


Approaches to the analysis of accident risk on roads. A systematic review of the literature

Harold Gaspar Cano Condori¹ 

¹Universidad Tecnológica de Perú, Perú, c21958@utp.edu.pe

Abstract – This literature review seeks to clarify the way in which the relationship between geometric design and the risk of accidents on roads is addressed. To this end, information was collected from 40 open access articles from journals indexed in Scopus. These articles were published in English between 2018 and 2023. In addition to identifying and describing the main approaches addressed in these articles, it was found that more than 90% of them consider that the geometric design of roads has direct effects on the probability of occurrence of accidents, 52.5% of the articles analyzed use approaches that consider statistical methods while other approaches such as those that consider environmental factors or smaller vehicles such as motorcycles and bicycles represent less than 5% of the studies analyzed.

Keywords: *Geometric design, road, accident, safety, RSL.*

Digital Object Identifier: (only for full papers, inserted by LACCEI).
ISSN, ISBN: (to be inserted by LACCEI).
DO NOT REMOVE

Enfoques para la evaluación del riesgo de accidentes en carreteras. Una revisión sistemática de la literatura

Harold Gaspar Cano Condori¹ 

¹Universidad Tecnológica de Perú, Perú, c21958@utp.edu.pe

Resumen– Esta revisión de la literatura busca esclarecer la forma en la que se aborda la relación que existe entre el diseño geométrico y el riesgo de accidentes en carreteras, con este fin se recopiló información de 40 artículos de acceso abierto de revistas indexadas en Scopus, estos artículos fueron publicados en idioma inglés entre los años 2018 y 2023. Además de identificar y describir cuales son los principales enfoques abordados en estos artículos, se encontró que más del 90% de ellos consideran que el diseño geométrico de carreteras tiene efectos directos en la probabilidad de ocurrencia de accidentes, el 52.5% de artículos analizados usan enfoques que consideran métodos estadísticos mientras que otros enfoques como los que consideran factores ambientales o vehículos menores como motocicletas y bicicletas representan menos del 5% de estudios analizados.

Palabras clave: Diseño geométrico, carretera, accidente, seguridad, RSL.

I. INTRODUCCIÓN

Los accidentes de tránsito en carreteras se han convertido en un importante problema de salud y un reto al desarrollo [1]

Según estimaciones de la OMS la tasa de muertes como causa de accidentes de tránsito se está incrementando a nivel mundial y esta representaría la quinta causa de muerte para el año 2030[2]. Se sabe que, en nuestro continente, particularmente en el Perú la tasa de mortalidad provocada por accidentes de tránsito fue de 13.6 por cada 100000 habitantes en el año 2019, mientras que en países de la región como Chile, Brasil, Colombia, Argentina y Ecuador presentan tasas similares, 14.9, 16, 15.4,14.1 y 20.1 respectivamente, en Centroamérica el panorama es similar, teniendo por ejemplo para Nicaragua, Costa Rica, Honduras y el salvador tasas de 16.9, 14.8, 16.1, 20.9 respectivamente, en el resto del continente estos valores no son muy diferentes como es el caso de Estados Unidos 12.7, México 12.8 exceptuando a Canadá que cuenta con una tasa de solo 5.3.

En nuestro continente es posible tener tasas de accidentes más bajas como lo demuestran los datos de países europeos para el mismo estudio [2], algunos ejemplos son España, Francia, Italia y Alemania que tienen valores de 3.9,5.1, 5.3 y 3.8 respectivamente.

Cuando se intenta esclarecer la relación existente entre el diseño geométrico de carreteras y la probabilidad de accidentes de carretera, es necesario saber cuales con las causas determinantes en la ocurrencia de accidentes de tránsito, esta pregunta constituye en sí misma un reto puesto que son muchas las variables que intervienen como causas de los accidentes de

tránsito[3], entre ellas podemos listar el comportamiento y edad del conductor, el diseño geométrico de la carretera, las condiciones ambientales entre otras, en esta investigación se analizan los enfoques abordados en los últimos 4 años para enfrentar este reto. Esta investigación busca contribuir al conocimiento de los principales enfoques que se han considerado en el estudio del riesgo de accidentes de carreteras y el diseño geométrico de las mismas para de esta manera facilitar la elección de estrategias que puedan desarrollar futuras investigaciones.

II. METODOLOGIA

En esta investigación se ha usado PRISMA, esta es una herramienta para la documentación transparente de revisiones sistemáticas de la literatura [4], el uso de la misma permite mejorar la aplicación metodológica y también los resultados[5]

El detalle del número de investigaciones seleccionadas en cada etapa del proceso de investigación se muestra en la figura 01, el cribado inicial se desarrolló principalmente a base de la herramienta de filtrado de información que está en la base de datos Scopus, mientras que para el filtro de idoneidad se necesitó de un análisis manual de los estudios a fin de poder identificar los artículos incluidos definitivamente en esta revisión.

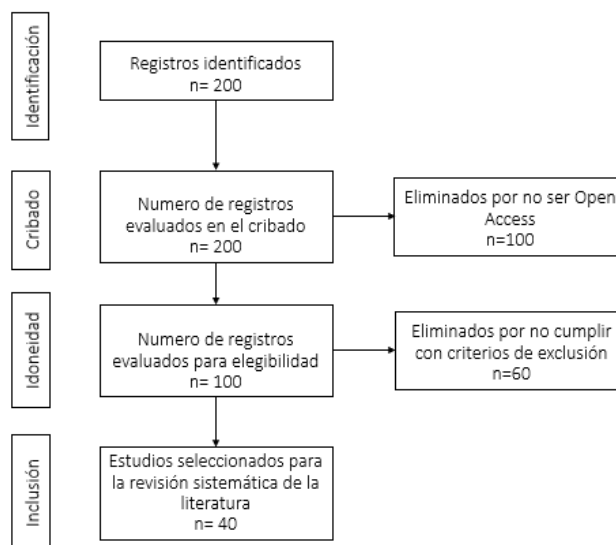


Fig. 1 Diagrama de flujo PRISMA

En esta revisión de la literatura se consideraron los criterios de exclusión que se muestran en la tabla I.

TABLA I
CRITERIOS DE EXCLUSION

C1	El estudio analiza el diseño geométrico de carreteras y su relación con la ocurrencia de accidentes de tránsito en carreteras.
C2	El estudio está en el periodo de tiempo comprendido entre el año 2018 al 2023.
C3	El estudio contiene las palabras clave: geométrico, carretera, diseño, accidente, seguridad.
C4	El estudio está disponible en su versión completa (open Access)
C5	El estudio se desarrolla en el contexto de la ingeniería civil

III. RESULTADOS

Los resultados de esta investigación están descritos en función a los 40 artículos que resultaron del proceso de selección descrito en el capítulo II y cuyos autores y títulos se detallan en la tabla II. Del análisis realizado se muestra a continuación características bibliométricas y características específicas de ingeniería vinculadas al objetivo de esta investigación.

TABLA II
ARTICULOS ANALIZADOS

Autores	Título de investigación
Zolali et al. 2021[6]	A Behavioral Model of Drivers' Mean Speed Influenced by Weather Conditions, Road Geometry, and Driver Characteristics Using a Driving Simulator Study
Montoya-Alcaraz et al. 2020 [7]	Road safety analysis of high-risk roads: Case study in Baja California, México
Pulvirenti et al. 2021 [8]	Are double-lane roundabouts safe enough? A chaid analysis of unsafe driving behaviors
Perri et al. 2022 [9]	Road Safety Management of Uncontrolled Access Points: Design Criteria and Insights into Risk Factors
Petru et al. 2021 [10]	An analysis of turbo roundabouts from the perspective of sustainability of road transportation
Sahaf et al. 2021[11]	3D Sight Distance Calculation and Estimation of its Effect on Road Accidents in GIS Environment
Guerrieri n.d. [12]	Smart Roads Geometric Design Criteria and Capacity Estimation Based on AV and CAV Emerging Technologies. A Case Study in the Trans-European Transport Network
Alcón Gil et al. 2021 [13]	Driver glare exposure with different vehicle frontlighting systems
Shoman et al. 2023 [14]	Evaluation of Cycling Safety and Comfort in Bad Weather and Surface Conditions Using an Instrumented Bicycle
Mehrara Molan et al. 2021 [15]	Impact of side traffic barrier features on the severity of run-off-road crashes involving horizontal curves on non-interstate roads
Wilches et al. 2020 [16]	Vehicle operating speeds in southwestern Colombia: An important database for the future implementation of optimization models for geometric design of roads in mountain topography
Calsavara et al. 2021 [17]	Effects of fog in a brazilian road segment analyzed by a driving simulator for sustainable transport: Drivers' speed profile under in-vehicle warning systems
Han et al. 2021 [18]	Predicting the water film depth: A model based on the geometric features of road and capacity of drainage facilities
Zhang et al. 2022 [19]	Freeway Traffic Safety Evaluation Using Virtual Reality: Focus on Compound Curve
Basak 2022 [20]	The Study of Geometry of the Selected Transition Curves in the Design of Circular Roads
Garcia et al. 2022 [21]	Determination of minimum horizontal curve radius for safe stopping sight distance of vehicles overpassing truck platoons
Berloco et al. 2022 [22]	The deviation angle for one-lane roundabouts: A general mathematical formulation and application
Duvvuri et al. 2022 [23]	Modeling injury severity of crashes involving trucks: Capturing and exploring risk factors associated with land use and demographic in addition to crash, driver, and on-network characteristics
Taheri et al. 2022 [24]	Spatial-Temporal Analysis of Crash Severity: Multisource Data Fusion Approach
Sharf Aldeen et al. 2023 [25]	Safety Comparison of Simple and Spiral Horizontal Curves Based on Side Friction Factor Dynamic Modeling
Prasetijo et al. 2021 [26]	Crash model based on integrated design consistency with low traffic volumes (due to health disaster (COVID-19)/movement control order)
Hussain et al. 2022 [27]	Safety Analysis of Merging Vehicles Based on the Speed Difference between on-Ramp and Following Mainstream Vehicles Using NGSIM Data

Aminfar et al. 2023 [28]	Evaluation of reverse curves focusing on the lateral friction demand on four-lane divided highways
Aldala'in et al. 2023 [29]	Road Accident Hotspots on Jordan's Highway Based on Geometric Designs Using Structural Equation Modeling
Tola et al. 2022 [30]	Crash Distribution Dataset: Development and Validation for the Undivided Rural Roads in Oromia, Ethiopia
Yan et al. 2023 [31]	Relationship between Highway Geometric Characteristics and Accident Risk: A Multilayer Perceptron Model (MLP) Approach
Khan et al. 2023 [32]	Effects of design consistency on run-off-road crashes: An application of a Random Parameters Negative Binomial Lindley model
Li et al. 2023 [33]	Crash Frequency Minimization with Severity Mitigation in Road Geometric Design Using Chance Constraint Programming Optimization
Afghari et al. 2023 [34]	"I did not see that coming": A latent variable structural equation model for understanding the effect of road predictability on crashes along horizontal curves
Khattak et al. 2021 [35]	Estimation of safety performance functions for urban intersections using various functional forms of the negative binomial regression model and a generalized Poisson regression model
Elfandari et al. 2021[36]	The Relationship between Frequency of Accident and Roads Geometric Design Consistency in NTB Province
Álvarez et al. 2020 [37]	Geometric road design factors affecting the risk of urban run-off crashes. A case-control study
Vieira et al. 2023 [38]	Modelling Road Work Zone Crashes' Nature and Type of Person Involved Using Multinomial Logistic Regression
Zhang et al. 2022 [39]	A Random-Parameter Negative Binomial Model for Assessing Freeway Crash Frequency by Injury Severity: Daytime versus Nighttime
Alrejjal et al. 2023 [40]	Impact of crosswinds and truck weight on rollover propensity when negotiating combined curves
Farid et al. 2021 [41]	Modeling severities of motorcycle crashes using random parameters
Rage et al. 2023 [42]	Modelling and analysis of vehicle accident under mixed traffic conditions in Ilu Ababor zone, Ethiopia
Khabiri et al. 2020 [43]	Research Paper: The Effect of Low Friction in Pavement Due to Floods and High-speed Vehicles in Increasing the Number of Rescue Vehicles' Driving Accidents
Alghafli et al. 2021 [44]	The effect of geometric road conditions on safety performance of abu dhabi road intersections
Abed et al. 2021 [45]	Coupling Visual Simulation Model (VISSIM) with Surrogate Safety Assessment Model (SSAM) to Evaluate Safety at Signalized Intersections.

A. Resultados Bibliométricos

Los estudios analizados están comprendidos entre los años 2018 y 2023, es notable el incremento en el número de artículos a partir del año 2020, fecha a partir de la cual parece haber habido un promedio de publicación anual de 12 artículos anuales, el detalle de este comportamiento se aprecia en la figura 02.

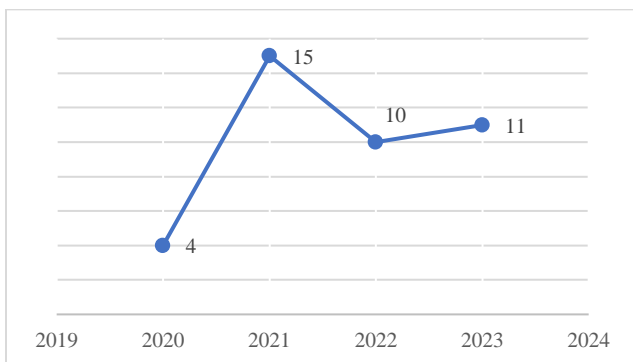


Fig. 2 Artículos incluidos según el año de publicación

Respecto al origen de las publicaciones analizadas se ha encontrado el país que más ha investigado en esta temática son los Estados Unidos de América con 7 publicaciones, seguidos de Irán con 5, en Europa tenemos que Italia, España y Bélgica tienen 4, 3 y 2 publicaciones respectivamente, el origen del resto de investigaciones se detalla en la figura 3.

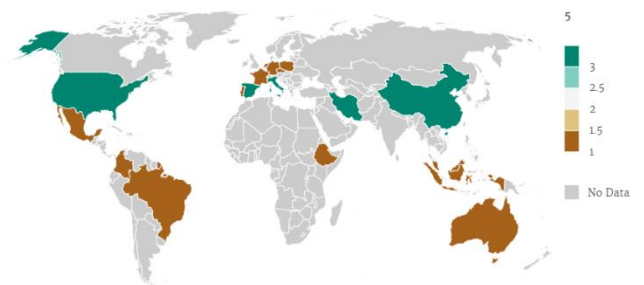


Figura 3. Artículos según país de origen

Respecto a las palabras clave del grupo de investigaciones, se encontró un gran número de palabras adicionales a las que tenía como propósito analizar esta investigación, vinculadas a

Algunos investigadores plantean la investigación tomando en cuenta el impacto que pueden tener factores ambientales o climáticos en el desempeño de la vía, es el caso de Zolali et al. 2021[6] que tomo en cuenta el efecto de la conducción nocturna , Han et al. 2021 [18] que considero de qué manera el espesor de la película de agua afecta los conductores en la carretera, Calsavara et al. 2021 [17] que considero los efectos de la niebla en el rendimiento de los conductores en un segmento de carretera en Brasil y Shoman et al. 2023 [14] que analizo el comportamiento de los ciclistas en condiciones de nieve y su interacción con otros usuarios de la vía y con el diseño geométrico de la carretera.

La mayoría de investigaciones consideraron como una de sus principales variables de estudio la geometría de la carretera, es el caso de Zolali et al. 2021[6], Pulvirenti et al. 2021 [8], Perri et al. 2022 [9], Petru et al. 2021 [10], Sahaf et al. 2021[11], Guerrieri n.d. [12], Alcón Gil et al. 2021 [13], Shoman et al. 2023 [14], Mehrara Molan et al. 2021 [15], Wilches et al. 2020 [16], Zhang et al. 2022 [19], Basak 2022 [20], Prasetijo et al. 2021 [26], Hussain et al. 2022 [27], Aminfar et al. 2023 [28], Aldala'in et al. 2023 [29], Tola et al. 2022 [30], Yan et al. 2023 [31], Khan et al. 2023 [32], Li et al. 2023 [33], Afghari et al. 2023 [34], Khattak et al. 2021 [35], Elfandari et al. 2021[36], Álvarez et al. 2020 [37], Vieira et al. 2023 [38], Zhang et al. 2022 [39], Alrejjal et al. 2023 [40], Farid et al. 2021 [41], Khabiri et al. 2020 [43], Alghafli et al. 2021 [44], Abed et al. 2021 [45], del total de artículos analizados 36 toman en cuenta a la geometría de la carretera como un aspecto importante a tomar en cuenta al momento de analizar los accidentes en las carreteras, en muchos de los resultados de estas investigaciones se hace mención a que las dimensiones de los elementos geométricos de las vías son determinantes en la seguridad de la conducción en las vías.

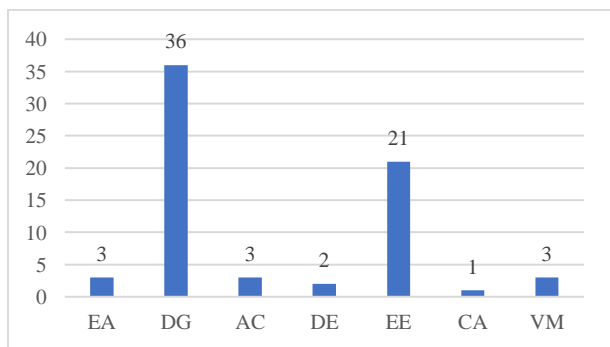


Figura 5. Numero de artículos analizados según el criterio mostrado en la tabla IV.

La coherencia o consistencia de un diseño es un parámetro de evaluación contenido en algunas normas de diseño geométrico de carreteras y que ha sido considerado como enfoque en el análisis de los accidentes en carreteras, es el caso

de Prasetijo et al. 2021 [26], Rage et al. 2023 [42] y Khabiri et al. 2020 [43]

Otros investigadores como Montoya-Alcaraz et al. 2020 [7] y Aldala'in et al. 2023 [29] tomaron en cuenta el enfoque que busca mostrar una distribución espacial de los accidentes en un determinado segmento de carretera a partir de datos estadísticos y mapas que ayudaron a ese propósito, este tipo de enfoques tiene muchas aplicaciones prácticas en la medida que sea posible identificar puntos críticos en las carreteras, de tal manera que se aborden las causas del elevado índice de accidentes en esas zonas en particular.

Un gran número de investigaciones tienen enfoques eminentemente estadísticos y tienen propósitos vinculados a la comprobación de la relación existente entre una variable específica del diseño geométrico y la probabilidad de ocurrencia de accidente en un tipo de vía en particular, investigaciones como las de Zolali et al. 2021[6], Pulvirenti et al. 2021 [8], Perri et al. 2022 [9], Mehrara Molan et al. 2021 [15], Wilches et al. 2020 [16], Calsavara et al. 2021 [17], Duvvuri et al. 2022 [23], Taheri et al. 2022 [24], Prasetijo et al. 2021 [26], Aminfar et al. 2023 [28], Aldala'in et al. 2023 [29], Tola et al. 2022 [30], Yan et al. 2023 [31], Khattak et al. 2021 [35], Elfandari et al. 2021[36], Álvarez et al. 2020 [37], Vieira et al. 2023 [38], Farid et al. 2021 [41], Rage et al. 2023 [42], Alghafli et al. 2021 [44], Abed et al. 2021 [45], están orientadas en este sentido, algunas comparan incluso modelos estadísticos con redes neuronales como es el caso de Yan et al. 2023 [31] quien hizo esta comparación con la finalidad de predecir el riesgo de accidentes en función a las características geométricas de una carretera.

Es innegable que nuevas tecnologías están poco a poco volviéndose parte de las carreteras, sin embargo son pocas las investigaciones que han considerado el diseño geométrico de carreteras la seguridad y la inclusión de nuevas tecnologías como es el caso de los vehículos autónomos, siendo Guerrieri n.d. [12] uno de los pocos autores que ha investigado en este sentido, es destacable que el haya encontrado que las carreteras inteligentes, los Vehículos Autónomos (AVs) y los vehículos conectados y automatizados (CAVs) son tecnologías emergentes que permiten aumentar la capacidad y seguridad de las carreteras.

No todas las investigaciones se centran en vehículos estándar tales como autos o camiones, sino que autores como Shoman et al. 2023 [14], Shoman et al. 2023 [14] y Alghafli et al. 2021 [44] toman en cuenta como enfoque principal el papel que juegan los vehículos menores tales como bicicletas o motocicletas.

Finalmente, si intentáramos clasificar las investigaciones analizadas en función al objeto de estudio que tomaron en cuenta, encontraríamos que la mayoría de ellas se centran en el análisis general de una vía tomando en cuenta tramos tangentes y curvos, en segundo lugar, tendríamos las investigaciones que toman en cuenta el análisis de intersecciones, tales como rotondas o cruces de caminos, para estas dos clasificaciones se han encontrado un total de 27 y 9 investigaciones respectivamente.

IV. CONCLUSIONES

Los enfoques más usados en el grupo de artículos analizados son los que se centran en el diseño geométrico de carreteras y los enfoques estadísticos, ambos han sido considerados en 36 y 21 investigaciones respectivamente.

El diseño geométrico de carreteras tiene una incidencia directa en la probabilidad de ocurrencia de accidentes en carreteras, de los 40 artículos analizados 36, es decir el 90% de ellos hacen menciones explícitas a la importancia de un adecuado diseño geométrico de carreteras.

De las 40 investigaciones analizadas 52.5%, es decir un total de 21 tienen enfoques eminentemente estadísticos, aunque estas investigaciones comparten este tipo de enfoque el uso de la estadística en cada una de ellas difiere en sus aplicaciones, siendo que algunas de ellas buscan confirmar la relación existente entre alguna condición de la carretera y la probabilidad de ocurrencia de accidentes y otras buscan predecir el número de accidentes en algún punto específico de una vía.

Hay una buena cantidad de enfoques que no han sido lo suficientemente analizados o estudiados, entre ellos podemos destacar aquellos que toman en cuenta aspectos ambientales específicos como la neblina, la conducción nocturna o conducción en nieve, enfoques que toman en cuenta vehículos autónomos o carreteras inteligentes, enfoques que toman en cuenta los análisis de consistencia en el diseño y los enfoques que analizan la seguridad de vehículos menores tales como motos o bicicletas, se considera que estos son frentes de investigación en los que se necesita ampliar.

Llama la atención el número pequeño de investigaciones que buscan relacionar el diseño geométrico de carreteras, la probabilidad de ocurrencia de accidentes y la distribución espacial de estas en un tramo de carretera específico, ya que se considera que estas pueden tener un impacto inmediato en la toma de medidas correctivas y la disminución de accidentes en una localidad específica.

REFERENCIAS

[1] S. Martínez, R. Sánchez, and P. Yáñez-Pagans, "Road safety: challenges and opportunities in Latin America and the Caribbean,"

Lat Am Econ Rev, vol. 28, no. 1, Dec. 2019, doi: 10.1186/s40503-019-0078-0.

[2] Banco Mundial, "Mortalidad provocada por lesiones por accidentes de tránsito (por cada 100 000 personas)," Mortalidad provocada por lesiones por accidentes de tránsito (por cada 100 000 personas).

[3] C. C. Riveros, J. C. R. Romero, and M. R. Anticona, "Study of the causes of accidents on a Peruvian highway," in *Proceedings of the LACCEI international Multi-conference for Engineering, Education and Technology*, Latin American and Caribbean Consortium of Engineering Institutions, 2019. doi: 10.18687/LACCEI2019.1.1.255.

[4] M. J. Page and D. Moher, "Evaluations of the uptake and impact of the Preferred Reporting Items for Systematic reviews and Meta-Analyses (PRISMA) Statement and extensions: A scoping review," *Syst Rev*, vol. 6, no. 1, Dec. 2017, doi: 10.1186/s13643-017-0663-8.

[5] S. E. Kelly, D. Moher, and T. J. Clifford, "Quality of conduct and reporting in rapid reviews: An exploration of compliance with PRISMA and AMSTAR guidelines," *Syst Rev*, vol. 5, no. 1, May 2016, doi: 10.1186/s13643-016-0258-9.

[6] M. Zolali, B. Mirbaha, M. Layegh, and H. R. Behnood, "A Behavioral Model of Drivers' Mean Speed Influenced by Weather Conditions, Road Geometry, and Driver Characteristics Using a Driving Simulator Study," *Advances in Civil Engineering*, vol. 2021, 2021, doi: 10.1155/2021/5542905.

[7] M. Montoya-Alcaraz, A. Mungaray-Moctezuma, J. Calderón-Ramírez, L. García, and C. Martínez-Lazcano, "Road safety analysis of high-risk roads: Case study in Baja California, México," *Safety*, vol. 6, no. 4, Oct. 2020, doi: 10.3390/SAFETY6040045.

[8] G. Pulvirenti, N. Distefano, S. Leonardi, and T. Tollazzi, "Are double-lane roundabouts safe enough? A chaid analysis of unsafe driving behaviors," *Safety*, vol. 7, no. 1, 2021, doi: 10.3390/safety7010020.

[9] G. Perri and R. Vaiana, "Road Safety Management of Uncontrolled Access Points: Design Criteria and Insights into Risk Factors," *Applied Sciences (Switzerland)*, vol. 12, no. 24, Dec. 2022, doi: 10.3390/app122412661.

[10] J. Petru and V. Krivda, "An analysis of turbo roundabouts from the perspective of sustainability of road transportation," *Sustainability (Switzerland)*, vol. 13, no. 4, pp. 1–26, Feb. 2021, doi: 10.3390/su13042119.

[11] A. Sahaf, M. Mohammadi, and A. Abdoli, "3D Sight Distance Calculation and Estimation of its Effect on Road Accidents in GIS Environment," *Shock and Vibration*, vol. 2021, 2021, doi: 10.1155/2021/5298309.

[12] M. Guerrieri, "Smart Roads Geometric Design Criteria and Capacity Estimation Based on AV and CAV Emerging Technologies. A Case Study in the Trans-European Transport Network," 2021, doi: 10.1007/s13177-021-00255-4/Published.

[13] P. Alcón Gil, C. De Santos-Berbel, and M. Castro, "Driver glare exposure with different vehicle frontlighting systems," *J Safety Res*, vol. 76, pp. 228–237, Feb. 2021, doi: 10.1016/j.jsr.2020.12.018.

- [14] M. M. Shoman, H. Imine, E. M. Acerra, and C. Lantieri, "Evaluation of Cycling Safety and Comfort in Bad Weather and Surface Conditions Using an Instrumented Bicycle," *IEEE Access*, vol. 11, pp. 15096–15108, 2023, doi: 10.1109/ACCESS.2023.3242583.
- [15] A. Mehrara Molan and K. Ksaibati, "Impact of side traffic barrier features on the severity of run-off-road crashes involving horizontal curves on non-interstate roads," *International Journal of Transportation Science and Technology*, vol. 10, no. 3, pp. 245–253, Sep. 2021, doi: 10.1016/j.ijst.2020.07.006.
- [16] F. J. Wilches, J. L. A. Burbano, and E. E. C. Sierra, "Vehicle operating speeds in southwestern Colombia: An important database for the future implementation of optimization models for geometric design of roads in mountain topography," *Data Brief*, vol. 32, Oct. 2020, doi: 10.1016/j.dib.2020.106210.
- [17] F. Calsavara, F. I. Kabbach, and A. P. C. Larocca, "Effects of fog in a brazilian road segment analyzed by a driving simulator for sustainable transport: Drivers' speed profile under in-vehicle warning systems," *Sustainability (Switzerland)*, vol. 13, no. 19, Oct. 2021, doi: 10.3390/su131910501.
- [18] S. Han *et al.*, "Predicting the water film depth: A model based on the geometric features of road and capacity of drainage facilities," *PLoS One*, vol. 16, no. 7 July, Jul. 2021, doi: 10.1371/journal.pone.0252767.
- [19] C. Zhang *et al.*, "Freeway Traffic Safety Evaluation Using Virtual Reality: Focus on Compound Curve," *Sustainability (Switzerland)*, vol. 14, no. 22, Nov. 2022, doi: 10.3390/su142215170.
- [20] A. Basak, "The Study of Geometry of the Selected Transition Curves in the Design of Circular Roads," *Advances in Science and Technology Research Journal*, vol. 16, no. 4, pp. 270–278, 2022, doi: 10.12913/22998624/152936.
- [21] A. Garcia and D. Pastor-Serrano, "Determination of minimum horizontal curve radius for safe stopping sight distance of vehicles overpassing truck platoons," *Computer-Aided Civil and Infrastructure Engineering*, vol. 37, no. 5, pp. 539–557, Apr. 2022, doi: 10.1111/mice.12758.
- [22] N. Berloco, P. Colonna, and P. Intini, "The deviation angle for one-lane roundabouts: A general mathematical formulation and application," *Journal of Traffic and Transportation Engineering (English Edition)*, vol. 9, no. 1, pp. 44–58, Feb. 2022, doi: 10.1016/j.jtte.2020.10.006.
- [23] S. Duvvuri, S. S. Pulgurtha, and S. Mathew, "Modeling injury severity of crashes involving trucks: Capturing and exploring risk factors associated with land use and demographic in addition to crash, driver, and on-network characteristics," *IATSS Research*, vol. 46, no. 4, pp. 602–613, Dec. 2022, doi: 10.1016/j.iatssr.2022.11.001.
- [24] A. Taheri, A. Rasaizadi, and S. Seyedabrishami, "Spatial-Temporal Analysis of Crash Severity: Multisource Data Fusion Approach," *Discrete Dyn Nat Soc*, vol. 2022, 2022, doi: 10.1155/2022/2828277.
- [25] A. Sharf Aldeen, A. Abdi Kordani, A. Fallah, and S. M. Hosseinian, "Safety Comparison of Simple and Spiral Horizontal Curves Based on Side Friction Factor Dynamic Modeling," *J Adv Transp*, vol. 2023, 2023, doi: 10.1155/2023/7954346.
- [26] J. Prasetijo *et al.*, "Crash model based on integrated design consistency with low traffic volumes (due to health disaster (COVID-19)/movement control order)," *Innovative Infrastructure Solutions*, vol. 6, no. 1, Mar. 2021, doi: 10.1007/s41062-020-00388-7.
- [27] Q. Hussain, C. Dias, A. Al-Shahrani, and I. Hussain, "Safety Analysis of Merging Vehicles Based on the Speed Difference between on-Ramp and Following Mainstream Vehicles Using NGSIM Data," *Sustainability (Switzerland)*, vol. 14, no. 24, Dec. 2022, doi: 10.3390/su142416436.
- [28] A. Aminfar, A. M. Boroujerdian, and A. Karimi, "Evaluation of reverse curves focusing on the lateral friction demand on four-lane divided highways," *Transportation Engineering*, vol. 13, Sep. 2023, doi: 10.1016/j.treng.2023.100188.
- [29] S. A. Aldala'in, N. S. Abdul Sukor, M. T. Obaidat, and T. S. B. Abd Manan, "Road Accident Hotspots on Jordan's Highway Based on Geometric Designs Using Structural Equation Modeling," *Applied Sciences (Switzerland)*, vol. 13, no. 14, Jul. 2023, doi: 10.3390/app13148095.
- [30] A. M. Tola, T. A. Demissie, F. Saathoff, and A. Gebissa, "Crash Distribution Dataset: Development and Validation for the Undivided Rural Roads in Oromia, Ethiopia," *Transport and Telecommunication*, vol. 23, no. 1, pp. 11–24, Feb. 2022, doi: 10.2478/tj-2022-0002.
- [31] J. Yan, S. Zeng, B. Tian, Y. Cao, W. Yang, and F. Zhu, "Relationship between Highway Geometric Characteristics and Accident Risk: A Multilayer Perceptron Model (MLP) Approach," *Sustainability (Switzerland)*, vol. 15, no. 3, Feb. 2023, doi: 10.3390/su15031893.
- [32] S. A. Khan, A. P. Afghari, S. Yasmin, and M. M. Haque, "Effects of design consistency on run-off-road crashes: An application of a Random Parameters Negative Binomial Lindley model," *Accid Anal Prev*, vol. 186, Jun. 2023, doi: 10.1016/j.aap.2023.107042.
- [33] W. Li, M. Zhang, and A. Sharma, "Crash Frequency Minimization with Severity Mitigation in Road Geometric Design Using Chance Constraint Programming Optimization," *J Adv Transp*, vol. 2023, 2023, doi: 10.1155/2023/4798400.
- [34] A. P. Afghari, J. Vos, H. Farah, and E. Papadimitriou, "'I did not see that coming': A latent variable structural equation model for understanding the effect of road predictability on crashes along horizontal curves," *Accid Anal Prev*, vol. 187, Jul. 2023, doi: 10.1016/j.aap.2023.107075.
- [35] M. W. Khattak, A. Pirdavani, P. De Winne, T. Brijs, and H. De Backer, "Estimation of safety performance functions for urban intersections using various functional forms of the negative binomial regression model and a generalized Poisson regression model," *Accid Anal Prev*, vol. 151, Mar. 2021, doi: 10.1016/j.aap.2020.105964.
- [36] A. Elfandari and M. L. Siregar, "The Relationship between Frequency of Accident and Roads Geometric Design Consistency in NTB Province," in *Journal of Physics: Conference Series*, IOP Publishing Ltd, Apr. 2021. doi: 10.1088/1742-6596/1858/1/012061.
- [37] P. Álvarez, M. A. Fernández, A. Gordaliza, A. Mansilla, and A. Molinero, "Geometric road design factors affecting the risk of urban

run-off crashes. A case-control study,” *PLoS One*, vol. 15, no. 6, Jun. 2020, doi: 10.1371/journal.pone.0234564.

- [38] A. Vieira, B. Santos, and L. Picado-Santos, “Modelling Road Work Zone Crashes’ Nature and Type of Person Involved Using Multinomial Logistic Regression,” *Sustainability (Switzerland)*, vol. 15, no. 3, Feb. 2023, doi: 10.3390/su15032674.
- [39] P. Zhang, C. Wang, F. Chen, S. Cui, J. Cheng, and W. Bo, “A Random-Parameter Negative Binomial Model for Assessing Freeway Crash Frequency by Injury Severity: Daytime versus Nighttime,” *Sustainability (Switzerland)*, vol. 14, no. 15, Aug. 2022, doi: 10.3390/su14159061.
- [40] A. Alrejjal and K. Ksaibati, “Impact of crosswinds and truck weight on rollover propensity when negotiating combined curves,” *International Journal of Transportation Science and Technology*, vol. 12, no. 1, pp. 86–102, Mar. 2023, doi: 10.1016/j.ijst.2022.01.001.
- [41] A. Farid and K. Ksaibati, “Modeling severities of motorcycle crashes using random parameters,” *Journal of Traffic and Transportation Engineering (English Edition)*, vol. 8, no. 2, pp. 225–236, Apr. 2021, doi: 10.1016/j.jtte.2020.01.001.
- [42] F. Rage, A. Mohammed, A. Takele, A. Ismailov, and S. Mannobboyev, “Modelling and analysis of vehicle accident under mixed traffic conditions in Ilu Ababor zone, Ethiopia,” in *E3S Web of Conferences*, EDP Sciences, Apr. 2023. doi: 10.1051/e3sconf/202337702002.
- [43] M. M. Khabiri and Z. Ghaforifard, “Research Paper: The Effect of Low Friction in Pavement Due to Floods and High-speed Vehicles in Increasing the Number of Rescue Vehicles’ Driving Accidents,” *Health in Emergencies and Disasters Quarterly*, vol. 6, no. 1, pp. 29–38, Sep. 2020, doi: 10.32598/hdq.6.1.233.2.
- [44] A. Alghafli, E. Mohamad, and A. Z. Ahmed, “The effect of geometric road conditions on safety performance of abu dhabi road intersections,” *Safety*, vol. 7, no. 4, Dec. 2021, doi: 10.3390/safety7040073.
- [45] H. M. Abed and H. A. Ewadh, “Coupling Visual Simulation Model (VISSIM) with Surrogate Safety Assessment Model (SSAM) to Evaluate Safety at Signalized Intersections.,” in *Journal of Physics: Conference Series*, IOP Publishing Ltd, Aug. 2021. doi: 10.1088/1742-6596/1973/1/012234.