



## **Análisis de Siniestralidad Peatonal A partir de la metodología de Machine Learning**

### **Analysis of pedestrian accidents from the use of the machine learning methodology**

Magda Milena, Martínez Ramos, [mmmartinezr@libertadores.edu.co](mailto:mmmartinezr@libertadores.edu.co)

Leidy Johana Vásquez López, [ljasquezl@libertadores.edu.co](mailto:ljasquezl@libertadores.edu.co)

José John Fredy González Veloza [jjgonzalezv02@libertadores.edu.co](mailto:jjgonzalezv02@libertadores.edu.co)

#### **RESUMEN**

**Introducción** Se estudia la siniestralidad peatonal, siendo una de las primeras causas de muerte en el mundo, hecho por el cual la Organización Mundial de la Salud la denominó como una pandemia en sus informes (Organización Mundial de la Salud (OMS)), este estudio se realiza a partir de la metodología *Machine Learning* **Objetivo General:** Predecir si un peatón en un siniestro vial resulte muerto o herido. **Resultados:** Se empleó penalización (*Oversampling*) para los datos de entrenamiento, donde se obtuvo una matriz de confusión, en el que el modelo predice de manera adecuada a los heridos con una Precisión, exactitud y confiabilidad del 90%, mientras que, tan solo es capaz de predecir la mitad de los muertos. **Conclusiones:** El modelo que más se acerca a dar respuesta en relación al objetivo propuesto, fue un modelo penalizado, donde este genera muestras nuevas “sintéticas” de la clase minoritaria “muertos”, usando el método *RandomOverSampler*, sin embargo, el estudio queda abierto, para buscar un mejor desempeño en relación a predecir los muertos.

**Palabras clave:** Siniestralidad, Peatón, Movilidad, Programación, Estadística.

#### **ABSTRACT**

**Introduction** The pedestrian accident rate is studied, being one of the leading causes of death in the world, a fact for which the World Health Organization called it a pandemic in its reports (World Health Organization (OMS)), this study It is carried out from the Machine Learning methodology. **General Objective:** Predict if a pedestrian in a sinister road is killed or injured. **Results:** Oversampling was used for the training data, where a confusion matrix was obtained, which adequately predicts the injured with an Precision, accuracy and reliability of 90%, while it is only capable of predicting half of the dead. **Conclusions:** The model that comes closest to responding in relation to the proposed objective was a penalized model, where it generates new “synthetic” samples of the “dead” minority class, using the



RandomOverSampler method, however, the study remains open, to seek a better performance in relation to predicting the dead.

**keywords:** accident rate, pedestrian, mobility, scheduling, statistics.

## INTRODUCCIÓN

La estadística es una de las disciplinas más utilizadas en diferentes áreas de estudio, puesto que con ellas se puede analizar cualquier tipo de datos, los cuales deben primero recolectarse y organizarse; la estadística permite al investigador analizar los resultados de los fenómenos o experimentos aleatorios y con ello es posible tomar decisiones en presencia de incertidumbre, lo que si es necesario, es establecer un modelo adecuado con el cual se pueda sacar el mayor provecho, por lo anterior se ha decidido estudiar el tema de la siniestralidad peatonal debido a la variabilidad y complejidad del estudio, el cual está sujeto a muchas variables que intervienen como: La demografía, Ubicación, Clima, Conducción entre otras, para el caso de esta investigación se trabajó con variables como: Edad, sexo, Actor Vial, entre otras, igualmente es importante abordar este tipo de temas debido a que hoy en día, la seguridad vial se constituye como una de las grandes preocupaciones no solo nivel nacional sino internacional, siendo una de las primeras causas de muerte en el mundo, hecho por el cual la Organización Mundial de la Salud la denominó como una pandemia en sus informes: “Todos los años fallecen más de 1,2 millones de personas en las vías de tránsito del mundo, y entre 20 y 50 millones sufren traumatismos no mortales. En la mayoría de las regiones del mundo, esta pandemia de accidentes de tránsito sigue aumentando. En los últimos cinco años, la mayor parte de los países han apoyado las recomendaciones del Informe mundial sobre prevención de los traumatismos causados por el tránsito, que proporciona orientación sobre cómo los países pueden poner en práctica un enfoque integral para mejorar la seguridad vial y reducir la mortalidad en las vías de tránsito. No obstante, hasta la fecha no se ha realizado ninguna evaluación global de la seguridad vial que indique hasta qué punto se ha aplicado este enfoque” (Organización Mundial de la Salud [OMS], 2015, p. 3) por otro lado en Colombia, no es ajeno a este problema que según las estadísticas de la agencia Nacional de seguridad vial en Colombia en lo corrido del Año 2021 se ha incrementado en un 49,68% la muerte en peatones, con respecto al año 2020,



## LOS LIBERTADORES

FUNDACIÓN UNIVERSITARIA

(<https://ansv.gov.co>), donde la aceleración poblacional en las ciudades y expansión de las mismas sobresalen los vehículos sobre los peatones, lo cual va en contra de la pirámide de la movilidad sostenible (Economía, Sociedad y Territorio, vol. Economía, Sociedad y Territorio VI, núm. 22, 2006, 283-321 , vol. VI, núm. 22, 2006, 283-321 283), concepto nuevo el cual engloba al buen uso del transporte, para no solo favorecer en temas de congestión vehicular, sino también al medio ambiente con la reducción de partículas contaminantes como es dióxido de carbono  $CO_2$ , y bajar las tasas de mortalidad en lo que respecta a los accidentes de tránsito. De acuerdo a la pirámide de Movilidad el peatón es considerado el usuario más vulnerable dentro de la viabilidad y más aún el peatón con movilidad reducida, la cual no solo implica aquellos que tienen alguna discapacidad motora, sino también las personas de la tercera edad, que según los estudios realizados, es una de las poblaciones más afectada: “Los peatones de 65 años o mayores representaron el 19 % de todas las muertes de peatones y se estima que fueron el 13% de todos los peatones lesionados en el 2015. (Organización Mundial de la Salud, 2018) y según otro estudio “En Estados Unidos y Canadá el 74% de los que mueren en accidentes de tránsito son ocupantes de vehículos, mientras que en América Latina y el Caribe más de la mitad de los fallecidos por esta causa son peatones, ciclistas o motociclistas”( Merchán , González , Noreña,2011) , lo cual hace que este tipo de estudio sea relevante, con el fin de colocar en conocimiento a las autoridades y entidades públicas que tomen cartas en el asunto y decidan realizar políticas públicas que trabajen en temas relacionados a la movilidad sostenible, donde el principal actor sea el peatón y se vea reflejado en los planes de desarrollo de cada una de las ciudades de Colombia, no solo en las campañas de sensibilidad, sino también en los diseños urbanísticos e infraestructura y las aulas de clase, siendo la educación un escenario fundamental. Por otro lado, hoy en día los datos crecen de manera inconmensurable, lo que ocasiona en la gran mayoría un difícil manejo de estos, por lo tanto es necesario hacer buen uso de esta información, para poder trabajar de manera ágil y eficaz , con el fin de procesar los datos y así obtener un análisis, capaz dar respuesta al problema planteado, mediante la predicción o la descripción, según los objetivos planteados y que el margen de error sea mínimo, para lo anterior se decidió trabajar mediante el aprendizaje automatizado conocido como: Machine Learning, utilizando hoy en día en diferentes áreas para la toma de decisiones, siendo importante manejar y



conocer el lenguaje de programación que ofrece Python, debido a que éste proporciona una amplia selección de librerías y frameworks, facilitando la codificación y ahorro de tiempo en el desarrollo del código, por otro lado, para este tipo de investigaciones es crucial tener una base de datos no solo extensa sino también con datos de calidad, a la cual en la mayoría de los casos se debe: limpiar, seleccionar y hacer la transformación en los datos, en lo que se refiere a la limpieza es necesario: Igualar formatos, descartar campos, corregir errores ortográficos, dar formato a fechas, eliminar columnas duplicadas y borrar registros no útiles y en cuanto a la transformación se debe utilizar el concepto de “Feature Engineering”, donde el conocimiento en el área de estudio es fundamental, para esta investigación se emplearon diferentes librerías entre ellas Pycaret con el fin de evaluar y comparar los posibles modelos que son compatibles y pueden proyectar un mejor resultado, según estudios realizados; los modelos como; Random Forest, y XGBoost, tienen mejor comportamiento para este tipo de estudios: “En general todos los modelos fallan bastante poco. Sin embargo, podemos ver que algunos algoritmos son aún un poco más fiables, destacando a Random Forest, Avnnet y XGBoost, es sin duda el modelo que mejor performance alcanza en esta medida. También es destacable cómo la regresión logística consigue una buena performance en términos de AUC.”, (García, M, 2020)

## METODOLOGÍA

**Método:** Investigación descriptiva de carácter analítico, donde se analizan varias variables en relación al factor humano, el entorno y el vehículo.

**Enfoque:** Cuantitativo, donde se relaciona las variables predictoras, con respecto a la variable objetivo.

En la **tabla 1** se registran las variables de estudio.

**Tabla 1**

Descripción de la variable objetivo y las variables predictoras con su descripción

<b>Variable Objetivo</b>	<b>Descripción</b>
Gravedad	Heridos o Muertos
<b>Variables Predictoras</b>	<b>Descripción</b>
Edad (actor_vial_EDAD)	Rangos:0-5,6-10,11-15,16-20,21-25, 27-30,36-40,51-55,31-35,56-60,41-45,46-



# LOS LIBERTADORES

FUNDACIÓN UNIVERSITARIA

	50,61-65,66-70,71-75,76-80 ,81-85,86-90,116-120,96-100,106-110
Sexo (actor_vial_SEXO)	Femenino, Masculino
Tipo de Vehículo(Veh_CLASE)	Motocicleta, Automóvil, Bus, buseta, Camión pequeño(C2P), Bicicleta, Camioneta, campero, microbús.
Hora militar	24 horas
Infraestructura Vial (DISEÑO_LUGAR)	Túnel, Puente Peatonal, Intersección, Glorieta.
Ubicación del siniestro (Diseño Lugar)	(Calle, carrera, tramo de vía)
Número de carriles y ancho de carriles ('Peso_ancho_vs_carriles')	Sección transversal en metros de acuerdo al número de carriles
'MallaVial_MVITSUP'	Vías principales , vías secundarias, Vías Locales
Tiempo Meteorológico (clima)	Sin precipitación (0), con precipitación (1)

El registro de los accidentes corresponde a la base de datos de la Secretaría de Movilidad Bogotá D.C (Colombia) entre enero 2015 y diciembre del 2019. El registro de la base de datos fue suministrado por medio página web Datos libres (Secretaría de Movilidad,2021) En total 157.499 accidentes viales, fueron registrados por los agentes de tránsito, igualmente. Los datos recopilan información acerca de la temporalidad, tipo de accidente, localización, tipo de servicio, tipo de actor vial, género y edad de cada uno de los actores relacionados en el evento.

Para este estudio primero se limpió la base de datos, ya que presentaba varios registros sin información, igualmente se dejó como actor vial únicamente al peatón, para un total de 3.632 siniestros, la información climatológica fue establecida en relación con la fecha del accidente y los registros del clima por día en Bogotá D.C (IDEAM, 2015-2019). El nivel de predicción para la severidad del evento fue clasificado en: 0) Muertos;1) Heridos.

De acuerdo con el anterior enfoque general, las variables fueron convertidas a categóricas en su gran mayoría. Se destacan aquellas que representan vehículos o individuos, o, por ejemplo, edad, tiempo y clima. La codificación categórica permite una clasificación y agrupación adecuadas de las variables condicionales para la definición de reglas de decisión en la metodología propuesta, para hacer el análisis descriptivo se observó, la correlación entre las mismas y elegir las variables predictoras más representativas, una vez se obtuvo la base definitiva, las clases de la variable objetivo estaban desbalanceadas, es decir se encontraban

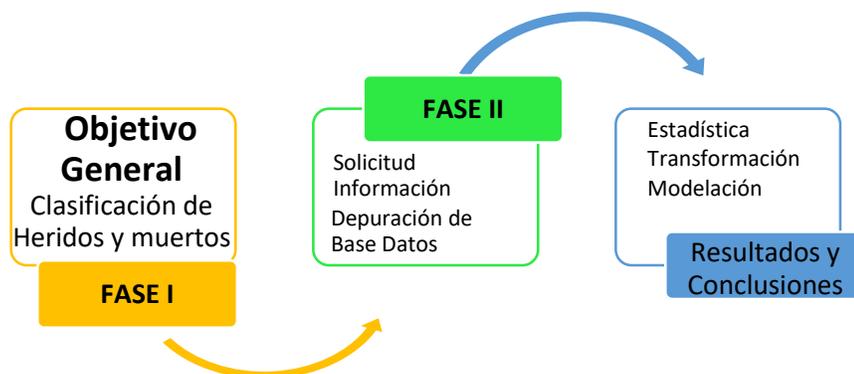


más heridos que muertos. (Ver figura 2), que según varios estudios de este tipo es un caso recurrente (Pineda,2019), por lo que fue necesario utilizar la técnica de remuestreo de datos desequilibrados (Smote), cabe aclarar que el estudio se centra en un análisis supervisado de clasificación, donde se utilizó una librería denominada: *PYCARET*, evaluando diferentes modelos entre los que se encuentran : DecisionTreeClassifier, Logistic Regression, Random Forest, entre otros, cada uno de estos modelos es evaluado con las siguientes métricas como: Accuracy, AUC, Recall, Precisión F1, que luego son comparados con la matriz de confusión, con el fin de obtener un modelo con el mejor desempeño.

En la **Figura 1**. Se hace referencia a la Metodología, que se elaboró en dos fases y los pasos en cada una de ellas.

## Figura 1.

Metodología empleada en el estudio de siniestralidad peatonal



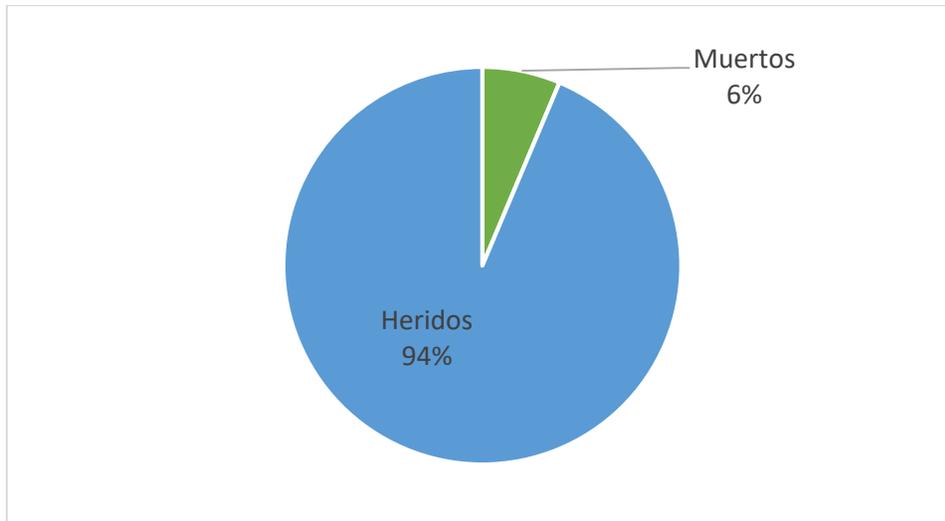
## RESULTADOS

### Análisis descriptivo

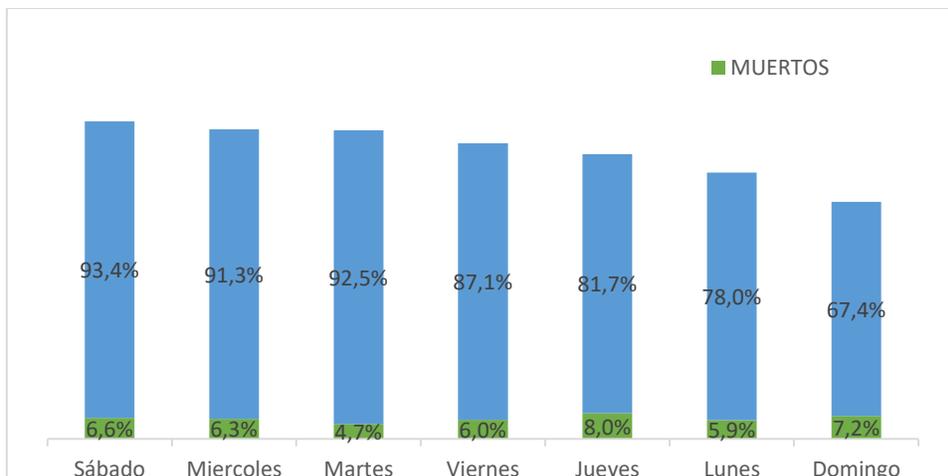
En la **Figura 2**. Se puede observar, que el porcentaje de heridos en relación al porcentaje de muertos, es mayor, por lo que fue necesario balancear los datos mediante las herramientas para datos desbalanceado como *Smote*, en cuanto a los porcentajes de peatones heridos y muertos, en relación con los días de la semana (Ver **Figura 3**.), el día sábado hay más heridos con un 93.43% , mientras que, el día domingo los heridos están alrededor del 67.4% , para los demás días los porcentajes se encuentra entre 6% y el 8% respectivamente.



**Figura 2.** Porcentaje de Peatones heridos y muertos, en un siniestro vial de la ciudad de Bogotá D.C (2015-2019)



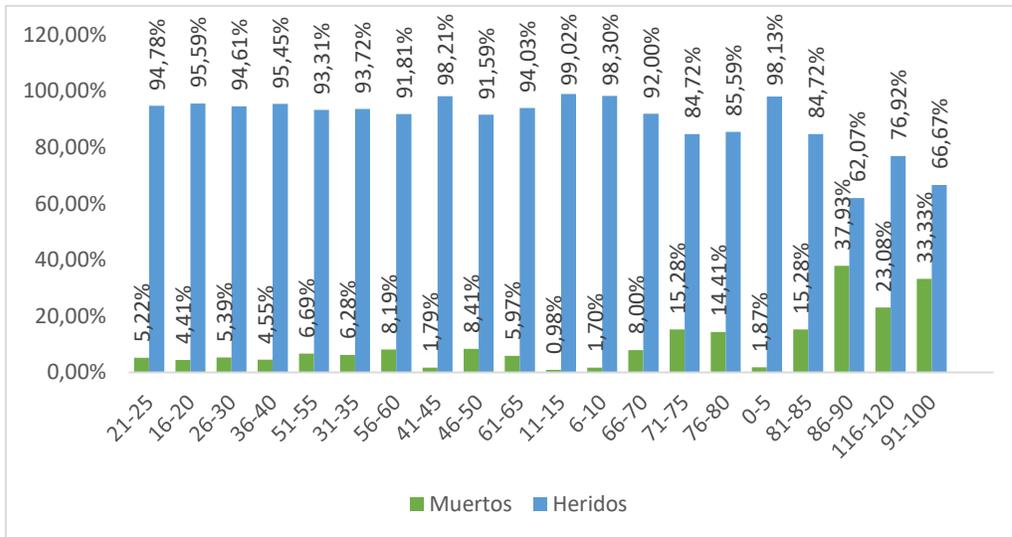
**Figura 3.** Porcentaje de Peatones heridos y muertos, en relación al día de la semana, entre los años (2015-2019)



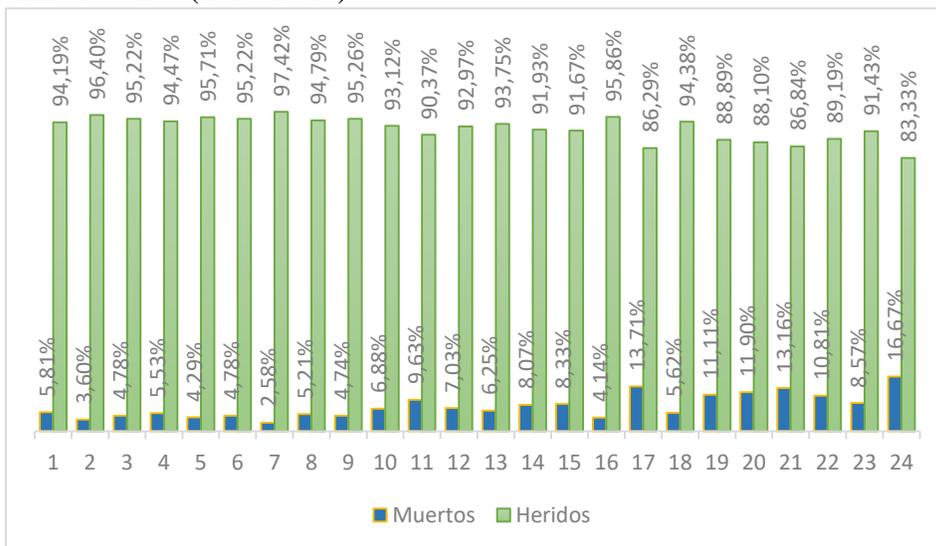
Por otro lado, se observa en la **Figura 4**, que los peatones heridos y muertos, en relación a la edad, los jóvenes entre 21-25 años, es el grupo que representa mayor porcentaje de heridos representa con un 94%, mientras que, adultos de la tercera edad entre 86-90 años, tiene una mortalidad del 40% aproximadamente. En la **Figura 5**. se observa que el mayor número de heridos se sitúa a las 7 am, mientras que el número de muertos es mayor en horas de la noche, comprendidas entre 18 de la noche y las 22 horas.



**Figura 4.** Porcentaje de Peatones heridos y muertos, en relación al rango de Edad, entre los años (2015-2019)



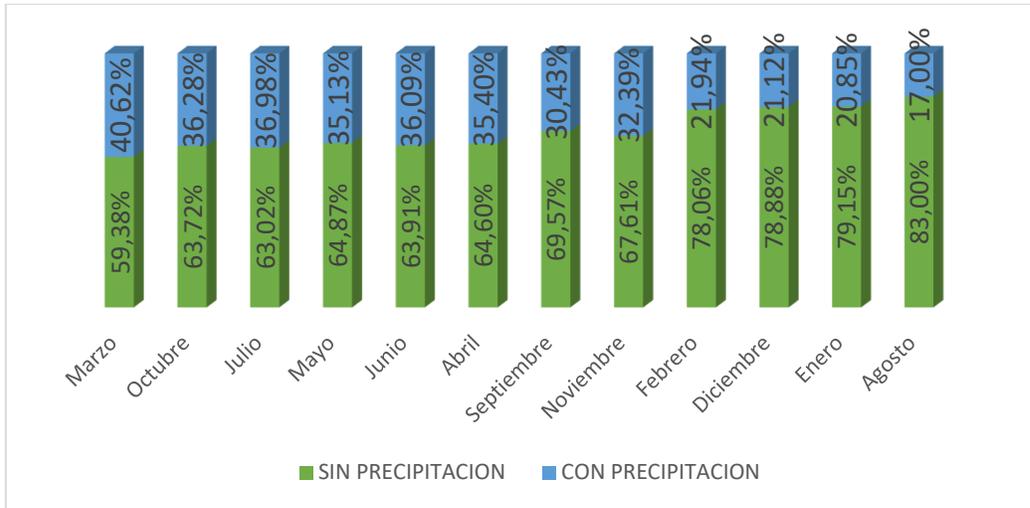
**Figura 5.** Porcentaje de Peatones heridos y muertos, en relación al rango a la Hora del día, entre los años (2015-2019)



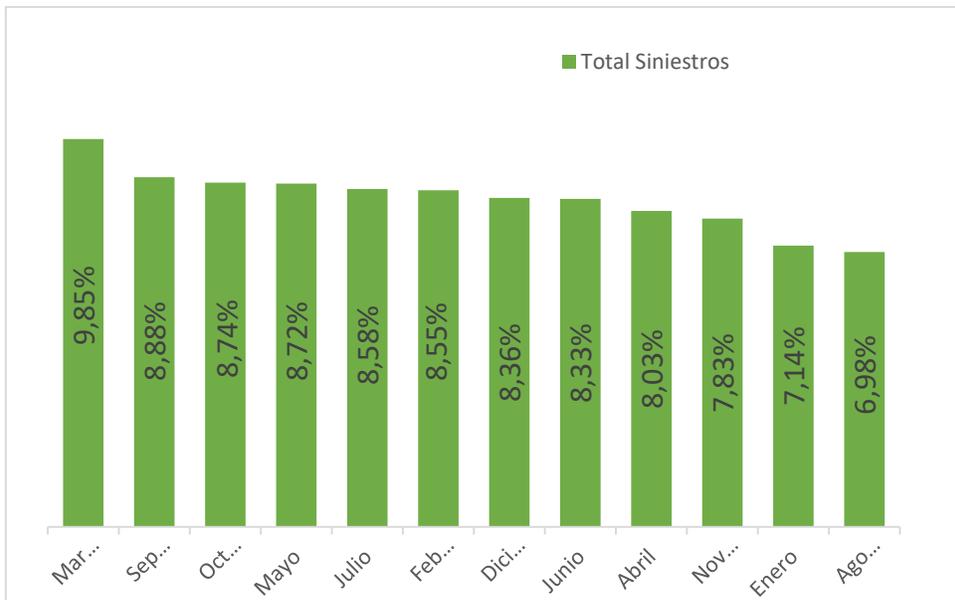
Por otro lado, en la **Figura 6.** Se observa que marzo fue el mes que tuvo mayor precipitación, con un total de 145 siniestros, y si se observa la **Figura 7.** Donde se registran los porcentajes de siniestralidad total de peatones entre heridos y muertos, se encuentran que la mayor siniestralidad se presenta igualmente en el mes de marzo, lo que se pueden decir que existen una relación estrecha entre la precipitación y la siniestralidad.



**Figura 6.** Porcentaje del tiempo meteorológico, en relación al mes del año, entre los años (2015-2019)



**Figura 7.** Porcentaje de siniestralidad, en relación al mes del año, entre los años (2015-2019)

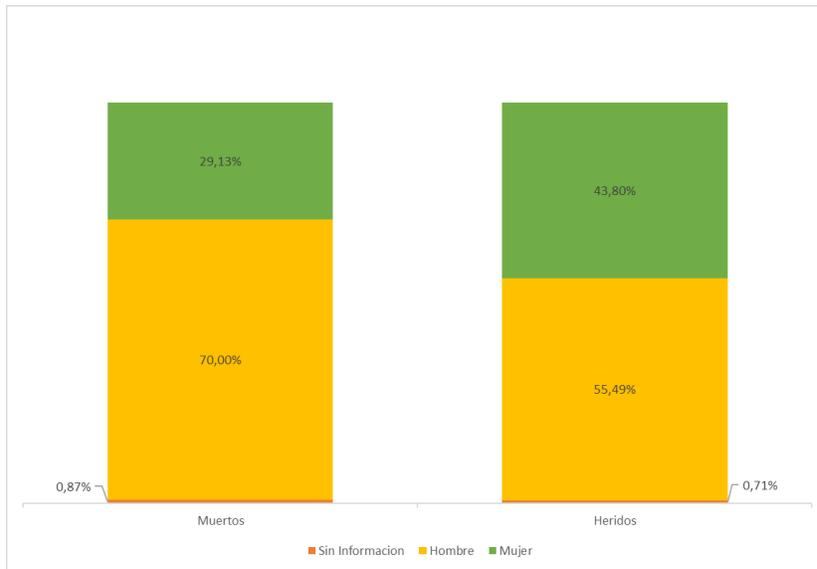


Para el caso de peatones muertos o heridos en relación al género, se afirma como en otros estudios (Holman, M, Quintana, L,2019), que el género masculino está involucrado en el mayor número de siniestros, para este caso de estudio, en cuanto a heridos el 70%,



corresponde al hombre, mientras que el 29% corresponde a la mujer y un 0.87%, se encuentra sin información, para el caso de muertos, en ambos géneros hay una menor brecha con un 55.49 % y 43.80%, y el 0.71% está sin información.(Ver Figura 8.)

**Figura 8.** Porcentaje de peatones muertos o heridos, en relación al género, entre los años (2015-2019)



En el caso de la tipología vehicular se decidió realizar una matriz de colisión, donde se puede

ver en la **Figura 9** La relación del peatón con cada uno de los vehículos, el mayor porcentaje de siniestralidad se encuentra entre el peatón y el automóvil con un 42.84%, seguido de la camioneta, eso se relaciona con el incremento del parque automotor en cada una de estas categorías, que no solo trae problemas de congestión, sino también de mortalidad (OMS, 2018), siempre y cuando el conductor supere los 30 km/h, claro está, donde la vía lo permita, sin quietarle responsabilidad al peatón que también debe tener un buen comportamiento vial como lo dicta la ley 769 de 2002, en el capítulo II, artículo 58.



**Figura 9.**

Matriz de colisión entre Peatones y tipología vehicular.

Peaton	Automóvil	Camioneta	Motocicleta	Bus	Camión, Furgón	Microbús	Buseta	Tractocamión	Bicicleta	Volqueta	Motocarro
	42,84%	28,83%	10,59%	8,25%	2,90%	2,32%	2,21%	1,16%	0,52%	0,33%	0,06%

## Modelación

### Creación de datos entrenamiento y prueba

En esta etapa fue necesario entrenar la base de datos final y hacer un test de prueba con los datos que existen, con el fin de que el modelo aprenda y no memorice y no tener problema de underfitting (Infraajuste) o overfitting (Sobreaajuste), por lo que se decidió trabajar con un modelo 80/20, es decir 80% con datos de entrenamiento y 20% de datos de prueba, igualmente, se hizo uso de la herramienta **Pycaret**, en la Tabla 2. Se registran las métricas de cada modelo.

**Tabla 2**

Métrica de diferentes modelos de regresión analizados

Modelo	Accuracy	Recall	F1-score	Precisión
<b>Regresión Logística</b>	68%	72%	22%	13%
<b>Ridge</b>	68%	69%	22%	13%
<b>Árbol de Decisión</b>	88%	90%	9%	11%
<b>Vecinos K</b>	65%	63%	19%	11%

De cada uno de estos modelos se obtuvo una matriz de confusión, con sus respectivas métricas, para el caso del modelo de Regresión Logística, identifica el número de muertos, mientras que, al clasificar los heridos, el 50% los selecciona como muertos, ninguna de las métricas supera el 80%, siendo un modelo de bajo desempeño, para el Modelo Ridge, clasifica bien los heridos pero no los muertos y sus resultados son muy parecidos al anterior modelo, en cuando a sus métricas ninguno supera el 70%, lo cual indica que tampoco es un buen modelo, para ser empleado, mientras que, el modelo Arboles de decisión, clasifica de

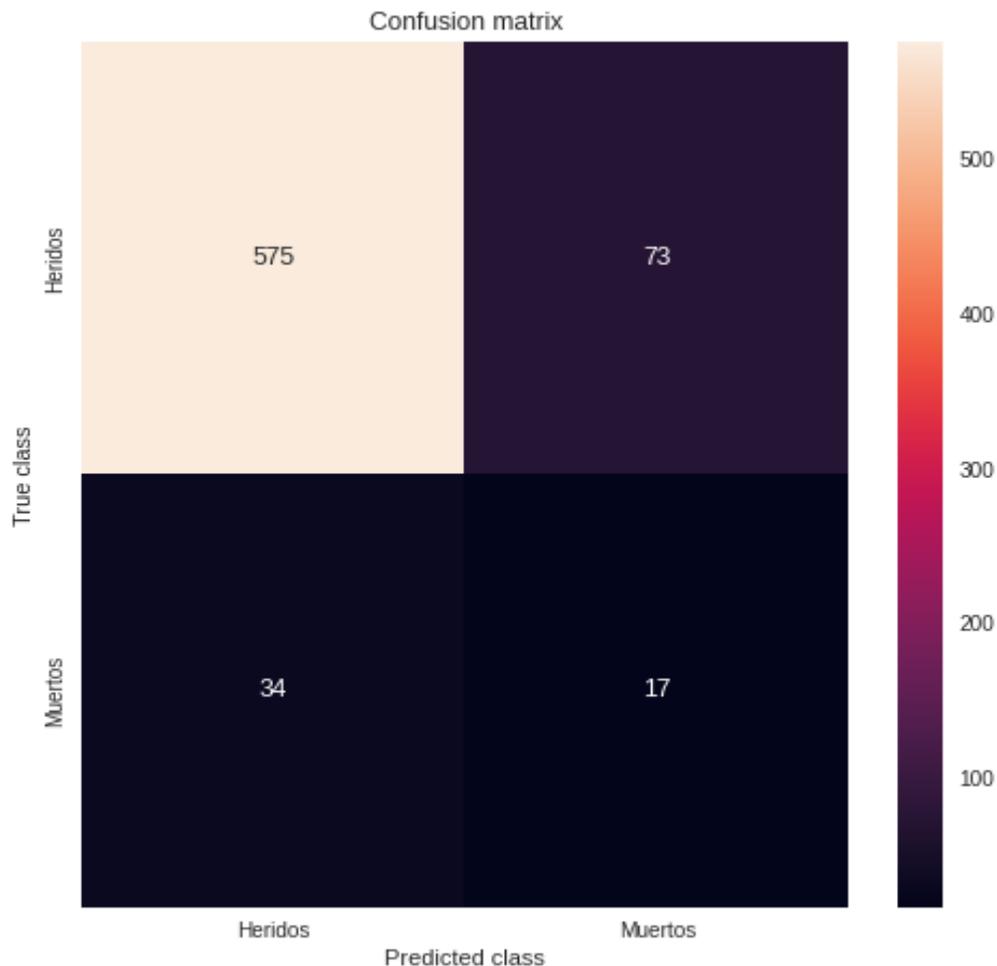


manera adecuada los heridos, pero no es capaz de predecir los muertos, en cuanto a las métricas la accuracy casi se acercan al 90%, mientras que el F1 tan solo es del 50%, lo que indica una falta una falta de precisión en el modelo. Por último, el modelo Vecinos K, clasifica un poco mejor los muertos, pero tan solo es capaz de predecir en un 50%, los heridos, igualmente sus métricas no superan el 70%, considerándose como un modelo con bajo desempeño.

## Estrategias para el manejo de Datos Desbalanceados

Dentro de este estudio, al tener una base datos con la variable objetivo desbalanceada se programó una de las estrategias sugeridas según expertos, conocida como *Oversampling* de la clase minoritaria, en la **Figura 15**. se encuentra relacionada la matriz de confusión con sus respectivas métricas, este modelo con el ajuste, predice de manera adecuada los heridos donde sus métricas para esta clase son del 89%, mientras que tan solo alcanza a predecir el 50% de muertos.

**Figura 15.** Matriz de confusión del Modelo de penalización de la clase minoritaria





**Tabla 3.**

Matriz de confusión del Modelo Penalizado de la clase minoritaria

Clase	Precisión	Recall	F1-Score
Heridos	90%	89%	91%
Muertos	19%	33%	24%

## DISCUSIÓN

Estudios similares señalan que las bases de datos de siniestralidad suministradas, siempre existen un problema de desbalance (Pineda,2019), De acuerdo a los resultados presentados la clase mayoritaria que en este caso los heridos, el modelo penalizado clasificó de manera apropiada los heridos, mientras que la clase minoritaria los muertos tiene un bajo desempeño, por lo cual se sugiere incluir otras variables como la velocidad, siendo importante como lo indican estudios recientes (López, J S, Pérez-B, D, Lleras, N, Hidalgo, D,Adriazola-S, (2020)), y así mejorar el desempeño del modelo, ya que el valor de máximo peso en esta investigación se encontraba en predecir la mortalidad de peatones, por lo tanto queda abierto, para poder mejorar el desempeño en relación a la predicción de muertos, que de acuerdo con la política “visión cero”, es llegar con cero muertes al año 2050, lo que hace, que las entidades gubernamentales como la Secretaría de Movilidad de Bogotá D.C., la Agencia Nacional de Seguridad Vial y otras Secretarías del país , tengan un gran reto a la hora de formular la política pública que reduzca el número de víctimas mortales a cero y el número de lesionados al mínimo posible, es de vital importancia priorizar en medidas adecuadas para disminuir el número de víctimas mortales peatones, bien sea desde la víctima en sí, o desde los causantes principales, es decir, conductores.

Es crucial elaborar medidas de prevención de accidentes dirigidas a los jóvenes entre 20 y 30 años, fundamentalmente del género masculino. También es importante no perder de vista y colocar atención a la movilidad durante las horas “pico”, tanto por la mañana como por la noche, dado que son las horas del día, donde mayor accidentalidad se presenta, lo que sugiere un momento crítico para todos los actores viales y donde se requiere la implementación de seguridad vial. De la misma manera, se deben realizar campañas dirigidas al cuidado y protección de los peatones en las vías, dado que son los más vulnerables al momento de ocurrir un accidente.



## CONCLUSIONES

No siempre es suficiente emplear métodos de clase no balanceada, para tener un buen desempeño en los modelos, también se debe incluir otro tipo de variables, para el caso de estudio variables como: la Velocidad, Señalización y datos del grupo de involucrados.

Para un mejor desempeño en un modelo machine learning, también es necesario transformar “**feature engineering**” los datos, y así el modelo pueda entender mejor la relación entre la entrada y la salida, sin embargo, en los modelos si se tuvieron en cuenta esta transformación.

El modelo que mejor desempeño alcanzo dando respuesta parcialmente al objetivo propuesto, fue un modelo penalizado.

Las entidades gubernamentales como Agencia Nacional de seguridad vial entre otras tienen un gran reto, donde se busca reducir a cero las muertes por siniestros viales para el año 2050, de acuerdo al programa de la visión cero.

Es crucial dirigir campañas de prevención vial a jóvenes entre los 20 y 30 años de edad del género masculino, siendo una población altamente involucrada en los siniestros.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Abad Ortiz, C. I. (2021). Sistema de indicadores de morbilidad y mortalidad por accidentes de tránsito del 2016 al 2021. Obtenido de Universidad internacional SEK: <http://repositorio.uisek.edu.ec/handle/123456789/4275>
2. Anca Corral, G. (2015). Clasificación de patrones de siniestros aplicando técnicas de agrupación y segmentación. 174.
3. Arias Rojas, W. (2020). Modelo de comportamiento de conductores y la generación de accidentes de tránsito. 171.
4. Carro Pérez, E. H., Hernández Reyes, N. E., & Sahagún Morales, A. (2014). Psicología del tráfico en México: revisión de publicaciones en revistas científicas mexicanas. Revista de psicología y ciencias del comportamiento, 24-35.
5. Cerda García, M. R. (2020). Aplicación de Técnicas de Minería de Datos para la Clasificación de la Gravedad de los accidentes de Tráfico en Motocicletas. 86.



6. Comprendiendo los patrones de movilidad de ciclistas y peatones. Una síntesis de literatura. (s.f.). Transporte y territorio.
7. Echeverry, A., Mera, J. J., Villota, J., & Zarate, L. C. (2005). Actitudes y comportamientos de los peatones en los sitios de alta accidentalidad en Cali. *Colombia médica*, 79-84.
8. Escriba Gallego, A. (2018). Lo que se puede hacer hoy para mejorar la movilidad. *Ambienta*, 84-85.
9. Floréz Valero, C. F. (2013). Identificación de los principales factores de riesgo en usuarios vulnerables no motorizados en la ciudad de Manizales y su relación con la calidad de la infraestructura vial. Bogotá, D.C.: Pontificia Universidad Javeriana.
10. Gonzáles Argudo, J. F., & Ordóñez Ruilova, J. A. (2014). Estudio de los factores que intervienen en los accidentes e infracciones de tránsito ocasionados por los buses de transporte público de pasajeros tipo urbano en la ciudad de Cuenca y planteamiento de la propuesta para disimularlos. Cuenca: Universidad Politécnica Salesiana, sede Cuenca.
11. Indaburu Silva, D. (2019). Machine learning en resultados de evaluación psicológica para certificación de conductores. Bogotá, D.C.: Universidad de los Andes.
12. López, J., Pérez Barbosa, D., Lleras, N., Hidalgo, D., & Adriaola-Steil, C. (2021). Effects of Reducing and Enforcing Speed Limits in Selected Areas of Bogota. *International journal of engineering, social justice and peace*, 50-71.
13. Organización Mundial de la Salud (OMS). (2015). Informe sobre la situación mundial de la seguridad vial es hora de pasar a la acción. 122.
14. Pacheco Cortés, C. M. (2017). Educación vial en la era digital: cultura vial y educación permanente. *Diálogos sobre educación*, 1-14.
15. Pan American Health Organization (PAHO). (2011). Seguridad Peatonal-Hoja informativa 2011. Obtenido de Área de Desarrollo Sostenible y Salud Ambiental (SDE): <https://www.paho.org/en/noncommunicable-diseases-and-mental-health>
16. Pico Merchán, M. E., Gonzáles Pérez, R. E., & Noreña Aristizábal, O. P. (2011). Seguridad vial y peatonal: una aproximación teórica desde la política pública. *Hacia la promoción de la salud*, 190-204.



17. Pineda Jaramillo, J. (2019). Una revisión de los algoritmos de aprendizaje automático (ML) utilizados para el Modelado elección del modo de viaje. *Dyna*, 32-41.
18. Pineda Jaramillo, J. (2020). Un enfoque de red neuronal superficial para identificar las principales causas asociadas a la muerte de peatones en Medellín. *Journal of Transport & Health*.
19. Quintero González, J. R. (2017). Del concepto de ingeniería de tránsito al de movilidad urbana sostenible. *Ambiente y desarrollo*, 57-72.
20. Quistberg, A., Miranda, J., & Ebel, B. (2010). Reduciendo el trauma y la mortalidad asociada a los accidentes de tránsito en los peatones en el Perú: intervenciones que pueden funcionar. *Revista Perú Med Exp Salud Pública* 2010, 248-254.
21. Rodríguez Hernández, J., & Campuzano Rincón, J. (2010). Medidas de prevención primaria para controlar lesiones y muertes en peatones y fomentar la seguridad vial. *Salud Pública*, 497-509.
22. Ruiz, J. I., & Herrera, A. N. (2016). Accidentes de tránsito con heridos en Colombia según fuentes de información: caracterización general y tipologías de accidentes. *Revista CES Psicología*, 1-15.
23. Sánchez Gaitán, O. A. (2020). Propuesta de modelo para prevención en seguridad vial para disminuir el alto índice de accidentalidad peatonal en la ciudad de Bogotá D.C. 63.
24. Valenzuela Montes, L. M., & Talavera García, R. (2015). Entornos de movilidad peatonal: una revisión de enfoques, factores y condicionantes. *EURE* , 5-27.