that there does not seem to be a direct relation between safety and speed, since speed values for safe cases are intermediate between those registered for unsafe cases. On the other hand, Fig 5 exposes a possible relation between high absolute differences between the variables “*Impact angle*” and “*Relative orientation impact angle*” and the situations in which the vehicle trajectory crosses the lateral line B of the “Exit Box”, or the vehicle even crosses the barrier, as the values for the absolute difference between angles are generally lower for safe cases than for unsafe ones. We have considered absolute differences as the small sample size did not allow

to reasonably account for differences due to the orientation towards the barrier. Orientation is sure an interesting point to be further investigated when a larger sample is available.

Table 3. “Impact angle” and “Relative orientation impact angle” in the 12 in-depth analyzed real crashes.

Crash Number (r _i in Fig 3)	Impact angle (degrees)	Relative orientation impact angle (degrees)	Does the vehicle cross lateral line B of the ‘Exit Box’?	Is the Barrier safe?: 1 – Yes. 2- No, the vehicle crosses the barrier or the vehicle crosses the Exit Box (side B).
Crash 1 (r ₁)	16	16	No	1- Yes.
Crash 2 (r ₂)	21	19	Yes	2- No.
Crash 3 (r ₃)	15	146	Yes	2- No.
Crash 4 (r ₄)	23	60	Not applicable (vehicle crosses the barrier)	2- No.
Crash 5 (r ₅)	22	103	Yes	2- No.
Crash 6 (r ₆)	20	47	Not applicable (vehicle crosses the barrier)	2- No.
Crash 7 (r ₇)	16	37	Not applicable (vehicle crosses the barrier)	2- No.
Crash 8 (r ₈)	17	58	Yes	2- No.
Crash 9 (r ₉)	12	26	No	1 – Yes.
Crash 10 (r ₁₀)	25	101	Not applicable (vehicle crosses the barrier)	2- No.
Crash 11 (r ₁₁)	11	237	Yes	2- No.
Crash 12 (r ₁₂)	20	66	Not applicable (vehicle rests in the barrier)	1 – Yes.

To strengthen our conclusions, we performed two logistic regression analyses relating the response variable “*Safety*” (last column in Table 3) with “*Speed*” and the absolute difference between “*Impact angle*” and “*Relative orientation impact angle*” as explanatory variables, respectively. Logistic regression [15] is a widely used statistical technique that allows to evaluate the relationship between a response categorical variable (such as “*Safety*”) and a set of explanatory variables. The results of these analyses can be found in Table 4. Although care should be

taken due to small sample size, results in Table 4 show that absolute difference between “*Impact angle*” and “*Relative orientation impact angle*” is significant at the 0.1 level meaning that we are 90% sure that this variable has an impact on “Safety”, while this does not happen when “Speed” is considered as explanatory variable as its p-value (0.4507) is much higher than that level. Notice that this does not mean that “Speed” does not play a role in safety but that that factor is already taken into account in the standard tests so that, as the real crashes considered are not far from the tests (as the MDS analysis shows), “Speed” cannot explain further variability. On the other hand, “*Relative orientation impact angle*” is not measured in the standard tests but its absolute difference with “*Impact angle*” plays a role in safety as exposed in the results in Table 4.

Table 4. Logistic regression deviance analysis results with “Safety” as response and “Speed” and absolute difference between “Impact angle” and “Relative orientation impact angle” as explanatory variables.

Source	Df	“Speed” as explanatory		Absolute difference between “ <i>Impact angle</i> ” and “ <i>Relative orientation impact angle</i> ” as explanatory	
		Deviance	P-Value	Deviance	P-Value
Model	1	0.568984	0.4507	2.72243	0.0989
Residual	10	12.9271		10.7736	
Total (corr.)	11	13.496		13.496	

It should be remarked that prior to the analysis of any real crash, it would seem intuitive to think that, when a vehicle runs off (with a later collision against an MRSB), the “*Relative orientation impact angle*” coincides with the “*Impact angle*” (if the driver is not able to react), or is close to it. However, although the number of crashes investigated has only been 12, the analysis shows that, in most of these cases, the “*Relative orientation impact angle*” has been very different from the “*Impact angle*”. Therefore, in all these real crashes, either for one cause (run off through its lane and try to return to the carriageway after sudden maneuver with later impact against the barrier) or another (crossing from a lane to another one and running off), the final trajectory of the vehicle just at the moment of the impact was different to the relative orientation of the vehicle with regard to the barrier.

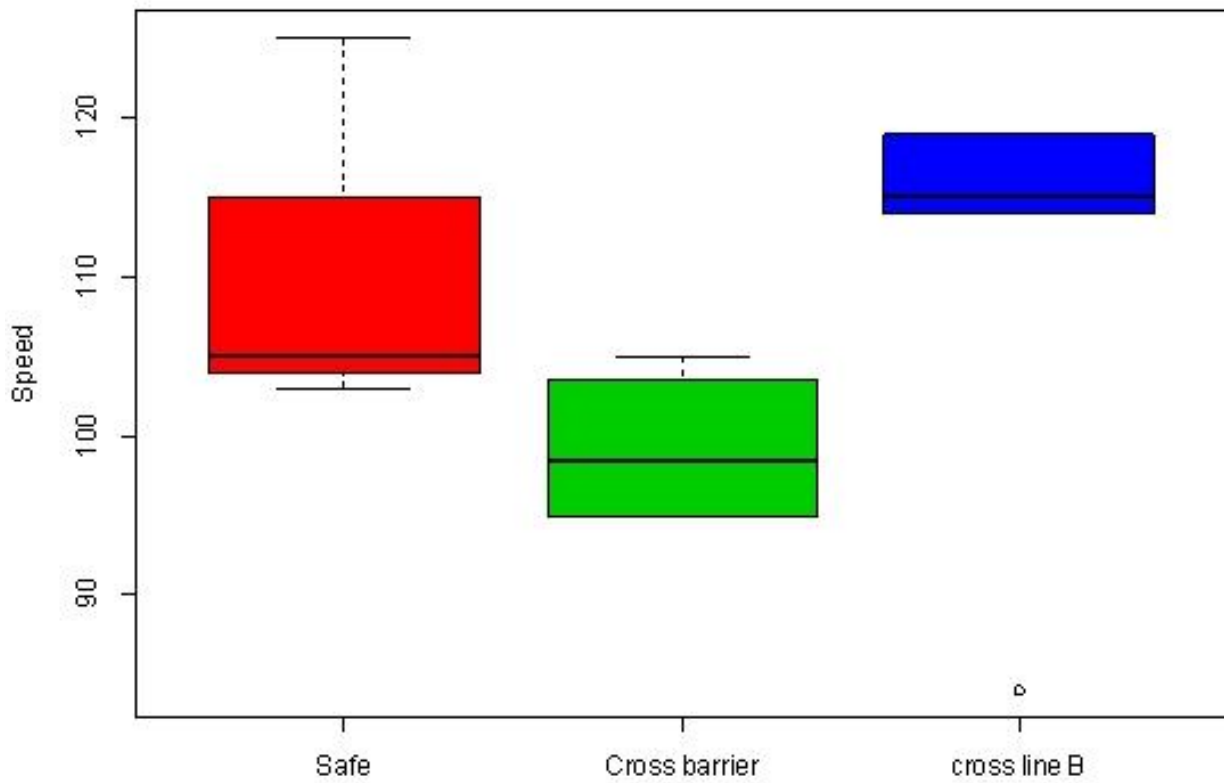


Fig 4. Multiple box-plot showing that there is not a clear direct relation between “Speed” and “Safety” since “Speed” values for “Safe” cases are intermediate between those registered for “unsafe” cases (“Cross barrier” and “cross line B”). The limits of the boxes are the quartiles of the corresponding variables.

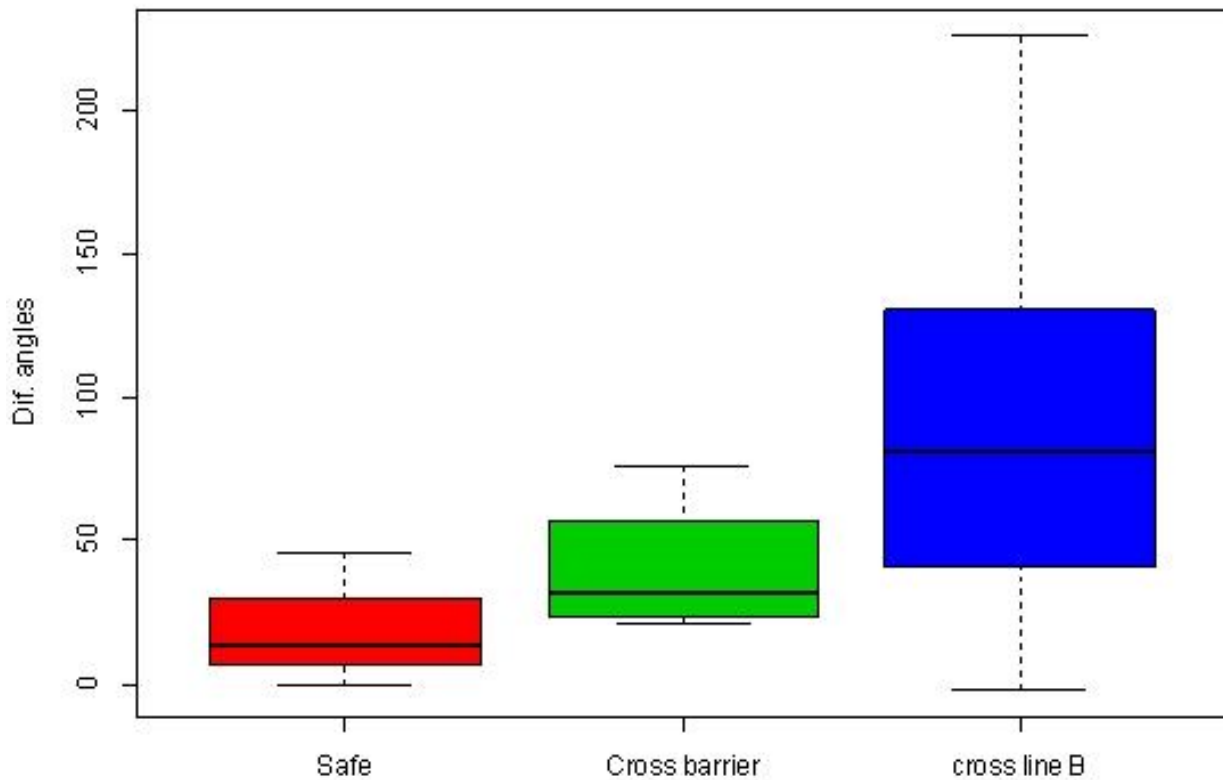


Fig 5. Multiple box-plot showing a relation between “Difference between angles” (the absolute difference between “Impact angle” and “Relative orientation impact angle”) and “Safety” as the values for “Difference between angles” are generally lower for “Safe” cases than for “Unsafe” (“Cross barrier” and “cross line B”) ones. The limits of the boxes are the quartiles of the corresponding variables.

Discussion

The use of statistical methods (MDS) allows us to better understand how close real crashes are to standard tests, using several impact variables at the same time. The collection of detailed information from real impacts can be useful, especially if these variables are treated together and compared with those coming from the tests. In this paper, it has been argued that most of the real crashes studied can be assigned to the impact tests necessary to obtain an “N2 containment level” for an RRS (meeting “TB11” and “TB32” tests). This suggests that these two types of tests are very interesting in run-off crashes, as they represent many usual real crashes.

However, although the barriers installed on the roads passed the standard tests, in many of these real cases the barriers did not properly contain the impact received. In this study, we have observed that, in many of these cases,

the variables "*Impact angle*" and "*Relative orientation impact angle*" are different, and the most important conclusion is that, in the situations in which the "*Relative orientation impact angle*" is very different from "*Impact angle*", the vehicle is not redirected into the safety area ("*Exit Box*"), and this results in an "unsafe" behavior of the MRSB. This is the main reason why, although the number of analyzed crashes in this study is low, it is suggested that it could be interesting to include "*Relative orientation impact angle*" as a variable to be controlled in new versions of the EN-1317-2 standard, or even other similar standards, with the objective of helping to prevent injuries in crashes.

In order to look for a mechanistic explanation based on vehicle dynamics for the interest of the "*Relative orientation impact angle*", notice that, if the vehicle is not rotating at the moment of the impact, the difference between the two angles is equal to zero. The tests performed on the barriers are performed under that condition. What we are finding here is that those conditions are not the ones under which most of the crashes happen, as there is usually a rotation movement in the car at the moment of impact (possibly due to the driver trying to avoid collision and redirecting the vehicle to the road). The higher the yaw rotation is, the bigger the difference between the angles is. Our results suggest that this higher difference is associated to the barrier not working properly. It may be argued that the yaw rotation might have been considered in this study, instead of the difference between the angles. However, accident reconstruction methods [16, 17] are based on measuring skid marks, vehicle positions, impact deformations (both in the infrastructure and in the vehicles) and all the vestiges that an accident researcher can assess after the accident. Even with this information, it is very difficult to obtain some velocities, such as, for instance, yaw velocities. The usual way to measure yaw rotation is to use an accelerometer in the vertical axis of the vehicle, but this instrument is not incorporated into standard vehicles.

A discussion on the low sample size considered in this article is also convenient. As already mentioned, there are two main reasons for the low number of real crashes considered in this study. The first of them is that it is not easy to perform the so-called "in-depth investigations" of crashes made here, as the data collector has to be contacted by the traffic police at a very early stage of the crash investigation and the full equipment has to move to the crash site in a very short time before skid or breaking marks disappear. The other reason is obviously economic, as the cost of this in-depth data collection is extremely high. Consequently, as we believe that our conclusions may be of help to prevent injuries, we consider that the results set out in this study are valuable enough to be reported in

spite of the sample size, as it might take a long time to be able to achieve a sample size large enough to be able to consider other methods and there is no guarantee that there would be enough money in the future to do so.

In any case, we would like to stress that our intention is to carry on collecting these in-depth data, not only to apply our MDS methodology with a higher number of cases, but also to be able to reinforce the conclusions obtained with the inferential techniques (logistic regression) that we have considered in this study and to consider other possibly interesting questions such as, for example, the orientation of the vehicle towards the barrier.

Notice also that, in this study, we have only considered run-off crashes with passenger cars involved. It would obviously be interesting to consider other types of vehicles (buses, heavy goods vehicles...). An increased number of cases would also allow us to obtain results for the rest of vehicle types. One advantage of the study presented in this article is that the multidimensional scaling methodology considered here can be used without any change to easily incorporate these other crashes into the analysis.

Conclusions

While the conditions under which the standard tests are performed to assess the impact behavior of MRSB may be close to those of real crashes, we have seen that the set of variables considered for the tests seem not to be complete enough to properly describe the real situations, resulting in an unsafe impact behavior of the road safety barriers. The set of real crashes analyzed here suggests that it could be interesting to include the “*Relative orientation impact angle*” as a variable to be controlled in new versions of the EN-1317-2 standard, with the objective of helping to prevent injuries in run-off road crashes.

The need to enlarge the real accident data set is also clear, so as to be able to consider other inferential methods that may allow stronger statistical significance to be achieved for the conclusions. This larger sample size, that will be neither easy nor cheap to obtain, would also allow the multivariate methodology used here to be extended to crashes where other vehicles, apart from passenger cars, are involved. We also expect this larger sample size to reinforce the conclusions obtained here which, in our opinion, if taken into account, may be of help in preventing injuries in future crashes.

Author Contributions

Conceptualization: Miguel A. Fernández, Luis Ángel García-Escudero, Aquilino Molinero.

Data curation: Aquilino Molinero.

Formal analysis: Miguel A. Fernández, Luis Ángel García-Escudero, Aquilino Molinero.

Investigation: Miguel A. Fernández, Luis Ángel García-Escudero, Aquilino Molinero.

Methodology: Miguel A. Fernández, Luis Ángel García-Escudero.

Software: Aquilino Molinero.

Supervision: Miguel A. Fernández, Luis Ángel García-Escudero.

Validation: Miguel A. Fernández, Luis Ángel García-Escudero.

Visualization: Aquilino Molinero.

Writing – original draft: Miguel A. Fernández, Luis Ángel García-Escudero, Aquilino Molinero.

Writing – review & editing: Miguel A. Fernández, Luis Ángel García-Escudero, Aquilino Molinero.

Acknowledgements

The authors are thankful to the Traffic Police of the Spanish province of Valladolid for notifying them of the occurrence of this type of run-off crashes with the aim of being analyzed in an in-depth way. The authors also thank the editor and three anonymous reviewers for their useful suggestions that led to this much improved version of the paper.

References

- 1 World Health Organization. *Global status report on road safety 2015*. WHO, 2017.
Available: http://www.who.int/violence_injury_prevention/road_safety_status/2015/en/
- 2 International Road Federation. *Cost Effective Roadside Safety Countermeasures*. IRF, USA, 2016.
Available: <https://www.irf.global/event/webinar-low-cost-effective-roadside-safety-countermeasures/>

- 3 European Commission. *Annual Accident Report 2015*. European Road Safety Observatory, EC, Brussels, 2016.
Available: http://ec.europa.eu/transport/road_safety/specialist/statistics_en
- 4 PIN Flash Report 32 (2017). *Reducing deaths in single vehicle collisions*. European Transport Safety Council.
Available: https://etsc.eu/wp-content/uploads/PIN_FLASH32-FINAL.pdf
- 5 Edwards, C., Morris, N., and Manser, M (2013). *A Pilot Study on Mitigating Run-Off-Road Crashes*. Department of Mechanical Engineering University of Minnesota, USA.
Available: <https://www.infrastructureusa.org/wp-content/uploads/2013/08/Mitigating-ROR-Crashes.pdf>
- 6 European Road Federation. *RRS Road Safety Website*. European Union. Brussels, 2016.
Available: <http://www.rrs.erf.be/>
- 7 European Committee for Standardization. *EUROPEAN STANDARD EN 1317-2 Road restraint systems - Part 2: Performance classes, impact test acceptance criteria and test methods for safety barriers including vehicle parapets*. Brussels, 2010.
- 8 Federal Highway of Transportation. *MASH: Manual for Assessing Safety Hardware*. U.S. Department of Transportation. Washington, 2011.
- 9 Molinero, A. et al (2008). *Road users and accident causation. Part 3: Summary report. European Project Project No. FP6-2004-IST-4 027763*. European Commission, Brussels.
Available: <http://www.trace-project.org/publication/archives/trace-wp1-d1-3-v4.pdf>
- 10 Molinero, A, Margaritis, D., Gelau, C., Martín, O., Perandones, J. M., Pedrero, D. (2009). *Characteristics of Powered Two Wheelers Accidents susceptible to be Avoided and Minimized through ADAS and IVIS implementation*. Proceedings of the 21st International Technical Conference on the Enhanced Safety of Vehicles, Paper No 09-0543. Germany.
- 11 Molinero, A. (2009). APROSYS SP4 Final report for the work on “Motorcyclist Accidents” (SP4). Deliverable report AP-SP90-0004. European Commission, Brussels.
Available: http://www.transport-research.info/sites/default/files/project/documents/20120313_144753_24930_Final%20SP4%20report%20AP-90-0004.pdf
- 12 Association for the Advancement of Automotive Medicine (AAAM). *Abbreviated Injury Scale (AIS 2015)*. Chicago, USA.
Available: <https://www.aaam.org/abbreviated-injury-scale-ais/>

- 13 Cox, T.F. and Cox, M.A.A. (2001). *Multidimensional Scaling*. Chapman & Hall/CRC, Boca Raton, FL.
- 14 R Development Core Team (2018). *R: A language and environment for statistical computing*. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. Available: <http://www.R-project.org>
- 15 Kleinbaum, D. G. (1994). *Logistic Regression. A Self-Learning Text*. Springer-Verlag, New York, NY.
- 16 Steffan, H (2009). Accident reconstruction methods, *Vehicle System Dynamics*, Vol. 47:8, pp. 1049-1073.
- 17 Cesvimap (2019). *Manual de reconstrucción de Accidentes de Tráfico*. Ed.: Centro de Experimentación y Seguridad Vial Mapfre. Ávila, Spain.

Artículo 3: Geometric road design factors affecting the risk of urban run-off crashes. A case-control study

- Artículo publicado en “*PLOS ONE*” en 2020.
- Referencia completa: Patricia Álvarez Fernández; Miguel Alejandro Fernández Temprano; Alfonso Gordaliza Ramos; Alberto Mansilla Gallo; Aquilino Molinero Martínez. PLOS ONE. Geometric road design factors affecting the risk of urban run-off crashes. A case-control study. PLoS ONE 15(6): e0234564. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0234564>.
- Recibido: 13 Febrero 2020 / Aceptado: 27 Mayo 2020 / Publicado: 11 Junio 2020.
- Índice de impacto: Journal Citation Reports (JCR) igual a 2,740 (año 2019-2020) con un cuartil igual a Q2.
- Base de indexación: WOS: Web Of Science.

Geometric road design factors affecting the risk of urban run-off crashes.

A case-control study

Patricia Álvarez¹, Miguel A. Fernández², Alfonso Gordaliza^{2*}, Alberto Mansilla³, Aquilino Molinero⁴

¹ Escuela de Ingenierías Industriales. Universidad de Valladolid. Valladolid. Spain.

² IMUVA – Departamento de Estadística e Investigación Operativa. Universidad de Valladolid. Valladolid. Spain.

³ Departamento de Ingeniería Mecánica. Escuela de Ingenierías Industriales. Universidad de Valladolid. Valladolid. Spain.

⁴ Departamento de Ingeniería Energética y Fluidomecánica. Escuela de Ingenierías Industriales. Universidad de Valladolid. Valladolid. Spain.

* Corresponding author:

E-mail Miguel Fernández (MAF): miguelaf@eio.uva.es

Abstract

Objective

Single vehicle run-off crashes in urban areas constitute a growing problem that deserves more attention from authorities and researchers. This study aims to detect geometric road design risk factors characterizing places where urban run-off crashes might happen.

Methods

A case-control study was performed in the urban area of Valladolid (Spain) with data corresponding to a four-year period. Logistic regression models were used to analyze data, considering different variables related to design parameters in the models: type of intersection, radius of curvature, width of the pavement, width of the traffic lane, number of lanes for traffic in the same direction, direction of the traffic, length of the previous straight section, distance to the previous traffic light, slope, and finally, priority regulation. Two different scenarios were investigated: intersections and curves.

Results

The Adjusted Odds-Ratio of a run-off crash was five times higher in double direction roads with median strip than in one-way urban roads, for both curves and intersections, and almost nine times higher on road sections with previous straight lengths greater than 500 meters. Specific risk factors for intersections are "*number of lanes for traffic in the same direction*" (the odds of a run-off crash are more than five times higher on a road with two or more lanes), "*length of preceding straight section*" (the odds on road sections with lengths greater than 500 meters are more than nine times that of road sections with a length of less than 150 meters). For curves, specific factors are "*width of the traffic lane*" (the odds of a run-off crash on curves with lanes wider than 3.75m are more than six times higher) and "*priority regulation*" (the odds of a run-off crash increases more than twelve times on road sections with traffic light regulation over those without any regulation).

Conclusions

The current study identifies urban road configurations that might require redesigning with the aim of decreasing the odds of a run-off crash, or the implementation of passive protective systems to mitigate their consequences. Specifically, intersections in two direction roads with median strip, more than two lanes per direction and a long preceding straight section, as well as curves with wide lanes and traffic light regulation, are the places that require attention.

Introduction

Although 1.35 million people die yearly on the roads, traffic crashes are predictable and preventable [1]. In most countries around the world, about 30% of all road fatalities are single vehicle crashes, [2] where, for instance, one vehicle leaves the road and strikes a rigid object, rolls over or goes down a steep slope. In the European Union, [3] a third of all traffic fatalities are run-off crashes. Although run-off crashes could be considered more prevalent on rural roads (for instance, 38% of fatalities and 36% of hospitalized injured casualties on rural roads were due to run-off road crashes [4]), run-off crashes in urban environments must also be considered due to their high frequency (for instance, in South Australia [5] and New Zealand, run-off crashes amounted to 20% of urban injury crashes and 48% of urban fatal crashes; moreover, the second most frequent type of urban injury crash was run-off road collision (16%) [4]). The increased incidence of urban run-off crashes could be related to the increased exposure to urban environments: more than 50% of the world population lives in urban areas and this share is expected to increase in the future (i.e., in Spain, up to 75% in 2050 [6]).

There is extensive literature on analyzing risk factors in crashes. Table 1 provides a (non-exhaustive) recollection of interesting contributions and findings. Different studies [7-11] have analyzed road risk factors involved in run-off crashes on rural roads, while others provide descriptive [12] or inferential [13-15] studies of run-off crashes on urban roads; although they [13-15] have sometimes focused only on very specific locations (urban arterial roadways or urban shopping road segments). Other studies [16-20, 23] provide very interesting and specialized statistical models for studying specific types of crashes such as sideswipe and rear-end crashes [16, 19], left-turn bay crashes [17], or only car-car rear-end crashes [20]. General information about run-off crashes in rural and urban areas together is also given [21-22].

To conclude, the literature analyzed has shown which geometrical road factors are related to rural run-off crashes; however, concerning run-off crashes in urban areas, the inferential studies found only deal with very specific urban areas or crash types, or they use complex statistical methods.

The study developed in this article uses a common statistical case-control design to determine which geometric road design characteristics contribute to a higher risk of a run-off collision occurring in an urban area. As a consequence, we believe that the results set out here can be considered for future well-

designed and properly maintained roads. In fact, some current guides or recommendations [24, 25, 26] are already focusing on aspects that must be considered for appropriate road designs.

The study analyses data collected in the city of Valladolid over a four-year period (starting in 2009). Valladolid is a Spanish city, the capital of the province of Valladolid and headquarters of the Regional Government of *Castilla y León*. Valladolid is a mid-sized city, with around 300,000 inhabitants [27], and is the 13th most populous municipality in Spain and the first in all the Spanish northwest, which means that it can be considered representative of many other cities in Spain.

In the following sections, we describe the variables and values used in this study, as well as their sources. Then, the statistical methods used are detailed and, finally, the results obtained and their practical interpretation are set out with the aim of improving the road safety of urban roads.

Methods

For the purpose of this study, an urban road is one within the boundaries of a built-up area, which is an area with entries and exits especially sign-posted as such, and with a speed limit of 50 km/h, which is the general speed limit in Spanish cities and urban areas.

Materials

Two databases were considered: ARENA and PIMUSSVA.

The **ARENA database** is designed and maintained by the General Directorate of Traffic, the Spanish administration in charge of managing road traffic. ARENA contains information from all injury traffic crashes on Spanish roads. This information is gathered by the national traffic police, after asking any people involved in the crash, carrying out the respective reconstructions and gathering information from and about non-injured and injured people, which means any person who was not killed, but sustained one or more serious or slight injuries as a result of the crash, as well as any people who were killed at the time of the crash or within 30 days after its occurrence. Some of the variables included in ARENA correspond to the geometric design parameters of the road where the crash occurred.

The **PIMUSSVA study** is a crash database of the city of Valladolid created by the City Council [28]. It contains data about all traffic crashes (including crashes with only material damage) that occurred in Valladolid between 2009 and 2013. This information is gathered by the local police in the city of Valladolid after receiving any notification from the emergency services. This database was considered in addition to ARENA in order to increase the number of cases in the study, because non-injury crashes are also considered. However, PIMUSSVA does not include information about geometric road parameters, so, the location of each crash within PIMUSSVA was individually analyzed to include the geometric parameters needed to perform the analysis.

Some discrepancies between both databases were found, especially in the way in which some variables were coded. Moreover, in ARENA, it is sometimes difficult to accurately find the location due to a lack of information. To overcome these difficulties, those cases that presented any doubt were individually investigated with the local police. Lastly, we would like to add that the information in these databases is

considered in trials related to traffic crashes, at both national and local level. For these reasons, the data used in this study were reliable and no more calibration on our crash data has been needed.

Variables

The variables included in this study are shown in Table 2 (Variable V1 to Variable V10) and were selected because they are geometric road design parameters. In other words, they are the parameters a technical department could consider to design a road. In our study, continuous variables were transformed into categorical variables to facilitate the statistical analysis after using objective categorization criteria [29]. In fact, the official databases dealt with the categorized variables and, provided that the observed frequencies allowed it, the boundaries between categories stated in the official databases have been respected. Note also that the categorization of variables has the advantage of allowing a non-linear relationship between the response and the predictors to be taken into account. Several possibilities were considered for this categorization and it was found that no significant differences appeared due to different categorizations.

On the other hand, no variables related to speed are included in the study because the speed limit on all locations considered is always constant and equal to 50 km/h. Note that the statistical units in our study are the locations where crashes have occurred (cases) or where they have not occurred (controls), not the crashes themselves. Another variable that has not been included in the model is traffic volume. This variable is obviously not a geometric road design factor, which is our main interest here, but may be related to the number of general crashes appearing at a location [30]; although some studies have found that vehicle flow does not explain much variability of itself [31, 32, 33]. The main reason for not including this variable in our study is that there are not sufficiently accurate values available. There are measurement points in the city, but the network is not dense enough to provide accurate values. However, there are other variables in the study that can be considered as “proxy” variables for traffic volume, such as the “number of traffic lanes” or “the width of the pavement”. In this sense, we believe that at least a great part of the possible effect of traffic volume in the problem has been accounted for. We have also made a recommendation to the city council to improve the network of points measuring the traffic volume, so that it can be included in future studies.

Study Design and Sample Selection

This study focuses on intersections and curves, as these are the places where urban run-off impacts are more likely to happen [1, 2, 3, 4]. A case-control design was used to identify road-related risk factors associated to run-off crashes. The outcome was the occurrence of a run-off crash at either an intersection or a curve. As outcomes only appear in a small fraction of exposed and unexposed individuals, a case-control study [23] allows the magnitude of association between the different exposures considered and the outcome to be estimated in a more efficient way than other epidemiological and clinical research designs. It is important to notice that the individuals in our study are, as mentioned previously, the locations where crashes have occurred (cases) or where they have not (controls), not the crashes themselves; we can therefore use the term “sites” when we refer to the “individuals” in the study.

All run-off crashes occurring at intersections and curves of Valladolid recorded in the ARENA and PIMUSSVA databases between 2009 and 2013 were considered in the study. This represents 82 cases, 63 intersections and 19 curves.

The same amount of controls was randomly selected from all population individuals (locations or sites) that did not suffer the said outcome in the period. This random selection is not an immediate task, due to the inexistence of an organized census containing all intersections and curves in the Valladolid urban area. To perform a truly random selection, the map of the city of Valladolid was split into a regular grid of squares measuring 150 meters on each side. Then, a square from the grid and a vertex of the square were randomly chosen, and finally the intersection inside the square closest to this vertex was selected. If the intersection did not belong to the set of cases, then it was incorporated into the group of controls. If there were no intersections in the selected square, a new random selection was done. A similar procedure was used for the selection of the curves.

Data Analysis/Statistical Methods

Logistic regression was used to analyze these data for three different situations: curves, intersections and the combination of both. For each of these three situations, unadjusted logistic regression models served to obtain raw odds-ratios (rOR) to check which road-related variables may influence the outcome.

Multivariate logistic regression, including all possible explanatory variables, was used to calculate the adjusted odds-ratios (aOR) so as to check the role of each variable in the presence of the others present in the model. Stepwise selection procedures were used to develop the logistic regression models. From these procedures, three models for each of the three abovementioned situations were selected: a full model including all variables, the model resulting from a backward selection procedure, and an intermediate model performing well from the correct classification point of view. To avoid upwards bias in the proportion of correctly classified observations, when building and assessing the model using the same sample, a leave-one-out cross-validation (LOO) procedure was used to evaluate the models. Finally, to obtain a definitive model for each of the three situations, the associated ROC curves [33] of each of the models and the De Long test [34] were used to compare the areas under the ROC curves (AUC) and select the final models. We chose AUC as the criterion for selecting from among the models, instead of others such as the Akaike Information Criterion (AIC), as AUC is more closely related to a good classification performance than AIC, which is a more general criterion, mainly dealing with model fitting. All these analyses were performed with IBM SPSS software (Armonk, NY, USA) for model estimation and variable selection and SAS software (Cary, NC, USA) for the LOO evaluation and ROC curves tests.

Results

Descriptive Analysis

Table 2 shows the frequency distribution (in percentages) of all variables considered in the study for both controls and cases.

Analytical Study

The rOR were obtained by studying the effect of each single predictor variable in the logistic regression models. They are provided in Table 2.

The variables Type of intersection (V1, categories "Roundabout with transitional central island" and "Roundabout"), Width of the pavement (V3, category "6-9 m"), Number of traffic lanes for the same direction of traffic (V5), Direction of the traffic (V6, category "Double with median strip") and Length of the previous straight section (V7, category ">500 m") all appear highly significant in the regression models of both Curves+Intersections and Intersections ($p < 0.05$ or even $p < 0.01$); whereas they do not for the Curves model. The variable Width of the traffic lane (V4) appears to be significant ($p < 0.05$) only for the Curves model. The remaining variables or categories appear to be less significant, with $p > 0.05$.

It is important to note that most of the significant variables in the rOR analysis also appear in the final selected models, so the corresponding aOR are also (reasonably) significant. The most important changes from rOR to aOR are those appearing for Radius of curvature (V2), both in the Curves+Intersections and Curves multiple logistic regression models, and those appearing for Direction of the traffic (V6) and Priority regulation (V10) in the Curves model.

As for the adjusted models, Table 3 shows the results corresponding to the analysis of the ROC curves and the LOO values for the three models considered for the three situations (intersections + curves, intersections only and curves only).

In the case of considering intersections and curves together, the backward model was chosen over the other two possibilities. The full model has a lower LOO value than the intermediate and backwards model while the AUC value of the intermediate model is not significantly higher than that of the backwards model

(p-value 0.2812). Table 4 shows that, for the chosen model, curves had significantly higher odds (aOR=5.664) than the reference class (Type of intersection (V1): T or Y intersections), while there were no significant difference in the odds between this reference class and the other types of intersections. For the radius of curvature (V2), a significant decrease in odds appears when the radius of curvature was increased (aOR=0.061). The Direction of the traffic (V6) had a significant role, with double direction roads with median strip showing increased odds (the odds of a run-off crash on a double direction road with median strip are more than five times that of a crash on a road with a single lane) over single direction roads. Double direction roads showed a slightly (non-significant even at 0.1 level) decrease in the odds, but the inclusion of the median strip on these roads modified the result to a significant odds increase. An increase in the length of the preceding straight section (V7) resulted in a significant increase of odds. When the length was between 150 and 500 meters, the odds of a crash on a road with this length are more than three times that of a crash on a road with a previous straight section of less than 150 meters in length, and almost nine times when the length is over 500 meters.

Focusing only on intersections, the analysis included in Table 3 suggested that the backward model was the most appropriate, as its LOO value is equal and its AUC value is not significantly lower than that of the intermediate model. In the intersections only analysis, the variable Radius of curvature (V2) was directly dropped from the model and the category Curve was removed from the variable type of intersection (V1). Regardless of this, the variable V1 was also dropped from the model during the variable selection procedure. The Direction of traffic (V6) and the Length of previous straight section (V7) play the same role as in the global case (intersections and curves together). The variables Number of traffic lanes for the same direction of traffic (V5) and Width of pavement (V3) were included in the selected model. An increase in the number of traffic lanes significantly increased the odds in the intersections: the odds of a run-off crash on a road with 2 or more lanes are more than five times that of a crash on a road with a single lane. The interpretation of the influence of V3 (Width of pavement) is more complicated. V3 was significant, although there were no significant differences between the reference class (<6m width) and the other two classes. An inspection of the odds associated to the other two categories of V3 showed that the odds associated to the reference class are in between the other two. By default, the lowest values of the originally numerical variables were chosen as the reference when they were transformed into

categorical variables. The lowest odds are found when the width is highest (>9m) and the highest odds when the width is intermediate (6-9m).

The third scenario is only curves. As with the previous analysis, the variable Type of intersection (V1) was dropped directly. Table 3 shows that the p-values of both AUC tests were on the border of rejection, considering the usual 0.05 cut-off point. Thus, the full model was close to achieving a significant difference with respect to the intermediate model, and the same happens to the intermediate model with respect to the backward model. In addition, the intermediate model exhibited a higher LOO value than either the full or the backward models. Therefore, the intermediate model was chosen in this third analysis. The resulting model had two common variables with the model chosen for intersections and curves considered together: Radius of curvature (V2) and Direction of traffic (V6), which are not globally significant at the 0.05 level, but increased the LOO predictive ability of the model from 73.7% to 78.9% (see Table 3). The influence of V2 and V6 were similar in both analyses. The variable V4, Width of traffic lane, indicates that the odds of a crash on a road with the lane width higher than 3.75m are more than six times the odds of a road with less than 3.75 meters lane width. The variable V10 (Priority regulation) suggests that the odds of a crash on a road section with traffic light regulation is more than twelve times the odds of a crash on a road without any regulation.

In order to check the goodness of fit for these regressions, we considered the Hosmer-Lemeshow (HL) goodness of fit test. The results for these HL tests are given in Table 4 and the large p-values suggest that the models are appropriate.

To summarize the results, we can say that urban locations with a potentially higher probability of inducing run-off crashes are: *Curves* when the “width of traffic lane” is more than 3.75 meters, (the odds of a run-off crash on curves with lanes wider than 3.75m are more than six times higher) or when “there are traffic lights” to regulate the priority (the odds are more than twelve time higher), and *Intersections* when the “number of traffic lanes for the same direction of traffic” is 2 or more lanes (the odds of a run-off crash with two or more lanes are more than five times those of a road with a single lane), when the “direction of the traffic” is double with a median strip (the odds are almost five times those of single roads), and finally when the “length of the previous straight section” is higher than 500 meters (the odds on road sections

with lengths greater than 500m are more than nine times those of road sections with a length of less than 150 meters).

Discussion

Single vehicle run-off crashes in urban areas constitute a growing problem that deserves more attention from authorities and researchers. This study focuses on detecting geometric features characterizing places where urban run-off crashes can happen, with the aim of providing an effective tool for traffic authorities to recognize the places where preventive and passive safety countermeasures (for instance, installing road restraint systems, one of the most efficient road infrastructure solutions [35]) should be applied.

The study addresses intersections and curves, since these are the places where urban run-off impacts are most likely to happen. Logistic regression models have been used to analyze data in three different scenarios: curves, intersections and curves plus intersections combined.

Both scenarios (curves plus intersections combined) share the variable “direction of the traffic” as statistically significant with the category “double with median strip” notably increasing the risk of crashing, as well as the variable “length of the previous straight section” (lengths greater than 500 meters). Nevertheless, since variables separating curves and intersections (“type of intersection” and “radius of curvature”) appear as statistically significant, the model adjusted for the whole scenario shows the need to consider separate models for curves and intersections.

In the model for intersections only, the variables “direction of the traffic”, “number of traffic lanes for the same direction of traffic” and “length of the previous straight section” appear as significant. To understand the significance of all these risk factors, it should be emphasized that “speed in excess” could be the real underlying risk factor. On the other hand, it is reasonable to think that travelling in very long, straight sections with several traffic lanes for the same direction is a circumstance that can increase the risk of suffering a run-off crash, especially when the lanes are narrow.

In the model for curves, “width of the traffic lane” and “priority regulation” appear as specific factors. In curves where the priority is regulated by traffic lights, it has been proved that the risk of suffering a run-off is higher than when the priority is regulated by a stop sign. This does not necessarily mean that the problem is the traffic lights. We rather think that the problem comes from road users not respecting the traffic lights and increasing their travelling speed before the green light turns to red (when the driver sees the amber, she/he tends to drive faster, but is not able to control the vehicle in the curve).

As a brief summary of the results, we can say that the urban locations with a higher probability of suffering a run-off crash are: Curves when “width of traffic lane” is more than 3.75 meters or when “there are traffic lights” to regulate the priority, and intersections where the “number of traffic lanes for the same direction of traffic” is 2 or more, when the “direction of the traffic” is double direction with median strips or when the “length of the previous straight section” is higher than 500 meters. These conclusions will be especially useful for urban road administrations, as they can help them to develop new urban traffic management plans and to design ways to improve road crash statistics.

Lastly, we would like to comment that some City Councils are already deciding to apply countermeasures to reduce or mitigate urban run-off crashes, as is the case of the city of Valladolid. In this city, the Council has decided to install a suitable Urban Road Restraint System able to mitigate the consequences of these crashes in one location (main bridge street) where its geometric road parameters meet with the results of this study (a multi-lane curve with a 4 meter width lane, and where there are traffic lights before the curve to regulate the priority).

Limitations

Although the study was focused only on the city of Valladolid during that period in which the PIMUSSVA study was carried out (2009-2013), it would be interesting to extend this study to other Spanish cities in order to increase the number of cases-controls (sample size), and therefore the representativeness of the results obtained. The main problem for this extension would surely be the limitations or complete absence of appropriate data from City Councils.

As we have already commented above, obtaining data on other variables related to traffic intensity, such as, for example, the Average Daily Traffic (ADT), might also be interesting. Although this sort of variable has sometimes been found as not significant in run-off crash studies [31, 32, 33], it may play a role in the appearance of general crashes, and its inclusion might assist a more accurate evaluation of the effects of the rest of the variables in the model. Nevertheless, it has been considered that this variable might also be helpful in giving priority to the implementation of safety countermeasures.

Conclusions

One way of reducing the effects of urban crashes is to detect sites where new run-off crashes can happen and to prevent this kind of crashes (using preventive countermeasures) or to mitigate the consequences (installing road restraint systems in these locations).

There is already some literature studying which geometrical road factors are related to rural run-off crashes, but there are no inferential studies for general urban areas. Using a statistical inferential data analysis under a case-control framework instead of a descriptive study, this article has detailed the geometrical risk factors characterizing the main scenarios where an urban run-off crash is likely to happen. These conclusions are especially useful for urban road administrations, as they can help them to develop new urban traffic management plans and to design ways to improve urban road crash statistics.

Acknowledgements

The authors are thankful to the Traffic Police and Road Safety and Mobility Departments of the city of Valladolid for granting access to the PIMUSSVA database and for providing additional geometric information of the locations where the studied crashes happened.

The work was supported by Dirección General de Tráfico, Ministerio del Interior grant SPIP2015-01762 to MAF, AG, AM and AqM; Spanish MINECO/FEDER grant MTM2017-86061-C2-1-P and Junta de Castilla y León grants VA005P17 and VA002G18 to AG, and Spanish MINECO/FEDER grant MTM2015-71217-R to MAF. The funders had no role in study design, data collection and analysis, decision to publish, or preparation of the manuscript.

References

- 1.- World Health Organization. Global status report on road safety 2018. WHO, 2018. Available from: https://www.who.int/violence_injury_prevention/road_safety_status/2018/en/
- 2.- International Road Federation. Cost Effective Roadside Safety Countermeasures. IRF, USA, 2016. Available from: <https://www.irf.global/event/webinar-low-cost-effective-roadside-safety-countermeasures/>
- 3.- European Commission. Annual Accident Report 2018. European Road Safety Observatory, EC, Brussels, 2019. Available from: https://ec.europa.eu/transport/road_safety/sites/roadsafety/files/pdf/statistics/dacota/bfs2018_infographics.pdf
- 4.- Dirección General de Tráfico. Main figures on road traffic accidents Spain 2018 SUMMARY. España, 2019. Available from: http://www.dgt.es/Galerias/seguridad-vial/estadisticas-e-indicadores/publicaciones/principales-cifras-siniestralidad/Las-principales-cifras-2018-ampliado-Internet_v2.pdf
- 5.- Austroads Publications On Line. Investigation of Key Crash Types – Run-off-road and Head-on Crashes in Urban Areas: Final Report. Australia, 2014.
- 6.- Spanish General Directorate of Traffic. Las principales cifras de la Siniestralidad en vías urbanas 2017. DGT, Madrid, 2018. Available from: <http://www.dgt.es/Galerias/seguridad-vial/estadisticas-e-indicadores/publicaciones/principales-cifras-siniestralidad/Las-principales-cifras-2017-ampliado.pdf>
- 7.- National Highway Traffic Safety Administration. Factors Related to Fatal Single-Vehicle Run-Off-Road Crashes. NHTSA, Washington, 2009. Available from: <https://crashstats.nhtsa.dot.gov/Api/Public/ViewPublication/811232>
- 8.- McGee HW, Hanscom FR. Low-cost treatments for horizontal curve safety. Report FHWA-SA-07-002, Federal Highway Administration, Washington, D.C, 2006. Available from: https://safety.fhwa.dot.gov/roadway_dept/horcurves/fhwasa07002/
- 9.- Roads and Traffic Authority. Reducing trauma as a result of crashes involving utility poles. RTA NSW, 2009, Sydney. Available from: http://roadsafety.transport.nsw.gov.au/downloads/reducing_trauma_utility_poles.pdf
- 10.- Lee J. Econometric analysis of the effect of roadway geometric and roadside features on run-off roadway accident frequencies and severities. PhD thesis, University of Washington, Seattle, USA. 2000.

Available

from:

https://www.researchgate.net/profile/Fred_Mannering/publication/228547869_Analysis_of_roadside_accident_frequency_and_severity_and_roadside_safety_management/links/53d2b0f70cf2a7fbb2e9ae71/Analysis-of-roadside-accident-frequency-and-severity-and-roadside-safety-management.pdf.

11.- Jessica C, Rudin-Brown M, Michael GL. Road design factors and their interactions with speed and speed limits. Monash University, Australia. 2009. Available from: <https://www.monash.edu/muarc/research/our-publications/muarc298>

12.- Amarasingha N, Dissanayake S. Factors Associated with Rural Run-Off-Road and Urban Run-off-road Crashes: A Study in the United States. Journal of Society for Transportation and Traffic Studies (JSTS) 2014, Vol.5 No.4. USA. Available from: [https://www.researchgate.net/publication/272334138_Factors_Associated_with_Rural_Run-Off-](https://www.researchgate.net/publication/272334138_Factors_Associated_with_Rural_Run-Off-Road_and_Urban_Run-off-road_Crashes_A_Study_in_the_United_States)

[Road and Urban Run-off-road Crashes A Study in the United States](https://www.researchgate.net/publication/272334138_Factors_Associated_with_Rural_Run-Off-Road_and_Urban_Run-off-road_Crashes_A_Study_in_the_United_States)

13.- Dumbaugh E. The design of safe urban roadsides: an empirical analysis. Transportation Research Record, no. 1961, pp. 74-82, 2006. Available from: http://nacto.org/docs/usdg/design_safe_urban_roadsides_dumbaugh.pdf

14.- Stephan K, Newstead S. Characteristics of the road and surrounding environment in metropolitan shopping strips: Association with the frequency and severity of single vehicle crashes. Traffic Injury Prevention, 15, 631-639. Monash University, Australia. 2014. Available from: <http://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/15389588.2014.930450>

15.- Stephan KL. A multidisciplinary investigation of the influence of the built urban environment on driver behaviour and traffic crash risk. PhD thesis, Monash University, Australia. 2015. Available from: https://figshare.com/articles/A_multidisciplinary_investigation_of_the_influence_of_the_built_urban_environment_on_driver_behaviour_and_traffic_crash_risk/4712170

16.- Rista E, Goswamy A, Wang B, Barrette B, Hamzeie R, Russo B, Bou-Saab G, Savolainen P. Examining the safety impacts of narrow lane widths on urban/suburban arterials: Estimation of a panel data random parameters negative binomial model. Journal of Transportation Safety & Security 91, 0-0. Online publication date: 20-Dec-2016.

17.- Guo Y, Zheng L, Sayed T. A comparison of collision-based and conflict-based safety evaluation of left-turn bay extension. Transportmetrica A: Transport Science, 2020, 16(3), 676-694.

- 18.- Potts I, Harwood D, Richard K. Relationship of lane width to safety on urban and suburban arterials. *Transportation Research Record*, 2023, 63-82. Kansas, USA. 2007. Available from: https://nacto.org/docs/usdg/lane_width_potts.pdf.
- 19.- Guo Y, Lia Z, Liua P, Wua Y. Modeling correlation and heterogeneity in crash rates by collision types using full Bayesian random parameters multivariate Tobit model. *Accident Analysis & Prevention*, 2019, 128, 164-174.
- 20.- Chen F, Song M, Ma X. Investigation on the Injury Severity of Drivers in Rear-End Collisions Between Cars Using a Random Parameters Bivariate Ordered Probit Model. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 2019, 16(14), 2632.
- 21.- Austroads Publications On Line. Guide to road design: part 3: geometric design barriers, 2nd edn, AGRD03-10. Australia, 2016.
- 22.- Hummer JE, Rasdorf W, Findley DJ, et al. Curve collisions: road and collision characteristics and countermeasures. *Journal of Transportation Safety & Security*, vol. 2, no. 3, pp. 203-20. 2010. Available from: <http://www.tandfonline.com/doi/pdf/10.1080/19439961003734880?needAccess=true&>
- 23.- Hauer E. *Observational Before-After Studies in Road Safety*. Emerald Group Publishing Limited, 1997. doi: 10.1080/23249935.2020.1722286
- 24.- Directive (EU) 2019/1151 of the European Parliament and of the Council of 20 June 2019 amending Directive (EU) 2017/1132 as regards the use of digital tools and processes in company law. Brussels, 2019.
- 25.- Van den Berghe W, Fleiter J, Cliff D. Towards the 12 Voluntary Global Targets for Road Safety. Global Road Partnership and VIAS Institute. January, 2020. Available from: <https://www.vias.be/en/research/notre-publications/towards-the-12-voluntary-global-targets-for-road-safety/>
- 26.- Third Global Ministerial Conference on Road Safety: Achieving Global Goals 2030 Stockholm, 19–20 February 2020". Available from: <https://www.roadsafetysweden.com/contentassets/b37f0951c837443eb9661668d5be439e/stockholm-declaration-english.pdf>
- 27.- Instituto Nacional de Estadística. *Padrón 2018*. Madrid, 2019. Available from: <https://www.ine.es/daco/daco42/codmun/codmun18/18codmunmapa.htm>

- 28.- Plan Integral de Movilidad Urbana Sostenible y Segura, PIMUSS. Valladolid, 2015. Available from: <http://www.pimussva.es/>
- 29.- Boletín Oficial del Estado, nº 289. Orden INT/2223/2014, de 27 de octubre 2014, por la que se regula la comunicación de la información al Registro Nacional de Víctimas de Accidentes de Tráfico. Madrid, 2014. Available from: https://www.boe.es/diario_boe/txt.php?id=BOE-A-2014-12411
- 30.- Derek L. Fatal Run off the Road Crashes on Rural Two-Lane Two-Way Highways in Minnesota. Office of Traffic, Safety, and Technology. Minnesota, USA. 2015. Available from: <https://www.dot.state.mn.us/trafficeng/safety/docs/fatalrunoffroadstudy.pdf>
- 31.- Jonsson T. Predictive models for accidents on urban links: A focus on vulnerable road users. PhD thesis, Lund University. Sweden, 2005. Available from: <https://lup.lub.lu.se/search/ws/files/4434766/26516.pdf>
- 32.- Dong B, Ma X, Chen F, Chen S. Investigating the Differences of Single- and Multi-vehicle Accident Probability Using Mixed Logit Model. Journal of Advanced Transportation, 2018, UNSP 2702360. doi: 10.1155/2018/2702360
- 33.- Chen F, Chen S, Ma X. Analysis of hourly crash likelihood using unbalanced panel data mixed logit model and real-time driving environmental big data. 2018, JOURNAL OF SAFETY RESEARCH. 65: 153-159.
- 34.- DeLong ER, DeLong DM, Clarke-Pearson DL. Comparing the areas under two or more correlated receiver operating characteristic curves: A nonparametric approach. Biometrics, vol. 44, no. 3, pp. 837-845, 1988.
- 35.- Fernández MA, García-Escudero LA, Molinero A. Analysis of real crashes against metal roadside barriers. PLOS ONE Journal. February 4, 2019. doi: 10.1371/journal.pone.0211674

Scope	Scope category	Reference	Type of Study	Geometric road factors detected
Rural crashes	Run-off crashes	[7]	Inferential (Logistic regression)	Road alignment (<i>curves</i>)
		[8,9]	[8] Descriptive [9] Descriptive	Road layout: .- <i>Standard edge lines, centerlines, line-markings with high wet-night visibility and reflectors or panels of retroreflective sheeting on curves.</i> .- <i>Curves.</i>
		[10,11]	[10] Inferential (Negative binomial estimation) [11] Descriptive	Road width and layout: .- <i>Lane, median and shoulder width, approach width to bridges, roadside hazardous objects and slopes.</i> .- <i>Clearer edge and centre lines, rough surface, curves, lane and shoulder width, number of lanes, presence of parked cars on the road edge, presence of vertical elements on the roadside and sight distance.</i>
Urban crashes	Run-off crashes	[12]	Descriptive	No <i>geometric road factors</i> were found (only information about road surface type, condition and character).
	Run-off crashes (only on specific urban areas: urban arterial roadways [13], shopping districts areas,...[14,15])	[13-15]	[13] Inferential (Negative binomial regression model) [14] Inferential (Logistic regression) [15] Inferential (Cross-sectional analysis method)	Roadside design strategies: <i>livable-street treatments, shoulder width and unpaved fixed-object offsets.</i> Road alignment and layout (<i>road cross section (curves, presence of median), road type, sharing the road with other vehicle types (trams and bicycles), roadside poles, and local amenities.</i>) <i>Roadside environment and facilities and amenities.</i>
	Sideswipe-same direction and rear-end crashes	[16]	Inferential (Cross-sectional analysis method)	Road width (<i>lane width</i>)
	Left-turn bay crashes	[17]	Inferential (conflict-based and collision-based observational Before-After Studies, BA studies)	Road layout (<i>left-turn bay length</i>).
	General crashes	[18]	Inferential (Cross-sectional analysis method)	Road width (<i>lane width</i>).
Rural and urban crashes together	Rear-end, sideswipe, and angle collisions in freeway diverge areas	[19]	Inferential (random parameters multivariate Tobit (RPMV-Tobit models))	Road geometries (<i>on rear-end and sideswipe crashes: lane-balanced design, number of lanes on mainline, and ramp length; and deceleration lane length only on rear-end crashes. No geometric road factors were found on angles crashes.</i>)
	Car-car rear-end crashes	[20]	Inferential (random parameters bivariate ordered probit models))	No <i>geometric road factors</i> were found. (Other type of risk factors: Driver age, gender, vehicle, airbag or seat belt use, etc.,).
	Run-off crashes	[21,22]	[21] Descriptive [22] Descriptive	Road width (<i>lane and shoulder width</i>). Road layout and <i>roadway width (advisory signs, curves, and shoulders)</i>

Table 1.- Literature review summary.

Description		Proportion		Raw Odds-Ratios (rOR)		
Variable	Category	Cases (%)	Controls (%)	Curves + Intersections	Intersections	Curves
Type of intersection (V1)	T or Y (ref)	25.6	45.1			
	X or +	14.6	23.2	1.113 (0.453,2.736)	1.113 (0.453,2.736)	-
	Roundabout	11.0	4.9	3.96** (1.087,14.456)	3.96** (1.087,14.456)	-
	Roundabout with transitional central island	25.6	3.7	12.333*** (3.285,46.305)	12.333*** (3.285,46.305)	-
	Curve ¹	23.2	23.2	1.762 (0.767,4.046)	-	-
Radius of curvature (V2)	<50 m (ref)	13.4	7.3			
	50-100 m	4.9	3.7	0.727 (0.121,4.388)	-	0.727 (0.121,4.388)
	>100 m	4.9	12.2	0.218* (0.047,1.005)	-	0.218* (0.047,1.005)
	Intersection ²	76.8	76.8	0.545 (0.190,1.565)	-	-
Width of the pavement (V3)	<6 m (ref)	15.9	30.5			
	6-9m	59.8	47.6	2.416** (1.095,5.330)	3.111** (1,268,7.632)	1.000 (0.178,5.632)
	>9 m	24.4	22	2.137 (0.848,5.386)	1.820 (0.632,5.241)	3.111 (0.414,23.393)
Width of the traffic lane (V4)	<=3.75m (ref)	57.3	61			
	>3.75 m	42.7	39	1.164 (0.624,2.170)	0.767 (0.375,1.568)	4.800** (1.204,19.129)
Number of traffic lanes for the same direction of the traffic (V5)	1 (ref)	40.2	76.8			
	2 or more	59.8	23.2	4.923*** (2.502,9.687)	8.810*** (3.836,20.234)	1.000 (0.276,3.625)
Direction of the traffic (V6)	One way (ref)	26.8	41.5			
	Double way	26.8	48.8	0.850 (0.403,1.794)	0.846 (0.351,2.040)	0.667 (0.148,3.011)
	Double with median strip	46.3	9.8	7.341*** (2.89,18.64)	14.95*** (4.486,49.83)	1.042 (0.177,6.123)
Length of the previous straight section (V7)	<150 m (ref)	8.5	28.0			
	150-500 m	45.1	54.9	2.702** (1.043,6.995)	2.971* (0.888,9.939)	2.567 (0.518,12.723)
	>500m	46.3	17.1	8.918*** (3.138,25.349)	11.00*** (3.060,39.541)	5.833 (0.696,48.873)
Distance to the previous traffic light (V8)	<150m (ref)	32.9	41.5			
	150-500 m	56.1	48.8	1.448 (0.749,2.800)	1.185 (0.550,2.552)	2.694 (0.713,10.178)
	>500 m	11.0	9.8	1.417 (0.482,4.164)	1.479 (0.466, 4.694)	-
Slope (V9)	No (ref)	87.8	93.9			
	Yes	12.2	6.1	2.139 (0.697,6.559)	1.844 (0.512,6.643)	3.375 (0.318,35.78)
Priority	None (ref)	42.7	50.0			

¹ Only in the case of the second scenario (only "Intersections"), this category is removed from this variable "Type of intersection" (V1).

² Only in the case of the third scenario (only "Curves"), this category was removed from this variable "Radius of curvature" (V2).

regulation (V10)	Stop sign	3.7	13.4	0.319* (0.082,1.237)	0.285* (0.070,1.161)	-
	Yield sign	11	20.7	0.620 (0.246,1.565)	0.553 (0.204,1.500)	-
	Traffic light	42.7	15.9	3.154** (1.445,6.881)	2.527** (1.036,6.160)	8.308* (0.890,77.568)

Table2.- Raw odds-ratios (rOR) and their 95% CIs for the variables considered in each of the three different scenarios, where * stands for p-value ≤ 0.1 , ** for p-value ≤ 0.05 and *** for p-value ≤ 0.01 .

Sample size n=82 (63 intersections and 19 curves) was used for both cases and controls.

Data	Model	Variables in model	LOO	AUC	p-value
Scenario "Curves and Intersections"	Full	All	67.7%	0.8484	0.1068
	Intermediate	V1, V2, V5, V6, V7	70.1%	0.8214	0.1671
	Backward	V1, V2, V6, V7	68.9%	0.8105	
Scenario "Only Intersections"	Full	All (except V2)	70.6%	0.8816	0.4214
	Intermediate	V1, V3, V5, V6, V7, V8	73%	0.8731	0.1337
	Backward	V3, V5, V6, V7	73%	0.8490	
Scenario "Only Curves"	Full	All (except V1)	63.2%	0.9488	0.0566
	Intermediate	V2, V4, V6, V10	78.9%	0.8753	0.0578
	Backward	V4, V10	73.7%	0.7701	

Table 3.- Model selection for the three scenarios (Intermediate model was selected as "reference category").

Scenario	Variable	Category	β	Exp (β) (aOR)	95% CI	
"Curves and Intersections"	Constant		-1.745***	0.175		
	Type of intersection (V1)*	T or Y (ref)				
		X or +		0.207	1.230	(0.454,3.332)
		Rotary		1.020	2.772	(0.583,13.172)
		Roundabout with transitional central island		0.777	2.175	(0.451,10.495)
		Curve		1.734***	5.664	(1.577,20.334)
	Radius of curvature (V2)**	<50m				
		50-100m		-0.585	0.557	(0.079,3.929)
		>100m		-2.799***	0.061	(0.009,0.413)
	Direction of the traffic (V6)***	Single (ref)				
		Double		-0.751	0.472	(0.192,1.158)
		Double with median strip		1.649***	5.201	(1.593,16.982)
	Length of the previous straight section (V7)***	<150m (ref)				
		150-500m		1.165 **	3.206	(1.065,9.650)
		>500m		2.196 ***	8.985	(2.490,32.421)
Hosmer-Lemershov GoF test $\chi^2=4.913$, df=8, p-val=0.767						
"Only Intersections"	Constant		-2.108***	0.121		
	Width of the pavement (V3)**	<6m (ref)				
		6-9m		0.374	1.453	(0.437,4.835)
		>9m		-1.368	0.255	(0.045,1.439)
	Number of traffic lanes for the same direction of the traffic (V5)**	1 (ref)				
		2 or more		1.665 **	5.283	(1.216,22.953)
	Direction of the traffic (V6)*	Single (ref)				
		Double		-0.328	0.720	(0.220,2.358)
		Double with median strip		1.606 **	4.981	(1.133,21.906)
	Length of the previous straight section (V7)**	<150m (ref)				
		150-500m		1.209 *	3.349	(0.793,14.138)
>500m			2.225 ***	9.250	(1.934,44.247)	
Hosmer-Lemershov GoF test $\chi^2=6.107$, df=7, p-val=0.527						
"Only Curves"	Constant		-1.220 **	0.295		
	Radius of curvature (V2)	<50m				
		50-100m		-0.660	0.517	(0.034,7.785)
		>100m		-2.463 *	0.085	(0.007,1.024)
	Width of the traffic lane (V4)**	<=3.75m (ref)				
		>3.75m		1.848 **	6.346	(1.376,29.274)
Direction of the	Single (ref)					

	traffic (V6)	Double	-0.406	0.666	(0.086,5.171)
		Double with median strip	2.700	14.879	(0.555,398.61)
	Priority regulation (V10)**	None (ref)			
		Traffic light	2.496 **	12.13	(1.112,132.36)
Hosmer-Lemeshow GoF test $\chi^2=4.527$, df=8, p-val=0.883					

Table 4- Final models selected for each scenario, where * stands for p-value ≤ 0.1 , ** for p-value ≤ 0.05 and *** for p-value ≤ 0.01 .

Artículo 4: Detection of Geometric Risk Factors Affecting Head-on Collisions through Multiple Logistic Regression. Improving Two-way Rural Road Design via 2+1 Road Adaptation.

- Artículo publicado en “*International Journal of Environmental Research and Public Health*” en 2021.
- Referencia completa: Cáceres, L.; Fernández, M.A.; Gordaliza, A.; Molinero, A. Detection of Geometric Risk Factors Affecting Head-On Collisions through Multiple Logistic Regression: Improving Two-Way Rural Road Design via 2+1 Road Adaptation. *Int. J. Environ. Res. Public Health* 2021, 18, 6598. <https://doi.org/10.3390/ijerph18126598>.
- Recibido: 3 Mayo 2021 / Revisado: 7 Junio 2021 / Aceptado: 16 Junio 2021 / Publicado: 19 Junio 2021.
- Índice de impacto, Journal Citation Report (JCR) igual a 3.390, con un cuartil igual a Q1.
- Base de indexación: WOS: Web Of Science.

TITLE:

Detection of Geometric Risk Factors Affecting Head-on Collisions through Multiple Logistic Regression. Improving Two-way Rural Road Design via 2+1 Road Adaptation

Author names and affiliations:

Laura Cáceres¹, Miguel A. Fernández¹, Alfonso Gordaliza¹, Aquilino Molinero²

¹ Departamento de Estadística e Investigación Operativa, Escuela de Ingenierías Industriales, Universidad de Valladolid, 47011 Valladolid, Spain.; lauradcr23@gmail.com (to L.C), miguelaf@eio.uva.es (to M.A.F.), alfonsog@eio.uva.es (to A.G.).

² Escuela de Ingenierías Industriales, Universidad de Valladolid, 47011 Valladolid, Spain.; aquilino.molinero@alumnos.uva.es

Corresponding author:

Miguel A. Fernández (MAF): miguelaf@eio.uva.es

Present/permanent address:

Facultad de Ciencias, Paseo de Belén 7 - Campus Miguel Delibes, Valladolid. 47011 (Spain)

ABSTRACT

This study aims to characterize locations on two-way rural roads where head-on crashes are more likely to occur, attending to geometric road design factors. For this purpose, a case-control study was carried out using multiple logistic regression models with variables related to road design parameters, considering several scenarios. The dataset corresponding to cases (places where crashes have occurred) was collected on Spanish "1+1" rural roads over a four-year period. The controls (places where no crashes have occurred in the period) were randomly selected through a specific ad hoc designed method. The obtained model identifies risk factors and allows the computation of the odds of a head-on collision on any specific road section: width of the pavement (when it exceeds 6 meters), width of the lanes (for intermediate widths between 3.25 and 3.75 meters) and tight curves (less than 250 meters of radius) are identified as factors significantly increasing the odds of a crash, whereas a paved shoulder is a protective factor. The identified configurations on two-way rural roads may be susceptible to transformation into "2+1" roads to decrease the odds of a head-on crash, thus preventing possible serious injuries and enhancing transportation safety.

KEY WORDS

road safety; head-on crash; two-way rural roads; centerline treatment; 2+1 roads.

1. INTRODUCTION

In most countries around the world, the highest percentages of all road fatalities come from crashes on rural roads (for instance, in the European Union -EU-, fatalities on these roads represent 55% of the total number [1]). Among these interurban roads, the most frequent type is the two-way rural road with only one carriageway, in particular, the so-called "1+1" roads (two-way rural roads, with one lane for each direction in the same carriageway and where overtaking is possible). For instance, they represent around 65% in the USA [2] or 80% in Spain [3], of overall road network kilometers, and they are where the highest percentage of fatalities on rural roads happen (75% in Spain [3], 90% in the USA [4]), even though traffic density on these roads is lower than on motorways.

Studies [3] indicate that the frequency of head-on crashes, especially fatal head-on crashes, is much higher on undivided rural two-lane highways than other types of roadways. On these two-lane roads, vehicles crossing the centerline of two-lane roads and striking opposing vehicles head-on account for 20% of all fatal crashes [5]. One possible solution to avoid head-on crashes and prevent the associated injuries is to transform these "1+1" roads into the so-called "2+1" roads which are two-way rural roads, with one or two lanes in each direction in the same carriageway and where both ways are separated through the installation of a road restraint system or any device to avoid the presence of a vehicle in the opposite direction (see Figure 1). This type of road is used as an intermediate solution between the common two-lane road and a dual carriageway road.

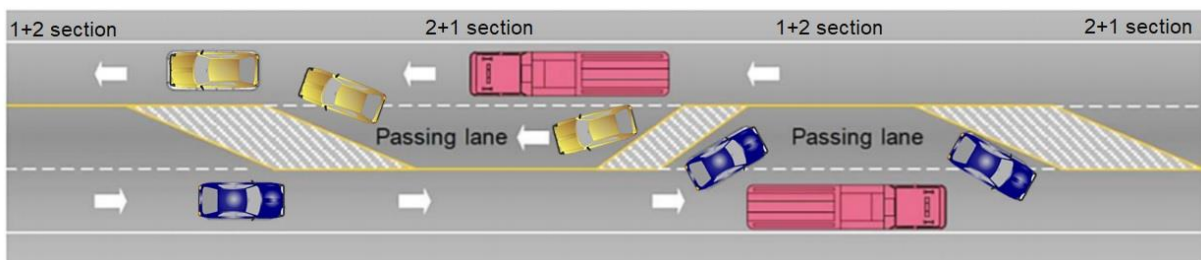


Figure 1.- Example of 2+1 road section in a two-way interurban road with only one carriageway.

Successful experiences concerning this transformation have been reported in different countries, such as Germany ("2+1" roads have been found to operate with crash rates 36% lower than conventional two-lane highways), Sweden (55% lower), Finland (22–46% lower), Poland, or Texas (US). This suggests that these transformations are potentially applicable in other countries. This is the reason for the increasing

interest in "2+1" roads in such countries as the USA, Canada, Australia, New Zealand, Poland, Mexico or Spain [6,7].

There is extensive literature on rural head-on crashes. Table 1 contains a non-exhaustive collection of contributions and findings. Some of these contributions come from descriptive studies [8,9], while others come from inferential ones, using different models and schemes [10–24]. However, there are not so many results concerning "2+1" roads and they are mainly descriptive [25–28]. See also Table 1 for the main results obtained in these studies.

In this study, we consider an inferential case-control framework and, using head-on crash data from a four year period, we analyze and determine which geometric road factors have a significant influence on the odds of the appearance of these crashes in a rural road section. The influence of each factor is quantified using a multiple logistic regression model. The model obtained can help road managers to prioritize their resources when deciding which sections of "1+1" roads are more in need of transformation into a "2+1" road to decrease the odds of a head-on crash and its associated injuries.

2. MATERIALS AND METHODS

2.1. Data

The study analyzes crash data collected from national and regional roads in the Spanish region of Castilla y León over the most recent four-year period with available data. Castilla y León is the largest and sixth most populated Spanish region and can be considered representative of many other regions in Spain.

To carry out this study, the so-called "ARENA" database was used. This database is designed and maintained by the Spanish General Directorate of Traffic and contains information from all injury traffic crashes on Spanish roads. The information in ARENA is gathered by the Spanish national traffic police by asking people involved in the crash and carrying out the respective reconstructions. These data are fully reliable, as shown by the fact that they are used in trials related to traffic crashes.

Some of the variables included in ARENA and considered in this study correspond to the geometric design parameters of the road where the crash occurred. Two additional variables are also considered

here: “Radius of curvature”, obtained using measurement tools available on Google Maps (maps.google.es), and “Average daily traffic” (ADT), obtained from official sources [29,30].

2.2. Variables

The set of variables included in this study are shown in Table 2 (Variables V1 to V9) and were selected because they are geometric road design parameters (except the variable ADT, which usually has a role in crash appearance). In our study, continuous variables were transformed into categorical variables using objective categorization criteria [31]. This allowed for the easy consideration of non-linear relationships (such as the one appearing in variable V2) between these variables and the outcome. Several possibilities were considered for this categorization and it was found that no significant differences appeared due to different categorizations.

No variables related to speed are included in the study because the speed limit considered on the two-way rural roads is constant (90 Km/h). Notice that, as explained below, the individuals in our study are the locations (characterized by geometric parameters of road design) where crashes have occurred, not the crashes themselves.

Scope	Ref.	Type of Study	Geometric road factors or other findings detected
Rural head-on crash rates	[8]	Descriptive	Rural head-on crashes happen in the following situations: Poor sight distance for overtaking due to horizontal and vertical curves; frequent horizontal or vertical curves; poor curve delineation; unsealed or partially sealed shoulders; insufficient or unclear advisory/warning signs; insufficient or poorly maintained raised reflective pavement markers; areas subject to fog.
Rural head-on crashes on two-way roads	[9]	Descriptive	Drivers most commonly lost control of their vehicles by entering right-hand curves, which is likely to be influenced by the radius of the curve, the distance from the previous curve, and the roadway width. Other causes include over-correction after running off the right edge of the pavement, which may be affected by the design and quality of the pavement edge.
	[10]	Inferential	Considers five different types of crash (not only head-on). Identifies (logistic regressions) road construction and behavioral risk factors for fatal vs. slight injuries.
	[11]	Inferential	Road geometric characteristics (using random-effect negative binomial, RENB , models) of head-on crashes frequency in rural and semiurban areas (two-way interurban roads with one or two carriageways, instead of only two-way interurban roads with only one carriageway): horizontal curvature, terrain type, and access points were found to be positively related to the frequency of head-on crashes, while larger shoulder width decreased the crash frequency.
Rural head-on crashes on two-way Spanish roads	[12]	Inferential	Identifies (using multivariate robust Poisson regression model) the road factors associated with the likelihood of head-on crash with respect to other types of crash (instead of the likelihood of head-on crashes with no crashes) having happened on two-way interurban roads with one or two carriageways: More likely on wide roads, on road sections with curves, narrowings or drop changes, on wet or snowy surfaces, and in twilight conditions. Lower probability with the existence of medians and a paved shoulder.
	[13,14]	Inferential	Define (using methodologies such as the highway capacity manual, HCM, from the USA Transportation Research Board) the lengths of the zones where overtaking could be safe, avoiding head-on collisions on 1+1 two-way rural roads (does not consider risk factors for headon collisions).
	[15]	Inferential	Quantifies (using HCM methodology) the performance of two lane highways (does not consider risk factors for collisions).
Rural crashes on two-way roads	[16–24]	Inferential	These papers consider different research designs on any type of crash: <ul style="list-style-type: none"> • Potential-for-Crash Reduction Method [16]. • Sites-With-Promise (SWiP) [17]. • Method retrospective cohort studies; collision-based observational Before-After Studies [18]. • Random parameters multivariate Tobit (RPMV-Tobit) models [19]. • Random parameters bivariate ordered probit models [20,21]. • Univariate Poisson models [22]. • Bayesian network approach [23]. • Case-control design [24].
2+1 roads	[25–28]	Descriptive	2+1 roads are effective in the following situations: For higher-volumes or in areas where minor

			<p>intersections and driveways provide direct access to the roadway. Also, in mountainous terrain with long, steep grades.</p> <p>2+1 road design focuses on: cross section, lane and shoulder widths, alignment, traffic flow, transition zone length, separation of opposing lanes, intersections and access control and marking and signing.</p>
--	--	--	---

Table 1.- Literature review summary.

2.3. Study Design and Sample Selection

A case-control design has been used to identify road-related risk factors associated to locations where head-on crashes can occur. According to [24], this framework is better than other epidemiological designs (as, for instance, cohort designs) to estimate the magnitude of the association between the different exposures considered, when the outcome appears in a small fraction of the exposed and unexposed individuals. The case-control design used is retrospective, which means that what is known at the beginning of the study is the presence/absence of the outcome and then the possible previous exposure is investigated. The outcome considered was the occurrence of a head-on crash in either a straight section or on a curve on two-way rural roads ("1+1" roads) which could easily be transformed to "2+1" roads and so avoid head-on crashes. It is important to notice that the individuals in our study are the locations where crashes have occurred (cases) or where they have not (controls), not the crashes themselves; we can therefore use the term "sites" when we refer to the "individuals" in the study.

The following crashes have been considered to select the cases: head-on and side impact collisions on two-way rural roads belonging either to the Spanish National or Regional road networks in the region of Castilla y León, which occurred on "1+1" road sections without any intersections. Crashes that occurred in rural roads belonging to local/provincial administrators have not been considered, since these roads are usually much narrower than the ones belonging to national and regional networks. This narrowness makes the eventual transformation of these roads into "2+1" roads unlikely because it would require an important amount of resources to afford the changes, which are not usually available to local/provincial administrations. The inclusion of side impact collisions (T-bone crashes) in the study is because they are close to head-on collisions in road sections without intersections (the driver tries to overtake, as during head-on crashes, but the avoiding maneuver means the driver turns the steering wheel abruptly). These head-on and side impact collisions represent 588 cases, 310 on straights and 278 on curves. The study covers all types of vehicles in the proportions that they were involved in the crashes: at least one passenger car was involved in 90% of these cases, a van or truck in 18%, a motorcycle in 11%, a bicycle in 2% and a coach in 1%.

Taking into account the available number of cases, the use of a ratio of controls to cases 1:1 is an adequate strategy. In fact, using simple logistic regression models, the sample size available (n=588

cases in the “straights+curves” scenario) would allow a very high power (above 90%) to be achieved at the usual significance level of 5% to detect raw odds-ratios $rOR \geq 1.5$ for a hypothetical proportion of 0.3 for exposed controls. In the case of a hypothesized proportion of 0.2 for exposed controls, the achieved power would be higher than 80%. In the separate “straights” or “curves” scenarios, the mentioned powers would be achieved to detect rOR .

The controls were randomly selected from all the population individuals (sites) that did not suffer the said outcome in that period. This random selection is not an easy task, due to the inexistence of an organized census containing all straights and curves in the roads of the region of Castilla y León. To perform a truly random selection, the map of roads in this region was used to divide all the roads belonging to the two networks previously mentioned into small one hectometer sections. These sections were then ordered and numbered, resulting in a total of 164596 hectometers of this type of roads. Then a discrete uniform distribution on values (0, . . . , 164596) was considered to select the sample of controls, extracting 588 values of the distribution. They were then transformed into the corresponding road+hectometer section. If any of these values corresponded to a road section where a head-on crash had happened (cases), then a new value from the uniform distribution was selected. The values of each variable in these locations were obtained using the software Iberpix 4 (<http://ign.es/iberpix2/visor/>) and GoogleMaps (maps.google.es), instead of visiting them in person. Figure 2 shows the location of the cases and controls considered in this study and how the controls are spread over the road network.

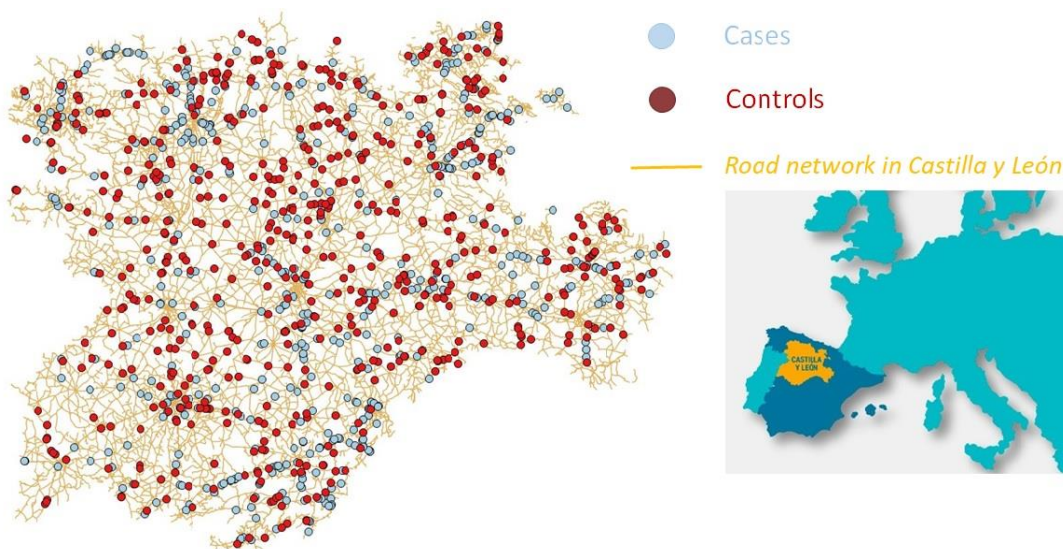


Figure 2.- Location of the cases and controls in the road network in the region of Castilla y León.

As is well known, the selection of controls is a key concern in case-control designs. Selection bias is a threat that usually hangs over case-control designs, causing the lack of comparability between the two groups studied. The selection scheme followed in this study, based on a random selection of the road network, is a completely impartial mechanism that favors the non-appearance of this bias.

2.4. Analysis

As noticed by [32], "logistic regression is a popular statistical modeling method to find relationships between accident variables and the outcome" (see [33–37]). In this study we consider it to analyze the data for three different situations: curves, straights, and the combination of both. The reason for studying these three scenarios is that, in other studies [38], the significant variables for curves are different from those of the other scenarios. For each of these situations, unadjusted logistic regression models were used to compute rOR to check which road-related variables may influence the outcome. Multiple logistic regression, including all possible explanatory variables, served to calculate the adjusted odds-ratios (aOR) that show the role of each variable in the presence of the others in the model. Stepwise selection procedures (backward and forward) were considered to determine simpler logistic regression models. From these procedures, two models for each of the three abovementioned situations were selected: a full model including all variables and the model resulting from a backward elimination (which, in all three cases, coincided with the model obtained using forward selection). In order to select a final model for each scenario, we considered two criteria: the proportion of correctly classified observations (using a leave-one-out -LOO- cross validation procedure to avoid upwards bias) and the area under the ROC curves (AUC) [39] of each model compared using the DeLong Test [40]. AUC was chosen instead of other criterion, such as the Akaike Information Criterion (AIC), as AUC is more closely related to a good classification performance than AIC, which mainly deals with model fitting. All these analyses were performed with IBM SPSS software (Armonk, NY, USA) for model estimation and variable selection, and SAS software (Cary, NC, USA) for the LOO evaluation and ROC curves tests.

3. RESULTS

3.1. Descriptive Analysis

Table 2 shows the frequency distribution (in percentages) of all variables considered in the study for both controls and cases.

Description		Proportion		Raw Odds-Ratios (rOR)		
Variable	Category	Cases	Controls	<i>Straights + Curves</i>	<i>Straights</i>	<i>Curves</i>
Width of pavement (V1)	<6 m (ref)	6.7	33.8			
	6-7m	29.4	38.3	3.923** (2.640, 5.831)	4.836** (2.661, 8.788)	3.471** (1.991, 6.052)
	>7 m	63.9	27.9	11.699** (7.927, 17.264)	16.000** (8.941, 28.633)	9.444** (5.406,16.497)
Width of traffic lane (V2)	<3.25 m (ref)	24.7	61.7			
	3.25-3.75 m	72.6	35.9	5.066** (3.932, 6.528)	6.184** (4.371, 8.749)	4.726** (3.161, 7.067)
	>3.75 m	2.7	2.4	2.861** (1.361, 6.013)	6.421* (1.493, 27.614)	1.524 (0.632, 3.673)
Radius of curvature (V3)	Straight (ref)	52.7	66.3			
	Wide radius (> 750 m)	3.6	2.9	1.554 (0.806, 2.997)	-	(ref)
	Medium radius (750 – 250 m)	16.1	12.2	1.660* (1.181, 2.334)	-	1.068 (0.526, 2.170)
	Tight radius (< 250 m)	27.6	18.6	1.870** (1.406, 2.486)	-	1.203 (0.607, 2.384)
Width of shoulder (V4)	None- impractical (ref)	17.2	25.8			
	< 1.5 m (paved)	59.7	54.4	1.651** (1.231, 2.214)	2.118** (1.407, 3.188)	1.217 (0.778, 1.904)
	1.5 - 2.5 m (paved)	21.6	17.3	1.874** (1.304, 2.692)	1.344 (0.426, 4.242)	1.305 (0.700, 2.432)
	> 2.5 m (paved)	1.53	2.4	0.967 (0.404, 2.319)	1.344 (0.426, 4.242)	0.662 (0.168, 2.604)
Side safety	No (ref)	58.2	74.3			

barrier (V5)	Yes	41.9	25.7	2.082** (1.626, 2.665)	2.071** (1.431, 2.996)	1.627** (1.127, 2.349)
Reflective posts (V6)	No (ref)	36.2	68.7			
	Yes	63.8	31.3	3.866*** (3.034, 4.925)	3.307*** (2.421, 4.515)	5.105*** (3.423, 7.614)
Sidewalk (V7)	No (ref)	96.3	97.8			
	Yes	3.7	2.2	1.719 (0.858, 3.446)	2.304** (1.004, 5.287)	1.070 (0.298, 3.842)
ADT (V8)	< 500 (ref)	9.7	35.9			
	500 ≤ ADT < 2000	33.2	44.6	2.755*** (1.949, 3.895)	3.422*** (2.048, 5.716)	2.488*** (1.515, 4.085)
	2000 ≤ ADT < 10000	51.8	18.9	10.138*** (7.042, 14.597)	14.050*** (8.303, 23.775)	8.006*** (4.648, 13.789)
	≥ 10000	5.3	0.6	29.201*** (9.727, 84.615)	28.424*** (7.548, 107.039)	37.400*** (4.786, 292.263)
Number of lanes (V9)	1+1 (ref)	94.4	98.1			
	1+n or n+1 (n>1)	5.6	1.9	3.119*** (1.561, 6.232)	2.546*** (0.632, 10.263)	2.555** (1.135, 5.750)

Table 2.- Raw odds-ratios (rOR) and their 95% CIs for the variables considered in each of the three different scenarios, where * stands for p-value ≤0.1, ** for p-value ≤0.05 and *** for p-value ≤0.01. Sample size n=588 (310 straights and 278 curves) was used for both cases and controls.

3.2. Analytical Study

The rOR, provided in Table 2, were obtained by studying the effect of each single predictor variable in the logistic regression models. It is important to note that almost all the variables are significant in the rOR analysis and that the values obtained are coherent with those appearing in the subsequent aOR analysis. Perhaps the most surprising finding is that the presence of reflective edge posts (V6) seems to significantly increase the crash risk. Notice that we are not claiming that the posts are a cause for the

crashes as, for example, they may have been installed in locations identified as problematic (and not been enough to solve the problem).

As for the multiple logistic regression models, Table 3 shows the results corresponding to the analysis of the ROC curves and the LOO values for the two models considered for the three situations (straights + curves, straights only and curves only). In all three cases, the backward model was chosen over the full model since the backward model is simpler, the LOO values are similar (even higher for the backward in the only curves scenario) and there was no significant difference in the AUC values using the DeLong test.

Data	Model	Variables in model	LOO	AUC	p-value
Scenario <i>“Straights + Curves”</i>	Full	All	74%	0.8306	0.4631
	Backward	V1, V2, V3, V4, V6, V8	73.9%	0.8295	
Scenario <i>“Only Straights”</i>	Full	All (except V3)	73.8%	0,8167	0.6572
	Backward	V1, V2, V4, V8	73.1%	0.8147	
Scenario <i>“Only Curves”</i>	Full	All	76.5%	0.8541	0.3354
	Backward	V1, V2, V3, V4, V6, V8	77.1%	0.8519	

Table 3.- Model selection for the three scenarios (results from Backward and Forward selection model were the same).

Table 4 shows, for the chosen models and for each one of the three scenarios, which variables and values increase the odds of a head-on crash on a two-way rural road (risk factor) or decrease it (protective factor). The goodness of fit for these regressions is reasonable, as suggested by the Hosmer-Lemeshow (HL) goodness of fit tests also given in Table 4. It is interesting to notice that the models obtained for the three scenarios are similar. The same variables are selected for the curves only and the joint curves and straights scenarios. Moreover, since V3 (radius of curvature) makes no sense for the only straights scenario, the only difference of this scenario with the other two is that the reflective edge posts variable (V6) does not appear in the straights only model. For these reasons, we will focus our conclusions on the joint straights + curves scenario.

Table 4 also shows that, for this joint scenario, the width of the pavement (V1) is a significant risk factor, with an aOR of 13.684 for roads with pavement wider than 7 meters. The odds of a head-on crash on a road where the pavement is wider than 7 meters is more than 13 times higher than that of a head-on crash on a road where the pavement is less than 6 meters wide. However, the influence of the width of the traffic lane (V2) is not linear, since lanes between 3.25 and 3.75 meters show increased odds over those less than 3.25 meters wide (aOR=1.605), while the odds for those wider than 3.75 meters are lower, with an aOR of 0.339. The results for radius of curvature (V3) show that the risk of a curve section over a straight one only increases significantly if the curve is tight, with an aOR of 3.449 for curves with less than 250 meters of radius. As for the width of the shoulder (V4), the existence of a practicable shoulder is a protective factor, with protection increasing with the width of the shoulder, with an aOR of 0.032 for paved shoulders more than 2.5 meters wide. This means that the odds of a crash in this situation is more than 31 times lower ($1/0.032=31.25$) than those in a road section with a nonexistent or impractical shoulder. The influence of reflective edge posts (V6) is, perhaps surprisingly, negative; as its presence increases the odds of a crash, especially in curves, since the variable was not significant in straight road sections. Finally, the average daily traffic (V8) was significant, as expected, with higher values of the variable leading to higher crash odds.

Notice that other factors, such as side safety barriers (V5), sidewalk (V7) and number of lanes (V9), do not appear in this model, as the outcome variability they explained in the initial simple models is accounted for by other variables in the final multiple models.

Variable	Category	Straights and Curves		Straights only		Curves only	
		β	Exp (β) (aOR)	β	Exp (β) (aOR)	β	Exp (β) (aOR)
			95% CI		95% CI		95% CI
Constant		- 2.226***	0.108	-2.303***	0.100	-2.367***	0.094
Width of the pavement (V1)	<6 m (ref)						
	6-7m	1.891***	6.626 (3.643, 12.052)	1.537***	4.651 (2.126, 10.174)	2.667***	14.398 (4.910, 42.222)
	>7 m	2.616***	13.684 (6.604, 28.353)	2.451***	11.603 (4.625, 29.106)	3.438***	31.118 (8.378, 115.572)
Width of the traffic lane (V2)	<3.25 m (ref)						
	3.25-3.75 m	0.473**	1.605 (1.030, 2.501)	0.643**	1.902 (1.085, 3.334)	0.034	1.034 (0.488, 2.192)
	>3.75 m	-1.082**	0.339 (0.124, 1.030)	-0.209	0.811 (0.153, 4.307)	-1.974***	0.139 (0.033, 0.581)
Radius of curvature (V3)	Straight (ref)			-	-		
	Wide radius (> 750 m)	0.077	1.080 (0.483, 2.415)	-	-	(ref)	
	Medium radius (750 – 250 m)	0.161	1.174 (0.783, 1.761)	-	-	0.157	1.170 (0.471, 2.908)

	Tight radius (< 250 m)	1.238***	3.449 (2.361, 5.038)	-	-	1.421***	4.140 (1.576,10.8787)
Width of the shoulder (V4)	None-impr. (ref)						
	< 1.5 m (paved)	-1.628***	0.196 (0.116, 0.333)	-1.052***	0.349 (0.179, 0.680)	-2.500***	0.082 (0.031, 0.218)
	1.5 - 2.5 m (paved)	-2.737***	0.065 (0.034, 0.124)	-2.130***	0.119 (0.054, 0.262)	-3.451***	0.032 (0.010, 0.105)
	> 2.5 m (paved)	-3.455***	0.032 (0.10, 0.095)	-2.750***	0.064 (0.016, 0.249)	-4.372***	0.013 (0.002, 0.087)
Reflective edge posts (V6)	No (ref)			-	-		
	Yes	0.810***	2.247 (1.591, 3.174)	-	-	1.564***	4.776 (2.665, 8.559)
Average daily traffic - ADT (V8)	< 500 (ref)						
	500≤ADT<2000	0.646***	1.907 (1.257, 2.894)	0.789***	2.200 (1.238, 3.912)	0.497	1.643 (0.870, 3.103)
	2000≤ADT<10000	1.789***	5.983 (3.710, 9.467)	1.896***	6.660 (3.493, 12.699)	1.861***	6.429 (3.027, 13.657)
	> 10000	2.947***	19.053 (5.868, 61.865)	2.860***	17.467 (4.210, 72.465)	3.251***	25.818 (2.749,242.502)

Hosmer-Lemeshow GoF test	$\chi^2=2.386$, df=8, p-val=0.967	$\chi^2=3.055$, df=8, p-val=0.931	$\chi^2=11.284$, df=7, p-val=0.127
--------------------------	------------------------------------	------------------------------------	-------------------------------------

Table 4.- Final models selected for each scenario, where * stands for p-value ≤ 0.1 , ** for p-value ≤ 0.05 and *** for p-value ≤ 0.01 .

4. DISCUSSION

There are several studies in the literature dealing with head-on crashes on rural roads and also some considering the characteristics of "2+1" roads and how these help to reduce crashes. However, many of these studies are not inferential as the one performed here, but descriptive [8,9,25–28], so no statistical inference can be obtained, i.e., their results should not be extrapolated. Among the inferential studies, some of them consider all types of crashes [10–24], which is not convenient to our purpose, as we are studying the crashes that can be avoided by "2+1" road transformation. Other interesting studies consider non geometric risk factors, such as driver behavior [10] or environmental conditions [12]. The studies considering geometric risk factors sometimes detect factors similar to those found here, but under different settings. For example, [12] detects a higher collision risk on roads 7 m wide or wider, but considers the likelihood of head-on crashes vs. other types of crashes not against the likelihood of no crash, as done here. Another example can be found in [11], where horizontal curvature is found to increase crash frequency and the presence of a shoulder to decrease it, but in that study, two way interurban roads with two carriageways are also considered, which is not our case, as those roads cannot be transformed to "2+1" roads. In this sense, although there is no big surprise in the risk factors detected here, this study is useful as it has been specifically designed to account for the geometric road factors affecting head-on collisions that can be considered when deciding which road sections are to be transformed into "2+1" roads.

There are two main contributions in this study compared to what is already known. The first is a methodological contribution, i.e., the control selection method developed in Section 2.3 which is intended to avoid selection bias. The second is the determination, through an inferential case-control study, of which geometric road design factors are significantly influential on the odds of a head-on crash appearing in a rural road section and the extent of this influence. From the results explained in the previous section, we can determine which sections of "1+1" roads are more in need of transformation into a "2+1" road to decrease the odds of a head-on crash, and these results will then be useful for road administrators, optimizing their resources to obtain the highest possible crash and injury reduction.

For example, if we consider the design characteristics only, the sections with the highest crash odds are those with a wider pavement (more than 7 meters) and an intermediate width of the traffic lane (between

3.25 and 3.75 meters), a nonexistent or impractical shoulder, the presence of reflective edge posts, and containing a tight curve (with less than 250 meters radius). A road section with all these characteristics suffers from crash odds more than 170 times higher ($\exp(2.616+0.473+1.238+0.810) = 170.204$) than a section without any of them.

One of the risk factors detected is a pavement width greater than 7 meters. Notice that this is not bad, as it will obviously be cheaper to implement a third lane (transformation from "1+1" to "2+1") because the pavement is wide. Together with the width of the pavement, the width of the traffic lane should also be considered, since intermediate values of this variable seem to produce a false feeling of security in drivers, leading to higher odds of a crash. Road sections without a practical shoulder should also be considered as candidates to implement a third lane, since the presence of a wide shoulder is a protective factor.

It is also convenient to notice that, according to the results, there is no significant advantage obtained from acting on wide or medium curves, as no significant crash odds reduction is achieved if the radius is not less than 250 meters. This is also an interesting conclusion, from the practical point of view, since curve sections are more likely to result in higher costs when implementing a third lane.

Another point to mention is that, although ADT is not a variable related to the geometric design of the road, it should clearly be considered for prioritization among road sections with similar characteristics, as higher values of this variable are significantly related to higher crash odds.

4.1. Limitations and future work

Although some other Spanish regions [41] are interested in the transformation of "1+1" roads to "2+1" roads, the study focused only on the region of Castilla y León. It would be interesting to extend it to other Spanish regions to increase the number of cases-controls (sample size), and thus strengthen the representativeness of the results obtained.

We would also have liked to have more recent data for our study. However, in Spain, these data are made available with a long-time delay. The most recent "Main figures on Road Traffic Accidents in Spain"

[3] are from 2019 and contain data from 2018. However, for a study like this, we need the microdata and the most recent microdata available are from 2015. Nevertheless, although our data are not as recent as we would like, they are still consistent with today's conditions. In the previously mentioned report, we can see that the variation in the number of deaths or injured people in traffic crashes is about 10% and has come (after many years) to some sort of stability.

5. CONCLUSIONS

One way of preventing head-on crashes on "1+1" rural roads is to transform them into "2+1" roads and avoid dangerous overtaking without harming the volume of traffic. These "2+1" roads are receiving increasing attention in the literature and there are some interesting studies concerning their characteristics, the volume of traffic they may support and how the overtaking sections should be designed [13,14,25–28].

There is already also some literature studying which geometric road factors are related to head-on crashes in two-way rural roads, but there are no inferential studies focused specifically on detecting "1+1" locations susceptible to be transformed into "2+1" roads, due to their specific geometric configuration. Using a statistical inferential data analysis under a case-control framework, this article has focused on risk assessment and road safety management, detailing the geometric risk factors characterizing these locations. In this way, we have quantified the influence on the risk of each geometric road factor considered and found that the absence of a paved shoulder, the width of the pavement, an intermediate traffic lane width and the presence of a tight curve, increase the odds of a crash. Other factors such as side safety barriers or sidewalks seem to have a marginal influence when the previous factors are accounted for. While these results may not be surprising, the quantification of the influence of the significant factors obtained here should allow road managers to compute the crash odds of any particular road segment and thus to prioritize which road segments should be taken care of first.

We believe that the results set out here, together with those on the design of overtaking sections that appear in other studies such as [13,14], can also be considered for future well-designed and properly maintained roads, with the aim of preventing these head-on crashes. In fact, some current directives,

guides, or recommendations [7,42–44] are already focusing on comprehensive transportation safety aspects of infrastructure design that must be considered to avoid head-on crashes.

Author affiliations

¹ IMUVA – Departamento de Estadística e Investigación Operativa. Universidad de Valladolid. Paseo de Belen S/N, 47011, Valladolid. Spain.

² Escuela de Ingenierías Industriales. Universidad de Valladolid. Paseo Cauce 59, 47011, Valladolid. Spain.

Author Contributions: Conceptualization, M.A.F., A.G. and A.M.; methodology, M.A.F. and A.G.; software, L.C, M.A.F. and A.M.; validation, L.C., M.A.F., A.G. and A.M.; formal analysis, L.C. and A.M.; investigation, L.C., M.A.F., A.G. and A.M.; data curation, L.C. and A.M.; writing—original draft preparation, M.A.F., A.G. and A.M.; writing—review and editing, L.C., M.A.F., A.G. and A.M.; visualization, L.C. and A.M.; supervision, M.A.F. and A.G. All authors have read and agreed to the published version of the manuscript.

Funding: This work was partially supported by the FEDER, Spanish Ministerio de Economía y Competitividad, Grant MTM2017-86061-C2-1-P and Junta de Castilla y León, Grants VA005P17 and VA002G18 (to AG).

Institutional Review Board Statement: Not applicable.

Informed Consent Statement: Not applicable.

Data Availability Statement: The data used in this study are available on request from the corresponding author.

Conflicts of Interest: The authors declare no conflict of interest.

Abbreviations

The following abbreviations are used in this manuscript:

ADT Average Daily Traffic

rOR Raw Odds Ratio

aOR Adjusted Odds Ratio

LOO Leave One Out

AUC Area Under ROC Curve

ROC Receiver Operating Characteristic

CI Confidence Interval

HL Hosmer-Lemeshow

GoF Goodness of Fit

REFERENCES

1. European Road Safety Observatory (2018). Traffic Safety Basic Facts 2017. Roads outside urban areas. European Commission. Brussels. Available online: https://ec.europa.eu/transport/road_safety/sites/roadsafety/files/pdf/statistics/dacota/bfs2018_rou_areas.pdf (accessed on May 1st, 2021).
2. Garder, P.; Ivan, J.; Deng, Z. (2006). The Effect of Segment Characteristics on the Severity of Head-on Crashes on Two-lane Rural Highways. United States Department of Transportation. Project UCNR 15-5. Final report. Available on: <https://trid.trb.org/view.aspx?id=775453> (accessed on May 1st, 2021).
3. Spanish General Directorate of Traffic (2019). Las principales cifras de la Siniestralidad Vial España 2018. Spain. Available online: https://www.dgt.es/Galerias/seguridad-vial/estadisticas-e-indicadores/publicaciones/principales-cifras-siniestralidad/Las_principales_cifras_de_la_Siniestralidad_Vial_Edicion_ampliada_Espana_2018.pdf (accessed on May 1st, 2021).
4. Kentucky Transportation Center (2001). Countermeasure for fatal crashes on two-lane rural roads. Research Report KTC-01-11/SPR211-00-2F. Available online: https://uknowledge.uky.edu/cgi/viewcontent.cgi?article=1287&context=ktc_researchreports (accessed on May 1st, 2021).

5. Rys, M. (2008). Centering safety. *Roads and Bridges*, 46 (3) Roads & Bridges. Scranton Gillette Communications. Available online: <https://www.roadsbridges.com/centering-safety> (accessed on May 1st, 2021).
6. Beck, D.; Duerden, A. (2016). Guidance on Median and Centreline Treatments to Reduce Head-on Casualties. Australian road transport and traffic agencies. Research Report AP-519-16. Available online: <https://www.onlinepublications.austroads.com.au/items/AP-R519-16> (accessed on May 1st, 2021).
7. Spanish General Directorate of Roads (2021). Orden Circular 1/2021 sobre Recomendaciones para el diseño de Carreteras 2+1 y carriles adicionales de adelantamiento. Ministerio de Transportes, Movilidad y Agenda Urbana. Spain. Available online: <https://normativadecarreteras.com/listing/6170-2/> (accessed on May 1st, 2021).
8. Generalitat de Catalunya (2019). INSTRUCCIÓ DGIM/1/2019 sobre l'establiment de carreteres 2+1. Available online: https://territori.gencat.cat/web/.content/home/01_departament/transparencia_i_bon_govern/procediments_i_actuacions_juridiques/instruccions_i_circulars/infraestructures_mobilitat/instruccions/instruccio_dgim_1-2019_carreteres_2_1.pdf (accessed on May 1st, 2021).
9. Zhang, C.; Ivan, J. (2005). Effects of geometric characteristics on head-on crash incidence on two-lane roads in Connecticut. *Transp Res Rec J Transp Res Board*, 1908,159–164. Available online doi:[10.1177/0361198105190800119](https://doi.org/10.1177/0361198105190800119) (accessed on May 1st, 2021).
10. Ewert, U.; Eberling, P. (2010). Risk factors and possible interventions for injury severity of five types of rural road crashes. *Inj Prev*, 16 (Suppl 1) A24. Available online: <http://dx.doi.org/10.1136/ip.2010.029215.87> (accessed on May 1st, 2021).
11. Hosseinpour, M.; Shukri, A.; Farhan, A. (2014). Exploring the effects of roadway characteristics on the frequency and severity of head-on crashes: Case studies from Malaysian Federal Roads. *Accid. Anal. Prev.*, 62, 209–222. Available online: <https://doi.org/10.1016/j.aap.2013.10.001> (accessed on May 1st, 2021).
12. Olabarria, M.; Santamarina-Rubio, E.; Mari-Dell'Olmo, M.; Gotsens, M.; Novo, A.M.; Borrell, C.; Pérez, K. (2015). Head-on crashes on two-way interurban roads: a public health concern in road safety. *Gac Sanit*, 29, 16–23. Available online: <https://doi.org/10.1016/j.gaceta.2015.03.007> (accessed on May 1st, 2021).

13. Moreno Chou, A.T.; Llorca García, C.; García García, A. (2017). Design and marking criteria for passing zones in two-lane highways. *Carreteras*, 4, 10–20.
14. Moreno, A.T.; Llorca, C.; Washburn, S.; Bessa Jr., J.E.; García, A. (2018) Operational Considerations of Passing Zones for Two-lane Highways: Spanish Case Study. *PROMET - Traffic and Transportation*, 30, 601–612.
15. Moreno, A.T. (2020) Estimating traffic performance on Spanish two-lane highways. Case study validation. *Case Studies on Transport Policy*, 8, 119–126.
16. McGuigan DRD (1981). The Use of Relationships between Road Accidents and Traffic Flow in 'Blackspot' Identification. *Traffic Eng. Control*, 22, 448–453.
17. Labi, S. (2006). Effects of geometric characteristics of rural two-lane roads on Safety. Final report FHWA/IN/JTRP-2005/2. Purdue University, Indiana, USA. Available online: doi:10.1080/23249935.2020.1722286 (accessed on May 1st, 2021).
18. Guo, Y.; Zheng, L.; Sayed, T. (2020). A comparison of collision-based and conflict-based safety evaluation of left-turn bay extension. *Transportmetrica A*, 16, 676–694. Available online: <https://doi.org/10.1080/23249935.2020.1722286> (accessed on May 1st, 2021).
19. Guo, Y.; Li, Z.; Liu, P.; Wu, Y. (2019). Modeling correlation and heterogeneity in crash rates by collision types using full Bayesian random parameters multivariate Tobit model. *Accid. Anal. Prev.*, 128, 164–174. Available online: <https://doi.org/10.1016/j.aap.2019.04.013> (accessed on May 1st, 2021).
20. Chen, F.; Song, M.; Ma, X. (2019). Investigation on the Injury Severity of Drivers in Rear-End Collisions Between Cars Using a Random Parameters Bivariate Ordered Probit Model. *Int. J. Environ. Res. Public Health*, 16, 2632. Available online: <https://doi.org/10.3390/ijerph16142632> (accessed on May 1st, 2021).
21. Kardar, A.; Rasoul, S. (2020). A generalized ordered probit model for analyzing driver injury severity of head-on crashes on two-lane rural highways in Malaysia. *J. Transp. Saf. Secur.*, 12, 1067–1082. Available online: doi: [10.1080/19439962.2019.1571550](https://doi.org/10.1080/19439962.2019.1571550) (accessed on May 1st, 2021).
22. Shively, T.; Kockleman, K.; Damien, P (2010). A Bayesian semi-parametric model to estimate relationships between crash counts and roadway characteristics. *TRANSPORT RES B-METH*, 44, 699–715. Available online: <https://doi.org/10.1016/j.trb.2009.12.019> (accessed on May 1st, 2021).

23. Song, Y.; Kou, S.; Wang, C. (2021). Modeling crash severity by considering risk indicators of driver and roadway: A Bayesian network approach. *J Safety Res*, 76, 64–72. Available online: <https://doi.org/10.1016/j.jsr.2020.11.006> (accessed on May 1st, 2021).
24. Hauer, E. (1997). *Observational Before-After Studies in Road Safety*. Emerald Group Publishing Limited, Bingley, UK.
25. Romana, M.; Martin-Gasulla, M.; Moreno, A (2018). 2+1 Highways: Overview and Future Directions. *Adv. Civ. Eng*, Article ID 2705716. Available online: <https://doi.org/10.1155/2018/2705716> (accessed on May 1st, 2021).
26. Ray, B (2003). Application of European 2+1 Roadway Designs. National Cooperative Highway Research Program RESEARCH RESULTS DIGEST—Number 275. Available online: http://onlinepubs.trb.org/onlinepubs/nchrp/nchrp_rrd_275.pdf (accessed on May 1st, 2021).
27. Gazzini, E. (2008). The implementation of a 2+1 road scheme in Ireland: a case for Australia? Australasian Road Safety Research, Policing and Education Conference. South Australia. Available online: <https://acrs.org.au/files/arsrpe/RS080077.pdf> (accessed on June 1, 2021).
28. Asociación Española de la Carretera y Seopán (2020). Seguridad en carreteras convencionales: un reto prioritario de cara al 2020. Available online: http://seopan.es/wp-content/uploads/2016/03/Informe-AEC_Seguridad-carreteras-convencionales_A4.pdf (accessed on May 1st, 2021).
29. Junta de Castilla y León (2015). Mapas de Tráfico y Velocidades. Available online: http://www.carreteras-y-transportes.jcyl.es/web/jcyl/CarreterasTransportes/es/Plantilla100Detalle/1284349710614/_/1284570582854/Redaccion (accessed on May 1st, 2021).
30. Ministerio de Fomento (2015). Mapas de Tráfico y Velocidades. Available online: <https://www.mitma.es/carreteras/trafico-velocidades-y-accidentes-mapa-estimacion-y-evolucion/mapas-de-trafico/serie-historica-mapas/2015/ano-2015> (accessed on May 1st, 2021).
31. Ministerio de Interior (2014). Boletín Oficial del Estado, nº 289. Orden INT/2223/2014, de 27 de octubre 2014, por la que se regula la comunicación de la información al Registro Nacional de Víctimas de Accidentes de Tráfico. Available online: https://www.boe.es/diario_boe/txt.php?id=BOE-A-2014-12411 (accessed on May 1st, 2021).

32. Gholizadeh, P.; Esmaeili, B. (2020). Developing a Multi-variate Logistic Regression Model to Analyze Accident Scenarios: Case of Electrical Contractors. *Int. J. Environ. Res. Public Health*, 17, 4852. Available online: <https://doi.org/10.3390/ijerph17134852> (accessed on May 1st, 2021).
33. Sze, N.N.; Wong, S.C. (2007). Diagnostic analysis of the logistic model for pedestrian injury severity in traffic crashes. *Accid. Anal. Prev.* 2007, 1267–1278. Available online: <https://doi.org/10.1016/j.aap.2007.03.017> (accessed on May 1st, 2021).
34. Tay, R.; Rifaat, S.M.; Chin, H.C. (2008). A logistic model of the effects of roadway, environmental, vehicle, crash and driver characteristics on hit-and-run crashes. *Accid. Anal. Prev.* 2008, 1330–1336. Available online: doi: [10.1016/j.aap.2008.02.003](https://doi.org/10.1016/j.aap.2008.02.003) (accessed on May 1st, 2021).
35. Daniels, S.; Brijs, T.; Nuyts, E.; Wets, G. (2010). Externality of risk and crash severity at roundabouts. *Accid. Anal. Prev.* 2010, 1966–1973. Available online: <https://doi.org/10.1016/j.aap.2010.06.001> (accessed on May 1st, 2021).
36. Al-Ghamdi, A.S. (2002). Using logistic regression to estimate the influence of accident factors on accident severity. *Accid. Anal. Prev.* 2002, 729–741. Available online: [https://doi.org/10.1016/S0001-4575\(01\)00073-2](https://doi.org/10.1016/S0001-4575(01)00073-2) (accessed on May 1st, 2021).
37. Yan, X.; Radwan, E.; Abdel-Aty, M. (2005). Characteristics of rear-end accidents at signalized intersections using multiple logistic regression model. *Accid. Anal. Prev.* 2005, 983–995. Available online: <https://doi.org/10.1016/j.aap.2005.05.001> (accessed on May 1st, 2021).
38. Álvarez, P.; Fernández, M. A.; Gordaliza, A.; Mansilla, A.; Molinero, A. (2020). Geometric road design factors affecting the risk of urban run-off crashes. A case-control study. *PLoS One*, 15. Available online: <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0234564> (accessed on May 1st, 2021).
39. Chen, F.; Chen, S.; Ma, X. (2018). Analysis of hourly crash likelihood using unbalanced panel data mixed logit model and real-time driving environmental big data. *J Safety Res*, 65, 153–159. Available online: <https://doi.org/10.1016/j.jsr.2018.02.010> (accessed on May 1st, 2021).
40. DeLong, E.; DeLong, M.; Clarke-Pearson, D. (1988). Comparing the areas under two or more correlated receiver operating characteristic curves: A nonparametric approach. *Biometrics*, 44, 837–845. Available online: <https://doi.org/10.2307/2531595> (accessed on May 1st, 2021).
41. Generalitat de Catalunya (2018). Jornada Técnica Carreteras 2 + 1. Debate de una solución con futuro. Available online: <https://territori.gencat.cat/es/detalls/Article/Jornada-Tecnica-Carreteras-2-1.-Debate-de-una-solucion-con-futuro> (accessed on May 1st, 2021).

42. European Parliament (2019). Directive (EU) 2019/1151 of the European Parliament and of the Council of 20 June 2019 amending Directive (EU) 2017/1132 as regards the use of digital tools and processes in company law. Available online: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX%3A32019L1151> (accessed on May 1st, 2021).
43. World Road. Association Mondiale de la Route (2019). *National Road Safety Policies and Programs. Security of Road Infrastructure*. PIARC. Available online: <https://roadsafety.piarc.org/en> (accessed on May 1st, 2021).
44. Global Ministerial Global Ministerial Conference on Road Safety (2020). Third Global Ministerial Conference on Road Safety: Achieving Global Goals 2030. Available online: <https://www.roadsafetysweden.com/about-the-conference/stockholm-declaration/> (accessed on May 1st, 2021).

ANEXO II: Sobre el doctorando

A través de este anexo se pretende demostrar cómo la experiencia y conocimiento que el doctorando ha adquirido en sus etapas profesionales centradas en la seguridad vial, ha supuesto una auténtica sinergia para ser utilizados en investigaciones y desarrollos aplicados directamente sobre aspectos reales y demandados por el mundo de la seguridad vial, especialmente por mejoras en la infraestructura vial.

Anexo 2.1.- SOBRE EL DOCTORANDO

El doctorando es Ingeniero Industrial de la Escuela Técnica Superior Ingenieros Industriales de la Universidad Valladolid, y Técnico Superior en Riesgos Laborales en las especialidades de Seguridad Industrial, Higiene Industrial y Ergonomía y Psicología Aplicada.

Durante más de una década (2002-2013), ha trabajado como ingeniero de proyectos del “*Departamento Análisis Accidentes y Factor Humano*” de la Fundación CIDAUT, concretamente en las líneas de investigación y reconstrucción de accidentes de tráfico y su posterior aplicación de resultados al campo de la seguridad vial (preventiva, activa y pasiva del vehículo y de la infraestructura). Puede verse un ejemplo de este trabajo en la Figura 6.1.



Figura 6.1: El doctorando analizando las deformaciones de un vehículo que ha sufrido una salida de calzada contra barrera metálica.

Es en esta etapa profesional volcada en la reconstrucción de accidentes, cuando el doctorando adquiere conocimiento específico sobre la dinámica de los accidentes de los motociclistas, llegando a participar en comités nacionales de investigación, como el que dio lugar al nacimiento de la normativa UNE 135900 y que abordaba, de manera pionera a nivel mundial, los criterios que debían cumplir los sistemas de contención (como las barreras metálicas) para que fuesen diseñados pensando también en los motociclistas. La Figura 6.2 muestra algunos de los ensayos que se llevaron a cabo durante este comité. También relacionado con este colectivo vulnerable, el doctorando ha sido coordinador de proyectos nacionales e internacionales con el fin de mejorar la seguridad vial de estos usuarios (bien desde un punto de vista del equipamiento o desde el punto de vista de la infraestructura).

Continuando con el ámbito investigador a nivel nacional e internacional, en esta etapa en CIDAUT, el doctorando también ha sido coordinador y miembro de numerosos proyectos europeos y nacionales de I+D+i, centrados fundamentalmente en la infraestructura (interacción de la vía en el accidente). El conocimiento adquirido gracias a las investigaciones en profundidad y reconstrucciones de los accidentes realizadas por el doctorando (y detalladas en esta tesis) han permitido poder detectar necesidades/mejoras que la vía requiere en



Figura 6.2: Estudio de mecanismos lesionales en impacto de motociclistas contra barreras metálicas (grupo de trabajo UNE 135900 en el que estuvo involucrado el doctorando).

cuanto a diseño de la misma. Es por ello que se haga especial hincapié que esta tesis haya tratado la transferencia de conocimiento real sobre los accidentes de tráfico adquirida por el doctorando, hacia desarrollos y publicaciones que afectan directamente a su mejora.

Entre 2013 y 2019, su etapa laboral se centra en el desarrollo y comercialización de soluciones de infraestructura vial dentro de la empresa CIDRO (spin-off de la Fundación CIDAUT), como fruto de las investigaciones accidentológicas llevadas a cabo previamente. Estas soluciones persiguen ayudar a mitigar las consecuencias de las salidas de calzada (temática de esta tesis). Cabe destacar el reconocimiento obtenido por una de estas soluciones, un protector de pasos salvacunetas: “IX Premio Nacional ACEX”, “Mención especial Seguridad Vial de la Feria Internacional TRAFIC”, “Premio Innovación en Seguridad Vial de la Feria Internacional INTERTRAFFIC de 2014” y “Premio 6^ª Edición PONLE FRENO a la Innovación en Seguridad Vial”.



Figura 6.3: El doctorando detallando las consecuencias de las salidas de calzada contra pasos salvacunetas en las cadenas nacionales de televisión “La 1” y “La Sexta”.

Aunque sin lugar a dudas, el mejor reconocimiento obtenido en esta etapa fue el hecho que una conductora enviase una carta de agradecimiento tras haber salvado su vida gracias a

este tipo de innovaciones desarrolladas en CIDRO. Es entendible que este tipo de reconocimientos sean los que verdaderamente ayudan a seguir investigando sobre estos aspectos viarios (la Figura 6.4 muestra este agradecimiento).

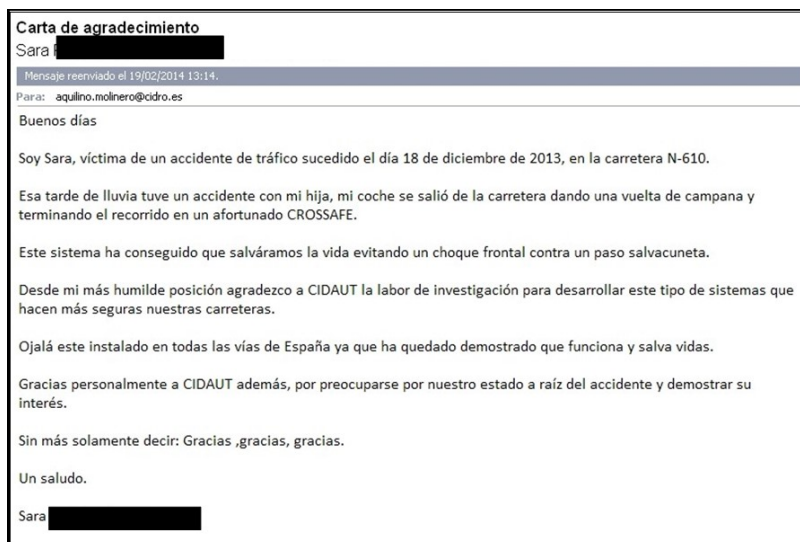


Figura 6.4: Carta de agradecimiento al doctorando por parte de una conductora que logró salvar su vida al impactar contra un protector de pasos salvacunetas desarrollado por un equipo multidisciplinar de CIDRO, y en el que el doctorando y uno de los directores de la tesis estuvieron inmersos.

Por último, desde Cidro, el doctorando ha estado involucrado en algunos comités técnicos relacionados directamente con la infraestructura (factor en el que se centra esta tesis, principalmente). Es el caso del “Grupo de Trabajo de Seguridad Vial de Directores Generales de Carreteras de Comunidades Autónomas y Diputaciones Forales”, a través del cual se elaboró el documento “Recomendaciones sobre sistemas de contención de vehículos en carreteras de características reducidas” y gracias al cual se define cómo adaptar los sistemas de contención a este tipo de carreteras.

Desde 2019 trabaja en AMAC Europa, empresa también de la Fundación CIDAUT, y cuyos objetivos están indirectamente relacionados con la prevención de salidas de calzada mediante la evaluación dinámica de la retroreflexión de la señalización vertical y marcado vial, así como la evaluación de la iluminación en carreteras.

A lo largo de su vida profesional ha sido autor de varias publicaciones en revistas científicas relacionadas con la seguridad vial, además de haber asistido y ser ponente en congresos y conferencias nacionales e internacionales relacionados con esta temática. Ha impartido docencia en el “Máster de Ingeniería en Automoción” de la Universidad de Valladolid, “Máster de Movilidad y Auditorías de Seguridad Vial” de la Universidad Politécnica de Madrid, “Curso de Jefes de Conservación y Explotación de Carreteras” de la Asociación

ACEX, y numerosas cursos sobre “Investigación y Reconstrucción de Accidentes de Tráfico”. En esta labor docente, se enmarca también el haber sido tutor de Trabajos Fin de Máster (TFM) de alumnos perteneciente a la Universidad de Valladolid.

Actualmente, el doctorando pertenece en la actualidad al “Comité de Expertos de Seguridad Vial” de la Plataforma “Ponle Freno”, analizando los accidentes de tráfico para poder determinar soluciones que los eviten o mitiguen sus consecuencias. También pertenece al “Registro Nacional de Investigadores” de la Dirección General de Tráfico del Ministerio de Interior del Gobierno de España con el fin de poder acceder a la información desagregada de los accidentes de tráfico. Por último, también es miembro del “Comité Español de Iluminación”, aspecto el cual (la iluminación en carreteras) influye directamente en la seguridad en la vía.

Cabe finalizar este apartado, haciendo énfasis de nuevo en la más que apreciable sinergia existente entre la experiencia laboral del doctorando en cuanto a seguridad vial en infraestructura y los objetivos de esta tesis. Gracias a dicha sinergia, el doctorando ha podido trasladar a esta tesis el conocimiento adquirido en todos estos años (proyectos de I+D+i, pertenencia a comités técnicos de seguridad vial, interacción con los propios usuarios demandantes de mejoras de seguridad vial,...).

Anexo 2.2.- LISTADO DE ACTIVIDADES CIENTÍFICAS DEL DOCTORANDO

- Congresos, cursos y seminarios orientados a la atención de salud:
 - XIII Máster Automoción Universidad de Valladolid.
Ciudad entidad realización: Valladolid, España
Entidad organizadora: Universidad de Valladolid
Tipo de entidad: Universidad
Ciudad entidad organizadora: Valladolid, Castilla y León, España
Fecha de presentación: 26/05/2022
 - XII Máster Automoción Universidad de Valladolid.
Ciudad entidad realización: Valladolid, España
Entidad organizadora: Universidad de Valladolid
Tipo de entidad: Universidad
Ciudad entidad organizadora: Valladolid, Castilla y León, España
Fecha de presentación: 08/04/2021
 - Curso semipresencial para jefe COEX de conservación de carretera - 2020/2021.
Ciudad entidad realización: Madrid, Comunidad de Madrid, España
Entidad organizadora: ACEX y CITOPIC
Tipo de entidad: Asociaciones y Agrupaciones
Ciudad entidad organizadora: Madrid, Comunidad de Madrid, España
Fecha de presentación: 17/03/2021
 - XI Máster Automoción Universidad de Valladolid.
Ciudad entidad realización: Valladolid, España
Entidad organizadora: Universidad de Valladolid
Tipo de entidad: Universidad
Ciudad entidad organizadora: Valladolid, Castilla y León, España
Fecha de presentación: 08/02/2020
 - Curso semipresencial para jefe COEX de conservación de carretera - 2019/2020.
Ciudad entidad realización: Madrid, Comunidad de Madrid, España
Entidad organizadora: ACEX y CITOPIC
Tipo de entidad: Asociaciones y Agrupaciones
Ciudad entidad organizadora: Madrid, Comunidad de Madrid, España
Fecha de presentación: 18/01/2020
 - X Máster Automoción Universidad de Valladolid. Asignatura Accidentología y Biomecánica.
Ciudad entidad realización: Valladolid, España

Entidad organizadora: Universidad de Valladolid

Tipo de entidad: Universidad

Ciudad entidad organizadora: Valladolid, Castilla y León, España

Fecha de presentación: 08/02/2019

- ° Curso semipresencial para jefe COEX de conservación de carretera - 2018/2019.

Ciudad entidad realización: Madrid, Comunidad de Madrid, España

Entidad organizadora: ACEX y CITOPIC

Tipo de entidad: Asociaciones y Agrupaciones

Ciudad entidad organizadora: Madrid, Comunidad de Madrid, España

Fecha de presentación: 15/12/2018

- ° IX Máster Automoción Universidad de Valladolid. Asignatura Accidentología y Biomecánica.

Ciudad entidad realización: Valladolid, España

Entidad organizadora: Universidad de Valladolid

Tipo de entidad: Universidad

Ciudad entidad organizadora: Valladolid, España

Fecha de presentación: 08/02/2018

- ° VIII Máster Automoción Universidad de Valladolid. Asignatura Accidentología y Biomecánica.

Ciudad entidad realización: Valladolid, España

Entidad organizadora: Universidad de Valladolid

Tipo de entidad: Universidad

Ciudad entidad organizadora: Valladolid, España

Fecha de presentación: 17/02/2017

- ° VII Máster Automoción Universidad de Valladolid. Asignatura Accidentología y Biomecánica.

Ciudad entidad realización: Valladolid, España

Entidad organizadora: Universidad de Valladolid

Tipo de entidad: Universidad

Ciudad entidad organizadora: Valladolid, España

Fecha de presentación: 12/05/2016

- ° V Máster Automoción Universidad de Valladolid. Asignatura Accidentología y Biomecánica.

Entidad organizadora: Universidad de Valladolid

Tipo de entidad: Universidad

Ciudad entidad organizadora: Valladolid, España

Fecha de presentación: 04/05/2014

- ° Curso de Investigación y Reconstrucción de Accidentes de Tráfico - Policía Municipal.

Ciudad entidad realización: Salamanca, Castilla y León, España

Entidad organizadora: Junta de Castilla y León

Tipo de entidad: Organismo Público

Ciudad entidad organizadora: Valladolid, Castilla y León, España

Fecha de presentación: 14/06/2013
- ° IV Máster Automoción Universidad de Valladolid. Asignatura Accidentología y Biomecánica.

Ciudad entidad realización: Valladolid, España

Entidad organizadora: Universidad de Valladolid

Tipo de entidad: Universidad

Ciudad entidad organizadora: Valladolid, España

Fecha de presentación: 08/05/2013
- ° Máster de Movilidad y Auditorías de Seguridad Vial (Submódulo VII: LOS ACCIDENTES DE TRÁFICO: FACTORES DE RIESGO).

Ciudad entidad realización: Madrid, España

Entidad organizadora: Escuela de Obras Públicas de la Universidad Politécnica de Madrid

Tipo de entidad: Universidad

Ciudad entidad organizadora: Madrid, España

Fecha de presentación: 21/03/2012
- ° III Máster Automoción Universidad de Valladolid. Asignatura Accidentología y Biomecánica.

Ciudad entidad realización: Valladolid, España

Entidad organizadora: Universidad de Valladolid

Tipo de entidad: Universidad

Ciudad entidad organizadora: Valladolid, España

Fecha de presentación: 04/02/2012
- ° Curso de Investigación y Reconstrucción de Accidentes de Tráfico - Policía Municipal.

Ciudad entidad realización: Valladolid, Castilla y León, España

Entidad organizadora: Ayuntamiento de Valladolid

Tipo de entidad: Ayuntamiento

Ciudad entidad organizadora: Valladolid, Castilla y León, España

Fecha de presentación: 14/05/2011

- ° II Máster Automoción Universidad de Valladolid. Asignatura Accidentología y Biomecánica.
 Ciudad entidad realización: Valladolid, España
 Entidad organizadora: Universidad de Valladolid
 Tipo de entidad: Universidad
 Ciudad entidad organizadora: Valladolid, España
 Fecha de presentación: 28/02/2011
- ° I Máster Automoción Universidad de Valladolid. Asignatura Accidentología y Biomecánica.
 Ciudad entidad realización: Valladolid, España
 Entidad organizadora: Universidad de Valladolid
 Tipo de entidad: Universidad
 Ciudad entidad organizadora: Valladolid, España
 Fecha de presentación: 14/02/2010
- ° Curso de Investigación y Reconstrucción de Accidentes de Tráfico - Policía Municipal.
 Ciudad entidad realización: Valladolid, Castilla y León, España
 Entidad organizadora: Junta de Castilla y León
 Tipo de entidad: Organismo Público
 Ciudad entidad organizadora: Valladolid, Castilla y León, España
 Fecha de presentación: 14/11/2006
- ° La Estadística en la Investigación de los Accidentes de Tráfico.
 Ciudad entidad realización: Valladolid, España
 Entidad organizadora: Universidad de Valladolid
 Tipo de entidad: Universidad
 Ciudad entidad organizadora: Valladolid, España
 Fecha de presentación: 05/05/2006
- ° II Jornada - Debate 'Atención al Trauma Grave. Taller Biomecánica, Accidentes y Trauma Grave.
 Ciudad entidad realización: Valladolid, España
 Entidad organizadora: Hospital Río Hortega
 Tipo de entidad: Instituciones Sanitarias
 Ciudad entidad organizadora: Valladolid, España
 Fecha de presentación: 01/10/2003
- ° El Airbag como riesgo para los primeros intervinientes.
 Tipo del evento: Curso
 Ciudad entidad realización: Valladolid, España

Entidad organizadora: FUNDACION MAPFRE
Tipo de entidad: Fundación
Ciudad entidad organizadora: Valladolid, España
Fecha de presentación: 01/08/2003

- Experiencia científica y tecnológica: Actividad científica o tecnológica: Proyectos de I+D+i financiados en convocatorias competitivas de Administraciones o entidades públicas y privadas:

- Nombre del proyecto: INVESTIGACIÓN EN NUEVOS SISTEMAS DE AUSCULTACIÓN DINÁMICA DE LA SEÑALIZACIÓN HORIZONTAL Y VERTICAL COMPATIBLES CON EL VEHÍCULO AUTÓNOMO

Entidad de realización: Centro para el Desarrollo Tecnológico Industrial

Tipo de entidad: Entidad Empresarial

Ciudad entidad realización: Valladolid, Castilla y León, España

Nombres investigadores principales (IP, Co-IP,...): Aquilino Molinero Martínez; Jesús Ángel Real

Nº de investigadores/as: 7

Fecha de inicio-fin: 01/07/2019 - 30/06/2021

Cuantía total: 147.976,36 €

- Nombre del proyecto: Desarrollo de los criterios de aplicación de los elementos de contención de vehículos, ciclistas y peatones en intersecciones y tramos curvos de zona urbana.

Entidad de realización: Universidad de Valladolid

Tipo de entidad: Universidad

Ciudad entidad realización: Valladolid, España

Nombres investigadores principales (IP, Co-IP,...): Alberto Mansilla Gallo

Nº de investigadores/as: 3

Entidad/es financiadora/s: Dirección General de Tráfico

Tipo de entidad: Organismo Público

Ciudad entidad financiadora: Madrid, Comunidad de Madrid, España

Fecha de inicio-fin: 01/10/2015 - 01/10/2016

Cuantía total: 49.610 €

- Nombre del proyecto: DESARROLLO DE UN MODELO CONCEPTO DE BARRERA DE SEGREGACIÓN DE ESPACIOS SEGUROS PARA USUARIOS VULNERABLES EN ENTORNOS URBANOS

Entidad de realización: Universidad de Valladolid

Tipo de entidad: Universidad

Ciudad entidad realización: Valladolid, España

Nombres investigadores principales (IP, Co-IP,...): Alberto Mansilla Gallo

Nº de investigadores/as: 3

Entidad/es financiadora/s:

Dirección General de Tráfico

Tipo de entidad: Organismo Público

Ciudad entidad financiadora: Madrid, Comunidad de Madrid, España

Fecha de inicio-fin: 01/10/2014 - 01/10/2015

Cuantía total: 49.940 €

- ° Nombre del proyecto: DESARROLLO DE LUMINARIAS LED DE VIDA PROLONGADA SEGUN RECOMENDACIONES IEC

Entidad de realización: FUNDACIÓN CIDAUT

Tipo de entidad: Centro de I+D

Ciudad entidad realización: Boecillo, España

Nombres investigadores principales (IP, Co-IP,...): José Antonio Gutiérrez

Nº de investigadores/as: 7

Entidad/es financiadora/s: MINISTERIO DE ECONOMÍA Y COMPETITIVIDAD (MINECO)

Tipo de entidad: Organismo Público de Investigación

Ciudad entidad financiadora: Madrid, España

Cód. según financiadora: IPT-2012-0920-0200

Fecha de inicio-fin: 01/07/2012 - 01/03/2015

Entidad/es participante/s: DESARROLLO DE SISTEMAS TECNOLÓGICOS AVANZADOS (DSTA); FUNDACION CIDAUT

Cuantía total: 625.048,03 €

- ° Nombre del proyecto: MOTORCYCLISTS ROAD SAFETY IMPROVEMENT THROUGH BETTER PERFORMANCE OF THE PROTECTIVE EQUIPMENT AND FIRST AID DEVICES

Entidad de realización: FUNDACIÓN CIDAUT

Tipo de entidad: Centro de I+D

Ciudad entidad realización: Boecillo, España

Nombres investigadores principales (IP, Co-IP,...): Aquilino Molinero Martínez

Nº de investigadores/as: 9

Entidad/es financiadora/s: COMISIÓN EUROPEA

Tipo de entidad: Agencia Estatal

Ciudad entidad financiadora: Bruselas, Bélgica

Cód. según financiadora: MOVE/SUB/01-2011

Fecha de inicio-fin: 01/10/2012 - 01/09/2013

Cuantía total: 316,65 €

- Nombre del proyecto: PROYECTO OASIS - OPERACIÓN DE AUTOPISTAS SEGURAS, INTELIGENTES Y SOSTENIBLES
 Entidad de realización: FUNDACIÓN CIDAUT
 Tipo de entidad: Centro de I+D
 Ciudad entidad realización: Boecillo, España
 Nombres investigadores principales (IP, Co-IP,...): José Miguel Perandones Peidro
 Nº de investigadores/as: 11
 Entidad/es financiadora/s: CDTI
 Tipo de entidad: Centros de Innovación y Tecnología
 Ciudad entidad financiadora: Madrid, España
 Fecha de inicio-fin: 01/11/2008 - 01/12/2011
 Entidad/es participante/s: AGRUPACION DE INTERES ECOMOMICO PROYECTO CENIT-OASIS; ASOCIACIÓN ESPAÑOLA DE LA CARRETERA (AEC); CEDEX-CENTRO DE ESTUDIOS Y EXPERIMENTACIÓN DE OBRAS PÚBLICAS; FUNDACION CIDAUT; GMV SISTEMAS PTM, S.A.; INDRA SISTEMAS, S.A.; OHL CONCESIONES; SOCIEDAD IBÉRICA DE COSTRUCIONES ELÉCTRICAS, S.A. (SICE); UNIVERSIDAD DE VALLADOLID
 Cuantía total: 30.459.757 €
- Nombre del proyecto: INVESTIGACIÓN EN SISTEMAS MULTISENSORIALES PARA PREVENCIÓN DE LA ACCIDENTABILIDAD MEDIANTE LA IDENTIFICACIÓN DEL ESTADO DE LA INFRAESTRUCTURA VIAL. "SENSORES"
 Entidad de realización: FUNDACIÓN CIDAUT
 Tipo de entidad: Centro de I+D
 Ciudad entidad realización: Boecillo, España
 Nº de investigadores/as: 5
 Entidad/es financiadora/s: MINISTERIO DE FOMENTO
 Tipo de entidad: Ministerio
 Ciudad entidad financiadora: Madrid, España
 Cód. según financiadora: 57/07
 Fecha de inicio-fin: 01/01/2008 - 01/06/2010
 Entidad/es participante/s: FUNDACION CIDAUT; TELVENT TRÁFICO Y TRANSPORTE, S.A.
 Cuantía total: 529.654 €
- Nombre del proyecto: INVESTIGACIÓN EN PROFUNDIDAD Y RECONSTRUCCIÓN DE ACCIDENTES MORTALES EN LAS CARRETERAS DE LA RED REGIONAL DE CASTILLA Y LEÓN
 Entidad de realización: FUNDACIÓN CIDAUT
 Tipo de entidad: Centro de I+D

Ciudad entidad realización: Boecillo, España
Nombres investigadores principales (IP, Co-IP,...): Javier Diez Rabanal Nº de investigadores/as: 7 Entidad/es financiadora/s: JUNTA DE CASTILLA Y LEON
Ciudad entidad financiadora: Valladolid
Cód. según financiadora: ESV-O-1
Fecha de inicio-fin: 01/10/2008 - 01/10/2009
Cuantía total: 303.920 €

- Nombre del proyecto: ANÁLISIS DE LA EFECTIVIDAD DE LAS ACTUACIONES DE TRATAMIENTO DE LOS TRAMOS DE CONCENTRACIÓN DE ACCIDENTES EN LAS CARRETERAS DE LA RED DE CASTILLA Y LEÓN

Entidad de realización: FUNDACIÓN CIDAUT
Tipo de entidad: Centro de I+D
Ciudad entidad realización: Boecillo, España
Nombres investigadores principales (IP, Co-IP,...): Aquilino Molinero Martínez
Nº de investigadores/as: 4
Entidad/es financiadora/s: JUNTA DE CASTILLA Y LEON
Tipo de entidad: Junta
Ciudad entidad financiadora: Valladolid, España
Cód. según financiadora: ESV-O-2
Fecha de inicio-fin: 01/10/2008 - 01/07/2009
Cuantía total: 73.544 €

- Nombre del proyecto: CONSULTORÍA Y ASISTENCIA PARA LA REALIZACIÓN DE UN ESTUDIO DE ACCIDENTES CON IMPLICACIÓN DE MOTOCICLETAS EN LA ZONA NOROESTE DE LA PENÍNSULA E ISLAS CANARIAS

Entidad de realización: FUNDACIÓN CIDAUT
Tipo de entidad: Centro de I+D
Ciudad entidad realización: Boecillo, España
Nombres investigadores principales (IP, Co-IP,...): Javier Diez Rabanal
Nº de investigadores/as: 5
Entidad/es financiadora/s: MINISTERIO DEL INTERIOR - DIRECCION GENERAL DE TRAFICO (DGT)
Tipo de entidad: Organismo
Ciudad entidad financiadora: Madrid, España
Cód. según financiadora: 0100DGT13669
Fecha de inicio-fin: 01/04/2008 - 01/08/2008
Cuantía total: 29.928 €

- ° Nombre del proyecto: TRAFFIC ACCIDENT CAUSATION IN EUROPE Entidad de realización: FUNDACIÓN CIDAUT
 Tipo de entidad: Centro de I+D
 Ciudad entidad realización: Boecillo, España
 Nombres investigadores principales (IP, Co-IP,...): David Pedrero Muriel
 Nº de investigadores/as: 3
 Entidad/es financiadora/s: COMISIÓN EUROPEA
 Tipo de entidad: Agencia Estatal
 Ciudad entidad financiadora: Bruselas, Bélgica
 Cód. según financiadora: 027763
 Fecha de inicio-fin: 01/01/2006 - 01/06/2008
 Entidad/es participante/s: FUNDACION CIDAUT; LOUGHBOROUGH UNIVERSITY; NETHERLANDS ORGANISATION FOR APPLIED SCIENTIFIC RESEARCH (TNO); VOLKSWAGEN AG
 Cuantía total: 4.107.183 €
- ° Nombre del proyecto: NETWORK OF EXCELLENCE ON ADVANCED PASSIVE SAFETY
 Entidad de realización: FUNDACIÓN CIDAUT
 Tipo de entidad: Centro de I+D
 Ciudad entidad realización: Boecillo, España
 Nombres investigadores principales (IP, Co-IP,...): David Pedrero Muriel
 Nº de investigadores/as: 3
 Entidad/es financiadora/s: COMISIÓN EUROPEA Tipo de entidad: Agencia Estatal
 Ciudad entidad financiadora: Bruselas, Bélgica
 Cód. según financiadora: FP6-PLT-506257
 Fecha de inicio-fin: 01/04/2004 - 01/03/2008
 Entidad/es participante/s: ENGINSOFT; FRAUNHOFER-GESELLSCHAFT ZUR FOERDERUNG DER ANGEWANDTEN FORSCHUNG; FUNDACION CIDAUT; GRUPO ANTOLÍN INGENIERÍA, S.A.; LOUGHBOROUGH UNIVERSITY; TECHNISCHE UNIVERSITEIT EINDHOVEN; TRL LIMITED; VOLKSWAGEN AG
 Cuantía total: 3.800.000 €
- ° Nombre del proyecto: INVESTIGACION EN LA COMPATIBILIDAD/SEGURIDAD DE VEHICULO-OCUPANTE MOTORISTA FRENTE A INFRAESTRUCTURA VIARIA: INVESTIGACION SOBRE ENSAYOS PARCIALES DE SUBSISTEMA. 2ª PARTE
 Entidad de realización: FUNDACIÓN CIDAUT
 Tipo de entidad: Centro de I+D

Ciudad entidad realización: Boecillo, España
Nombres investigadores principales (IP, Co-IP,...): Alberto Negro Marne
Nº de investigadores/as: 6
Entidad/es financiadora/s: MINISTERIO DE EDUCACION Y CIENCIA (MEC)
Tipo de entidad: Ministerio
Ciudad entidad financiadora: Madrid, España
Cód. según financiadora: CIDA05-24-010
Fecha de inicio-fin: 01/01/2005 - 01/12/2007
Cuantía total: 702.307,86 €

- ° Nombre del proyecto: INVESTIGACION EN LA COMPATIBILIDAD/SEGURIDAD DE VEHICULO-OCUPANTE MOTORISTA FRENTE A INFRAESTRUCTURA VIARIA: MANIQUIES ANTROPOMORFICOS. 2ª PARTE

Entidad de realización: FUNDACIÓN CIDAUT
Tipo de entidad: Centro de I+D
Ciudad entidad realización: Boecillo, España
Nombres investigadores principales (IP, Co-IP,...): Javier Villacorta Jiménez
Nº de investigadores/as: 9
Entidad/es financiadora/s: MINISTERIO DE EDUCACION Y CIENCIA (MEC)
Tipo de entidad: Ministerio
Ciudad entidad financiadora: Madrid, España
Cód. según financiadora: CIDA05-24-011
Fecha de inicio-fin: 01/01/2005 - 01/12/2007
Cuantía total: 772.120,1 €

- ° Nombre del proyecto: ROADSIDE INFRAESTRUCTURE FOR SAFER EUROPEAN ROADS

Entidad de realización: FUNDACIÓN CIDAUT
Tipo de entidad: Centro de I+D
Ciudad entidad realización: Boecillo, España
Nº de investigadores/as: 17
Entidad/es financiadora/s: COMISIÓN EUROPEA
Tipo de entidad: Agencia Estatal
Ciudad entidad financiadora: Bruselas, Bélgica
Cód. según financiadora: GRD2-2001-50088
Fecha de inicio-fin: 01/01/2003 - 01/12/2005
Entidad/es participante/s: EUROPEAN UNION ROAD FEDERATION (ERF); FUNDACION CIDAUT; HIERROS Y APLANACIONES, S.A.(HIASA); LOUGHBOROUGH UNIVERSITY; NETHERLANDS ORGANISATION FOR APPLIED SCIENTIFIC RESEARCH (TNO)
Cuantía total: 2.828.476 €

- ° Nombre del proyecto: EUROPEAN VEHICLE PASSIVE SAFETY NETWORK
2

Entidad de realización: FUNDACIÓN CIDAUT
 Tipo de entidad: Centro de I+D
 Ciudad entidad realización: Boecillo, España
 Nº de investigadores/as: 3
 Entidad/es financiadora/s: COMISIÓN EUROPEA
 Tipo de entidad: Agencia Estatal
 Ciudad entidad financiadora: Bruselas, Bélgica
 Cód. según financiadora: GTC1-2001-43021
 Fecha de inicio-fin: 01/01/2002 - 01/01/2004
 Entidad/es participante/s: FRAUNHOFER-GESELLSCHAFT ZUR FOERDERUNG DER ANGEWANDTEN FORSCHUNG; FUNDACION CIDAUT; LOUGHBOROUGH UNIVERSITY; MIRA LTD; TRL LIMITED; VOLKSWAGEN AG
 Cuantía total: 972.026 €
- ° Nombre del proyecto: ANÁLISIS PREVIO DE LA VIABILIDAD TÉCNICA DEL PROGRAMA OPERATIVO PRONACC (‘PROGRAMA NACIONAL DE ACCIDENTOLOGÍA’)

Entidad de realización: FUNDACIÓN CIDAUT
 Tipo de entidad: Centro de I+D
 Ciudad entidad realización: Boecillo, España
 Nº de investigadores/as: 3
 Entidad/es financiadora/s: Fitsa
 Tipo de entidad: Fundación
 Ciudad entidad financiadora: Madrid, España
 Fecha de inicio-fin: 01/12/2002 - 01/03/2003
 Cuantía total: 11.598,7 €
- ° Nombre del proyecto: ACCIDENTOLOGÍA DE TRÁFICO (ACCIDENTOLOGÍA)

Entidad de realización: FUNDACIÓN CIDAUT
 Tipo de entidad: Centro de I+D
 Ciudad entidad realización: Boecillo, España
 Nombres investigadores principales (IP, Co-IP,...): David Pedrero Muriel
 Nº de investigadores/as: 3
 Entidad/es financiadora/s: FITSA Tipo de entidad: Fundación
 Ciudad entidad financiadora: Madrid, España
 Fecha de inicio-fin: 01/12/2002 - 01/12/2002
 Cuantía total: 69.717,4 €

- Nombre del proyecto: ACCIDENTOLOGÍA DE TRÁFICO (ACCIDENTOLOGÍA)
Entidad de realización: FUNDACIÓN CIDAUT
Tipo de entidad: Centro de I+D
Ciudad entidad realización: Boecillo, España
Nombres investigadores principales (IP, Co-IP,...): David Pedrero Muriel
Nº de investigadores/as: 3
Entidad/es financiadora/s: FITSA Tipo de entidad: Fundación
Ciudad entidad financiadora: Madrid, España
Fecha de inicio-fin: 01/12/2001 - 01/05/2002
Cuantía total: 60.101,21 €

- Contratos, convenios o proyectos de I+D+i no competitivos con Administraciones o entidades públicas o privadas:
 - Nombre del proyecto: Redacción del PLIEGO DE PRESCRIPCIONES TÉCNICAS DE LA CONTRATACIÓN DE SERVICIOS PARA EL “ANÁLISIS Y NUEVAS PROPUESTAS PARA LA MEJORA DE SEGURIDAD VIAL DE MOTOCICLISTAS EN CARRETERAS DE LA COMUNIDAD DE MADRID”
Grado de contribución: Coordinador del proyecto total, red o consorcio
Nombres investigadores principales (IP, Co-IP,...): Aquilino Molinero Martínez
Nº de investigadores/as: 1
Entidad/es participante/s: Comunidad de Madrid; Road Steel Engineering SL
Fecha de inicio: 01/09/2017 Duración: 4 meses
Cuantía total: 14.000 €

 - Nombre del proyecto: ACUERDO DE COLABORACION ENTRE LA EMPRESA PRODUCTOS TECNOLOGICOS DE SEGURIDAD VIAL Y MOVILIDAD, S.L. Y LA FUNDACION CIDAUT PARA LA REALIZACION DEL PROYECTO TITULADO .ESTUDIO DE MATERIALES Y MECANISMOS DE ANCLAJE PARA SU APLICACION EN EL DISEÑO DE POSTES DE SUJECION DE SEÑALES VERTICALES BENIGNOS ANTE EL IMPACTO DE CICLISTAS Y MOTOCICLETAS.RIPOSAFE”
Grado de contribución: Coordinador del proyecto total, red o consorcio
Nº de investigadores/as: 1
Entidad/es participante/s: CIDRO; FUNDACION CIDAUT
Entidad/es financiadora/s: Centro para el Desarrollo Tecnológico Industrial
Tipo de entidad: Entidad Empresarial
Ciudad entidad financiadora: Madrid, Comunidad de Madrid, España
Fecha de inicio: 01/12/2013 Duración: 21 meses
Cuantía total: 130.000 €

- Nombre del proyecto: GRANT AGREEMENT NUMER MOVE/C4/SUB/2011-294/S12.628576/MOSAFIM
 Grado de contribución: Coordinador del proyecto total, red o consorcio
 Nº de investigadores/as: 5
 Entidad/es participante/s: FUNDACION CIDAUT; METASYSTEM
 Entidad/es financiadora/s: COMISIÓN EUROPEA
 Tipo de entidad: Organismo Público
 Ciudad entidad financiadora: Bruselas, Bélgica
 Fecha de inicio: 01/08/2012 Duración: 12 meses
 Cuantía total: 152.438 €
- Nombre del proyecto: GRANT AGREEMENT NUMBER- MOVE/SUBV/2010/D3/300-1/SI2.566057/ROSA Grado de contribución: Coordinador del proyecto total, red o consorcio
 Nombres investigadores principales (IP, Co-IP,...): Aquilino Molinero Martínez
 Nº de investigadores/as: 10
 Entidad/es participante/s: ASOCIACION MUTUA MOTERA; COORDINAMENTO MOTOCICLISTI (CM); DORNA SPORTS, S.L.; EUROPEAN UNION ROAD FEDERATION (ERF); FEDERACAO DE MOTOCICLISMO DE PORTUGAL (FMP); FUNDACION CIDAUT; REAL FEDERACIÓN MOTOCICLISTA ESPAÑOLA (RFME)
 Entidad/es financiadora/s: COMISIÓN EUROPEA Tipo de entidad: Organismo Público
 Ciudad entidad financiadora: Bruselas, Bélgica
 Fecha de inicio: 01/05/2010 Duración: 12 meses

■ Actividades científicas y tecnológicas: Producción científica:

- Cáceres; Gordaliza; Fernández Temprano; Molinero Martínez. Detection of Geometric Risk Factors Affecting Head-on Collisions through Multiple Logistic Regression. Improving Two-way Rural Road Design via 2+1 Road Adaptation. International Journal of Environmental Research and Public Health. 18 (12) - 6598, MDPI , <https://doi.org/10.3390/ijerph18126598>, 15/06/2021.
 Tipo de producción: Artículo científico
 Tipo de soporte: Documento o Informe científico-técnico
 Autor de correspondencia: No
- Patricia Álvarez Fernández; Miguel Alejandro Fernandez Temprano; Alfonso Gordaliza Ramos; Alberto Mansilla Gallo; Aquilino Molinero Martinez. PLOS ONE. Geometric road design factors affecting the risk of urban run-off crashes. A case-control study. PLoS ONE 15(6): e0234564. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0234564>. Elsevier, 11/06/2020.

Tipo de producción: Artículo científico

Tipo de soporte: Revista

Autor de correspondencia: Si

- Luis Ángel García Escudero; Miguel Alejandro Fernandez Temprano; Aquilino Molinero Martínez. PLOS ONE. Analysis of real crashes against metal roadside barriers //

<https://journals.plos.org/plosone/article/comments?id=10.1371/journal.pone.0211674>. Elsevier, 04/02/2019.

Tipo de producción: Artículo científico

Tipo de soporte: Revista

- Aquilino Molinero Martínez; Javier Diez Rabanal; Óscar Martín Pérez; David Pedrero Muriel. Obstáculos muy peligrosos. TRAFICO Y SEGURIDAD VIAL. 230 - 1, pp. 16 - 17. Dirección General de Tráfico, 13/07/2015.

Tipo de producción: Artículo científico

Tipo de soporte: Revista

Autor de correspondencia: Si

- Aquilino Molinero Martínez. CARACTERISCAS NECESARIAS Y DESEABLES DE UN SISTEMA DE PROTECCIÓN DE PASOS SALVACUNETAS. CONGRESO CONSERVACIÓN ATC. 2013 - 1, Asociación Técnica de la Carretera, 01/10/2013.

Tipo de producción: Artículo científico

Tipo de soporte: Documento o Informe científico-técnico

Autor de correspondencia: Si

- Aquilino Molinero Martínez; Rafael Heredero Ordoyo; Keshia Pollack; María Seguí Gómez; Jason L Forman; Francisco Jose Lopez Valdés; Brian Fildes; Alberto Mansilla Gallo. INJURIES AMONG POWERED TWO-WHEELER USERS IN EIGHT EUROPEAN COUNTRIES: A DESCRIPTIVE ANALYSIS OF HOSPITAL DISCHARGE DATA. ACCIDENT ANALYSIS AND PREVENTION. 49 - 1, pp. 229 - 236. Elsevier, 01/10/2012.

Tipo de producción: Artículo científico

Tipo de soporte: Revista

Autor de correspondencia: Si

Fuente de impacto: TRCJR 2015

Índice de impacto: 2,070

- Aquilino Molinero Martínez; Javier Diez Rabanal; José Miguel Perandonés Peidró; Óscar Martín Pérez; David Pedrero Muriel. EFECTIVENESS AND COST-BENEFIT ANALYSIS OF THE SAFETY COUNTERMEASURES APPLIED ON HIGH ACCIDENT RATE ROADS SECTIONS IN THE SPANISH REGIONAL ROAD NETWORK OF CASTILLA Y LEÓN. JOURNAL OF CIVIL ENGINEERING

AND ARCHITECTURE. 2011 - 1, TRANSPORTATION RESEARCH BOARD, 01/01/2011.

Tipo de producción: Artículo científico

Tipo de soporte: Documento o Informe científico-técnico

Autor de correspondencia: Si

- Aquilino Molinero Martínez; Veronique Huth. EFFECTS OF A CURVE WARNING SYSTEM ON MOTORCYCLE RIDING SAFETY. INTERNATIONAL CONFERENCE ON SAFETY AND MOBILITY OF VULNERABLE ROAD USERS. 2010, INTERNATIONAL CONFERENCE ON SAFETY AND MOBILITY OF VULNERABLE ROAD USERS, 01/10/2010.

Tipo de producción: Artículo científico

Tipo de soporte: Documento o Informe científico-técnico

Autor de correspondencia: Si

- Aquilino Molinero Martínez; Veronique Huth; José Miguel Perandones Peidró; David Pedrero Muriel. METHODOLOGY FOR ANALYSING SOCIO-ECONOMIC EFFECTS OF NEW ARAS AND OBIS DEVICES TO BE APPLIED OVER MOTORCYCLISTS. INTERNATIONAL CONFERENCE ON SAFETY AND MOBILITY OF VULNERABLE ROAD USERS. 2010 - 1, INTERNATIONAL CONFERENCE ON SAFETY AND MOBILITY OF VULNERABLE ROAD USERS, 01/09/2010.

Tipo de producción: Artículo científico

Tipo de soporte: Documento o Informe científico-técnico

Autor de correspondencia: Si

- Aquilino Molinero Martínez; Javier Diez Rabanal; José Miguel Perandones Peidró; Oscar Martín Pérez; David Pedrero Muriel. ESTUDIO DE ACCIDENTALIDAD E INFRAESTRUCTURA VIAL EN CARRETERAS DE UNA CALZADA DE DIPUTACIONES PROVINCIALES. CARRETERAS. 2010 - 1, Asociación Española de la Carretera, 01/06/2010.

Tipo de producción: Artículo científico

Tipo de soporte: Documento o Informe científico-técnico

Autor de correspondencia: Si

- Aquilino Molinero Martínez; José Miguel Perandones Peidró; Óscar Martín Pérez; David Pedrero Muriel. ESTUDIO DE ACCIDENTALIDAD E INFRAESTRUCTURA VIAL EN CARRETERAS DE UNA CALZADA DE DIPUTACIONES PROVINCIALES. XX VYODEAL - SYMPOSIUM NACIONAL DE VÍAS Y OBRAS DE ADMINISTRACIÓN LOCAL. 2009, ASOCIACIÓN ESPAÑOLA DE LA CARRETERA, 01/10/2009.

Tipo de producción: Artículo científico

Tipo de soporte: Documento o Informe científico-técnico

Autor de correspondencia: Si

- Aquilino Molinero Martínez; José Miguel Perandones Peidró; Óscar Martín Pérez; David Pedrero Muriel. CHARACTERISTICS OF PTW ACCIDENTS SUSCEPTIBLE TO BE AVOIDED AND MINIMIZE THROUGH ADAS AND IVIS IMPLEMENTATIONS. ESV CONFERENCE 2009. 2009 - 1, ESV, 01/09/2009.
 Tipo de producción: Artículo científico
 Tipo de soporte: Documento o Informe científico-técnico
 Autor de correspondencia: Si
- Aquilino Molinero Martínez; José Miguel Perandones Peidró. IMPROVING MOTORCYCLISTS SAFETY IN SPAIN BY ENHANCED CRASH TEST PROCEDURES AND IMPLEMENTATION GUIDELINES. ESV CONFERENCE 2009. 2009, ESV, 01/09/2009.
 Tipo de producción: Artículo científico
 Tipo de soporte: Documento o Informe científico-técnico
 Autor de correspondencia: Si
- PIERRE VAN ELSLANDE; SYLVIA SCHICK; JOSE MIGUEL PERANDONES; MENELAOS PAPPAS; YVES PAGE; ALAN KIRK; HILL JULIAN; THIERRY HERMITTE; WOLFRAM HELL; HEINZ HAUTZINGER; JOSE MANUEL BARRIOS; KOSMAS ALEXOPOLOUS; Cyril Chauvel; Aquilino Molinero Martínez. RECONSIDERING ACCIDENT CAUSATION ANALYSIS AND EVALUATING THE SAFETY BENEFITS OF TECHNOLOGIES FINAL RESULTS OF THE TRACE PROJECT. ESV CONFERENCE 2009. 2009 - 1, ESV, 01/09/2009.
 Tipo de producción: Artículo científico
 Tipo de soporte: Documento o Informe científico-técnico
 Autor de correspondencia: Si
- Aquilino Molinero Martínez; Javier Diez Rabanal; José Miguel Perandones Peidró; David Pedrero Muriel. ACCIDENTES MORTALES EN LA RED REGIONAL DE CARRETERAS DE CASTILLA Y LEÓN. IV CONGRESO NACIONAL DE SEGURIDAD VIAL. 2009 - 1, ASOCIACIÓN ESPAÑOLA DE LA CARRETERA, 01/05/2009.
 Tipo de producción: Artículo científico
 Tipo de soporte: Documento o Informe científico-técnico
 Autor de correspondencia: Si
- Aquilino Molinero Martínez; José Miguel Perandones Peidró; Óscar Martín Pérez; David Pedrero Muriel. ANÁLISIS DE LA EFECTIVIDAD DE LAS ACTUACIONES DE TRATAMIENTO DE LOS TCA EN LA RED REGIONAL DE CARRETERAS DE CYL. IV CONGRESO NACIONAL DE SEGURIDAD VIAL. 2009, ASOCIACIÓN ESPAÑOLA DE LA CARRETERA, 01/05/2009.
 Tipo de producción: Artículo científico
 Tipo de soporte: Documento o Informe científico-técnico
 Autor de correspondencia: Si

- Aquilino Molinero Martínez; Steffen Peldschus; David Garcia Ruiz; Alberto Mansilla Gallo; Juan García Peña. DEVELOPMENT OF A TEST STANDARD FOR THE EVALUATION OF MOTORCYCLIST IMPACTS ON ROAD SAFETY BARRIER. THE TRANSPORTATION RESEARCH BOARD (TRB) 88TH ANNUAL MEETING. 2009 - 1, TRANSPORTATION RESEARCH BOARD, 01/01/2009.
 Tipo de producción: Artículo científico
 Tipo de soporte: Documento o Informe científico-técnico
 Autor de correspondencia: Si
- Aquilino Molinero Martínez; Carlos Martín Martínez; Alberto Mansilla Gallo; José Miguel Perandones Peidró; David Pedrero Muriel. RECOMMENDATIONS FOR THE LOCATION OF MOTORCYCLIST PROTECTION DEVICES IN THE SPANISH REGIONAL ROAD NETWORK OF CASTILLA Y LEÓN. TRB (TRANSPORTATION RESEARCH BOARD) 87TH ANNUAL MEETING, WASHINGTON, D.C. 2008, TRANSPORTATION RESEARCH BOARD, 08/01/2008.
 Tipo de producción: Artículo científico
 Tipo de soporte: Documento o Informe científico-técnico
 Autor de correspondencia: Si
- Alberto Mansilla Gallo; Giorgio Munaretto. INNOVACIÓN PARA LA MITIGACIÓN DE LESIONES EN LAS SALIDAS DE CALZADA CONTRA PASOS SALVACUNETAS. I CONGRESO MULTISECTORIAL DE LA CARRETERA. 2015 - 1, pp. 1 - 16. Asociación Española de la Carretera, 01/05/2015.
 Tipo de producción: Artículo de divulgación
 Tipo de soporte: Documento o Informe científico-técnico
 Autor de correspondencia: Si
- Aquilino Molinero Martínez. PROTECTOR DE PASOS SALVACUNETAS "CROSSAFE". WWW.PTCARRETERA.ES. 2013, Plataforma Tecnológica de la Carretera, 01/05/2013.
 Tipo de producción: Artículo de divulgación
 Tipo de soporte: Revista
 Autor de correspondencia: Si
- Aquilino Molinero Martínez; Óscar Martín Pérez; José Miguel Perandones Peidró; David Pedrero Muriel. ESTUDIO DE ACCIDENTALIDAD DE CAMIONES DE M.M.A. SUPERIOR A 3,5 T. OBSERVATORIO NACIONAL DE SEGURIDAD VIAL. 2008, DIRECCIÓN GENERAL DE TRÁFICO, 20/11/2008.
 Tipo de producción: Artículo de divulgación
 Tipo de soporte: Documento o Informe científico-técnico
 Autor de correspondencia: Si
- Aquilino Molinero Martínez. Protección de carriles bici ante salidas de calzada urbanas de vehículos motorizados. XIV Congreso Ibérico "La Bicicleta y la

Ciudad Cinco ejes, cincuenta comunicaciones, una publicación. 1 - 1, pp. 117 - 128. Asociación Colectivo Pedalea - ISBN: 978-84-697-7154-9, 04/12/2017.

Tipo de producción: Capítulo de libro

Tipo de soporte: Libro

Autor de correspondencia: Si

■ Trabajos presentados en congresos nacionales o internacionales:

° Título del trabajo: Sistemas de evaluación dinámica de luminancia e iluminancia en túneles. Caso práctico: Túnel de l'Olleria de la autovía A-7"

Nombre del congreso: 2ª Conferencia internacional y VIII Simposio de Túneles

Autor de correspondencia: Si

Ciudad de celebración: Granada, Andalucía, España

Fecha de celebración: 25/10/2022

Entidad organizadora: PIARC - ATC

Tipo de entidad: Asociaciones y Agrupaciones

Ciudad entidad organizadora: Madrid, Comunidad de Madrid, España

Molineró Martínez; Perales García. "Sistemas de evaluación dinámica de luminancia e iluminancia en túneles. Caso práctico: Túnel de l'Olleria de la autovía A-7"

° Título del trabajo: Evaluación dinámica del alumbrado público en municipios de la Diputación de Soria correspondientes a proyectos con fondos FEDER 2014-2020

Nombre del congreso: XLVIII Simposium Nacional de Alumbrado

Autor de correspondencia: Si

Ciudad de celebración: Cartagena, Andalucía, España

Fecha de celebración: 25/05/2022

Fecha de finalización: 27/05/2022

Entidad organizadora: Comité Español de Iluminación (CEI)

Tipo de entidad: Asociaciones y Agrupaciones

Ciudad entidad organizadora: Madrid, Andalucía, España

Molineró Martínez; Perales García. "Evaluación dinámica del alumbrado público en municipios de la Diputación de Soria correspondientes a proyectos con fondos FEDER 2014-2020"

° Título del trabajo: La iluminación a cielo abierto en autopistas: Caso práctico M40.

Nombre del congreso: XLVIII Simposium Nacional de Alumbrado

Autor de correspondencia: Si

Ciudad de celebración: Cartagena, Andalucía, España

Fecha de celebración: 25/05/2022

Fecha de finalización: 27/05/2022

Entidad organizadora: Comité Español de Iluminación (CEI)

Tipo de entidad: Asociaciones y Agrupaciones

Ciudad entidad organizadora: Madrid, Andalucía, España

Molinero Martínez 2; Perales García 1. "La iluminación a cielo abierto en autopistas: Caso práctico M40."

- ° Título del trabajo: Evaluación dinámica de la iluminación en los túneles
Nombre del congreso: XVI JORNADAS DE CONSERVACIÓN Y EXPLOTACIÓN DE CARRETERAS
Autor de correspondencia: Si
Ciudad de celebración: Sevilla, Andalucía, España
Fecha de celebración: 25/10/2021
Fecha de finalización: 28/10/2021
Entidad organizadora: Asociación Técnica de la Carretera (ATC)
Ciudad entidad organizadora: Madrid, Comunidad de Madrid, España
Aquilino Molinero Martínez. "Evaluación dinámica de la iluminación en los túneles".
- ° Título del trabajo: Evaluación dinámica del alumbrado de los túneles de la Red de Carreteras de la Generalitat de Catalunya
Nombre del congreso: XLVI Simposium Nacional de Alumbrado del CEI
Autor de correspondencia: Si
Ciudad de celebración: Vigo, Castilla y León, España
Fecha de celebración: 29/09/2021
Fecha de finalización: 01/10/2021
Entidad organizadora: Comité Español de Iluminación
Tipo de entidad: Asociaciones y Agrupaciones
Ciudad entidad organizadora: Vigo,
Aquilino Molinero Martínez. "Evaluación dinámica del alumbrado de los túneles de la Red de Carreteras de la Generalitat de Catalunya".
- ° Título del trabajo: Normativa 135126: Protección de pasos salvacunetas
Nombre del congreso: 9º Congreso Nacional de Seguridad Vial
Autor de correspondencia: Si
Ciudad de celebración: Valencia, Comunidad Valenciana, España
Fecha de celebración: 09/04/2019
Fecha de finalización: 10/04/2019
Entidad organizadora: Asociación Española de la Carretera (AEC)
Tipo de entidad: Asociaciones y Agrupaciones

- Ciudad entidad organizadora: Valencia, Comunidad Valenciana, España
 Aquilino Molinero Martínez. ”<https://congresoseguridadvial2019.aecarretera.com/>” .
- Título del trabajo: Evaluación dinámica de la iluminación en túneles
 Nombre del congreso: VII Simposio de Túneles de Carretera
 Autor de correspondencia: Si
 Ciudad de celebración: Barcelona, Cataluña, España
 Fecha de celebración: 12/02/2019
 Fecha de finalización: 15/02/2019
 Entidad organizadora: ASOCIACION TÉCNICA DE LA CARRETERA
 Tipo de entidad: Asociaciones y Agrupaciones
 Ciudad entidad organizadora: Madrid,
 Aquilino Molinero Martínez. .Evaluación dinámica de la iluminación en túneles” .
 - Título del trabajo: Geometría de las Posibles localizaciones 2+1
 Nombre del congreso: CARRETERAS 2+1: UNA SOLUCIÓN CON FUTURO
 Autor de correspondencia: Si
 Ciudad de celebración: Madrid, Comunidad de Madrid, España
 Fecha de celebración: 26/04/2018
 Fecha de finalización: 26/04/2018
 Entidad organizadora: ASOCIACION TECNICA DE CARRETERAS
 Ciudad entidad organizadora: Madrid, Comunidad de Madrid, España
 Aquilino Molinero Martínez. ÇARRETERAS 2+1: UNA SOLUCIÓN CON FUTURO” .
 - Título del trabajo: Protección de carriles bici ante salidas de calzada urbanas de vehículos motorizados
 Nombre del congreso: VII JORNADAS NACIONALES DE SEGURIDAD VIAL
 Autor de correspondencia: Si
 Ciudad de celebración: Toledo, España
 Fecha de celebración: 14/11/2017
 Fecha de finalización: 15/11/2017
 Entidad organizadora: ASOCIACION TÉCNICA DE LA CARRETERA
 Tipo de entidad: Asociaciones y Agrupaciones
 Ciudad entidad organizadora: Madrid,
 Aquilino Molinero Martínez. ”Protección de carriles bici ante salidas de calzada urbanas de vehículos motorizados” .
 - Título del trabajo: Protección de carriles bici ante salidas de calzada urbanas de vehículos motorizados
 Nombre del congreso: III Congreso Internacional de Ingeniería Civil y Territorio. VIII Encontro Galicia-Norte de Portugal. Conservación y gestión de la obra pública. Ciudad y territorio

Autor de correspondencia: Si
Ciudad de celebración: Vigo, España
Fecha de celebración: 19/10/2017
Fecha de finalización: 20/10/2017
Entidad organizadora: Colexio de Enxeñeiros de Camiños, Canais e Portos de Galicia
Ciudad entidad organizadora: A Coruña,
Aquilino Molinero Martínez. "Protección de carriles bici ante salidas de calzada urbanas de vehículos motorizados".

- Título del trabajo: Innovative Road Restraint Systems (RRS)
Nombre del congreso: "INTERNATIONAL WORKSHOP ON THE INJURY PREVENTION CAPABILITIES OF EXISTING ROAD BARRIERS AND TESTING METHODS". COST Action TU1407
Autor de correspondencia: Si
Ciudad de celebración: Alcañiz,
Fecha de celebración: 28/09/2017
Fecha de finalización: 29/09/2017
Entidad organizadora: University of Florence
Tipo de entidad: Universidad
Ciudad entidad organizadora: Florencia, Italia
Aquilino Molinero Martínez. "Innovative Road Restraint Systems (RRS)".
- Título del trabajo: New version of the Spanish standard UNE-135900-2008
Nombre del congreso: "INTERNATIONAL WORKSHOP ON THE INJURY PREVENTION CAPABILITIES OF EXISTING ROAD BARRIERS AND TESTING METHODS". COST Action TU1407
Autor de correspondencia: Si
Ciudad de celebración: Alcañiz,
Fecha de celebración: 28/09/2017
Fecha de finalización: 29/09/2017
Entidad organizadora: University of Florence
Tipo de entidad: Universidad
Ciudad entidad organizadora: Florencia, Italia
Aquilino Molinero Martínez. "New version of the Spanish standard UNE-135900-2008".
- Título del trabajo: Protección de carriles bici ante salidas de calzada urbanas de vehículos motorizados
Nombre del congreso: VIII CONGRESO NACIONAL DE SEGURIDAD VIAL
Autor de correspondencia: Si

Ciudad de celebración: Valencia, España

Fecha de celebración: 20/06/2017

Fecha de finalización: 21/06/2017

Entidad organizadora: ASOCIACION ESPAÑOLA DE LA CARRETERA

Aquilino Molinero Martínez. "Protección de carriles bici ante salidas de calzada urbanas de vehículos motorizados".

- Título del trabajo: Protección de carriles bici ante salidas de calzada urbanas de vehículos motorizados

Nombre del congreso: XVI Congreso Ibérico "La bicicleta y la ciudad"

Autor de correspondencia: Si

Ciudad de celebración: Zaragoza,

Fecha de celebración: 27/04/2017

Fecha de finalización: 30/04/2017

Entidad organizadora: Colectivo Pedalea, Con Bici Coordinadora en defensa de la bici, Federación Portuguesa de Cicloturismo

Tipo de entidad: Asociaciones

Ciudad entidad organizadora: Zaragoza,

Aquilino Molinero Martínez. "Protección de carriles bici ante salidas de calzada urbanas de vehículos motorizados".

- Título del trabajo: Desarrollo de soluciones para mitigar salidas de calzada

Nombre del congreso: Mesa redonda: "Tecnología de la seguridad vial en el campo de la ingeniería".

Autor de correspondencia: Si

Ciudad de celebración: Valladolid,

Fecha de celebración: 30/03/2017

Fecha de finalización: 30/03/2017

Entidad organizadora: Universidad de Valladolid

Tipo de entidad: Universidad

Ciudad entidad organizadora: Valladolid,

- Título del trabajo: Salidas de calzada en zona urbana

Nombre del congreso: I Congreso de Movilidad Sostenible, Seguridad Vial y Tráfico

Autor de correspondencia: Si

Ciudad de celebración: Roquetas de Mar, Andalucía, España

Fecha de celebración: 16/11/2016

Fecha de finalización: 18/11/2016

Entidad organizadora: Ayuntamiento de Roquetas de Mar

Aquilino Molinero Martínez. "Salidas de calzada en zona urbana".

- ° Título del trabajo: Salidas de calzada contra pasos salvacunetas: Cómo mitigar sus consecuencias
 Nombre del congreso: V Congreso Ibero-Americano de Seguridad Vial (CISEV)
 Autor de correspondencia: Si
 Ciudad de celebración: Santiago de Chile, Chile
 Fecha de celebración: 08/11/2016
 Ciudad entidad organizadora: Santiago de Chile, Chile
 Aquilino Molinero Martínez. "Salidas de calzada contra pasos salvacunetas: Cómo mitigar sus consecuencias".
- ° Título del trabajo: Salidas de calzada urbanas: Cómo mitigar sus consecuencias
 Nombre del congreso: V Congreso Ibero-Americano de Seguridad Vial (CISEV)
 Autor de correspondencia: Si
 Ciudad de celebración: Santiago de Chile, Chile
 Fecha de celebración: 08/11/2016
 Fecha de finalización: 10/11/2016
 Entidad organizadora: Comisión Nacional de Seguridad de Tránsito del Ministerio de Transportes y Telecomunicaciones del Gobierno de Chile (CONASET)
 Tipo de entidad: Agencia Estatal
 Ciudad entidad organizadora: Santiago de Chile, Chile
 Aquilino Molinero Martínez; Alberto Mansilla Gallo. "Salidas de calzada urbanas: Cómo mitigar sus consecuencias".
- ° Título del trabajo: Road culvert end protectors: a way of impact evaluation
 Nombre del congreso: 1st European Road Infrastructure Congress
 Autor de correspondencia: Si
 Ciudad de celebración: Leeds, Reino Unido
 Fecha de celebración: 18/10/2016
 Fecha de finalización: 20/10/2016
 Entidad organizadora: European Road Federation (ERF)
 Tipo de entidad: Entidad Empresarial
 Aquilino Molinero Martínez. Road culvert end protectors: a way of impact evaluation".
- ° Título del trabajo: Urban run-off accidents - A way of injury mitigation
 Nombre del congreso: 1st edition of the European Road Infrastructure Congress
 Autor de correspondencia: Si
 Ciudad de celebración: Leeds, Reino Unido
 Fecha de celebración: 18/10/2016
 Fecha de finalización: 20/10/2016
 Entidad organizadora: European Road Federation

Tipo de entidad: Asociaciones y Agrupaciones

Ciudad entidad organizadora: Bruselas, Bélgica

Aquilino Molinero Martínez; Alberto Mansilla Gallo. "Urban run-off accidents - A way of injury mitigation".

- Título del trabajo: Mitigación de las salidas de calzada en zona urbana

Nombre del congreso: I Encuentro Planeta Vial

Autor de correspondencia: Si

Ciudad de celebración: Barcelona, España

Fecha de celebración: 06/10/2016

Fecha de finalización: 06/10/2016

Entidad organizadora: Fundación Abertis

Tipo de entidad: Empresa

Aquilino Molinero Martínez. "Mitigación de las salidas de calzada en zona urbana".

- Título del trabajo: Características necesarias y deseables de los sistemas de contención de vehículos en entorno urbano

Nombre del congreso: II JORNADAS DE SEGURIDAD VIAL "El reto de la conservación y la seguridad vial"

Autor de correspondencia: Si

Ciudad de celebración: Alicante, España

Fecha de celebración: 31/05/2016

Fecha de finalización: 01/06/2016

Entidad organizadora: GENERALITAT VALENCIANA – UNIVERSIDAD DE ALICANTE

Tipo de entidad: Universidad

Ciudad entidad organizadora: Alicante,

Alberto Mansilla Gallo; Aquilino Molinero Martínez. "Características necesarias y deseables de los sistemas de contención de vehículos en entorno urbano".

- Título del trabajo: MITIGACIÓN DE LAS CONSECUENCIAS DE LAS SALIDAS DE CALZADA EN LOS PASOS DE MEDIANA

Nombre del congreso: II JORNADAS DE SEGURIDAD VIAL "El reto de la conservación y la seguridad vial"

Autor de correspondencia: Si

Ciudad de celebración: Alicante, España

Fecha de celebración: 31/05/2016

Fecha de finalización: 01/06/2016

Entidad organizadora: GENERALITAT VALENCIANA – UNIVERSIDAD DE ALICANTE

Tipo de entidad: Universidad

Ciudad entidad organizadora: Alicante,

Aquilino Molinero Martínez. "MITIGACIÓN DE LAS CONSECUENCIAS DE LAS SALIDAS DE CALZADA EN LOS PASOS DE MEDIANA".

- Título del trabajo: DESARROLLO DE UN "MODELO CONCEPTO" DE BARRERA DE SEGREGACIÓN DE ESPACIOS SEGUROS PARA USUARIOS VULNERABLES EN ENTORNOS URBANOS

Nombre del congreso: 6º Encuentro de Investigadores Nacionales de Seguridad Vial y Movilidad

Autor de correspondencia: Si

Ciudad de celebración: Madrid, España

Fecha de celebración: 18/05/2016

Fecha de finalización: 18/05/2016

Entidad organizadora: Dirección General de Tráfico Tipo de entidad: Administración

Aquilino Molinero Martínez; Alberto Mansilla Gallo. "DESARROLLO DE UN "MODELO CONCEPTO" DE BARRERA DE SEGREGACIÓN DE ESPACIOS SEGUROS PARA USUARIOS VULNERABLES EN ENTORNOS URBANOS".

- Título del trabajo: CARACTERÍSTICAS NECESARIAS Y DESEABLES DE LOS SISTEMAS DE CONTENCIÓN DE VEHÍCULOS EN ENTORNO URBANO

Nombre del congreso: XIV JORNADAS CONSERVACIÓN DE CARRETERAS

Autor de correspondencia: Si

Ciudad de celebración: Córdoba, España

Fecha de celebración: 06/04/2016

Fecha de finalización: 08/04/2016

Entidad organizadora: ASOCIACION TECNICA DE CARRETERAS

Aquilino Molinero Martínez. "CARACTERÍSTICAS NECESARIAS Y DESEABLES DE LOS SISTEMAS DE CONTENCIÓN DE VEHÍCULOS EN ENTORNO URBANO".

- Título del trabajo: MITIGACIÓN DE LAS CONSECUENCIAS DE LAS SALIDAS DE CALZADA EN LOS PASOS DE MEDIANA

Nombre del congreso: XIV JORNADAS CONSERVACIÓN DE CARRETERAS

Autor de correspondencia: Si

Ciudad de celebración: Córdoba, España

Fecha de celebración: 06/04/2016

Fecha de finalización: 08/04/2016

Entidad organizadora: ASOCIACION TECNICA DE CARRETERAS

Aquilino Molinero Martínez. "MITIGACIÓN DE LAS CONSECUENCIAS DE LAS SALIDAS DE CALZADA EN LOS PASOS DE MEDIANA".

- Título del trabajo: CARACTERÍSTICAS NECESARIAS Y DESEABLES DE LOS SISTEMAS DE CONTENCIÓN DE VEHÍCULOS EN ENTORNO URBANO

Nombre del congreso: 23º Symposium Nacional de Vías y Obras de la Administración Local

Autor de correspondencia: Si

Ciudad de celebración: Tenerife, España

Fecha de celebración: 16/03/2016

Fecha de finalización: 18/03/2016

Entidad organizadora: ASOCIACION ESPAÑOLA DE LA CARRETERA Aquilino Molinero Martínez. "CARACTERÍSTICAS NECESARIAS Y DESEABLES DE LOS SISTEMAS DE CONTENCIÓN DE VEHÍCULOS EN ENTORNO URBANO".
- Título del trabajo: DESARROLLO DE UN MODELO DE BARRERA DE SEGREGACIÓN DE ESPACIOS SEGUROS PARA USUARIOS VULNERABLES EN ENTORNOS URBANOS

Nombre del congreso: II Jornadas sobre Movilidad Urbana y Seguridad Vial

Autor de correspondencia: Si

Ciudad de celebración: Madrid, España

Fecha de celebración: 26/11/2015

Fecha de finalización: 27/11/2015

Entidad organizadora: ITS España

Tipo de entidad: Entidad Empresarial

Ciudad entidad organizadora: Madrid, Alberto Mansilla Gallo; Aquilino Molinero Martínez. "II Jornadas sobre Movilidad Urbana y Seguridad Vial".
- Título del trabajo: Evaluación de los SPM Sistemas de Protección de Motociclistas

Nombre del congreso: I Foro de Convivencia en Seguridad Vial en un GP de Motociclismo

Autor de correspondencia: Si

Ciudad de celebración: Valencia, España

Fecha de celebración: 05/11/2015

Fecha de finalización: 11/11/2015

Entidad organizadora: Plataforma Motera para la Seguridad Vial

Tipo de entidad: Asociaciones y Agrupaciones

Ciudad entidad organizadora: Madrid, España

Aquilino Molinero Martínez. "I Foro de Convivencia en Seguridad Vial en un GP de Motociclismo".

- ° Título del trabajo: CARACTERÍSTICAS NECESARIAS Y DESEABLES DE LOS SISTEMAS DE CONTENCIÓN DE VEHÍCULOS EN ENTORNO URBANO

Nombre del congreso: VII CONGRESO NACIONAL DE SEGURIDAD VIAL

Autor de correspondencia: Si

Ciudad de celebración: Valencia, España

Fecha de celebración: 21/10/2015

Fecha de finalización: 22/10/2015

Entidad organizadora: ASOCIACION ESPAÑOLA DE LA CARRETERA

Alberto Mansilla Gallo; Aquilino Molinero Martínez. "CARACTERÍSTICAS NECESARIAS Y DESEABLES DE LOS SISTEMAS DE CONTENCIÓN DE VEHÍCULOS EN ENTORNO URBANO".
- ° Título del trabajo: CARACTERÍSTICAS NECESARIAS Y DESEABLES DE LOS SISTEMAS DE CONTENCIÓN DE VEHÍCULOS EN ENTORNO URBANO

Nombre del congreso: 18 FERIA INTERNACIONAL MUNICIPALIA "EQUIPAMIENTO Y SERVICIOS MUNICIPALES"

Autor de correspondencia: Si

Ciudad de celebración: Lleida, España

Fecha de celebración: 13/10/2015

Fecha de finalización: 22/10/2015

Entidad organizadora: FIRA de Lleida

Tipo de entidad: Asociaciones y Agrupaciones

Ciudad entidad organizadora: Lleida, Cataluña, España

Alberto Mansilla Gallo; Aquilino Molinero Martínez. "CARACTERÍSTICAS NECESARIAS Y DESEABLES DE LOS SISTEMAS DE CONTENCIÓN DE VEHÍCULOS EN ENTORNO URBANO".
- ° Título del trabajo: INNOVACIÓN PARA LA MITIGACIÓN DE LESIONES EN LAS SALIDAS DE CALZADA CONTRA PASOS SALVACUNETAS

Nombre del congreso: I CONGRESO MULTISECTORIAL DE LA CARRETERA

Autor de correspondencia: Si

Ciudad de celebración: Valladolid, España

Fecha de celebración: 11/05/2015

Fecha de finalización: 12/05/2015

Entidad organizadora: ACEX-AEC-ISEFMA

Ciudad entidad organizadora: Valladolid, España

Giorgio Munaretto; Alberto Mansilla Gallo; Aquilino Molinero Martínez. "INNOVACIÓN PARA LA MITIGACIÓN DE LESIONES EN LAS SALIDAS DE CALZADA CONTRA PASOS SALVACUNETAS".

- ° Título del trabajo: RUN-OFF ACCIDENTS AGAINST ROAD CULVERT ENDS: A STANDARDS BASED APPROACH TO EVALUATE PROTECTIVE SYSTEMS

Nombre del congreso: 2014 EUROPEAN WORKSHOP: AFB20 (2) ROADSIDE SAFETY DESIGN - INTERNATIONAL RESEARCH ACTIVITIES SUBCOMMITTEE

Autor de correspondencia: Si

Ciudad de celebración: Bruselas, Bélgica

Fecha de celebración: 11/11/2014

Fecha de finalización: 11/11/2014

Entidad organizadora: IRF Tipo de entidad: Asociaciones y Agrupaciones

Ciudad entidad organizadora: Bruselas, Bélgica

Aquilino Molinero Martínez. RUN-OFF ACCIDENTS AGAINST ROAD CULVERT ENDS: A STANDARDS BASED APPROACH TO EVALUATE PROTECTIVE SYSTEMS”.
- ° Título del trabajo: MITIGACIÓN DE LAS SALIDAS DE CALZADA EN ZONA URBANA. ”SISTEMA DE CONTENCIÓN URBANO”

Nombre del congreso: II CONGRESO - CIUDADES QUE CAMINAN

Autor de correspondencia: Si

Ciudad de celebración: Pontevedra, Galicia, España

Fecha de celebración: 14/10/2014

Entidad organizadora: Red Ciudades que Caminan Tipo de entidad: Asociaciones y Agrupaciones

Ciudad entidad organizadora: Pontevedra, Galicia, España

”MITIGACIÓN DE LAS SALIDAS DE CALZADA EN ZONA URBANA. ”SISTEMA DE CONTENCIÓN URBANO.
- ° Título del trabajo: PROTECCIÓN SEGURA DE PEATONES Y CICLISTAS FRENTE A SALIDAS DE CALZADA URBANAS DE VEHÍCULOS MOTORIZADOS.

Nombre del congreso: III ENCUENTRO DE CIUDADES PARA LA SEGURIDAD VIAL Y LA MOVILIDAD SOSTENIBLE

Autor de correspondencia: Si

Ciudad de celebración: Torre vieja, España

Fecha de celebración: 15/09/2014

Entidad organizadora: Dirección General de Tráfico Tipo de entidad: Organismo Público

Ciudad entidad organizadora: Madrid, España

Aquilino Molinero Martínez. ”PROTECCIÓN SEGURA DE PEATONES Y CICLISTAS FRENTE A SALIDAS DE CALZADA URBANAS DE VEHÍCULOS MOTORIZADOS.”.

- ° Título del trabajo: THE PROBLEM OF RUN OFF TRAFFIC ACCIDENTES AGAINST ROAD CULVERT ENDS
 Nombre del congreso: INTERNATIONAL ROAD SAFETY EXHIBITION-INTERTRAFFIC 2014
 Autor de correspondencia: Si
 Ciudad de celebración: Amsterdam, Holanda
 Fecha de celebración: 25/03/2014
 Entidad organizadora: RAI
 Tipo de entidad: Entidad Empresarial
 Ciudad entidad organizadora: Amsterdam, Holanda
 Aquilino Molinero Martínez. "THE PROBLEM OF RUN OFF TRAFFIC ACCIDENTES AGAINST ROAD CULVERT ENDS".
- ° Título del trabajo: PROTECCIÓN EFICAZ ANTE LOS IMPACTOS CONTRA PASOS SALVACUNETAS
 Nombre del congreso: XXII VYODEAL-SIMPOSIUM NACIONAL DE VIAS Y OBRAS DE LA ADMINSTRACION LOCAL
 Autor de correspondencia: Si
 Ciudad de celebración: Zaragoza, España
 Fecha de celebración: 16/03/2014
 Entidad organizadora: ASOCIACION ESPAÑOLA DE LA CARRETERA
 Ciudad entidad organizadora: Zaragoza, España
 Juan Manuel Losada; Aquilino Molinero Martínez. "PROTECCIÓN EFICAZ ANTE LOS IMPACTOS CONTRA PASOS SALVACUNETAS".
- ° Título del trabajo: SISTEMAS DE PROTECCIÓN DE MOTOCICLISTAS EN LOS PASOS SALVACUNETAS
 Nombre del congreso: JORNADAS DE SEGURIDAD VIAL-PINGÜINOS 2014
 Autor de correspondencia: Si
 Ciudad de celebración: Valladolid, España
 Fecha de celebración: 11/01/2014
 Entidad organizadora: Club Turismoto
 Ciudad entidad organizadora: Valladolid, España
 Aquilino Molinero Martínez. "SISTEMAS DE PROTECCIÓN DE MOTOCICLISTAS EN LOS PASOS SALVACUNETAS".
- ° Título del trabajo: CONSEJOS PRÁCTICOS SOBRE EQUIPAMIENTO DEL MOTOCICLISTA-PROYECTO EUROPEO MOSAFIM
 Nombre del congreso: JORNADAS DE SEGURIDAD VIAL-PINGÜINOS 2014
 Autor de correspondencia: Si
 Ciudad de celebración: Valladolid, España

Fecha de celebración: 10/01/2014

Entidad organizadora: Club Turismoto

- Título del trabajo: CARACTERISTICAS NECESARIAS Y DESEABLES DE UN SISTEMA DE PROTECCIÓN DE PASOS SALVACUNETAS

Nombre del congreso: XIII JORNADAS DE CONSERVACION-ATC2013

Autor de correspondencia: Si

Ciudad de celebración: Madrid, España

Fecha de celebración: 01/10/2013

Entidad organizadora: ASOCIACION TÉCNICA DE LA CARRETERA

Tipo de entidad: Asociaciones y Agrupaciones

Ciudad entidad organizadora: Madrid, España

Aquilino Molinero Martínez. "CARACTERISTICAS NECESARIAS Y DESEABLES DE UN SISTEMA DE PROTECCIÓN DE PASOS SALVACUNETAS".

- Título del trabajo: "PROTECTOR DE PASOS SALVACUNETAS CROSSAFE"

Nombre del congreso: 2ª EDICION DE LA FERIA DE DEMOSTRACION TECNOLÓGICA DEL SECTOR DE LAS INFRAESTRUCTURAS VIARIAS INNOVACARRETERA 2013"

Autor de correspondencia: Si

Ciudad de celebración: Valladolid, España

Fecha de celebración: 26/05/2013

Entidad organizadora: PLATAFORMA TECNOLÓGICA DE LA CARRETERA

Tipo de entidad: Asociaciones y Agrupaciones

Ciudad entidad organizadora: Madrid, España

Aquilino Molinero Martínez. "PROTECTOR DE PASOS SALVACUNETAS CROSSAFE".

- Título del trabajo: CARACTERISTICAS DE UN SISTEMA DE PROTECCIÓN SEGURO ANTE IMPACTO CONTRA PASOS SALVACUNETAS

Nombre del congreso: VI CONGRESO NACIONAL DE SEGURIDAD VIAL

Autor de correspondencia: Si

Ciudad de celebración: Logroño, España

Fecha de celebración: 16/05/2013

Entidad organizadora: ASOCIACION ESPAÑOLA DE LA CARRETERA

Ciudad entidad organizadora: Madrid, España

Aquilino Molinero Martínez. "CARACTERISTICAS DE UN SISTEMA DE PROTECCIÓN SEGURO ANTE IMPACTO CONTRA PASOS SALVACUNETAS".

- Título del trabajo: SEGURIDAD VIAL EN EL MOTOCICLISMO

Nombre del congreso: JORNADAS DE SEGURIDAD VIAL-PINGÜINOS 2013

Autor de correspondencia: Si

Ciudad de celebración: Valladolid, España

Fecha de celebración: 11/01/2013

Entidad organizadora: Club Turismoto

Ciudad entidad organizadora: Valladolid, España

Aquilino Molinero Martínez. "SEGURIDAD VIAL EN EL MOTOCICLISMO".

- Título del trabajo: MOTORCYCLISTS ROAD SAFETY IMPROVEMENT THROUGH BETTER BEHAVIOR OF THE EQUIPMENT AND FIRST AID DEVICES

Nombre del congreso: CONFERENCIA ANUAL DE LA FEDERACIÓN INTERNACIONAL DE MOTOCICLISMO

Autor de correspondencia: Si

Ciudad de celebración: Monaco, Mónaco

Fecha de celebración: 10/12/2012

Entidad organizadora: FEDERACIÓN INTERNACIONAL DE MOTOCICLISMO

Tipo de entidad: Asociaciones y Agrupaciones

Ciudad entidad organizadora: Berna, Suiza

Aquilino Molinero Martínez. "MOTORCYCLISTS ROAD SAFETY IMPROVEMENT THROUGH BETTER BEHAVIOR OF THE EQUIPMENT AND FIRST AID DEVICES".

- Título del trabajo: FACTORES DE RIESGO DE SALIDA DE CALZADA EN CARRETERAS DE UNA CALZADA DE DIPUTACIONES PROVINCIALES
- Nombre del congreso: XXI VYODEAL - SYMPOSIUM NACIONAL DE VÍAS Y OBRAS DE ADMINISTRACIÓN LOCAL

Autor de correspondencia: Si

Ciudad de celebración: Ibiza, España

Fecha de celebración: 26/03/2011

Entidad organizadora: ASOCIACION ESPAÑOLA DE LA CARRETERA

Ciudad entidad organizadora: Madrid, España

Aquilino Molinero Martínez. "FACTORES DE RIESGO DE SALIDA DE CALZADA EN CARRETERAS DE UNA CALZADA DE DIPUTACIONES PROVINCIALES".

- Título del trabajo: MONITORIZACIÓN DE LA SEGURIDAD VIAL PARA LAS REDES DE CARRETERAS DE TITULARIDAD PROVINCIAL
- Nombre del congreso: XXIII SESIÓN TÉCNICA DEL OBSERVATORIO NACIONAL DE SEGURIDAD VIAL

Autor de correspondencia: Si

Ciudad de celebración: Madrid, España

Fecha de celebración: 17/11/2010

Entidad organizadora: Dirección General de Tráfico Tipo de entidad: Organismo público

Ciudad entidad organizadora: Madrid, España

Aquilino Molinero Martínez. "MONITORIZACIÓN DE LA SEGURIDAD VIAL PARA LAS REDES DE CARRETERAS DE TITULARIDAD PROVINCIAL".

- Título del trabajo: EFFECTS OF A CURVE WARNING SYSTEM ON MOTORCYCLE RIDING SAFETY

Nombre del congreso: INTERNATIONAL CONFERENCE ON SAFETY AND MOBILITY OF VULNERABLE ROAD USERS

Autor de correspondencia: Si

Ciudad de celebración: Jerusalem, Israel

Fecha de celebración: 01/10/2010

Entidad organizadora: INTERNATIONAL CONFERENCE ON SAFETY AND MOBILITY OF VULNERABLE ROAD USERS

Ciudad entidad organizadora: Jerusalem, Israel

Veronique Huth; Aquilino Molinero Martínez. "EFFECTS OF A CURVE WARNING SYSTEM ON MOTORCYCLE RIDING SAFETY".

- Título del trabajo: EFFECTIVENESS AND COST-BENEFIT ANALYSIS OF THE SAFETY COUNTERMEASURES APPLIED ON HIGH ACCIDENT RATE ROADS SECTIONS IN THE SPANISH REGIONAL ROAD NETWORK OF CASTILLA Y LEÓN

Nombre del congreso: ESAR CONFERENCE

Autor de correspondencia: Si

Ciudad de celebración: Hannover, Alemania

Fecha de celebración: 26/09/2010

Entidad organizadora: Hannover Medical School

Ciudad entidad organizadora: Hannover, Alemania

David Pedrero Muriel; José Miguel Perandones Peidró; Oscar Martín Pérez; Aquilino Molinero Martínez. "EFFECTIVENESS AND COST-BENEFIT ANALYSIS OF THE SAFETY COUNTERMEASURES APPLIED ON HIGH ACCIDENT RATE ROADS SECTIONS IN THE SPANISH REGIONAL ROAD NETWORK OF CASTILLA Y LEÓN".

- Título del trabajo: ANÁLISIS DE LA EFECTIVIDAD Y DEL RATIO COSTE-BENEFICIO DE LAS ACTUACIONES DE TRATAMIENTO DE LOS TRAMOS DE CONCENTRACIÓN DE ACCIDENTES EN LA RED REGIONAL DE CARRETERAS DE CASTILLA Y LEÓN Nombre del congreso: XXVII SEMANA DE LA CARRETERA

Autor de correspondencia: Si

Ciudad de celebración: Pontevedra, España

Fecha de celebración: 26/06/2010

Entidad organizadora: ASOCIACION ESPAÑOLA DE LA CARRETERA

Ciudad entidad organizadora: Madrid, España

José Miguel Perandones Peidro; David Pedrero Muriel; Óscar Martín Pérez; Aquilino Molinero Martínez. .ANÁLISIS DE LA EFECTIVIDAD Y DEL RATIO COSTE-BENEFICIO DE LAS ACTUACIONES DE TRATAMIENTO DE LOS TRAMOS DE CONCENTRACIÓN DE ACCIDENTES EN LA RED REGIONAL DE CARRETERAS DE CASTILLA Y LEÓN”.

- Título del trabajo: EFFECTIVENESS AND COST-BENEFIT ANALYSIS OF THE SAFETY COUNTERMEASURES APPLIED ON HIGH ACCIDENT RATE ROADS SECTIONS IN THE SPANISH REGIONAL ROAD NETWORK OF CASTILLA Y LEÓN

Nombre del congreso: 4TH SYMPOSIUM ON HIGHWAY GEOMETRIC DESIGN

Autor de correspondencia: Si

Ciudad de celebración: Valencia, España

Fecha de celebración: 20/06/2010

Entidad organizadora: TRB

Tipo de entidad: Asociaciones y Agrupaciones

Ciudad entidad organizadora: Washington, Estados Unidos de América

Aquilino Molinero Martínez. .EFFECTIVENESS AND COST-BENEFIT ANALYSIS OF THE SAFETY COUNTERMEASURES APPLIED ON HIGH ACCIDENT RATE ROADS SECTIONS IN THE SPANISH REGIONAL ROAD NETWORK OF CASTILLA Y LEÓN”.

- Título del trabajo: ESTUDIO DE ACCIDENTALIDAD E INFRAESTRUCTURA VIAL EN CARRETERAS DE UNA CALZADA DE DIPUTACIONES PROVINCIALES

Nombre del congreso: XX VYODEAL - SYMPOSIUM NACIONAL DE VÍAS Y OBRAS DE ADMINISTRACIÓN LOCAL

Autor de correspondencia: Si

Ciudad de celebración: Pontevedra, España

Fecha de celebración: 15/06/2009

Entidad organizadora: ASOCIACION ESPAÑOLA DE LA CARRETERA

Ciudad entidad organizadora: madrid, España

David Pedrero Muriel; Jose Miguel Perandones Peidro; Oscar Martin Perez; Aquilino Molinero Martinez. .ESTUDIO DE ACCIDENTALIDAD E INFRAESTRUCTURA VIAL EN CARRETERAS DE UNA CALZADA DE DIPUTACIONES PROVINCIALES”.

- Título del trabajo: APROSYS NEW TEST METHODS FOR PTWS

Nombre del congreso: APROSYS SP4 Project

Autor de correspondencia: Si

Ciudad de celebración: Amsterdam, Holanda

Fecha de celebración: 08/06/2009

Entidad organizadora: Comisión Europea

Tipo de entidad: Organismo Público

Ciudad entidad organizadora: Valladolid, España .^APROSYS NEW TEST METHODS FOR PTWS” .

- Título del trabajo: RECONSIDERING ACCIDENT CAUSATION ANALYSIS AND EVALUATING THE SAFETY BENEFITS OF TECHNOLOGIES. FINAL RESULTS OF THE TRACE PROJECT

Nombre del congreso: 21ST INTERNATIONAL TECHNICAL CONFERENCE ON THE ENHANCED SAFETY OF VEHICLES (ESV)

Autor de correspondencia: Si

Ciudad de celebración: Alemania

Fecha de celebración: 01/06/2009

Entidad organizadora: ENHANCED SAFETY OF VEHICLES (ESV)

Tipo de entidad: Asociaciones y Agrupaciones

Ciudad entidad organizadora: Alemania

Aquilino Molinero Martínez. RECONSIDERING ACCIDENT CAUSATION ANALYSIS AND EVALUATING THE SAFETY BENEFITS OF TECHNOLOGIES. FINAL RESULTS OF THE TRACE PROJECT” .

- Título del trabajo: ANÁLISIS DE LA EFECTIVIDAD DE LAS ACTUACIONES DE TRATAMIENTO DE LOS TCA EN LA RED REGIONAL DE CARRETERAS DE CYL’

Nombre del congreso: IV CONGRESO NACIONAL DE SEGURIDAD VIAL

Autor de correspondencia: Si

Ciudad de celebración: Logroño, España

Fecha de celebración: 08/05/2009

Entidad organizadora: ASOCIACION ESPAÑOLA DE LA CARRETERA

Ciudad entidad organizadora: Madrid, España

David Pedrero Muriel; Jose Miguel Perandones Peidro; Oscar Martin Perez; Aquilino Molinero Martínez. .ANÁLISIS DE LA EFECTIVIDAD DE LAS ACTUACIONES DE TRATAMIENTO DE LOS TCA EN LA RED REGIONAL DE CARRETERAS DE CYL” .

- Título del trabajo: ESTUDIO DE ACCIDENTALIDAD E INFRAESTRUCTURA VIAL EN CARRETERAS DE UNA CALZADA DE DIPUTACIONES PROVINCIALES

Nombre del congreso: OBSERVATORIO NACIONAL DE SEGURIDAD VIAL

Autor de correspondencia: Si

Ciudad de celebración: Madrid, España

Fecha de celebración: 08/02/2009

Entidad organizadora: Dirección General de Tráfico

Tipo de entidad: Organismo público

Ciudad entidad organizadora: Madrid, España

Aquilino Molinero Martínez. .ESTUDIO DE ACCIDENTALIDAD E INFRAESTRUCTURA VIAL EN CARRETERAS DE UNA CALZADA DE DIPUTACIONES PROVINCIALES” .

- ° Título del trabajo: ESTUDIO DE ACCIDENTALIDAD DE CAMIONES DE M.M.A. SUPERIOR A 3,5 T

Nombre del congreso: OBSERVATORIO NACIONAL DE SEGURIDAD VIAL

Autor de correspondencia: Si

Perandones Peidro; Oscar Martin Perez; Aquilino Molinero Martinez. .ESTUDIO DE ACCIDENTALIDAD DE CAMIONES DE M.M.A. SUPERIOR A 3,5 T” .

- ° Título del trabajo: DETERMINATION OF ACCIDENT CAUSATION AND RISK FACTORS IN TRAFFIC ACCIDENTS FROM THE POINT OF VIEW OF MOTORCYCLIST USERS’

Nombre del congreso: ESAR CONFERENCE

Autor de correspondencia: Si

Ciudad de celebración: Hannover, Alemania

Fecha de celebración: 26/09/2008

Entidad organizadora: Hannover Medical School

Ciudad entidad organizadora: Hannover, Alemania

David Pedrero Muriel; José Miguel Perandones Peidró; Aquilino Molinero Martínez. ”DETERMINATION OF ACCIDENT CAUSATION AND RISK FACTORS IN TRAFFIC ACCIDENTS FROM THE POINT OF VIEW OF MOTORCYCLIST USERS” .

- ° Título del trabajo: RECOMMENDATIONS FOR THE LOCATION OF MOTORCYCLIST PROTECTION DEVICES IN THE SPANISH REGIONAL ROAD NETWORK OF CASTILLA Y LEÓN

Nombre del congreso: TRB (TRANSPORTATION RESEARCH BOARD) 87TH ANNUAL MEETING, WASHINGTON, D.C

Autor de correspondencia: Si

Ciudad de celebración: WASHINGTON, Estados Unidos de América

Fecha de celebración: 08/01/2008

Entidad organizadora: TRANSPORTATION RESEARCH BOARD

Tipo de entidad: Asociaciones y Agrupaciones

Ciudad entidad organizadora: WASHINGTON, Estados Unidos de América

- Organización de actividades de I+D+i:
 - Título de la actividad: PRESENTACION ESTUDIO “CONOCIMIENTO Y PERCEPCION EN SEGURIDAD VIAL” Y JORNADAS 3.0 “LA PERCEPCION DEL PELIGRO” CENTRO DE ESTUDIOS PONLE FRENO-AXA
 Tipo de actividad: Jornadas
 Ámbito geográfico: Nacional
 Entidad convocante: Plataforma PONLE FRENO
 Ciudad entidad convocante: Madrid, Comunidad de Madrid, España
 Fecha de inicio-fin: 19/09/2019 - 19/09/2019
 Duración: 1 día
 - Título de la actividad: Moderación de Jornada de Seguridad Vial ”JORNADA DE DEBATE SOBRE MOTOCICLISTAS: MOVILIDAD SOSTENIBLE VS. SEGURIDAD VIAL”
 Tipo de actividad: Jornada
 Entidad convocante: Fundación Abertis
 Tipo de entidad: Fundación
 Ciudad entidad convocante: Madrid, España
 Fecha de inicio-fin: 18/12/2018 - 18/12/2018 Duración: 1 día
 - Título de la actividad: II Encuentro Planeta Vial.
 Moderador
 Tipo de actividad: Jornada
 Ámbito geográfico: Nacional
 Entidad convocante: Fundación Abertis
 Tipo de entidad: Fundación
 Ciudad entidad convocante: Barcelona, Cataluña, España
 Fecha de inicio-fin: 09/04/2018 - 09/04/2018 Duración: 1 día
 - Título de la actividad: JORNADA DE DEBATE SOBRE LA MOVILIDAD EN LAS PERSONAS MAYORES.
 Moderador de la mesa ”Movilidad y siniestralidad”
 Tipo de actividad: Jornada
 Entidad convocante: Fundación Abertis
 Tipo de entidad: Fundación
 Ciudad entidad convocante: Madrid, España
 Fecha de inicio-fin: 28/06/2017 - 28/06/2017 Duración: 1 día
 - Título de la actividad: Workshop IMPACTS OF MOTORCYCLISTS INTO ROAD INFRASTRUCTURE
 Tipo de actividad: Jornada

Ámbito geográfico: Unión Europea

Entidad convocante: Fundación para la Investigación y Desarrollo en Transporte y Energía

Tipo de entidad: Fundación

Ciudad entidad convocante: Valladolid, España

Fecha de inicio: 01/06/2007

Duración: 1 día

- ° Título de la actividad: JORNADA 'PROYECTO DIANA' ((Proyecto de Investigación y Análisis de Accidentes de Tráfico)

Tipo de actividad: Jornada

Ámbito geográfico: Nacional

Entidad convocante: Fundación para la Investigación y Desarrollo en Transporte y Energía

Tipo de entidad: Fundación

Ciudad entidad convocante: Valladolid, España

Fecha de inicio: 08/12/2005

Duración: 1 día

Referencias

- AAAM. (2008). *Association for the Advancement of Automotive Medicine. The Abbreviated Injury Severity Scale, AIS, 2005 update 2008*. https://www.who.int/violence_injury_prevention/road_safety_status/report/en/.
- ACEM. (2009). *The European Association of Motorcycle Manufacturers. MAIDS: Motorcycle Accidents In Depth Study*. <http://www.maids-study.eu/>.
- ACEM. (2021). *The European Association of Motorcycle Manufacturers. ACEM statistics - Market 2020: increase for Powered Two-Wheeler registrations in Europe*. <https://www.acem.eu/acem-statistics-market-2020-increase-for-powered-two-wheeler-registrations-in-europe-202102110945>.
- AEC, y MAPFRE. (2021). *AEC y Fundación MAPFRE. Hoja de ruta para la mejora de la seguridad vial en usuarios de motocicletas y ciclomotores. Mayo, 2021*. https://www.aecarretera.com/comunicados/NP%20Conclusiones%20MOTOS%20MAPFRE-AEC_ok.pdf.
- AENOR. (2019). *CTN 135 - Sistemas de protección de los pasos salvacunetas (SPPS). Clases de comportamiento, métodos de ensayo y evaluación de la conformidad*. <https://www.une.org/encuentra-tu-norma/busca-tu-norma/norma/?c=N0062500>.
- Alvarez, P., Fernández, M. A., Gordaliza, A., Mansilla, A., y Molinero, A. (2020). Geometric road design factors affecting the risk of urban run-off crashes. a case-control study. *PLOS ONE*, 15(6), 1-14.
- ATRESMEDIA, y AXA. (2021). *Centro de Estudios y Opinión de Ponle Freno-AXA. Estudio Motoristas. Junio 2021, Madrid*. <https://compromiso.atresmedia.com/documents/2021/07/07/34AC6596-OCFE-4988-A4CA-444343COA632/motoristasjun21.pdf>.
- Austroroads. (2014). *Austroroads publications on line: Investigation of key crash types—run-off-road and head-on crashes in urban areas: Final report*. <https://trid.trb.org/view/1306496>.
- AVA, A. d. V. (2001). *Base de datos de accidentes de tráfico - pimuva - pimussva*. <https://www.pimussva.es/>.

- Baker, S. P., O'Neill, B., Haddon, W., y Long, W. B. (1974). The injury severity score: a method for describing patients with multiple injuries and evaluating emergency care. *Journal of Trauma and Acute Care Surgery*, 14(3), 187–196.
- Beck, D. (2014). Investigation of key crash types: run-off-road and head-on crashes in urban areas: final report.. Descargado de <https://austroads.com.au/publications/road-design/ap-r519-16>
- Beck, D., y Duerden, A. (2016). *Guidance on median and centreline treatments to reduce head-on casualties. australian road transport and traffic agencies*. <https://austroads.com.au/publications/road-design/ap-r519-16>.
- BOE. (2014). *Orden INT/2223/2014, de 27 de octubre 2014, por la que se regula la comunicación de la información al registro nacional de víctimas de accidentes de tráfico*. https://www.boe.es/diario_boe/txt.php?id=BOE-A-2014-12411.
- Budd, L., Allen, T., y Newstead, S. (2018). Current trends in motorcycle related crash and injury risk in australia by motorcycle type and attributes. *Monash University, Accident Research Centre*.
- CIDAUT. (2005). *Base de datos DIANA*. <https://www.cidaut.es/es/analisis-de-accidentes>.
- CIDAUT. (2007). *Investigación en la compatibilidad/seguridad de vehículo-ocupante motorista frente a infraestructura viaria: investigación sobre ensayos parciales de subsistema*.
- CIDRO. (2014). *Sistema CROSSAFE*. <http://www.cidro.es/en/crossafe>.
- Cox, M. A., y Cox, T. F. (2008). Multidimensional scaling. En *Handbook of data visualization* (pp. 315–347). Springer.
- Cáceres, L., Fernández, M. A., Gordaliza, A., y Molinero, A. (2021). Detection of geometric risk factors affecting head-on collisions through multiple logistic regression: Improving two-way rural road design via 2+1 road adaptation. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 18(12), 6598.
- DeLong, E. R., DeLong, D. M., y Clarke-Pearson, D. L. (1988). Comparing the areas under two or more correlated receiver operating characteristic curves: a nonparametric approach. *Biometrics*, 837–845.
- DGC. (2014). *Dirección General de Carreteras. Orden Circular 35/2014 sobre criterios de aplicación de sistemas de contención de vehículos*. <https://normativadecarreteras.com/listing/orden-circular-352014-sobre-criterios-de-aplicacion-de-sistemas-de-contencion-de-vehiculos/>.
- DGC. (2021a). *Dirección General de Carreteras, 2021. Orden Circular 1/2021 sobre recomendaciones para el diseño de carreteras 2+1 y carriles adicionales de adelantamiento*. <https://normativadecarreteras.com/listing/6170-2/>.

- DGC. (2021b). *Orden circular 1/2021 sobre recomendaciones para el diseño de carreteras 2+1 y carriles adicionales de adelantamiento. dirección general de carreteras.* <https://normativadecarreteras.com/listing/6170-2/>.
- DGT. (2014). *Base de datos de accidentes de tráfico - arena.* https://sede.dgt.gob.es/es/movilidad/comunicacion_accidentes_trafico_ARENA/#.
- DGT. (2020). *Dirección General de Tráfico. Las principales cifras de seguridad vial en España 2019.*
- DGT. (2021a). *Dirección General de Tráfico. La Dirección General de Tráfico incrementa la vigilancia en carreteras frecuentadas por motoristas. Julio 2021.* <https://www.dgt.es/comunicacion/notas-de-prensa/la-direccion-general-de-traffic-incrementa-la-vigilancia-en-carreteras-frecuentadas-por-motoristas/>.
- DGT. (2021b). *Dirección General de Tráfico. Nuevos límites de velocidad en las ciudades.* <https://revista.dgt.es/es/multimedia/infografia-animada/2021/0510-Velocidad30.shtml>.
- DGT. (2021c). *Dirección General de Tráfico. Recomendaciones para mejora de Seguridad Vial en entornos de carreteras interurbanas.* <https://www.dgt.es/Galerias/seguridad-vial/estrategias-y-planes/sistema-seguro/ALTA--Libro-DGT-Medidas-Interurbanas.pdf>.
- DGT. (2022). *Dirección General de Tráfico. Las principales cifras de seguridad vial en España 2021.*
- Díez, J., Martín, O., Molinero, A., Gordoncillo, J., y García-Trejo, J. (2011). *Definición de la estructura de una base de datos en profundidad de accidentes de tráfico en el marco del proyecto europeo dacota.* <https://docplayer.es/23495987-Definicion-de-la-estructura-de-una-base-de-datos-en-profundidad-de-accidentes-de-traffic-en-el-marco-del-proyecto-europeo-dacota.html>.
- Díez, J., Fernández, J. A., Molinero, A., Pedrero, D., y Perandones, J. M. (2009). *Investigación en profundidad y reconstrucción de accidentes mortales en las carreteras de la red regional de Castilla y León.* [Presentación en Conferencia] IV Congreso Nacional de Seguridad Vial, Logroño.
- Díez, J., Molinero, A., y Pedrero, D. (2008). *Consultoría y asistencia para la realización de un estudio de accidentes con implicación de motocicletas en la zona noroeste de la península e islas canarias. Dirección General de Tráfico.* <https://docplayer.es/31603303-Estudio-de-accidentes-con-implicacion-de-motocicletas-en-espana.html>.
- EC. (2012a). *European Commission. MOSAFIM Project. grant agreement number move/c4/sub/2011-294/s12.628576/mosafim.* <https://trimis.ec.europa.eu/sites/>

- default/files/project/documents/20120313_143223_50861_Final%20APROSYS%20Report.pdf.
- EC. (2012b). *European Commission. ROSA Project. grant agreement number move/subv/2010/d3/300-1/si2.566057/rosa.* https://ec.europa.eu/transport/road_safety/eu-road-safety-policy/priorities/safe-vehicles/making-roads-safer-motorcycles-and-mopeds-en.
- EC. (2018). *European Commission. APROSYS Project Final Report.* https://trimis.ec.europa.eu/sites/default/files/project/documents/20120313_143223_50861_Final%20APROSYS%20Report.pdf.
- ECIP. (2007). *European Center for Injury Prevention. Universidad de Navarra. Algorithm to Calculate the Functional Capacity Index using AIS98 and Stata.*
- ECS. (1998). *European Committee for Standardization. European Standard EN 1317-2:1998 Road restraint systems. (Part 2: Performance classes, impact test acceptance criteria and test methods for safety barriers including vehicle parapets. Brussels)*
- ECS. (2010). *European Committee for Standardization. European Standard EN 1317-2:2010 Road restraint systems. (Part 2: Performance classes, impact test acceptance criteria and test methods for safety barriers including vehicle parapets. Brussels.)*
- EP. (2019). *European Parliament. Directive (EU) 2019/1151 of the European Parliament and of the Council of 20 June 2019 amending Directive (EU) 2017/1132 as regards the use of digital tools and processes in company law.* <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX%3A32019L1151>.
- ERF. (2016). *European Road Federation. RRS Road Safety Website. european union. brussels.* <http://www.rrs.erf.be/>.
- Fernández, M. A., García-Escudero, L. A., y Molinero, A. (2019). Analysis of real crashes against metal roadside barriers. *PLOS ONE*, 14(2), e0211674.
- FHT. (2016). *Federal Highway of Transportation. MASH: Manual for Assessing Safety Hardware, second edition. U.S. Department of Transportation. Washington.*
- Fitsa. (2003). *Análisis previo de la viabilidad técnica del programa operativo PRO-NACC (Programa Nacional de ACCidentología).* https://bast.opus.hbz-nrw.de/opus45-bast/frontdoor/deliver/index/docId/432/file/A.Proposal_for_a_Coordinated_In_.pdf.
- Forman, J., Lopez-Valdes, F., Pollack, K., Heredero-Ordoyo, R., Molinero, A., Mansilla, A., ... Segui-Gomez, M. (2012, 11). Injuries among powered two-wheeler users in eight european countries: A descriptive analysis of hospital discharge data. *Accident analysis and prevention*, 49, 229-36.

- Frechoso, V. (2017). Propuesta de nueva regulación de protectores de cuello y espalda para motoristas. *Trabajo Fin de Máster. Universidad de Valladolid.*
- García, J., García, D., Molinero, A., Perandones, J. M., Fernández, J. A., Martín, C., y Mansilla, A. (2009). Improving motorcyclists' safety in Spain by enhanced crash test procedures and implementation guidelines. En *Proceedings of the 21st international technical conference on the enhanced safety of vehicles.* (09–0194)
- García-Peña, J., Garcia-Ruiz, D., Mansilla, A., Molinero, A., y Peldschus, S. (2009). *Development of a test standard for the evaluation of motorcyclist impacts on road safety barrier.* The transportation research board (trb) 88th annual meeting. 2009 - 1, transportation research board, 01/01/2009. <https://trid.trb.org/view/880841>.
- Haddon Jr, W. (1968). The changing approach to the epidemiology, prevention, and amelioration of trauma: the transition to approaches etiologically rather than descriptively based. *American journal of public health and the Nations health*, 58(8), 1431–1438.
- IMMA. (2019). *International Motorcycle Manufacturers' Association. Safer Motorcycling.* http://immamotorcycles.org/sites/all/themes/business/media/20190516_IMMA_RSWP-FINAL_WEB.pdf.
- Mohan, D. (2003). Road traffic injuries: a neglected pandemic. *Bulletin of the World Health Organization*, 81, 684–685. Descargado de <https://apps.who.int/iris/handle/10665/269022>
- Molinero, A. (2013). *La problemática de las salidas de calzada.* [Presentación en Conferencia] Salón internacional de la seguridad vial y el equipamiento para carreteras TRAFIC 2013, Madrid.
- Molinero, A. (2014a). *Consejos prácticos sobre equipamiento del motociclista-proyecto europeo MOSAFIM.* [Presentación en Conferencia] Jornadas de seguridad vial-pingüinos. https://anmotoristas.org/noticia_desarrollada.php?cod=2298.
- Molinero, A. (2014b). *Mitigación de las salidas de calzada en zona urbana.* [Presentación en Conferencia] II Congreso - Ciudades que caminan, Pontevedra.
- Molinero, A. (2014c). *Protección segura de peatones y ciclistas frente a salidas de calzada urbanas de vehículos motorizados.* [Presentación en Conferencia] III Encuentro de ciudades para la seguridad vial y la movilidad sostenible, Torrevieja.
- Molinero, A. (2015). *Características necesarias y deseables de los sistemas de contención de vehículos en entorno urbano.* [Presentación en Conferencia] 18 feria internacional MUNICIPALIA. Equipamiento y servicios municipales, Lérida.
- Molinero, A. (2016a). *Características necesarias y deseables de los sistemas de contención de vehículos en entorno urbano.* [Presentación en Conferencia]. XIV Jornadas conservación de carreteras, Córdoba.

- Molinero, A. (2016b). *Características necesarias y deseables de los sistemas de contención de vehículos en entorno urbano*. [Presentación en Conferencia] 23^o Symposium nacional de vías y obras de la administración local, Tenerife.
- Molinero, A. (2016c). *Características necesarias y deseables de los sistemas de contención de vehículos en entorno urbano*. [Presentación en Conferencia] II jornadas de seguridad vial ‘el reto de la conservación y la seguridad vial’, Valencia.
- Molinero, A. (2016d). *Desarrollo de un “modelo concepto” de barrera de segregación de espacios seguros para usuarios vulnerables en entornos urbanos*. [Presentación en Conferencia] 6^o encuentro de investigadores nacionales de seguridad vial y movilidad. Dirección General de Tráfico, Madrid.
- Molinero, A. (2016e). *Mitigación de las salidas de calzada en zona urbana*. [Presentación en Conferencia] I Encuentro Planeta vial, Fundación Abertis, Barcelona.
- Molinero, A. (2017a). *Desarrollo de soluciones para mitigar salidas de calzada*. Mesa redonda: “Tecnología de la seguridad vial en el campo de la ingeniería”, Valladolid.
- Molinero, A. (2017b). *Innovative road restraint systems (RRS)*. [Conference Paper] International workshop on the injury prevention capabilities of existing road barriers and testing methods. Cost action TU1407, Alcañiz. <https://www.cost.eu/actions/TU1407/>.
- Molinero, A. (2017c). *Protección de carriles bici ante salidas de calzada urbanas de vehículos motorizados*. [Presentación en Conferencia] VIII Congreso nacional de seguridad vial. Valencia.
- Molinero, A. (2017d). *Protección de carriles bici ante salidas de calzada urbanas de vehículos motorizados*. [Presentación en Conferencia] III Congreso internacional de ingeniería civil y territorio. VIII encuentro galicia-norte de portugal. Conservación y gestión de la obra pública, Vigo.
- Molinero, A. (2017e). *Protección de carriles bici ante salidas de calzada urbanas de vehículos motorizados*. [Presentación en Conferencia] XVI Congreso ibérico ‘la bicicleta y la ciudad’, Zaragoza.
- Molinero, A. (2017f). *Redacción del pliego de prescripciones técnicas de la contratación de servicios para el “Análisis y nuevas propuestas para la mejora de seguridad vial de motociclistas en carreteras de la Comunidad de Madrid”*. <https://www.madrid.org/contratos-publicos/1354851795706/1350930820359/1354851794725.pdf>.
- Molinero, A., y Mansilla, A. (2015a). *Desarrollo de un modelo concepto de barrera de segregación de espacios seguros para usuarios vulnerables en entornos urbanos*. (Dirección General de Tráfico.)

- Molinero, A., y Mansilla, A. (2015b). *Desarrollo de un modelo de barrera de segregación de espacios seguros para usuarios vulnerables en entornos urbanos*. [Presentación en Conferencia] II Jornadas sobre movilidad urbana y seguridad vial, Madrid.
- Molinero, A., y Mansilla, A. (2016a). *Desarrollo de los criterios de aplicación de los elementos de contención de vehículos, ciclistas y peatones en intersecciones y tramos curvos de zona urbana*. (Dirección General de Tráfico.)
- Molinero, A., y Mansilla, A. (2016b). *Salidas de calzada urbanas: cómo mitigar sus consecuencias*. [Presentación en Conferencia] V Congreso ibero-americano de seguridad vial (CISEV), Santiago de Chile.
- Molinero, A., y Mansilla, A. (2016c). *A. urban run-off accidents - a way of injury mitigation*. [Conference Paper] 1st edition of the European road infrastructure congress. Leeds.
- Molinero, A., Margaritis, D., Gelau, C., Martín, O., Perandones, J., y Pedrero, D. (2009). Characteristics of powered two wheelers accidents susceptible to be avoided and minimized through adas and ivis implementations. En *Proceedings of the 21st international technical conference on the enhanced safety of vehicles* (pp. 09–0543).
- Molinero, A., Martín, O., Perandones, J. M., Pedrero, D., y Ocampo, M. A. (2010). Accidentalidad e infraestructura vial en carreteras de diputaciones provinciales. *Carreteras*, 169, 34–41.
- Montoro, L. (2019). Balance de accidentalidad. *Fesvial*.
- ONU. (2021). *VI Semana Mundial de las Naciones Unidas para la Seguridad Vial, 17-23 mayo 2021*. <https://www.unroadsafetyweek.org/es/home>.
- Perandones, J. M., Mansilla, A., Martín, C., y Molinero, A. (2008). Recommendations for the location of motorcyclist protection devices in the spanish road network of castilla y león. *TRB 87th Annual Meeting*. <https://trid.trb.org/view/847928>.
- Tahmasseby, S., Muley, D., y Wink, B. (2021). Performance evaluation of vehicle restraint systems in the context of design and installation. *Civil Engineering Journal*, 7, 449-460.
- WHO. (2019a). *Organización Mundial de la Salud. Informe sobre la situación mundial de la seguridad vial. Es hora de pasar a la acción*. https://www.who.int/violence_injury_prevention/road_safety_status/report/web_version.es.pdf.
- WHO. (2019b). *World Health Organization. Global status report on road safety 2019*. https://www.who.int/violence_injury_prevention/road_safety_status/2019/en/.
- WHO. (2020). *World Health Organization. Third Global Ministerial Conference on Road Safety: Achieving Global Goals 2030*. <https://www.roadsafetysweden.com/about-the-conference/stockholm-declaration/>.

WRA. (2019). *World Road Association. National Road Safety Policies and Programs. Security of Road Infrastructure. PIARC.* <https://roadsafety.piarc.org/en>.