

Aplicación de analítica de datos para identificar tendencias de comportamiento en los flujos peatonales y vehiculares en sectores estratégicos de San Juan de Pasto.

Gustavo Andrés Rosero Bucheli

Universidad CESMAG
Facultad de Ingeniería
Ingeniería de sistemas
Pasto – Nariño
2025

Aplicación de analítica de datos para identificar tendencias de comportamiento en los flujos peatonales y vehiculares en sectores estratégicos de San Juan de Pasto.

Gustavo Andrés Rosero Bucheli,
andresbucheli352@gmail.com.

Trabajo de grado para optar al título de ingeniero de sistemas

Asesor:
Magister Luis Arnoby Escobar Hernández

Universidad CESMAG
Facultad de Ingeniería
Ingeniería de sistemas
Pasto – Nariño
2025

Nota de aceptación

NOMBRE JURADO 1

NOMBRE JURADO 2

San Juan de Pasto, 2025

Nota de exclusión

El autor de esta obra es el único responsable de las ideas expresadas en ella, y no compromete el pensamiento e ideología de la Universidad CESMAG.

Agradecimientos

Deseo expresar mi más sincero agradecimiento a todas las personas que me han brindado su apoyo a lo largo de este proceso.

En primer lugar, deseo reconocer al Magíster Luis Arnoby Escobar Hernández, mi asesor de trabajo de grado. Su extraordinaria orientación, compromiso y enfoque profesional fueron fundamentales para el desarrollo de este proyecto. Agradezco profundamente su disposición para brindar siempre una palabra de aliento, compartir sus conocimientos y aportar valiosas recomendaciones que enriquecieron cada etapa de esta investigación.

Extiendo mi reconocimiento a la universidad CESMAG por proporcionar la herramientas y habilidades para destacar en cualquier ámbito profesional. La formación recibida ha sido fundamental para mi crecimiento académico y personal.

Agradezco profundamente a mi familia, quienes con su cariño, comprensión y constante apoyo fueron una fuente inagotable de motivación a lo largo de este trabajo de grado. Sus palabras de aliento y su confianza en mis capacidades hicieron posible que superara los desafíos y alcanzara este objetivo. Este logro también les pertenece a ellos.

A todos ustedes, nuestro más sentido agradecimiento por ser parte esencial de este viaje académico y contribuir significativamente a mi éxito.

Dedicatoria.

Dedico este proyecto de grado a mi madre, Johana Bucheli, cuyo amor incondicional ha sido mi faro en este largo camino. Sus consejos y apoyo inquebrantable han sido fundamentales para alcanzar esta meta.

A mi tía Gloria del Carmen Bucheli Soto, por absolutamente todo. Sus valiosos consejos, su sabiduría y optimismo han sido una guía invaluable en mi formación profesional y personal. Gracias por estar siempre presente con palabras de aliento, por brindarme su apoyo incondicional en cada decisión importante y por enseñarme, con su ejemplo, la importancia de la perseverancia, la humildad y la fe en uno mismo. Su capacidad de ver lo positivo incluso en los momentos más difíciles me ha inspirado a mantenerme firme en mis propósitos y a enfrentar los retos con valentía.

Este logro también es suyo, porque su presencia ha sido un pilar importante en mi formación personal y profesional.

A mi tío Héctor Alfredo Sotto, por su constante apoyo, su disposición incondicional y por ser un ejemplo de esfuerzo y dedicación. Su presencia y consejos han sido fundamentales en momentos decisivos de mi vida académica y personal, aportando siempre tranquilidad, seguridad y confianza para seguir adelante.

A mi tía, Amanda Cecilia Bucheli Soto, por su cariño incondicional, su apoyo constante y su inmensa generosidad a lo largo de este camino. Gracias por brindarme siempre una palabra de aliento, por preocuparse por cada uno de mis logros y dificultades. Su ejemplo de nobleza, entrega y fortaleza ha dejado una huella profunda en mi vida, motivándome a ser una mejor persona y a luchar con determinación por mis sueños.

A mi abuelo Hugo Alberto Bucheli Soto, por ser un ejemplo de vida, de esfuerzo incansable y de sabiduría transmitida a través de cada palabra y consejo. Gracias por enseñarme, con su experiencia y valores, la importancia de la honestidad, la responsabilidad y el respeto.

RESUMEN ANALÍTICO DE ESTUDIO RAE

Facultad: Ingeniería.

Programa: Ingeniería de Sistemas.

Fecha de elaboración: 2025

Autores de la investigación: Gustavo Andrés Rosero Bucheli.

Asesor: Luis Arnoby Escobar Hernández.

Título de la investigación: Aplicación de analítica de datos para identificar tendencias de comportamiento en los flujos peatonales y vehiculares en sectores estratégicos de San Juan de Pasto.

La investigación desarrolla un enfoque aplicado a la identificación de métodos tecnológicos que permitan la captura y análisis de información sobre el comportamiento vehicular y peatonal en la ciudad de Pasto. El estudio se enmarca dentro del proyecto principal titulado Formulación de recomendaciones para el aprovechamiento de proximidades de servicios bajo el enfoque de Ciudad de 15 Minutos en el ordenamiento territorial de Pasto, apoyado en analítica de datos.

La propuesta metodológica integra herramientas de visión por computadora, como el modelo YOLOv8, junto con técnicas de seguimiento y segmentación de video, para procesar datos provenientes de cámaras de videos. Se describen los criterios de selección de variables, los procesos administrativos para la obtención de datos oficiales, así como las estrategias implementadas ante limitaciones técnicas. El documento ofrece una visión integral del proceso investigativo, articulando fundamentos teóricos, análisis de movilidad urbana, componentes éticos y tecnológicos, con el fin de contribuir a la planificación territorial desde una perspectiva sustentada en datos reales.

Objetivos

El objetivo general de este proyecto es mediante herramientas de detección de objetos Analizar los flujos peatonales y vehiculares que permitan identificar tendencias de comportamiento y desarrollar un sitio web donde se muestren los resultados.

Los objetivos específicos incluyen:

- Explorar métodos tecnológicos para la recopilación de información digital a través de clasificación de imágenes y videos, utilizando variables claves.
- Diseñar e implementar una base de datos que almacene la información de manera coherente y organizada de acuerdo a la información derivada de la clasificación de imágenes y video.
- crear un sitio web interactivo que ofrezca la visualización de forma eficiente la información.
- Validar la eficacia del sitio web aplicando métricas de usabilidad del sitio web.

El marco teórico de este proyecto abarca los conceptos fundamentales y antecedentes enfocado en la ciudad de 15 minutos como modelo de planificación urbana inteligente. Así mismo, se desarrollan aportes teóricos sobre movilidad urbana, resaltando la importancia del análisis de flujos peatonales y vehiculares. Desde el componente tecnológico, se abordan fundamentos de visión de computadora, inteligencia artificial y analítica de datos, destacando el uso de herramientas como YOLO (You Only Look Once) para la detección y clasificación de objetos. También se incluyen métodos como CRISP-DM para la minería de datos y el análisis de patrones de comportamiento, con referencia a investigaciones internacionales y nacionales que validan su efectividad en estudios de movilidad.

Los resultados obtenidos evidencian que el sistema demostró que la detección y seguimiento implementados con YOLOv8 y DeepSort es sólida, manteniendo un rendimiento estable frente a las diferentes variables.

Palabras clave

Analítica de datos, YOLO, Inteligencia artificial, Ciudad de 15 minutos, movilidad urbana.

TABLA DE CONTENIDO

	Pag.
INTRODUCCIÓN	18
I. PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN	20
A. Objeto o tema de estudio.....	20
B. Línea de investigación.....	20
C. Sub línea de investigación.....	20
D. Planteamiento del problema.	20
E. Formulación del problema.	22
F. Objetivos	23
1. General.....	23
2. Específicos.....	23
G. Justificación	23
H. Delimitación	24
II. TÓPICOS DEL MARCO TEÓRICO	25
A. Antecedentes	25
1. Internacionales	25
2. Nacionales	26
3. Regional	27
B. Enunciados de supuestos teóricos de la investigación	28
1. Analítica de datos.	28
2. Minería de datos.	30
3. Big data.....	30
4. Inteligencia artificial.....	31
5. Machine learning.	32
- Algoritmos de machine learning.....	32

6.	YOLO.	33
-	Ventajas de implementar YOLO.	33
-	Funcionamiento de la detección de objetos de YOLO.	34
-	Arquitectura de YOLO.	37
7.	OpenCV.	37
8.	Python.	39
-	NumPy.	39
-	Pandas.	40
-	Scikit-Learn.	41
-	TensorFlow.	41
9.	Metodología CRISP-DM.	42
10.	Método ágil: SCRUM.	43
C.	Variables de estudio	46
1.	Variables independientes	46
2.	Variables dependientes	47
D.	Definición nominal de las variables	47
E.	Definición operativa de variables	47
F.	Formulación de hipótesis	48
1.	Hipótesis de investigación	48
2.	Hipótesis nula	48
3.	Hipótesis alterna	48
III.	METODOLOGÍA	49
A.	Paradigma	49
B.	Enfoque	49
C.	Método	49

D.	Tipo de investigación	50
E.	Diseño de investigación	50
F.	Población.....	50
G.	Muestra.....	50
H.	Técnicas de recolección de información	51
1.	Validez de las técnicas de recolección	51
2.	Confiabilidad de las técnicas de recolección.....	51
I.	Instrumentos de recolección de información.....	52
IV.	RESULTADOS DE LA INVESTIGACIÓN	53
A.	Identificar métodos tecnológicos que permitan la captura de información digital mediante la clasificación de imágenes y videos.	53
1.	primeros hallazgos.....	53
2.	Solicitud de permisos a la Policía Metropolitana para la obtención de videos.	54
3.	Consideraciones éticas y legales.....	55
4.	Definición de variables para el análisis de movilidad.	56
5.	Implementación y aplicación del algoritmo de YOLO para la detección de variables de tráfico.	57
6.	Detección de variables en zona peatonal.....	66
B.	Implementar una base de datos que permita almacenar la información de acuerdo con la clasificación de video.....	77
C.	Desarrollar un sitio web interactivo que permita visualizar de forma eficiente la información.	80
1.	Planificación del sitio web.....	80
2.	Desarrollo del sitio web.....	84
D.	Validar mediante métricas de usabilidad la eficiencia del sitio web.....	88
1.	Análisis de la métrica rendimiento.	88

2. Análisis de la métrica accesibilidad.....	89
3. Análisis de la métrica buenas prácticas	90
4. Resultado de la métrica SEO	91
V. <i>ANÁLISIS DE RESULTADOS</i>	93
1. Análisis de precisión en la detección de vehículos.....	93
2. Análisis de precisión en la detección de peatones.....	101
CONCLUSIONES	106
RECOMENDACIONES	107
BIBLIOGRAFÍA.....	108

LISTA DE TABLAS

	Pag.
TABLA I. HISTORIA DE USUARIO DE CREDENCIALES DE USUARIO.....	80
TABLA II. HISTORIA DE USUARIO DE ROLES Y PERMISOS.....	81
TABLA III. ANÁLISIS DETALLADO DE MÉTRICAS DE RENDIMIENTO.	89
TABLA IV. RESULTADOS DE CANTIDAD DE VEHÍCULOS POR ZONA.	94
TABLA V. RESULTADO DE PORCENTAJE DE VEHÍCULOS POR ZONA.....	95
TABLA VI. RESULTADO DE CANTIDAD DE VEHÍCULOS Y REGISTRO VELOCIDAD.	100
TABLA VII. RESULTADO TOTAL DE PEATONES.	101
TABLA VIII. RESULTADOS DE TIEMPO PROMEDIO EN EL VIDEO.....	103

LISTA DE FIGURAS

	Pag.
Fig 1. Comparación de YOLO con otros detectores de objetos.....	34
Fig 2. Funcionamiento de YOLO Nota: fuente: https://www.datacamp.com/blog/yolo-object-detection-explained	35
Fig 3. Bloques residuales Fuente: https://www.datacamp.com/blog/yolo-object-detection-explained	35
Fig 4. regresión de caja delimitadora	36
Fig 5. aplicación del modelo de selección.....	36
Fig 6. esquema de arquitectura de red neuronal.....	37
Fig 7. Imagen de las dimensiones de un array.	40
Fig 8.Instalación de dependencias mediante pip.	58
Fig 9. descarga de DeepSort desde su repositorio.....	58
Fig 10. fragmento de código para la configuración del entorno.	59
Fig 11. Fragmento de código para la detección de cruces y cálculo de velocidad de objetos.	59
Fig 12. Visualización del sistema de detección y estimación de velocidad vehicular	60
Fig 13. Limitaciones del modelo YOLO en la detección de motocicletas.....	61
Fig 14. fragmento de código para la configuración del entorno.	62
Fig 15. Configuración del modelo de detección YOLO y el rastreador DeepSORT.....	62
Fig 16. Detección y registro del tipo de vehículo.	63
Fig 17. Cálculo de trayectoria.	64
Fig 18. Visualización de tipo de vehículo y seguimiento de objetos	64
Fig 19. Seguimiento de vehículos en movimiento mediante DeepSORT y YOLOv8.....	64
Fig 20. detección de vehiculos con Yolo v8 y DeepSort	65
Fig 21. seguimiento de trayectoria de los vehiculos.	65
Fig 22. detección de vehículos con YOLOv8 y DeepSort en el sector Obrero.....	66
Fig 23. Detección de vehículos y la trayectoria de cada objeto en movimiento.	66
Fig 24. fragmento de código de las librerías a utilizar.	67
Fig 25. fragmento de código del modelo Yolo y tracker DeepSort.	68
Fig 26. Inicialización de un rastreador basado en filtro de Kalman, configurado para trabajar con una caja delimitadora inicial y un modelo de velocidad constante.	69

Fig 27. Fragmento de código que muestra la detección de personas mediante YOLOv8.	70
Fig 28. resultado de peatones en consola.	70
Fig 29. Detección y seguimiento de peatones.	71
Fig 30. Detección y seguimiento de peatones.	71
Fig 31. resultado de detección de peatones en consola.	72
Fig 32. Detección y seguimiento de peatones.	72
Fig 33. Detección y seguimiento de peatones.	72
Fig 34. resultado de detección de peatones en consola.	73
Fig 35. Detección y seguimiento de peatones.	73
Fig 36. Detección de peatones y su trayectoria.	74
Fig 37. resultado de detección de peatones en consola.	74
Fig 38. Resultados de detección aplicando YOLOv8m.	75
Fig 39. Resultado de seguimiento de trayectoria.	75
Fig 40. resultado de detección en consola.	76
Fig 41. Resultado de detección en el sector Santa Mónica. Se observa la correcta identificación de peatones, con un ángulo de cámara favorable para el análisis.	76
Fig 42. Seguimiento de trayectoria de peatones.	77
Fig 43. Diagrama entidad-relación del sitio web	79
Fig 44. Mockup de inicio del sitio web.	82
Fig 45. Mockup de crear usuario.	82
Fig 46. Mockup de vista del panel administrativo.	83
Fig 47. Mockup de administración de roles.	83
Fig 48. Mockup de interfaz de permisos.	84
Fig 49. Vista de página de inicio.	85
Fig 50. Vista de inicio de sesión.	85
Fig 51. Vista restablecer contraseña.	86
Fig 52. Vista de administración de roles.	86
Fig 53. Vista de administración de permisos de usuario.	87
Fig 54. Vista de asignación de roles a usuarios.	87
Fig 55. Resultados obtenidos mediante la herramienta Lighthouse para la auditoría del sitio web en entorno de escritorio.	88

Fig 56. Resultados de rendimiento obtenidos mediante la herramienta Lighthouse.....	89
Fig 57. Resultados de la auditoría de accesibilidad.	90
Fig 58. Resultados de la auditoría de mejores prácticas (“Best Practices”).....	91
Fig 59. Resultados de SEO.....	92
Fig 60. análisis del algoritmo DeepSort.	93
Fig 61. Gráfico por clase de vehículo detectado en las zonas.	94
Fig 62. Trayectorias por tipo de vehículo.	96
Fig 63. Trayectorias por tipo de vehículo.	97
Fig 64. Trayectorias por tipo de vehículo.	98
Fig 65. Trayectorias por tipo de vehículo.	99
Fig 66. Trayectorias por tipo de vehículo.	100
Fig 67. distribución de velocidades.....	101
Fig 68. resultado de mayor afluencia peatonal.....	102
Fig 69. resultado de duración de peatones en el video.....	103
Fig 70. trayectoria de personas detectadas.	104
Fig 71. trayectorias de personas detectadas.	105
Fig 72. trayectorias de personas detectadas.	105

ANEXOS

Anexo 1: solicitud de colaboración a la policía metropolitana.....	113
Anexo 2: compromiso de confidencialidad	116
Anexo 3: acta de definición de variables	118
Anexo 4. Certificado de Congreso Internacional de Innovación Social	119
Anexo 5. Certificado de Semilleros de Investigación.....	120

INTRODUCCIÓN

La presente investigación se centró en identificar tendencias de comportamiento en los flujos peatonales y vehiculares de la ciudad de Pasto. Considerando el crecimiento poblacional registrado en los últimos años, se reconoció la necesidad de implementar herramientas tecnológicas avanzadas para el análisis de datos, tales como YOLO (You Only Look Once), un modelo de detección de objetos basado en redes neuronales convolucionales, en conjunto con Python como entorno para el procesamiento y visualización de información. El análisis de estos patrones de movilidad permitió generar información relevante para la planificación urbana bajo el enfoque de la Ciudad de 15 Minutos.

La investigación abordó la identificación, seguimiento y visualización de patrones de movilidad, proporcionando soluciones basadas en datos a problemas urbanos relacionados con la eficiencia del transporte, la ocupación del espacio público y la distribución de servicios. Para ello, se utilizaron técnicas de analítica de datos, inteligencia artificial y modelos computacionales, lo cual facilitó una comprensión más profunda los patrones de movilidad y comportamiento de los ciudadanos.

El objetivo general de la investigación fue analizar los flujos peatonales y vehiculares con el fin de identificar tendencias de comportamiento en algunos sectores de Pasto, para ello, se plantearon los siguientes objetivos específicos que van desde interpretar información digital mediante clasificación de imágenes y videos, implementar una base de datos y el desarrollo de un sitio web interactivo para visualizar la información.

La investigación llevada a cabo es un proyecto vinculado al proyecto de investigación profesoral **“Formulación de recomendaciones para el aprovechamiento de proximidades de servicios bajo el enfoque de ciudad de 15 minutos en el ordenamiento territorial de pasto”**[1], siendo una colaboración interdisciplinaria de los programas ingeniería de sistemas y arquitectura. Bajo la supervisión de la investigadora principal, la arquitecta Ana María González Bastidas, y el ingeniero Luis Arnoby Escobar Hernández, mediante la modalidad estancia en línea, que permitió a la investigación principal formular recomendaciones en el ordenamiento territorial

ayudando a tomar decisiones para potenciar los polos económicos y los servicios de la ciudad de Pasto, por medio de herramientas como la analítica de datos para cumplir estos objetivos.

La implementación de esta investigación se desarrolló durante el primer y segundo periodo del año 2024 hasta el primer periodo del 2025, y abarcó puntos estratégicos de la ciudad de San Juan de Pasto. Se emplearon dos metodologías clave: CRISP-DM (Cross-Industry Standard Process for Data Mining) para la estructuración del proceso de minería de datos, y Scrum como metodología ágil para el desarrollo e implementación del sistema. Estas metodologías facilitaron la obtención de resultados funcionales orientados a fortalecer la planificación del territorio a través del uso de herramientas tecnológicas y datos reales.

I. PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

A. Objeto o tema de estudio.

La investigación se centra en la analítica de datos para analizar tendencias del comportamiento peatonal y vehicular en sectores específicos de la ciudad San Juan de Pasto.

B. Línea de investigación.

Minería de Datos: es una técnica o disciplina que combina técnicas de análisis y minería de datos, estadística y sistemas de información para transformar grandes bloques de datos en información valiosa. Esta práctica puede ser utilizada para tomar decisiones basadas en datos, optimizar procesos y prever tendencias en el futuro [2]. El uso de análisis de datos y sistemas de inteligencia artificial hace que el proceso de minería se transforme de datos no estructurados y complejos en información comprensible y accionable. Tal como empresas que usan técnicas para entender el comportamiento de sus clientes a través de datos recopilados en redes sociales o sitio web, para luego usarlo en campañas de marketing según convenga en determinada situación [3].

C. Sub línea de investigación

Inteligencia artificial: es un área de la ciencia dedicada a desarrollar computadoras y máquinas capaces de razonar, aprender y actuar de una manera que tradicionalmente requeriría la inteligencia humana, especialmente cuando se trata de gestionar volúmenes de datos que superan las capacidades de análisis humano.

En el ámbito empresarial, la inteligencia artificial se manifiesta como un conjunto de tecnologías que, apoyándose sobre todo en el aprendizaje automático y el aprendizaje profundo, se utilizan para analizar datos, realizar predicciones y previsiones, categorizar objetos, procesar el lenguaje natural, ofrecer recomendaciones y realizar búsquedas inteligentes de datos, entre otras aplicaciones[4].

D. Planteamiento del problema.

En Ciudad de Pasto, se enfrentan desafíos que afectan la calidad de vida de sus habitantes y el desarrollo sostenible de la comunidad, por ende, es fundamental comprender el concepto de

ciudades de los 15 minutos, donde se pueden encontrar los servicios que se necesiten a un cuarto de hora del lugar en donde este, con la condición de moverse caminando o en bicicleta, ofreciendo una disminución de los desplazamientos forzados de las ciudades actuales [5]. De acuerdo con Jane Jacobs quien difundió el concepto de ciudad viva, escribió lo siguiente “Un vecindario vivo, no es solo una asociación de edificios sino también una red de relaciones sociales, un entorno donde sentimientos y la simpatía pueden florecer ”[5]. argumentando que la proximidad es la clave para que una ciudad este más viva.

En el entorno de la ciudad de San Juan de Pasto, se presenta complejidad en la movilidad, identificando varios aspectos que inciden directamente en la calidad de vida de sus habitantes. Influenciando específicamente por los desplazamientos a pie y el uso del transporte público, dado a que su desarrollo urbano ha traído consigo el problema de movilizar a una gran cantidad de personas en un sistema que no da abasto. Para poner en contexto, de acuerdo con las proyecciones del DANE, en 2024 la Ciudad de Pasto cuenta actualmente con una población de 413,484 de habitantes[6]. Donde se estima que el 38% total de los viajes representa la principal forma de viaje de los peatones en la ciudad[7]. dificultando como las personas eligen moverse dentro de la ciudad.

La movilidad peatonal se ha visto comprometida por el alto incremento de vehículos que saturan las vías generando diferentes problemáticas, como el escaso espacio peatonal, poca utilización de transporte alternativo como la bicicleta. Otra problemática que es bastante frecuente en la ciudad de Pasto que afecta la movilidad de los peatones al caminar es la invasión del espacio público debido a la proliferación de vendedores informales, carretilleros e inmigrantes que han copado y minimizado el libre tránsito tanto de peatones como de vehículos, de acuerdo con las autoridades municipales, se estima que hay más de tres mil vendedores informales, situación que restringe el acceso equitativo a oportunidades urbanas, ya que ciertos grupos enfrentan mayores dificultades para desplazarse[8].

La creciente dependencia de vehículos automotores en Pasto se refleja en los porcentajes de aumento que se han registrado en los últimos años. Según los datos presentados por la alcaldía municipal, Pasto ha venido aumentando su población y su parque automotor de manera

desmedida, el uso de motocicleta ha experimentado un incremento sustancial, pasando de 139.777 unidades de motocicletas en el año 2019 a 162.586 unidades al año 2023. Las cifras arrojan que 3 de cada 10 ciudadanos usa la motocicleta para transportarse lo que contribuye directamente a la congestión vehicular en la ciudad[7], [9]. Este enorme incremento en la cantidad de motocicletas circulando en las vías implica una mayor demanda de espacio y recursos, lo que puede llevar a una saturación del sistema de transporte público. La congestión vehicular resultante no sólo impacta negativamente en la fluidez del tráfico, sino que también tiene implicaciones directas en la calidad general de la movilidad urbana.

Con el crecimiento de la ciudad ha generado diferentes problemáticas, como es el crecimiento de vehículos particulares, la accidentalidad y la contaminación por emisión de gases a partir fuentes móviles terrestres, en relación con las estadísticas presentadas por la secretaria de Tránsito y Transporte de la ciudad de Pasto el parque automotor de vehículos privados paso a tener 39,586 automóviles a finales del año 2023; sumando los vehículos de diferentes municipios. Con respecto a accidentalidad se presentaron 70 occisos por siniestros viales; lo que demuestra un incremento desmedido de la accidentalidad, dentro de estas estadísticas de siniestralidad vial del año 2023, se evidencia que la motocicleta esta más involucrada en siniestros viales, seguido del peatón que es el más vulnerable en la vía con 21 occisos[9].

La cercanía entre actividades económicas, servicios y usuarios desempeña un papel clave en la transición del modelo de ciudad de 15 minutos. A partir de esto se tienen en cuenta elementos como el comportamiento, el tránsito peatonal y vehicular, la densidad de peatones, la cadencia al caminar, el ancho de acera, la movilidad peatonal y vehicular, la infraestructura peatonal que permita a San Juan de Pasto alcanzar la visión global de Ciudad de 15 minutos.

E. Formulación del problema.

¿Cómo determinar las tendencias de comportamiento de movilidad en la ciudad de San Juan de Pasto mediante técnicas y gestión de imágenes e información?

F. Objetivos

1. General

Analizar los flujos peatonales y vehiculares que permitan identificar tendencias de comportamiento en algunos sectores de Pasto.

2. Específicos

- Identificar métodos tecnológicos que permitan la captura de información digital mediante la clasificación de imágenes y videos por medio de variables significativas.
- Implementar una base de datos que permita almacenar la información de manera coherente de acuerdo con la clasificación de imágenes y video.
- Desarrollar un sitio web interactivo que permita visualizar de forma eficiente la información.
- Validar mediante métricas de usabilidad la eficiencia del sitio web.

G. Justificación

La investigación propuesta busca analizar el concepto de ciudades de 15 minutos. El objetivo es reducir el uso del coche, los tiempos de traslado y la contaminación para mejorar la calidad de vida de las personas[10]. como un modelo de ciudad inteligente, una propuesta urbanística que plantea diseñar ciudades en las que todos los servicios esenciales como supermercados, farmacias, escuelas, lugares de ocio y de trabajo, se encuentren a 15 minutos a pie, en bicicleta o en transporte público desde los hogares.

Como se define en el artículo de la revista Colombia Visible, “El concepto de ciudades inteligentes significa la toma de decisiones asertivas para mejorar las condiciones de vida de los ciudadanos”[11]. El concepto de ciudades de 15 minutos es un ejemplo claro de como las ciudades inteligentes buscan mejorar la calidad de vida a través de una buena y eficiente planificación urbana.

En la ciudad de San Juan de Pasto, la movilidad presenta desafíos significativos, teniendo en cuenta que más del 30% de los habitantes son peatones esto impacta directamente en la calidad de vida de sus residentes, la limitada accesibilidad, influenciada por la infraestructura en vías públicas y aceras, contribuye a la congestión y afecta la fluidez del transeúnte[12].

La importancia de esta investigación radica en analizar los flujos peatonales y vehiculares en algunos sectores de la ciudad de Pasto, con el objetivo de identificar tendencias de comportamiento entre los usuarios de vehículos, transporte público y tránsito peatonal para la optimización de la proximidad de los servicios.

Para lograr este propósito, se utilizarán herramientas como la analítica de datos, modelos matemáticos e inteligencia artificial, que se consideran como estrategias para comprender y abordar estos desafíos de movilidad. La clasificación de imágenes y videos de puntos clave, el análisis detallado de flujos de tráfico mediante algoritmos de visión por computadora y la identificación de variables serán partes esenciales en esta investigación.

En términos generales, esta investigación es una línea base que puede ayudar a observar el comportamiento peatonal y vehicular para que esta información sea tomada en cuenta en la búsqueda de optimizar la movilidad en un rango de 15 minutos, fortaleciendo el eco urbanismo, el desarrollo sostenible y accesible para los ciudadanos.

H. Delimitación

Esta investigación parte de 21 puntos que cubren los sectores de la ciudad de San Juan de Pasto, específicamente se abordarán 5 sectores con sus puntos estratégicos, la población objetivo son los peatones y conductores que transitan estos lugares. El proyecto se desarrolla a partir de la implementación de herramientas de reconocimiento, trayectoria y rastreo visual con analítica de datos para el flujo peatonal y vehicular, el desarrollo contará con una duración de 1 año.

II. TÓPICOS DEL MARCO TEÓRICO

A. Antecedentes

A continuación, se presentan diferentes investigaciones en el campo internacional, nacional y local relacionados con el problema de investigación tendencias de comportamiento en la movilidad y analítica de datos como categorías principales del presente estudio.

1. Internacionales

En este artículo titulado **análisis de intersecciones mediante técnicas de visión por ordenador con SUMO**. Este estudio tiene como objetivo la monitorización y análisis de intersecciones urbanas, integrando un sistema de visión por computadora y simulación de tráfico. Utiliza la arquitectura de YOLOv5, permitiendo capturar los datos del tráfico vehicular y peatonal de manera precisa, posteriormente emplea estos datos con el simulador de tráfico de SUMO (Simulación de Movilidad Urbana) con el fin de crear modelos más realistas y efectivos para reflejar condiciones de tráfico reales. Teniendo como resultados mejoras significativas en la localización y seguimiento de peatones para el análisis de comportamiento de las intersecciones gracias al detector de objetos YOLO que previamente estaba entrenado[13]. En conclusión, la integración de SUMO junto con YOLO representa un avance significativo en la gestión de tráfico urbano, dando un mayor enfoque a las mediciones precisas y en tiempo real de los comportamientos de intersección.

En este proyecto de investigación nombrado **Modelo predictivo en minería de datos para predecir patrones de tráfico en unidades de peaje peruanos**. Este estudio tiene como objetivo desarrollar un modelo de predicción implementando minería de datos con el fin de analizar y pronosticar patrones de tráfico en los peajes para reducir la congestión vial y promover una movilidad más eficiente. La metodología que se usó para llevar a cabo esta investigación es Crisp-DM para aplicar técnicas de minería de datos, además implementaran bibliotecas de Python como Pandas, NumPy y Matplotlib y se usara la plataforma Colab para el procesamiento y análisis de los datos[14]. Teniendo como resultados una muestra del 84% en la precisión de la predicción, en conclusión, la implementación de tecnologías es crucial para garantizar el adecuado funcionamiento del algoritmo de predicción.

En la tesis nombrada **Aplicación de la minería de datos especiales basadas en técnicas de agrupamiento al congestionamiento del tráfico vehicular de la ciudad de Trujillo, Perú**. Este estudio tiene como objetivo analizar el tráfico vehicular de la red vial de la ciudad de Trujillo, mediante minería de datos con el propósito de detectar o diagnosticar el nivel de congestión en puntos críticos con mayor influencia vehicular. La metodología usada para el proceso minería de datos y análisis de datos es CRISP-DM, esto se hizo por medio de un modelo computacional de aprendizaje no supervisado. A su vez se implementó un sistema software, que uso los algoritmos K-MEANS Y DBSCAN, que son utilizados para el aprendizaje automático no supervisado[15].

2. Nacionales

En esta investigación titulada **Desarrollo de un modelo de inteligencia artificial para monitoreo**

de flujo vehicular en Bogotá[16]. Tuvo como objetivo implementar un modelo de IA para Analizar los patrones y comportamientos del flujo vehicular en la ciudad de Bogotá. La Metodología que se usó para el desarrollo de la IA fue la recopilación de fotografías de una gran variedad de vehículos como camiones, automóviles y buses posteriormente fue el entrenamiento de la IA usando la herramienta YOLO (You Only Look Once) que permite la detección de objetos

para realizar las respectivas predicciones, también se implementó la biblioteca cv2 que se usa para

el procesamiento de imágenes y se realizó la importación de modelo YOLOv8x. Teniendo como resultados un enfoque claro de como implementar la herramienta YOLO para la detección y seguimiento de vehículos en tiempo real para así proporcionar información útil a los conductores para determinar que rutas pueden tomar.

El proyecto nombrado **Entendiendo comportamientos ciudadanos viales a partir de datos abiertos e inteligencia artificial**. Hace énfasis en implementar una metodología basada en IA para la identificación del comportamiento vial, tanto en peatones como en motociclistas. La metodología que se implementó para este caso de estudio fue, la recolección de datos mediante las cámaras de video que están localizadas en distintos puntos de la Ciudad de Medellín y para el análisis predictivo se usó YOLOv4 con el fin de realizar una discriminación del objeto detectado.

Teniendo como resultados una especificidad mayor al 90%, logrando establecer que el comportamiento de los peatones en el área fue inadecuado, debido a que el 70% incumplen las normas de tránsito[17]. En conclusión, el uso de la IA junto con la herramienta YOLO son fundamentales para hacer un análisis del comportamiento vial de motociclistas y peatones logrando una eficiente recolecta de información que se genera en tiempo real.

El trabajo de grado titulado **Modelo de analítica de datos para definición de estrategias de circulación segura de los vehículos de carga en el corredor vial de la calle 13 de la ciudad de Bogotá**. Centran su investigación en diseñar un Modelo de analítica de datos para definir estrategias de circulación segura para los vehículos de carga en la ciudad de Bogotá a través de análisis y procesamiento de datos, la información recolectada se usará para tomar decisiones en el futuro. La metodología que se usó en la investigación es CRISP-DM (Cross-Industry Standard Process for Data Mining) que para esta investigación fue crucial para la obtención de resultados, de ese modo se redujo la probabilidad de resultados desfavorables, posteriormente, para la visualización de los datos se hizo mediante la herramienta de Bussiness Intelligence, Power BI, como complemento para el análisis estadístico[18]. Así, se puede apreciar que se ha logrado una implementación y utilización exitosa de la metodología de analítica de datos, las cuales son un referente para este proyecto.

3. Regional

El estudio realizado en la Ciudad de Pasto Nariño, titulado, **Prevención en morbilidad materna extrema mediante analítica de datos y aplicación móvil**. Presentan como propiciar condiciones de salud favorables en mujeres gestantes para que reduzcan la morbilidad usando la analítica de datos por medio de una aplicación móvil. La metodología que se usó para aplicar analítica de datos es CRISP-DM, además se hizo uso de la metodología XP para desarrollar la aplicación[19]. Lo anterior es importante para la investigación dado que nos aclara los conceptos sobre la metodología CRISP-DM que proporciona una idea clara para el análisis de datos y también nos muestra que metodología ágil podemos aplicar en nuestra investigación.

En la tesis de maestría denominada **Aplicación de la minería de datos para la detección de factores asociados a la deserción estudiantil en los programas profesionales de las ciencias**

naturales y ciencias sociales de la Universidad de Nariño sede Pasto. Tuvo como objetivo descubrir que factores están asociados con la deserción estudiantil de los programas de pregrado, tanto de las Ciencias Naturales como de las Ciencias Sociales Humanas, a partir de los datos académicos registrados en las bases de los estudiantes de la Universidad de Nariño, aplicando técnicas de minería de datos. La metodología que se usó para este proyecto fue CRISP-DM (Cross-Industry Standard Process for Data Mining), se tuvo en cuenta repositorios de datos de estudiantes que ingresaron desde 2008 A hasta 2011 B[20]. Así, se puede apreciar que se ha logrado la implementación y utilización exitosa de las técnicas de minería de datos y de la metodología CRISP-DM, las cuales son un referente muy importante para este proyecto al tener la dicha metodología.

Así, se puede apreciar que se ha logrado la implementación y utilización exitosa de técnicas de inteligencia artificial, las cuales son un referente para el provecho de este proyecto al tener identificación de imágenes.

B. Enunciados de supuestos teóricos de la investigación

El análisis de los flujos peatonales y vehiculares son esenciales para identificar tendencias de comportamiento por ende se busca comprenderse desde distintas teorías. No obstante, será muy importante definir conceptos claves en el tema de estudio.

1. Analítica de datos.

La analítica de datos se define como un conjunto de herramientas y métodos que ayudan a transformar los datos en información para identificar patrones que sirven para tomar decisiones, la analítica de datos la constituyen modelos matemáticos, estadísticos y herramientas metodológicas para facilitar el acceso a la información[21]. En los últimos años, se han desarrollado herramientas y técnicas bastante sofisticadas para el análisis de los datos, estas técnicas incluyen el análisis predictivo y la minería de datos. En el contexto del proyecto Implementación de analítica de datos para identificar tendencias de comportamiento en flujos peatonales y vehiculares, la analítica de datos es fundamental para comprender y predecir con el fin de observar estos patrones de movilidad.

Existen cuatro tipos de análisis de datos:

- ***Analítica de datos descriptiva***

La analítica de datos descriptiva se define como el proceso de almacenar y realizar agregaciones de datos históricos, ayudando a resumir grandes cantidades de datos para aprender el comportamiento del pasado con el fin de influir en resultados futuros[22]. La analítica descriptiva se puede considerar como una etapa preliminar de procesamiento de datos, puesto que crea un resumen histórico de los datos y los prepara para su respectivo análisis. La minería de datos prepara y organiza estos datos haciendo posible identificar patrones y relaciones.

- ***Analítica de datos diagnóstica***

El análisis de diagnóstico es un tipo de análisis de datos avanzado que ayuda a determinar las causas fundamentales de un evento[23]. El análisis de diagnóstico analiza datos históricos y utiliza técnicas como la minería de datos para recopilarlos e identificar patrones y tendencias en ellos. También utiliza la minería de datos.

- ***Analítica de datos predictiva***

Es una forma avanzada de analítica de datos que se utiliza para prever resultados futuros, este proceso hace énfasis en el aprendizaje automático, inteligencia artificial y modelos estadísticos para detectar patrones con el fin de predecir el comportamiento futuro[24]. Una vez se finaliza la recolección de datos, se crea un modelo estadístico y se entrena para realizar predicciones precisas.

- ***Analítica de datos prescriptiva***

Este método tiene como objetivo recopilar datos, recomendar acciones y prever qué impacto tendrá con el fin de automatizar la toma de decisiones, la analítica prescriptiva se apoya de una disciplina esencial que son los algoritmos de optimización matemática que permiten una toma de decisiones complejas, mejorando su eficiencia[25]. Este método quizás sea el más importante puesto que es bastante practica para transformar los datos en decisiones.

2. Minería de datos.

En el estudio titulada La Minería de datos, Patrones y reglas. Define la disciplina denominada Minería de Datos como una técnica que se usa para descubrir patrones, relaciones, tendencias, comportamientos atípicos con el propósito de soportar un gran volumen de datos; esta disciplina estudia métodos y algoritmos con el fin de la extracción sintetizada de la información. La minería de datos, combina diferentes técnicas de como lo es la estadística, bases de datos y técnica de aprendizaje automático (inteligencia artificial) cuyo objetivo principal es el análisis y visualización de la información de las bases de datos masivas[26].

La idea de extracción y análisis de patrones de comportamiento no es algo nuevo puesto que se remonta desde hace décadas y en áreas de investigación como es la inteligencia artificial, estadística y aprendizaje automático podemos decir que apenas estamos incursionando en estas técnicas para extraer datos valiosos y útiles para lograr beneficios.

En términos de la movilidad aplicar la minería de datos en las ciudades es fundamental para identificar tendencias de comportamiento ya que usa técnicas de algoritmos y técnicas de aprendizaje automático para analizar grandes volúmenes de datos ayudando a predecir patrones y lograr entender mejor los comportamientos peatonales y vehiculares en horas pico, obteniendo como resultados una gestión más inteligente de los espacios urbanos.

3. Big data.

Big data es un conjunto de datos que contiene un gran volumen, estos datos son tan voluminosos que los software convencionales no pueden gestionarlos, este concepto engloba y asocia otros términos como la ciencia de datos, analítica de datos y minería de datos; también se puede definir con el concepto de las cuatro V, que significa gran Volumen de datos que es capaz de procesar, la Velocidad que es capaz de procesar, la variedad que se refiere a las formas que puede tomar y la más importante es el Valor que se obtiene al extraer los datos[27].

- Tipos de Big data

- **Estructurados:** hace énfasis en almacenar, acceder y procesar cualquier dato logrando mejores resultados gracias a las técnicas de trabajo para manejar este tipo de datos.
- **No estructurados:** es la estructura donde se clasifica un dato no estructurado, estos datos plantean múltiples desafíos al momento de su procesamiento para derivar valor de ellos. Un ejemplo de dato no estructurado son las fuentes de datos heterogéneos como textos simples, imágenes y videos.
- **Semiestructurados:** Los datos semiestructurados pueden contener ambos tipos de datos. A menudo tienen un formato definible que los usuarios no entienden fácilmente y requieren reglas complejas para ayudar a determinar cómo se debe leer cada fragmento de información. Un ejemplo de datos semiestructurados son los datos representados en un archivo XML.[28]

La Big data es muy importante para nuestro proyecto debido a que nos abre posibilidades para analizar los patrones de movilidad de los sectores de la ciudad, sin duda aporta muchas ventajas para planificar, gestionar y regular la movilidad.

4. Inteligencia artificial.

Es un conjunto de algoritmos planteados para crear sistemas que realicen las mismas tareas que normalmente hace el ser humano, como el aprendizaje, el razonamiento y la percepción; es decir que puede percibir su entorno, razonar sobre el conocimiento y procesar información que se deriva de los datos con el fin de tomar decisiones para lograr un objetivo[4].

- tipos de inteligencia artificial

Según la definición de la Comisión Europea existen dos tipos de Inteligencia artificial (IA):

- **Software:** estos pueden ser asistentes virtuales, software para análisis de imágenes, motores de búsqueda, sistemas de reconocimiento de voz y rostro.
- **IA integrada:** estos son Internet de las Cosas, robots, drones y vehículos autóctonos.[29]

En el libro *Inteligencia Artificial Un Enfoque Moderno* de Stuart J. Russell y Peter Norving establecen cuatro tipos de IA.

- ***Sistemas que piensan como humanos:*** se centran en imitar la inteligencia humana tanto en el comportamiento como en el pensamiento. Su objetivo es imitar la forma en que los humanos piensan y resuelven problemas.
- ***Sistemas que actúan como humanos:*** se centran en imitar la inteligencia humana, pero en términos de comportamiento. Intentan imitar cómo se comportan y actúan las personas en el mundo.
- ***Sistemas que piensan racionalmente:*** Se centran en resolver problemas de forma lógica y racional. Buscan maximizar la eficiencia y precisión de sus decisiones sin necesariamente considerar el comportamiento humano.
- ***Sistemas que funcionan racionalmente:*** centrarse en las decisiones y actuar sobre el mundo, intentando siempre tomar la mejor decisión posible en función de la información disponible.[30, p. 2]

5. *Machine learning.*

El aprendizaje automático es un campo de la Inteligencia artificial que utiliza algoritmos que permiten a las computadoras identificar patrones en grandes cantidades de datos y hacer predicciones (análisis predictivo). Este aprendizaje automático permite a las computadoras hacer tareas específicas sin necesidad de ser programados[31].

- *Algoritmos de machine learning.*

Los algoritmos de aprendizaje automático se dividen en tres partes:

- **Aprendizaje supervisado:** son algoritmos pre-entrenados de un sistema de etiquetas asociadas a datos con el fin de tomar decisiones o predicciones. Un ejemplo de esto son los sensores de spam, que se basan en patrones aprendidos del historial de correo electrónico.

- **Lenguaje no supervisado:** son algoritmos que no cuentan con un conocimiento previo. Se enfrentan al caos de los datos para encontrar patrones que de alguna forma los organicen. Un ejemplo de esto es en Marketing que se utilizan para extraer patrones de datos masivos de las redes sociales con el fin de crear campañas publicitarias altamente segmentadas.
- **Aprendizaje por esfuerzo:** son aquellos algoritmos que aprenden a través de la propia experiencia. Son capaces de tomar mejores decisiones ante distintas situaciones de acuerdo a un proceso de prueba y error, donde las decisiones correctas son recompensadas. Suelen utilizarse comúnmente para reconocimiento facial y diagnóstico médico[31].

6. **YOLO.**

Es un algoritmo de detección de objetos en tiempo real, fue presentado el año 2015 en el artículo You Only Look Once (detección de objetos en tiempo real). Este algoritmo consiste predecir cuadros delimitadores y probabilidades a través de una imagen en una sola evaluación. Este modelo es capaz de procesar más de 60 fotogramas por segundo, lo que la hace una arquitectura muy eficiente para detectar objetos en video [32], [33].

- ***Ventajas de implementar YOLO.***

- **Velocidad:** Es un sistema muy rápido porque no ocupa canalizaciones complejas. Es capaz de procesar imágenes a 45 FPS y puede alcanzar el doble de precisión media (mAP) que otros sistemas de detección de objetos, siendo una excelente opción para el procesamiento en tiempo real[34]. Se puede observar en (la imagen de la figura 1) como YOLO supera a los demás detectores de objetos, alcanzando 90 FPS.

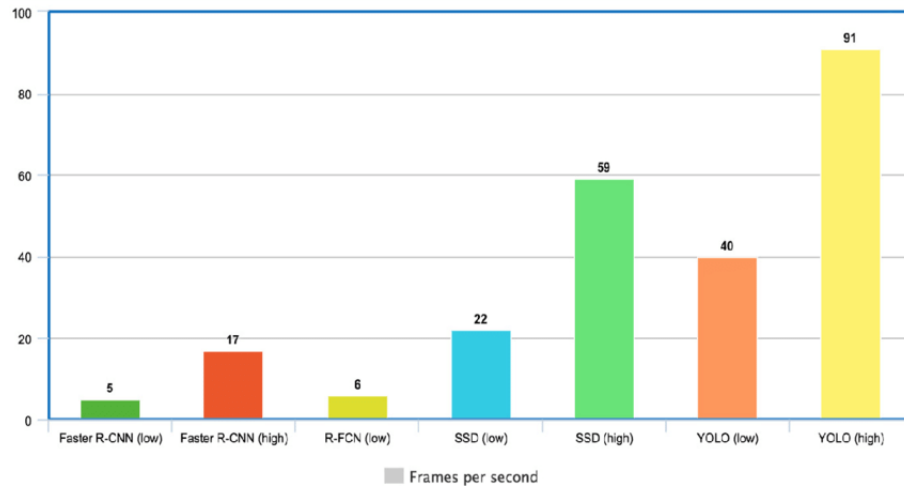


Fig 1. Comparación de YOLO con otros detectores de objetos

Nota: fuente: https://www.researchgate.net/figure/Comparison-of-frames-processed-per-second-FPS-implementing-the-Faster-R-CNN-R-FCN-SSD_fig6_342570032

- **Alta precisión de detección:** Esta herramienta de procesamiento de imágenes de última generación supera a otros modelos teniendo muy pocos errores de fondo.
- **Mejor generalización:** YOLO proporciona una mejor generalización que se expande a nuevos dominios, lo que la hace excelente para una detección de objetos robusta y rápida[34].

- ***Funcionamiento de la detección de objetos de YOLO.***

Su funcionamiento se basa en una red neuronal convolucional, consiste en usar características de la imagen para trazar cuadros delimitadores. Consiguiendo que la red neuronal a los objetos que hay en la imagen. La imagen se divide en una rejilla, su un objeto cae en esta celda de la cuadrícula, aquella será la responsable de detectar el objeto, como se puede observar en la Figura 2

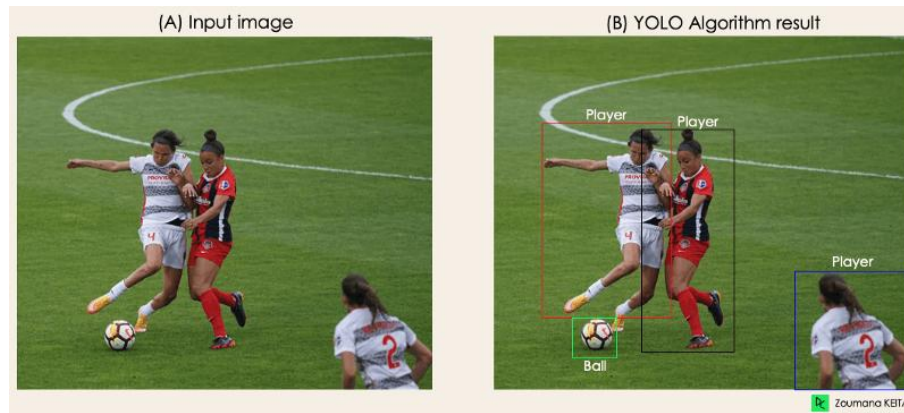


Fig 2. Funcionamiento de YOLO

Nota: fuente: <https://www.datacamp.com/blog/yolo-object-detection-explained>

El funcionamiento del algoritmo de YOLO se basa en cuatro enfoques:

- **Bloques residuales:** cómo se puede observar en la figura 3 se empieza dividiendo la imagen (A) en una cuadrícula 4x4. Cada celda es responsable de predecir y localizar la clase de objeto que abarca.

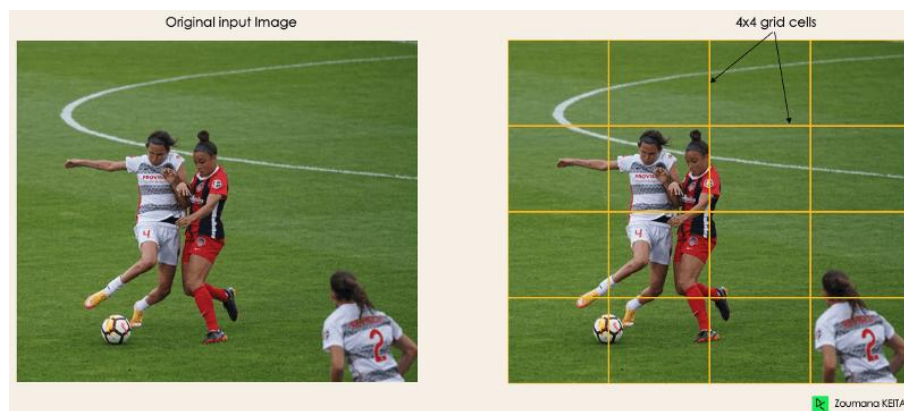


Fig 3. Bloques residuales

Fuente: <https://www.datacamp.com/blog/yolo-object-detection-explained>

- **Regresión de caja delimitadora:** cómo podemos ver en la figura 4, las cajas delimitadoras corresponden a un rectángulo que resaltan todos los objetos de la imagen. YOLO determina los atributos de este recuadro utilizando un modelo de regresión.

$$Y = [pc, bx, by, bh, bw, c1, c2]$$

donde Y es la representación vectorial de cada recuadro.

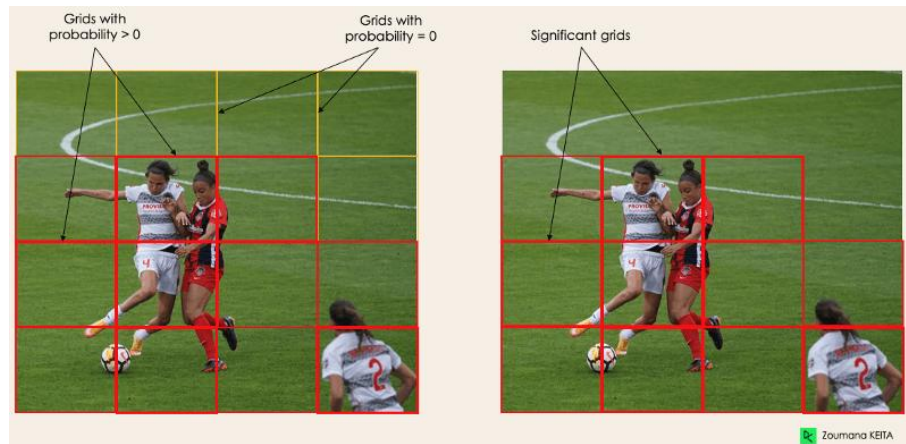


Fig 4. regresión de caja delimitadora

Nota. fuente: <https://www.datacamp.com/blog/yolo-object-detection-explained>

- **Intersección sobre sindicatos o IOU:** en la figura 5 podemos ver que una sola imagen y un solo objeto pueden tener varias cajas cuadriculadas con el fin de obtener predicciones. El IOU contiene un valor entre 0 y 1 teniendo como objetivo descartar las casillas de la cuadrícula para simplemente conservar las que serán relevantes en el futuro.

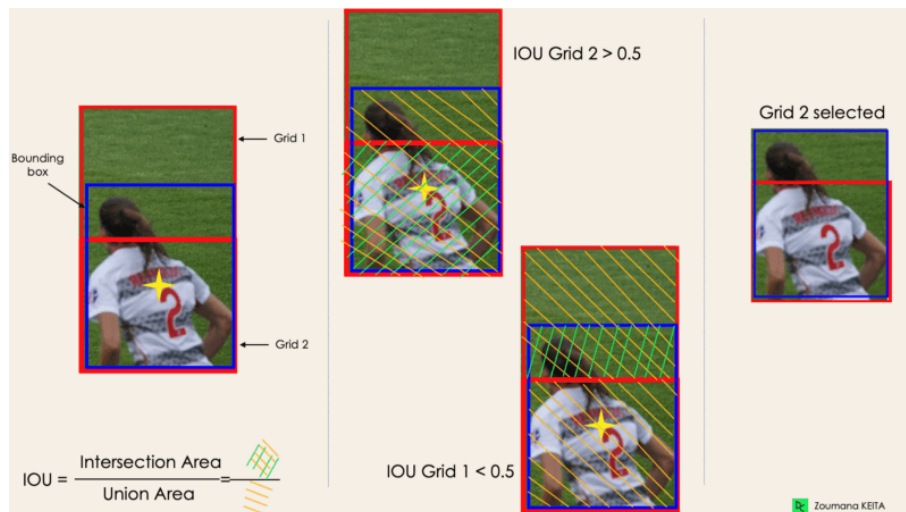


Fig 5. aplicación del modelo de selección

Nota: Fuente: <https://www.datacamp.com/blog/yolo-object-detection-explained>

- **Supresión no máxima o NMS:** se utiliza el NMS cuando el umbral para IOU no es suficiente, debido a que un objeto puede tener demasiadas casillas con IOU por encima del umbral. Por lo tanto para conservar estas casillas se implementa NMS que tienen mejor puntuación de probabilidad de detección.[34]

- *Arquitectura de YOLO.*

Esta arquitectura está inspirada en el modelo GoogleNet, esta arquitectura implementa una red neuronal convolucional, que a menudo se les suelen llamar FCN. Concretamente esta arquitectura de red contiene un total de 24 capas convolucionales y dos capas completamente conectadas.

Para reducir el número de canales los creadores usan una convolución 1x1, permitiendo una reducción de profundidad. La que le sigue es la convolución 3x3 que genera una salida cuboidal. Estas dos capas 1x1 y 3x3 se van alternando como podemos ver en la figura 6. El tensor se reduce, cuando se aplica las dos capas conectadas, dando una salida de un tensor de tamaño 7x7x30, como podemos ver en la figura 6 [34], [35].

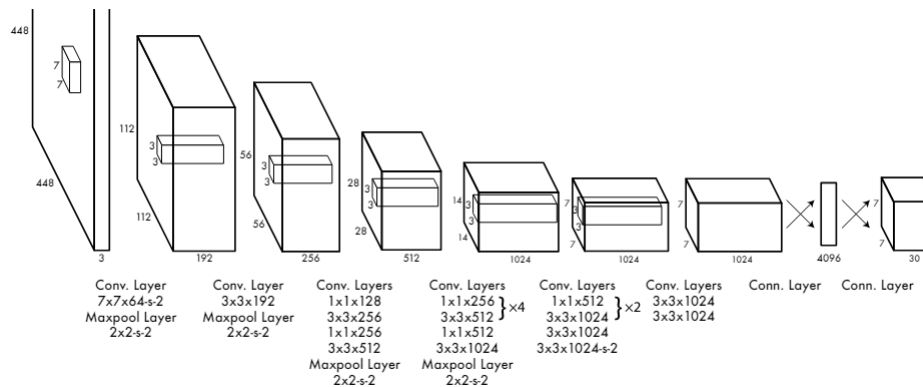


Fig 6. esquema de arquitectura de red neuronal
Nota: fuente: <https://arxiv.org/pdf/1506.02640>

7. *OpenCV.*

OpenCV es una biblioteca de visión por computadora, que contiene casi todos los algoritmos de procesamiento de imágenes. OpenCV junto con YOLO, ofrecen una solución innovadora para el seguimiento de objetos en tiempo real[36].

OpenCV contiene ocho rastreadores disponibles en la versión OpenCV 4.2:

- **BOOSTING:** este algoritmo se utiliza internamente en el detector facial basado en cascada **HAAR**. El clasificador debe entrenarse en tiempo de ejecución con ejemplos negativos y positivos del objeto.
- **MIL:** este rastreador considera la ubicación actual de objeto como un ejemplo positivo. Busca en un pequeño vecindario alrededor de la ubicación actual para generar varios ejemplos positivos potenciales. En el rastreador MIL, no se definen como ejemplos negativos y positivos, sino se denominan “bolsas” positivas y negativas.
- **KCF:** este rastreador se basa en los rastreadores anteriores. Aprovecha las múltiples muestras positivas utilizadas en el rastreador MIL que tienen grandes regiones superpuestas. La superposición de datos utiliza propiedades matemáticas interesantes con el fin de aprovecharlas para que el seguimiento sea más rápido y preciso al mismo tiempo.
- **TLD:** este rastreador descompone la tarea de seguimiento en tres componentes: seguimiento (a corto y largo plazo), aprendizaje y detección. El detector TLD funciona mejor bajo oclusión en múltiples fotogramas. Además, realiza un seguimiento de los mejores cambios a escala. La desventaja más grande de este rastreador son los falsos positivos que lo hacen inutilizable.
- **MEDIANFLOW Tracker:** este rastreador tiene la capacidad de rastrear el objeto tanto hacia delante como hacia atrás en el tiempo y mide las discrepancias entre las dos trayectorias. El rastreador funciona mejor con movimientos pequeños y predecibles. A diferencia de otros rastreadores, él sabe cuándo el seguimiento a fallado, teniendo un excelente informe de errores. Funcionando bastante bien cuando el movimiento es predecible y no hay oclusión.
- **GOTURN:** es el único rastreador basado en la red neuronal convolucional (CNN) que utiliza el modelo Caffe para el seguimiento, es bastante robusto a cambios de punto de vista, cambios de iluminación y deformaciones, pero, no maneja bien la oclusión.

- **MOSSE**: el rastreador MOSSE utiliza una correlación adaptativa para el seguimiento de objetos. Es resistente a variaciones de iluminación, escala, pose, y deformaciones no rígidas. Si detecta la oclusión basándose en la relación pico-lóbulo lateral, permitiendo que el rastreador haga una pausa y continúe donde lo dejó cuando el objeto reaparece.[37]

8. *Python.*

Es un lenguaje de programación que tiene una estructura de datos de alto nivel, muy eficiente y posee una simple y efectiva programación orientada a objetos y tiene un tipado dinámico. El intérprete de Python es fácilmente extensible con funciones y tipos de datos en C o C++ lo que lo convierte en un lenguaje ideal para scripting y desarrollo rápido[38].

Para la analítica de datos existen un conjunto de librerías en Python como:

- *NumPy.*

es una librería de Python que se especializa en el cálculo numérico y análisis de datos, usada especialmente en un gran volumen de datos. implementa objetos denominados arrays que permite representar colecciones de datos de un mismo tipo en diferentes dimensiones, muy eficientes para la manipulación. La ventaja frente a otras librerías es que procesa los arrays mucho más rápidos hasta cincuenta veces[39].

La clase de objetos array: es aquella estructura de datos organizada en forma de tabla o cuadrícula de diferentes dimensiones o también denominadas ejes, como se muestra en la figura 7.

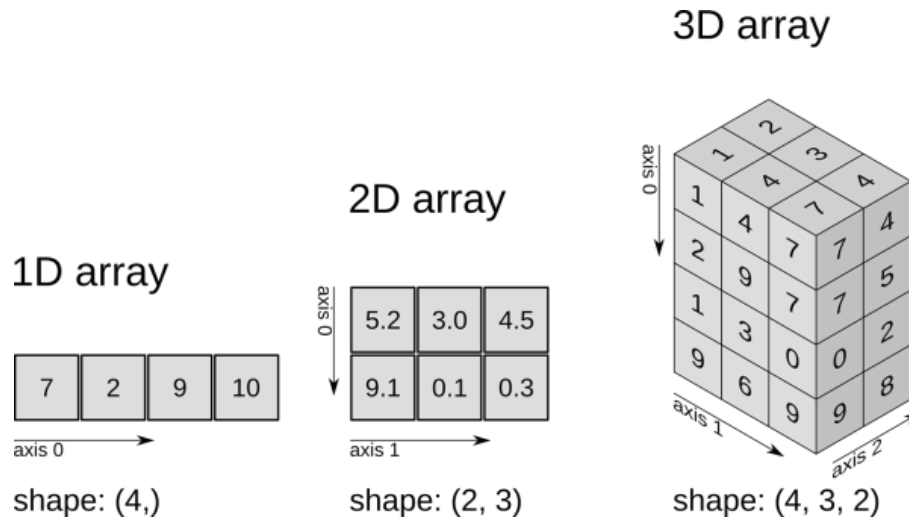


Fig 7. Imagen de las dimensiones de un array.

Nota: fuente <https://aprendeconalf.es/docencia/python/manual/numpy/>

Creación de arrays: para crear arrays se utiliza la siguiente función de NumPy.

- **Np. array(lista):** Se Crea un array a partir de la lista o tupla lista. El número de dimensiones de un array va a depender de las listas o tuplas anidadas:
- Para una lista de valores se crea un array de una dimensión, también denominado como vector.
- Para listas de valores se crea un array de dos dimensiones, también denominado como matriz.
- Para listas de valores se crea un array de tres dimensiones, también denominado como cubo.
- Y sigue sucesivamente, dado que no hay un límite establecido en el número de dimensiones del array[39].

- **Pandas.**

Es una librería de Python que facilita la manipulación y análisis de datos estructurados, entre sus principales características se encuentran: una estructura de datos basada en arrays de la librería NumPy, pero agregando nuevas funcionalidades. Otra característica es, permite leer y escribir ficheros en los formatos CSV, Excel y bases de datos SQL. Y, por último, Permite acceder a los datos mediante índices o nombres para filas y columnas.

Tipos de datos de la librería Pandas.

- ***Estructura en series:*** es aquella estructura de una dimensión.
- ***Estructura en Datarme:*** es aquella estructura de dos dimensiones (tablas).
- ***Estructura de Panel:*** es aquella estructura de tres dimensiones (cubos)[40].

- Scikit-Learn.

Es una librería de aprendizaje automático, tiene una gran variedad de algoritmos y herramientas para facilitar la implementación y la aplicación de técnicas de aprendizaje automático. Su principal ventaja es su integración con otras bibliotecas como NumPy y Pandas lo que permite un eficiente procesamiento, manipulación y transformación de datos[41].

- TensorFlow.

Es una biblioteca de software de aprendizaje automático e inteligencia artificial, creada por el equipo de Google Brain. Consiste en la recopilación de scripts, archivos y rutinas de software que permite a los usuarios modificar, copiar y reutilizar sin permiso. Fue hecho en Python, C++ y CUDA, esta biblioteca es compatible con Python.

Ventajas de TensorFlow.

Esta biblioteca nos ofrece un mayor beneficio para el desarrollo de Deep Learning, que es la abstracción, que consiste en ocuparse en los detalles de implementación de algoritmos para que el desarrollador pueda centrarse en la lógica de la aplicación. Además, tiene otras ventajas adicionales para desarrolladores que buscan depurar y obtener introspección como:

- Modo Eager Execution, esto permite evaluar y modificar cada operación del grafo como un único objeto y para posteriormente evaluarlo.

- TensorBoard permite inspeccionar y perfilar la forma en que se ejecutan los gráficos mediante un panel interactivo basado en la web.
- A su vez obtiene muchas ventajas gracias al respaldo de un equipo comercial de primera línea como es Google. creando muchas ofertas significativas en torno a TensorFlow que facilitan su despliegue y uso.
- La Unidad de Procesamiento de Tensores (TPU) permite acelerar el rendimiento en la nube de Google[42].

9. **Metodología CRISP-DM.**

La metodología CRISP-DM (Cross-Industry Standard Process for Data Mining) es un modelo de procesos jerárquicos que integra las tareas necesarias para los proyectos de minería de datos. La metodología CRISP-DM consta de un conjunto de seis fases, las cuales dependen entre sí de manera secuencial y cíclica que son:

- **Comprensión del negocio:** en esta fase es donde comienza todo el proyecto de minería de datos, es donde se establecen los requisitos y objetivos del proyecto desde una perspectiva empresarial que luego se traslada a objetivos técnicos. Luego, se establece los criterios del proyecto, si es de tipo cualitativo o cuantitativo, posteriormente, se realiza un plan de proyecto donde se siguen una serie de pasos a seguir.
- **Comprensión de los datos:** es donde se lleva a cabo la recolección de los datos, esta fase suele ser la más crítica dado que la mala interpretación de los datos tiene como consecuencia el aumento en el tiempo del proyecto, reduciendo las garantías de éxito.
- **Preparación de los datos:** es una fase crítica de la minería de datos, dado que si los datos erróneos se pasan por alto se trasladarán al modelado, generando una reducción en la exactitud de los modelos. Esta fase es crucial debido a la demanda de bastante esfuerzo y tiempo, aproximadamente un 75% de tiempo en total.

- **Modelado:** la fase de modelado surge a partir de los datos proporcionados desde la fase anterior. En esta fase se debe seguir una serie de pasos para obtener mejores resultados. El primer paso es seleccionar los algoritmos de modelado más conveniente al problema. Luego se genera un plan de prueba, donde configuramos los valores de los parámetros que se usaran para los algoritmos de aprendizaje automático (Machine Learning). Posteriormente se construye el modelo, ejecutando los algoritmos seleccionados sobre los datos preparados donde se puede generar uno o más modelos. Para terminar se evalúan los resultados, donde se analizan las métricas de evaluación obtenidas con el fin de conocer los modelos generados y garantizar que se cumplan con los criterios definidos al inicio del proyecto[43].

10. Método ágil: SCRUM.

Scrum es una metodología ágil para la gestión de proyectos, ayuda a los equipos de trabajo a estructurar y gestionar el trabajo mediante un conjunto de valores, principios y prácticas. El método SCRUM incita a los equipos de trabajo a aprender a través de la experiencia, a organizarse a la hora de resolver problemas y reflexionar sobre tus victorias y derrotas para mejorar continuamente.[44]

Protocolos o eventos de Scrum

A continuación, se muestran todos los protocolos principales en los que puede participar un equipo Scrum:

- **Organización del backlog:** esta actividad, a veces denominada limpieza del backlog, es responsabilidad del propietario del producto. Su tarea principal del propietario de un producto es ejecutar el producto hacia su visión para estar al tanto del mercado y sus clientes.
- **Planificación de Sprint:** durante la reunión, el equipo de desarrollo planifica el trabajo a realizar en el transcurso del Sprint. La reunión la dirige el scrum master y durante la reunión se decide el equipo decide el objetivo del Sprint.
- **Sprint:** es el período tiempo real donde el equipo Scrum trabaja en conjunto para completar el incremento. La duración de un sprint suele ser de dos semanas, aunque

algunos equipos informan que es más fácil asignar cuatro semanas al alcance o un mes para asignar incrementos valiosos.

- **Daily Scrum o Quick Meeting:** es una reunión diaria que por lo general es muy corta, siempre se lleva a cabo a la misma hora (normalmente, por la mañana) y en el mismo lugar para facilitar las cosas. Muchos equipos intentan terminar la reunión en 15 minutos.
- **Revisión de Sprints:** Al final del sprint, el equipo se reúne en una sesión para revisar la demostración o inspeccionar el desarrollo.
- **Sprint retrospectivo:** Es donde el equipo de desarrollo se reúne para documentar y revisar qué funcionó y qué no sobre el sprint, el proyecto, las personas o relaciones, las herramientas e incluso algunos protocolos.[44].

11. **DeepSort**

DeepSort es una versión mejorada de SORT, y se ha convertido en uno de los mejores algoritmos de seguimiento, además de uno de los más utilizados en proyectos de inteligencia artificial. DeepSort incorpora información sobre la apariencia de los objetos mediante vectores creados a partir de capas ocultas de una red neuronal, lo que permite realizar seguimientos más prolongados y con una mejor precisión. Los algoritmos DeepSort y Sort son los más eficientes en el seguimiento de objetos, considerando el equilibrio entre precisión y velocidad.[45]

12. **Filtro Kalman.**

Es un algoritmo altamente utilizado en el aprendizaje automático para poder evaluar el estado de un sistema dinámico a partir de una serie de mediciones ruidosas e incompletas.

- **Función de los filtros Kalman**

- **Predecir:** A partir del estado anterior del, estima cómo evolucionará con el tiempo, basándose en un modelo matemático.
- **Actualización:** Compara la medición con el estado predicho y actualiza la estimación, dando más peso a la predicción o a la medición en función a sus respectivas incertidumbres.

- ***Característica de los filtros Kalman.***

- **Recurso:** procesa las mediciones de una manera continua conforme llegan, sin necesidad de almacenar todo el historial de las mediciones pasadas.
- **Estimación del estado:** infiere en el estado interno de un sistema, por ejemplo, velocidad o posición, que no pueden medirse directamente.

- ***Aplicaciones de los filtros Kalman.***

- **Seguimiento de objetos:** en visión por computadora, los filtros Kalman son esenciales para predecir la posición futura de los objetos detectados, como peatones o vehículos, en fotogramas de video, eso ayuda a mantener identidades coherentes incluso con breves oclusiones o fallos de detección. Los rastreadores como SORT o DeepSort dependen de gran medida de los filtros Kalman para la predicción del movimiento. YOLO aprovecha muy bien este algoritmo de seguimiento; por ejemplo, un sistema de seguridad que podría utilizar un filtro Kalman para seguir suavemente a una persona que camina por el campo de visión de la cámara.
- **Robótica y navegación:** los filtros Kalman son fundamentales para combinar datos de distintos sensores para estimar la posición y orientación de un robot. Por ejemplo, un vehículo autónomo podría fusionar lecturas GPS ruidosas con datos de unidades de medición inercial (IMU) y odometría de ruedas utilizando un KF para obtener una estimación fiable de su ubicación y velocidad.[46]

13. Google Lighthouse

Lighthouse es una herramienta automatizada de código abierto diseñada para optimizar la calidad de las páginas web. Se puede ejecutar en cualquier sitio, ya sea de acceso público o protegido por autenticación. Su función abarca diversas auditorías, incluyendo rendimiento, accesibilidad, aplicaciones web progresivas, SEO y mucho más.

Se puede utilizar Lighthouse a través de las Herramientas para desarrolladores de Chrome, por medio de la línea de comandos o como un módulo de Node. Al

proporcionarle una URL, Lighthouse llevará a cabo una serie de evaluaciones en la página y generará un informe detallado sobre su rendimiento.

➤ **¿cómo se pondera la puntuación de rendimiento**

La puntuación de rendimiento se calcula como un promedio ponderado de varias métricas. De forma natural, las métricas que tienen mayor peso influyen más en tu puntuación general. Aunque no podrás ver las puntuaciones de cada métrica en el informe, estas se calculan internamente. Es importante mencionar que las ponderaciones pueden variar con el tiempo, ya que el equipo de Lighthouse investiga y recopila constantemente comentarios para identificar qué aspectos impactan más en la experiencia de rendimiento desde la perspectiva del usuario.

➤ **¿cómo se puntúa la accesibilidad?**

La puntuación de accesibilidad de Lighthouse se calcula como un promedio ponderado de todas las auditorías de accesibilidad, teniendo en cuenta el impacto que estas evaluaciones tienen en los usuarios, según Axe.

En este proceso, cada auditoría de accesibilidad se considera aprobada o rechazada. A diferencia de las auditorías de rendimiento, en las que se pueden obtener puntos por aprobar parcialmente, en el caso de la accesibilidad, una página no recibe ningún puntaje si falla en algún aspecto. Por ejemplo, si algunos botones en una página cuentan con nombres accesibles, pero otros no, la auditoría correspondiente resultará en un 0, ya que la falta de nombres accesibles en los botones es motivo de rechazo[47].

C. Variables de estudio

En esta investigación, se ha definido el uso de la analítica de datos mediante el algoritmo YOLO como la variable independiente, mientras que las variables dependientes se relacionan con los aspectos técnicos y de usabilidad del sistema desarrollado. Las variables se describen a continuación:

1. Variables independientes

- Analítica de datos mediante YOLO.

2. Variables dependientes

- Exactitud en los datos de flujos peatonales y vehiculares.
- Usabilidad del sitio web.

D. Definición nominal de las variables

En el ámbito del proyecto dedicado a analizar flujos peatonales y vehiculares en sectores estratégicos de Pasto se identificaron las variables nominales esenciales para la analítica de datos en estos puntos clave de la ciudad[47]. Las siguientes variables nominales son necesarias para el análisis de comportamiento de personas y vehículos en el sector urbano:

Variables independientes.

- Analítica de datos mediante YOLO: YOLO es una eficiente herramienta de reconocimiento de imágenes y video que permite la clasificación y detección de para identificar patrones de comportamiento en los flujos peatonales y vehiculares.

Variables dependientes.

- Exactitud en los datos de flujos peatonales y vehiculares: Variable que va a determinar la información sobre las tendencias de los peatones y vehículos en los sectores estratégicos de San Juan de Pasto.
- Usabilidad del sitio web: Métrica que permite determinar qué tan intuitivo en la facilidad de uso es el sitio web con la información que presenta.

E. Definición operativa de variables

Para el proyecto sobre analizar flujos peatonales y vehiculares en sectores estratégicos de Pasto se identificaron las variables operativas, que se deben tener en cuenta para la obtención de la información.

Variables independientes.

- Analítica de datos mediante YOLO: Este estudio utilizará la herramienta de analítica de datos YOLO para la clasificación y detección de objetos en imágenes y videos, con el objetivo de identificar patrones de comportamiento en los flujos peatonales y vehiculares.

Variables dependientes.

- Exactitud en los datos de flujos peatonales y vehiculares: Se evaluará la precisión y efectividad del algoritmo YOLO en la correcta identificación y clasificación de peatones y vehículos en las imágenes y videos capturados.
- Usabilidad del sitio web: Se medirá la facilidad de uso del sitio web desarrollado para visualizar la información procesada, utilizando encuestas de usuarios y pruebas de usabilidad.

F. Formulación de hipótesis

1. Hipótesis de investigación

La aplicación de analítica de datos en sectores urbanos puede identificar con un alto grado de precisión tendencias de comportamiento en los flujos peatonales y vehiculares.

2. Hipótesis nula

La aplicación de analítica de datos en sectores urbanos no puede identificar con precisión tendencias de comportamiento en los flujos peatonales y vehiculares.

3. Hipótesis alterna

La aplicación de analítica de datos en sectores urbanos para identificar tendencias de comportamiento en los flujos peatonales y vehiculares puede ser limitada, por factores como la calidad de los datos e integración de dispositivos tecnológicos.

III. METODOLOGÍA

A. Paradigma

Esta investigación opta por un paradigma positivista, puesto que se busca que las tendencias y patrones de los flujos peatonales y vehiculares puedan ser observados, analizados y cuantificados objetivamente, mediante el uso de tecnologías de detección de objetos y algoritmos de Inteligencia artificial, permitiendo tener un enfoque de recolección de datos más precisa. Este enfoque proporciona un marco metodológico sólido para predecir con precisión las tendencias de comportamiento de los puntos estratégicos de la ciudad. El paradigma positivista se caracteriza por verificar el conocimiento con el fin de plantear nuevas hipótesis, todo esto fundamentado desde el conocimiento cuantitativo[48]. De esta manera se contribuye a que la información obtenida al observar el comportamiento peatonal y vehicular sea tomada en cuenta en la búsqueda de optimizar la movilidad.

B. Enfoque

El proyecto de investigación se desarrollará bajo un enfoque cuantitativo. De esta manera, se opta por un enfoque de investigación cuantitativa, debido a que se integran tecnologías de detección de objetos y algoritmos de inteligencia artificial. El enfoque cuantitativo es analítico, un método ideal para identificar tendencias, puesto que este enfoque tiene como finalidad de responder preguntas de una muestra de estudio[49]. Por lo tanto, utilizar este enfoque es fundamental para identificar patrones y tendencias para generar una toma de decisiones confiable.

C. Método

El proyecto de investigación se fundamenta en el método científico, y para implementar el desarrollo ingenieril en la metodología CRISP-DM (Cross-Industry Standard Process for Data Mining); este método es el más adecuado para esta investigación ya que se enfoca en extraer patrones de comportamiento, aplicando diferentes técnicas, herramientas de detección de objetos e inteligencia artificial garantizando un correcto análisis de datos para la detección de tendencias de comportamiento.

D. Tipo de investigación

El tipo de investigación a realizar se encuentra dentro del tipo correlacional, dado que este tipo de investigación permite examinar la relación de las variables sin necesidad de una manipulación experimental, esto es bastante útil en el estudio de analizar tendencias de comportamiento en el sector urbano puesto que no se necesita la manipulación directa de las variables ya que no es práctica.

E. Diseño de investigación

En la investigación se tiene en cuenta el tipo de diseño cuasiexperimental, con el fin de evaluar intervenciones en el entorno real, sin necesidad de la manipulación completa de las variables. Este diseño de investigación es ideal dado que no se asignan variaciones aleatorias. En el contexto del análisis de flujos peatonales y vehiculares, las condiciones no pueden ser controladas de manera rigurosa. A través del diseño de investigación cuasiexperimental, se puede afrontar situaciones donde no es posible o no es ético aplicar metodología experimental. Asimismo, este diseño nos facilita utilizar los recursos existentes, que en este caso serían, las cámaras de seguridad, para la recopilación y análisis de los datos, llevando a cabo un estudio menos invasivo y más viable.

F. Población

La población objetivo a estudiar es: Los peatones, incluyen personas que caminan y transitan por determinados tramos. Vehículos, que incluyen autos particulares, buses, motocicletas, bicicletas, etc. Puntos de estudio, incluye 21 puntos de estudio donde hay alta influencia de personas y flujo vehicular.

G. Muestra

Para la investigación en curso se tomará el método de muestreo sistemático, emerge como una elección adecuada para la investigación sobre identificar tendencias de comportamiento en flujos peatonales y vehiculares en sectores estratégicos de la ciudad de Pasto por varias razones. En primer lugar, al seguir un enfoque sistemático, se garantiza un entrecruzamiento uniforme de los puntos de observación en los sectores seleccionados, permitiendo retratar una muestra proporcional de la movilidad urbana en estas áreas críticas. De ese modo, la uniformidad en la

selección de los puntos de muestra nos brinda una visión panorámica de los flujos de tráfico vehicular y peatonal, que erradica cualquier sesgo espacial inherente en otros métodos de muestreo.

H. Técnicas de recolección de información

El elemento principal para la recolección de información serán las cámaras de videovigilancia y videos complementarios grabados por los investigadores en los puntos estratégicos de la ciudad con el fin de capturar los datos del tráfico vehicular y peatonal, estas grabaciones se harán en zonas comerciales, escuelas, parques y lugares de trabajo.

El segundo elemento que se usara para la detección automática de los patrones de comportamiento de vehículos y peatones, será el software llamado YOLO (You Look Once), mediante este software se procesara las grabaciones para identificar automáticamente los tipos de vehículos y movimientos peatonales.

El tercer elemento para llevar a cabo la investigación, será la metodología Crisp-DM, necesaria para definir claramente los datos que se necesitan.

1. Validez de las técnicas de recolección

Las técnicas de recolección elegidas son válidas ya que se tomarán sitios donde las cámaras cubran adecuadamente las áreas más relevantes para el estudio, además de eso nos aseguraremos que la calidad de imagen sea suficiente para permitir identificar a los peatones y vehículos de manera clara. Asimismo, se coordinó con la entidad que manejan los sistemas de cámaras para poder acceder a las grabaciones. Posteriormente, se realizarán pruebas de estos videos en el software YOLO para determinar el desempeño de las grabaciones, esta verificación es crucial puesto que se necesita confirmar que el software detecta correctamente los vehículos y el movimiento peatonal

2. Confiabilidad de las técnicas de recolección.

Es confiable, puesto que se asegurará que los videos proporcionados mantengan una calidad y formato consistentes. Esto implica verificar que la configuración de las cámaras no varíe tanto

entre los puntos de recolección. A su vez, con la herramienta YOLO, se garantiza la correcta identificación en tiempo real de patrones de comportamiento de peatones y vehículos garantizando que sea consistente a lo largo del estudio. Además, se realizarán revisiones periódicas de los datos recopilados con el fin de corregir errores. En el caso de la metodología CRISP-DM, se seguirán los estándares para cada fase, desde la comprensión y preparación de los datos hasta modelado y evaluación, asegurando la documentación rigurosa de los procesos, ayudando a mantener la precisión de los resultados, garantizando que las decisiones basadas en estos datos sean confiables y efectivas.

I. Instrumentos de recolección de información.

El instrumento de recolección de información que se utilizó son las cámaras de seguridad ubicadas en los puntos estratégicos de la ciudad y grabaciones propias realizadas por el equipo investigador, siendo la principal fuente de información. Las cámaras grabaran el tráfico peatonal y vehicular para su respectivo análisis. Además, se recibirán los videos grabados en DVD que posteriormente se digitalizarán para realizar el estudio.

IV. RESULTADOS DE LA INVESTIGACIÓN

En esta sección se mostrarán obtenidos a partir de la detección de objetos, tanto para peatones como para el tráfico vehicular.

A. Identificar métodos tecnológicos que permitan la captura de información digital mediante la clasificación de imágenes y videos.

1. primeros hallazgos

En esta fase del proyecto, las cámaras de videovigilancia fueron fundamentales para la captura de datos de tráfico vehicular y peatonal en la ciudad. Cabe resaltar que este estudio se enmarca dentro de la investigación profesoral/estancia en línea titulada “FORMULACIÓN DE RECOMENDACIONES PARA EL APROVECHAMIENTO DE PROXIMIDADES DE SERVICIOS BAJO EL ENFOQUE DE CIUDAD DE 15 MINUTOS EN EL ORDENAMIENTO TERRITORIAL DE PASTO, APOYADO EN ANALÍTICA DE DATOS”, con la participación de un equipo interdisciplinario conformado por: la Magister en gobierno urbano Ana María Gonzáles Bastidas, docente investigadora del programa de Arquitectura; el ingeniero Luis Arnoby Escobar Hernández, docente investigador del programa de Ingeniería de Sistemas; y Karen Larisa Pabón Jaramillo, estudiante del programa de Arquitectura.

Como parte de la planificación metodológica, se llevó a cabo una reunión en la que se definieron los criterios de selección de puntos estratégicos para la captura de información. Estos puntos fueron seleccionados con base en la investigación desarrollada por la estudiante Karen Larisa Pabón Jaramillo, a partir de su análisis, se identificaron las zonas con mayor relevancia, permitiendo que la investigación actual se enfocara en aquellos sectores donde patrones de tránsito peatonal y vehicular tienen un impacto significativo en la planificación actual.

- ***Selección de ubicaciones estratégicas:*** A partir del análisis previo, se identificaron 21 puntos clave en la ciudad de los cuales cinco puntos prioritarios que serán objeto de estudio, estos puntos fueron seleccionados con base en criterios como: densidad de peatones y vehículos, proximidad a centros comerciales, colegios y parques; incidencia de problemas de movilidad como (congestión, accidentes, invasión de espacio público).

- **Proceso de captura y almacenamiento:** Los videos utilizados en esta investigación provienen de cámaras de videovigilancia proporcionados por la Policía Metropolitana de San Juan de Pasto, complementadas con grabaciones propias realizadas por el equipo de investigación en las ubicaciones estratégicas seleccionadas. Para optimizar la gestión de datos, se establecieron períodos de grabación diferenciados en función de la demanda de movilidad, clasificándolos en intervalos de alta congestión y baja afluencia, posteriormente se definió un sistema de segmentación de video en intervalos de 10 minutos, permitiendo un proceso más eficiente de la información y facilitando su análisis.

2. Solicitud de permisos a la Policía Metropolitana para la obtención de videos.

Como parte del desarrollo de la investigación, fue necesario recopilar datos en los puntos estratégicos de San Juan de Pasto, lo que implicó obtener acceso a las grabaciones de las cámaras de videovigilancia operadas por las autoridades locales, específicamente por la Policía Metropolitana de Pasto.

El proceso de gestión para solicitar el permiso fue liderado por la investigadora principal, Ana María Gonzáles Bastidas, y el coinvestigador, Luis Arnoby Escobar Hernández, ambos investigadores llevaron a cabo las gestiones necesarias para obtener la autorización formal por parte de las autoridades competentes. La solicitud se realizó con el propósito de obtener información precisa sobre el flujo peatonal y vehicular en zonas de alto tráfico. Implementar análisis de movilidad basado en datos reales, sin comprometer la privacidad de los ciudadanos.

Para el proceso, se redactó un documento oficial dirigido a la Policía Metropolitana de Pasto que se encuentra en el **Anexo 1: solicitud de colaboración a la Policía Metropolitana**. En la cual se especificaron los siguientes aspectos:

- El objetivo del estudio donde se explica la investigación y su impacto en la planificación urbana.

- Especificación de la zona horaria y los puntos de interés, detallando las zonas y horarios requeridos para el análisis.
- Compromiso de uso exclusivo de los videos para fines investigativos, garantizando la protección de la privacidad y el cumplimiento de las normativas de seguridad.

Tras la presentación de la solicitud, se obtuvieron los permisos correspondientes, permitiendo el acceso a las grabaciones en formato DVD.

3. Consideraciones éticas y legales.

Previo a la firma del acta de compromiso, se llevó a cabo una capacitación sobre seguridad de la información, dirigida por el Magister en ciencia de la información y las comunicaciones, Jairo Andrés Casanova Caicedo asesor de seguridad de la información y gobierno de datos de Universidad CESMAG. En esta sesión, los investigadores y demás miembros del equipo recibieron orientación sobre las normativas vigentes en Colombia en materia de protección de datos, los procedimientos adecuados para el manejo de la información sensible y las medidas para garantizar la confidencialidad de los videos obtenidos. Como resultado de esta capacitación, surgió la necesidad de generar un formato, destinado a salvaguardar la privacidad, integridad y disponibilidad de la información. Este formato se encuentra detallado en el **Anexo 2: compromiso de confidencialidad.**

Una vez finalizada la capacitación, se procedió a la firma del acta de compromiso, en la que se establecieron lineamientos claros para el uso y tratamiento de los datos recopilados. Este documento aseguró el cumplimiento de la Ley 1581 de 2012 de Colombia[50], la cual protege el derecho fundamental de los ciudadanos a la privacidad y al tratamiento adecuado de sus datos personales. En el acta, se garantizó que:

- La información obtenida no comprometerá la identidad de los ciudadanos sin su consentimiento.
- Los videos serán utilizados únicamente con fines investigativos, evitando cualquier otro uso no autorizado.

- Se prohíbe la divulgación pública del material audiovisual, asegurando el manejo responsable y ético de la información.

➤ ***Problemas encontrados en la calidad de los videos.***

durante el análisis de los videos proporcionados por la policía nacional de pasto, se identificaron las siguientes limitaciones:

- ❖ ***Baja resolución:*** la mayoría de los videos estaban en formatos 480p o inferiores, lo que afectaba la nitidez de los objetos afectados
- ❖ ***Condiciones de iluminación:*** varias grabaciones tenían iluminación deficiente en horarios nocturnos o en días nublados.
- ❖ ***Comprensión de la imagen:*** el formato de grabación la comprensión de los objetos se ve afectada reduciendo la claridad de las formas y dificultando la identificación precisa de peatones y vehículos.

➤ ***Estrategias implementadas.***

para mitigar estos problemas, se optó grabar videos de refuerzo con el equipo de investigación, con el fin continuar con la investigación y garantizar mejor claridad en los datos. Para asegurar que la detección sea eficiente, se contempló la contratación de Google Colab y almacenamiento de Google Drive.

4. Definición de variables para el análisis de movilidad.

Para la identificación y clasificación de variables en la investigación, se realizó una reunión en la que se definieron las variables para el análisis tanto de peatones como del tráfico vehicular. Como resultado de esta reunión, se establecieron dos categorías principales de variables:

- ❖ ***Variables para el análisis de los peatones:*** género (masculino y femenino), número de personas que transitan en un lugar específico y trayectoria.

- ❖ **Variables para el análisis de tráfico:** tipo de vehículo (carro, moto, camioneta, bicicleta, bus, scooter), velocidad del vehículo (en km/h) y trayectoria del vehículo.

La selección de las variables se formalizó en el **Acta No. 4-2024-2**, donde se registró el proceso de discusión y decisión, asegurando que las métricas definidas sean pertinentes para el análisis de movilidad en el contexto de la investigación. El acta de la reunión se encuentra detallado en el **Anexo 3: acta de definición de variables**.

5. Implementación y aplicación del algoritmo de YOLO para la detección de variables de tráfico.

Para la instalación y configuración del entorno se implementó Python la versión 3.13.2 junto con las bibliotecas de Ultralytics, OpenCV, PyTorch, DeepSORT y el modelo utilizado es YOLOx para una precisión más exacta.

➤ Resultados de la variable velocidad del vehículo (km/h) con el modelo YOLO8x.pt

Para el desarrollo de la variable velocidad del vehículo (km/h) se empleó el modelo de detección de objetos YOLOv8x, seleccionado por su mayor capacidad y precisión en comparación con versiones más ligeras del mismo modelo. La implementación se realizó en el entorno de Google Colab, aprovechando el uso de la GPU T4 disponible en dicha plataforma, lo cual permitió una ejecución eficiente del modelo y un procesamiento fluido de los datos.

Junto con YOLOv8x, se integraron técnicas de procesamiento de video mediante OpenCV, que facilitaron la lectura, análisis cuadro a cuadro y seguimiento de los objetos detectados. Este enfoque permitió calcular con mayor precisión la velocidad de los vehículos a partir de su desplazamiento en el plano de la imagen y su relación con el tiempo.

A continuación, se describe el procedimiento aplicado para la estimación de dicha variable.

- Se instalaron las dependencias adicionales necesarias para el funcionamiento del sistema. Entre ellas, se incluyó la librería Ultralytics, que proporciona la implementación oficial

del modelo YOLOv8, y FilterPy, una biblioteca especializada en filtros de Kalman y estimación bayesiana, fundamental para el correcto funcionamiento del algoritmo de seguimiento DeepSort. Estas instalaciones garantizaron la integración adecuada de los componentes y la ejecución estable del sistema, como se muestra en la figura correspondiente.

```

pip install ultralytics
pip install filterpy

Collecting ultralytics
  Downloading ultralytics-8.3.107-py3-none-any.whl.metadata (37 kB)
Requirement already satisfied: numpy<2.1.1,>=1.23.0 in /usr/local/lib/python3.11/dist-packages (from ultralytics) (2.0.2)
Requirement already satisfied: matplotlib>3.3.0 in /usr/local/lib/python3.11/dist-packages (from ultralytics) (3.10.0)
Requirement already satisfied: opencv-python>4.6.0 in /usr/local/lib/python3.11/dist-packages (from ultralytics) (4.11.0.86)
Requirement already satisfied: pillow>7.1.2 in /usr/local/lib/python3.11/dist-packages (from ultralytics) (11.1.0)
Requirement already satisfied: pyyaml>5.3.1 in /usr/local/lib/python3.11/dist-packages (from ultralytics) (6.0.2)
Requirement already satisfied: requests>2.23.0 in /usr/local/lib/python3.11/dist-packages (from ultralytics) (2.32.3)
Requirement already satisfied: scipy>1.4.1 in /usr/local/lib/python3.11/dist-packages (from ultralytics) (1.14.1)
Requirement already satisfied: torch>1.8.0 in /usr/local/lib/python3.11/dist-packages (from ultralytics) (2.6.0+cu124)
Requirement already satisfied: torchvision>0.9.0 in /usr/local/lib/python3.11/dist-packages (from ultralytics) (0.21.0+cu124)
Requirement already satisfied: tqdm>4.64.0 in /usr/local/lib/python3.11/dist-packages (from ultralytics) (4.67.1)
Requirement already satisfied: psutil in /usr/local/lib/python3.11/dist-packages (from ultralytics) (5.9.5)
Requirement already satisfied: py-cpuinfo in /usr/local/lib/python3.11/dist-packages (from ultralytics) (9.0.0)
Requirement already satisfied: pandas>1.1.4 in /usr/local/lib/python3.11/dist-packages (from ultralytics) (2.2.2)
Requirement already satisfied: seaborn>0.11.0 in /usr/local/lib/python3.11/dist-packages (from ultralytics) (0.13.2)

```

Fig 8.Instalación de dependencias mediante pip.

- Se descargaron los archivos necesarios para la implementación del sistema de seguimiento de objetos mediante DeepSort. El paquete incluía el código fuente desarrollado en PyTorch, los modelos preentrenados para el seguimiento, y las dependencias adicionales requeridas para su ejecución. Esta estructura permitió integrar DeepSort con el modelo de detección YOLOv8 de manera eficiente.

```

!gdown "https://drive.google.com/uc?id=11Z5ZcG-bcbueXZC3rN08CM0qqX3eiHxf&confirm=t"

Downloading...
From: https://drive.google.com/uc?id=11Z5ZcG-bcbueXZC3rN08CM0qqX3eiHxf&confirm=t
To: /content/YOLOv8-DeepSORT-Object-Tracking/ultralytics/yolo/v8/detect/deep_sort_pytorch.zip
100% 43.1M/43.1M [00:00<00:00, 56.2MB/s]

```

Fig 9. descarga de DeepSort desde su repositorio.

- Dentro del entorno de Google Colab, se creó un archivo en formato Python ubicado en una carpeta de Google Drive vinculada al entorno de trabajo. En este archivo, se importaron las librerías necesarias para la ejecución del sistema, tales como OpenCV, NumPy, datetime, Ultralytics, DeepSort, Pandas y Torch. Finalmente, se cargó el modelo YOLOv8x, el cual fue configurado para ejecutarse utilizando CUDA, aprovechando la

GPU T4 proporcionada por Colab para acelerar los procesos de detección y seguimiento de objetos. Tal como se muestra en la figura.

```

1 import cv2
2 import numpy as np
3 from datetime import datetime
4 from ultralytics import YOLO
5 from sort import Sort
6 from google.colab.patches import cv2_imshow
7 from tqdm import tqdm
8 import pandas as pd
9 from shapely.geometry import box as shapely_box
10 import torch
11 |
12 # Verificar si la GPU está disponible
13 if torch.cuda.is_available():
14 |     print("GPU disponible!")
15 else:
16 |     print("GPU no disponible. Usando CPU.")
17

```

Fig 10. fragmento de código para la configuración del entorno.

- Se establecieron tres líneas horizontales (azul, verde y roja) como puntos de control para estimar la velocidad de los vehículos. El sistema registro las coordenadas y el tiempo exacto en que cada vehículo. El sistema registro las coordenadas y el tiempo exacto en que cada vehículo cruzo dichas líneas, permitiendo calcular la velocidad promedio mediante la formula basada en la distancia recorrida y el tiempo transcurrido entre cruces. Tal como se muestra en la figura.

```

# Detección de cruces
if track_id not in cross_blue_line and crossed(prev_y, yc, BLUE_LINE[0][1]):
    cross_blue_line[track_id] = {"time": datetime.now(), "point": (xc, yc)}
elif track_id in cross_blue_line and track_id not in cross_green_line and crossed(prev_y, yc, GREEN_LINE[0][1]):
    cross_green_line[track_id] = {"time": datetime.now(), "point": (xc, yc)}
elif track_id in cross_green_line and track_id not in cross_red_line and crossed(prev_y, yc, RED_LINE[0][1]):
    cross_red_line[track_id] = {"time": datetime.now(), "point": (xc, yc)}

# Calcular velocidad
if (track_id in cross_blue_line and track_id in cross_green_line and track_id in cross_red_line and track_id not in calculated_speeds):
    v1 = calculate_avg_speed(cross_blue_line[track_id]["time"], cross_green_line[track_id]["time"], cross_blue_line[track_id]["point"], cross_green_line[track_id]["point"])
    v2 = calculate_avg_speed(cross_green_line[track_id]["time"], cross_red_line[track_id]["time"], cross_green_line[track_id]["point"], cross_red_line[track_id]["point"])
    avg = round((v1 + v2) / 2, 2)
    avg_speeds[track_id] = f"{avg} km/h"
    calculated_speeds.add(track_id)
    excel_data.append({
        "ID": track_id,
        "Tipo": object_types.get(track_id, "desconocido"),
        "Velocidad": avg
    })

```

Fig 11. Fragmento de código para la detección de cruces y cálculo de velocidad de objetos.

- El sistema visualizó en tiempo real las cajas delimitadoras, el tipo de vehículo y la velocidad estimada sobre el video original. Finalmente, se exportó el video procesado con todos estos elementos superpuestos para su validación y análisis visual.

➤ **Resultados de la detección de vehículos con la variable km/h**

A continuación, se presentan las imágenes capturadas del video procesado en el sector Obrero, donde se evidencia el cálculo de velocidad realizado por el sistema. Tal como se muestra en la siguiente figura.

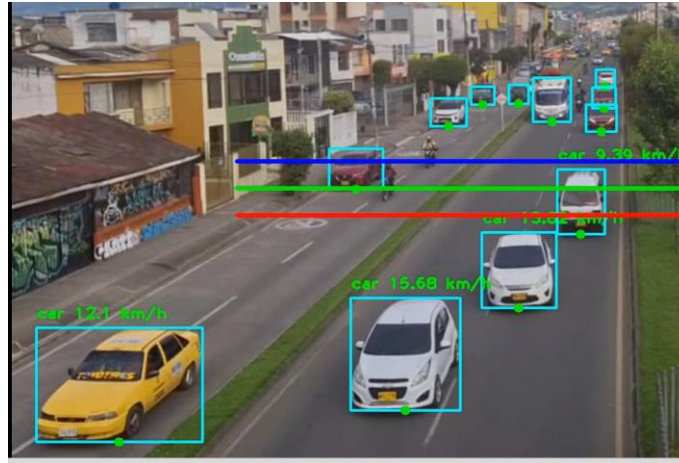


Fig 12. Visualización del sistema de detección y estimación de velocidad vehicular en el sector obrero.

Durante el procesamiento del video en el sector Obrero, se identificaron dificultades específicas en la detección y seguimiento de motocicletas, atribuibles principalmente a la calidad del video y la resolución limitada de los cuadros. Estas condiciones afectaron la precisión del modelo en objetos pequeños o con siluetas poco definidas, como es el caso de las motos. En varios casos, el ID asignado por el sistema de seguimiento se perdía antes de que el objeto cruzara las tres líneas virtuales establecidas para el cálculo de velocidad, impidiendo así completar el registro de tiempo necesario para estimar esta variable. Esta limitación técnica redujo la cantidad de datos confiables sobre la velocidad de motocicletas en comparación con otros tipos de vehículos. Tal como se muestra en la siguiente figura.

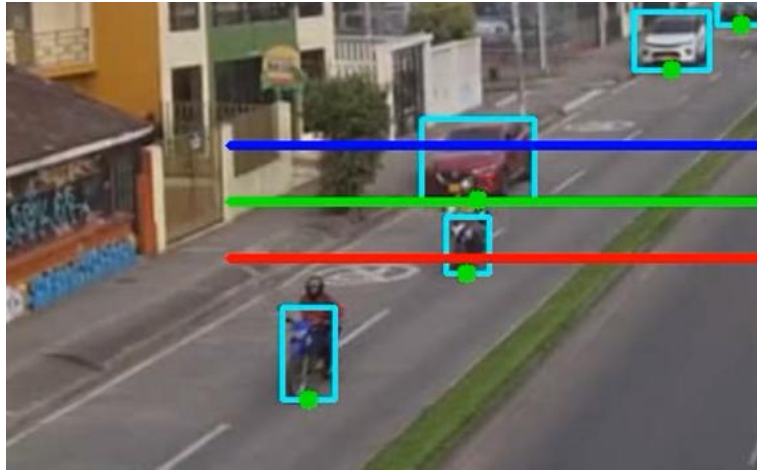


Fig 13. Limitaciones del modelo YOLO en la detección de motocicletas.

La variable velocidad del vehículo (km/h) solo pudo ser calculada en el sector Obrero, ya que fue el único punto en el que la posición, altura y ángulo de la cámara permitieron una visibilidad continua y estable del desplazamiento completo de los vehículos a través de las tres líneas virtuales definidas para la medición. En los demás sectores evaluados, las condiciones técnicas de grabación como, ángulos bajos, obstrucción por elementos urbanos o interrupciones por otros vehículos impidieron que el sistema capturara de forma íntegra las trayectorias necesarias para estimar esta variable con precisión.

➤ ***Resultados de las variables tipo de vehículo y trayectoria YOLO8l.pt***

Para el desarrollo de las variables tipo de vehículo y trayectoria se utilizó el modelo de detección de objetos YOLO8l, una versión más liviana pero caracterizada por su capacidad y precisión. El proceso se realizó en el entorno de Google Colab. Para agilizar el proceso de ejecución se utilizó la GPU T4 disponible en dicha plataforma, lo cual permitió una ejecución más eficiente del modelo. Para el análisis se configuró de la siguiente manera

- Para calcular estas dos variables se importaron librerías esenciales para lograr el procesamiento de los videos, como, Opencv , numpy, ultralytics, pandas y DeepSort, tal como se muestra en la siguiente imagen.

```
import cv2
import numpy as np
from ultralytics import YOLO
from tqdm import tqdm
import pandas as pd
from shapely.geometry import box as shapely_box
from deep_sort_realtime.deepsort_tracker import DeepSort
```

Fig 14. fragmento de código para la configuración del entorno.

- Para la detección y seguimiento de objetos en el video, se configuró un sistema basado en YOLOv8l y el algoritmo de seguimiento DEEPSORT. En primer lugar, se cargó el video utilizando OpenCV, permitiendo su procesamiento cuadro por cuadro. Posteriormente, se inicializó el rastreador DeepSort, el cual se configuró para optimizar la gestión de los identificadores de seguimiento. Para este proceso se establecieron los siguientes parámetros.
 - Se estableció un valor de max_age de 50 fotogramas, lo que permitió que un objeto permaneciera en seguimiento durante un máximo de 50 cuadros antes de descartarlo.
 - Se asignó un valor de n_init de 3, haciendo que un objeto pueda ser detectado en al menos tres fotogramas consecutivos antes de asignarle un ID definitivo, reduciendo el riesgo de asignar IDs a detecciones erróneas o falsos positivos.
 - Para disminuir la oclusión parcial, se estableció un umbral de max_cosine_distance de 0.2, que ajustó la tolerancia en la comparación de características visuales entre detecciones consecutivas y mejorando la robustez. Esta configuración permitió un seguimiento más preciso. Tal como se muestra en la siguiente imagen.

```
fourcc = cv2.VideoWriter_fourcc(*'mp4v')
out = cv2.VideoWriter(OUTPUT_VIDEO_PATH, fourcc, fps, (width, height))

model = YOLO("yolov8l.pt")
tracker = DeepSort(max_age=50, n_init=3,
                  max_cosine_distance=0.2)
```

Fig 15. Configuración del modelo de detección YOLO y el rastreador DeepSORT.

➤ **Obtención de trayectorias y tipo de vehículos.**

Durante el seguimiento, en cada nuevo cuadro del video se calculó el punto central del cuadro delimitador (bounding box) de cada vehículo, estos puntos centrales fueron almacenados de manera secuencial en una estructura de datos secuencial asociada al id del objeto, generando así la trayectoria recorrida por cada vehículo a lo largo del tiempo.

Para visualizar las trayectorias, se implementó una función que dibuja líneas entre los puntos consecutivos de cada objeto en el video procesado, permitiendo observar de forma gráfica la ruta seguida por cada vehículo durante su desplazamiento, la trayectoria se expresa como una secuencia ordenada (x, y) que corresponden a los centros de las cajas a lo largo del video.

En el proceso del análisis, se obtuvo un conjunto de vehículos clasificados de acuerdo con las clases previamente definidas, los objetos detectados corresponden a carros, motocicletas, buses y camiones, en proporciones variables dependiendo de la zona. También permitió identificar vehículo no motorizado tipo bicicleta, aunque en menor frecuencia debido a la menor representación de este tipo de transporte en la zona evaluada.

Una vez realizado el análisis, se registró en un archivo Excel, donde se almacenó: id del vehículo, tipo de vehículo y trayectoria (expresada en una secuencia ordenada en coordenadas x, y)

```

14 # Clases válidas
15 CLASS_NAMES = {
16     1: 'bicycle',
17     2: 'car',
18     3: 'motorcycle',
19     5: 'bus',
20     7: 'truck'
21 }

label = track.get_det_class()

# Asociar el tipo al ID del objeto rastreado
object_types[track_id] = label

# Dibujar la caja delimitadora y mostrar el tipo e ID en el video
cv2.rectangle(frame, (x1, y1), (x2, y2), (255, 255, 0), 2)
cv2.putText(frame, f"{label} ID:{track_id}", (x1, y1 - 5),
            cv2.FONT_HERSHEY_SIMPLEX, 0.6, (0, 255, 0), 2)

```

Fig 16. Detección y registro del tipo de vehículo.

```

# Obtener el centro del bounding box
center = (int((x1 + x2) / 2), int((y1 + y2) / 2))

# Guardar el centro en la lista de trayectorias del objeto
if track_id not in trajectories:
    trajectories[track_id] = []
trajectories[track_id].append(center)

# Dibujar la trayectoria uniendo puntos consecutivos
for j in range(1, len(trajectories[track_id])):
    cv2.line(frame, trajectories[track_id][j - 1], trajectories[track_id][j], (0, 255, 255), 2)

```

Fig 17. Cálculo de trayectoria.

➤ *Resultados obtenidos de la zona Vipri.*

En el video procesado corresponde al sector Vipri, con un intervalo de tiempo de 10 minutos, donde se evidenció para cada objeto detectado la asignación de un identificador único (ID), el tipo de vehículo correspondiente (carro, motocicleta, bus, camión) y su trayectoria representada gráficamente mediante líneas continuas.

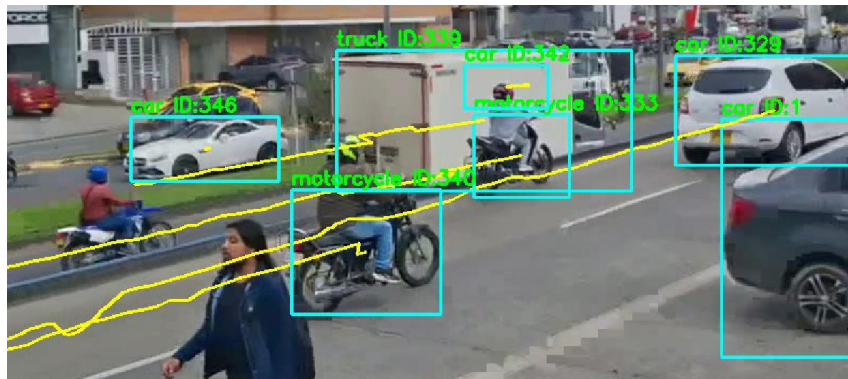


Fig 18. Visualización de tipo de vehículo y seguimiento de objetos mediante trayectorias en un entorno urbano.

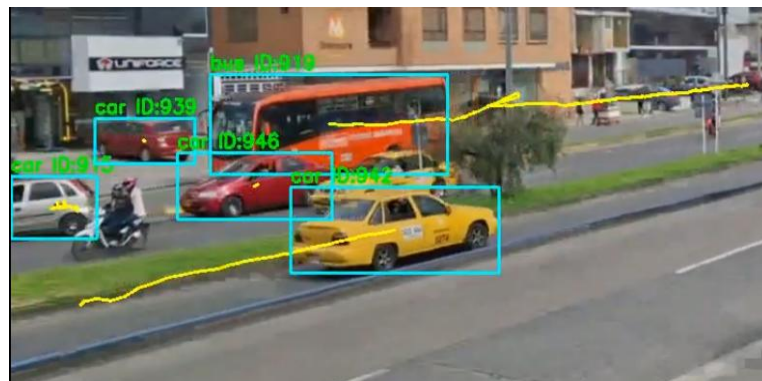


Fig 19. Seguimiento de vehículos en movimiento mediante DeepSORT y YOLOv8.

➤ **Resultados obtenidos de la zona parque Nariño.**

En el video procesado corresponde al sector parque Nariño, con un intervalo de tiempo de 10 minutos, donde se evidenció para cada objeto detectado la asignación de un identificador único (ID), el tipo de vehículo correspondiente (carro, motocicleta, bus, camión y bicicleta) y su trayectoria representada gráficamente mediante líneas continuas.

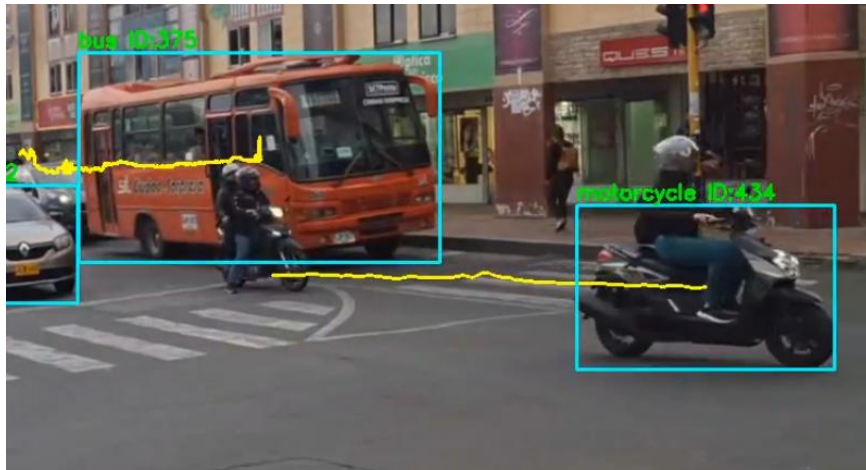


Fig 20. detección de vehiculos con Yolo v8 y DeepSort

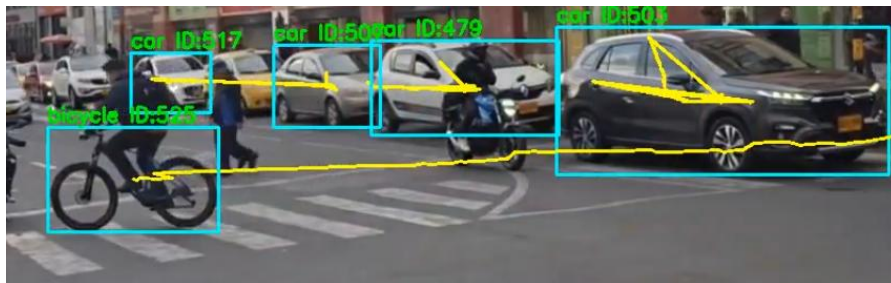


Fig 21. seguimiento de trayectoria de los vehiculos.

➤ **Resultados en la zona obrero.**

En el video procesado corresponde al sector Obrero, que cuenta con un intervalo de tiempo de 10 minutos, donde se evidenció para cada objeto detectado la asignación de un identificador único (ID), el tipo de vehículo correspondiente (carro, motocicleta, bus, camión) y su trayectoria representada gráficamente mediante líneas continuas.

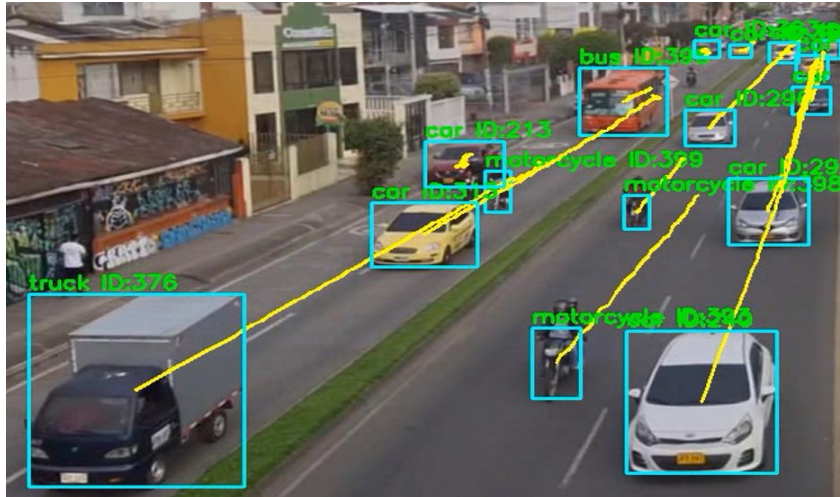


Fig 22. detección de vehículos con Yolov8 y DeepSort en el sector Obrero

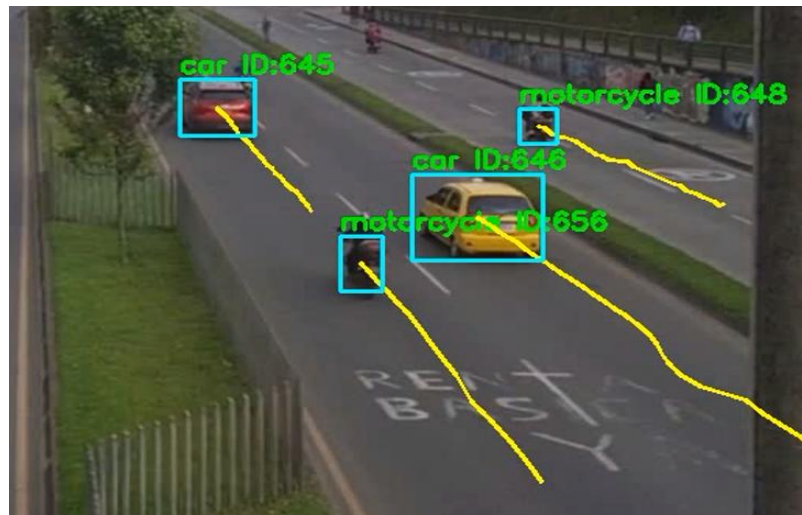


Fig 23. Detección de vehículos y la trayectoria de cada objeto en movimiento.

6. *Detección de variables en zona peatonal.*

Para el desarrollo de las variables de detección de peatones, trayectoria y tiempo, se implementó un sistema de seguimiento basado en el algoritmo DeepSort (Deep Simple Online and Realtime Tracker), el cual asigna un ID único a cada objeto detectado para rastrearlo a lo largo de los fotogramas del video. Este enfoque permitió evitar el conteo repetido de una misma persona en múltiples instancias, debido a la posición de las cámaras donde puede haber oclusión, ya que en algunas escenas queda cubierto total o parcialmente por otro peatón, para reducir la oclusión lo mejor posible se optó por usar este algoritmo.

En el proceso, se utilizaron librerías fundamentales como pandas, Numpy y OpenCV para la manipulación y procesamiento de datos. El modelo empleado fue YOLOv8m, una versión preentrenada optimizada por su ligereza y eficiencia en la detección de objetos.

Para la identificación de peatones, se siguió un procedimiento estructurado que garantizó la precisión del seguimiento y minimizó errores en la detección.

- Se instalaron las dependencias necesarias para la detección de peatones, incluyendo Ultralytics, OpenCV, pandas y Numpy. Además, se importó la clase YOLO para la detección de objetos y el algoritmo de seguimiento DeepSort. También se incorporaron las bibliotecas para la manipulación de fechas y tiempos, asegurando una ejecución eficiente del modelo. A continuación, se muestra el código con las importaciones realizadas, tal como se observa en la imagen.

```
import cv2
import pandas as pd
from datetime import datetime, timedelta
from ultralytics import YOLO
from deep_sort_realtime.deepsort_tracker import DeepSort
```

Fig 24. fragmento de código de las librerías a utilizar.

- Para la detección y seguimiento de objetos en el video, se configuró un sistema basado en YOLOv8 y el algoritmo de seguimiento DEEPSORT. Inicialmente, se cargó el video utilizando OpenCV, permitiendo su procesamiento cuadro por cuadro. Luego, se importó el modelo YOLOv8m, una versión optimizada para eficiencia y rapidez en la detección. Posteriormente, se inicializó el rastreador DeepSort, el cual asignó un identificador único a cada objeto detectado y realizó su seguimiento a lo largo de los fotogramas. Para ello, se estableció un umbral de permanencia de 30 fotogramas, tras los cuales un objeto desaparecía si no era detectado nuevamente, y un criterio de confirmación que requería al menos tres detecciones consecutivas antes de asignarle un ID definitivo.

```
model = YOLO("yolov8m.pt")  
tracker = DeepSort(max_age=30, n_init=3)
```

Fig 25. fragmento de código del modelo Yolo y tracker DeepSort.

- El código del algoritmo de seguimiento DeepSort (Deep Simple Online and Realtime Tracker) fue obtenido de un repositorio de GitHub, ya que se trata de un software libre, lo que permite su uso, modificación y distribución sin restricciones. Para su implementación, se usó el comando **pip install deep-sort-realtime**. Posteriormente, este archivo fue importado dentro del proyecto, permitiendo utilizar el rastreador para asignar identificadores únicos a los objetos detectados y realizar su seguimiento a lo largo de los fotogramas del video.
- DeepSort implementó un algoritmo de seguimiento multiclase basado en el Filtro de Kalman, el cual permitió estimar y predecir de manera óptima la posición y velocidad de los objetos a través de los fotogramas, incluso ante mediciones ruidosas o incompletas, gracias a su modelo de espacio de estado lineal con ruido gaussiano. Para asociar las detecciones con los objetos rastreados, el algoritmo combinó métricas de Intersection over Union (IoU), que midió la superposición espacial entre las bounding boxes predichas y detectadas, extraídas mediante una red neuronal convolucional (CNN), lo que permitió resolver lo mejor posible ambigüedades en casos de oclusiones o apariencias similares. Asegurando una asignación más eficiente y precisa. Además, el sistema gestionó el ciclo de vida de los tracks mediante umbrales de confianza, eliminando aquellos no asociados tras varios fotogramas y manteniendo temporalmente los ocluidos gracias a las predicciones del Filtro de Kalman. Esta integración de técnicas permitió a DeepSort lograr un seguimiento robusto en escenarios complejos, superando las limitaciones de métodos utilizados anteriores como SORT.

```

63 class KalmanBoxTracker(object):
64     count = 0
65     def __init__(self, bbox):
66         """
67         Initialises a tracker using initial bounding box.
68         """
69         #define constant velocity model
70         self.kf = KalmanFilter(dim_x=7, dim_z=4)
71         self.kf.F = np.array([[1,0,0,0,1,0,0],[0,1,0,0,0,1,0],[0,0,1,0,0,0,1],[0,0,0,1,0,0,0],
72                                [1,0,0,0,0,0,0],[0,1,0,0,0,0,0],[0,0,1,0,0,0,0],[0,0,0,1,0,0,0]])
73         self.kf.H = np.array([[1,0,0,0,0,0,0],[0,1,0,0,0,0,0],[0,0,1,0,0,0,0],[0,0,0,1,0,0,0]])
74
75         self.kf.R[2:,2:] *= 10.
76         self.kf.P[4:,4:] *= 1000. #give high uncertainty to the unobservable initial velocities
77         self.kf.P *= 10.
78         self.kf.Q[-1,-1] *= 0.01
79         self.kf.Q[4:,4:] *= 0.01
80
81         self.kf.x[:4] = convert_bbox_to_z(bbox)
82         self.time_since_update = 0
83         self.id = KalmanBoxTracker.count
84         KalmanBoxTracker.count += 1
85         self.history = []
86         self.hits = 0
87         self.hit_streak = 0
88         self.age = 0

```

Fig 26. Inicialización de un rastreador basado en filtro de Kalman, configurado para trabajar con una caja delimitadora inicial y un modelo de velocidad constante.

- Finalmente, se verificó si el video permanecía abierto y en ese caso, leyó cada fotograma de la secuencia. Se aplicó un modelo de detección de objetos sobre cada fotograma, obteniendo una lista de resultados que contenían las coordenadas de los objetos detectados, su nivel de confianza y su clase, luego se filtró los resultados, seleccionando únicamente aquellos que pertenecen a la clase 0 (peatones) y con una confianza superior a 0,5, almacenándolas en una lista de detecciones. Con estos datos, actualizó un rastreador de objetos que empleó algoritmos de seguimiento, como el Filtro de Kalman, para mantener la coherencia en la identificación de los objetos a lo largo de los fotogramas. Si existieron detecciones, el rastreador las procesó; de lo contrario, generó un conjunto vacío. Finalmente, recorrió los objetos rastreados y verificó si sus identificadores ya estaban registrados en un conjunto de elementos contados, evitando así duplicaciones en el seguimiento de objetos detectados.

```

#Detección con YOLOv8
results = model(frame)[0]
detections = []

for box in results.bboxes.data.cpu().numpy():
    x1, y1, x2, y2, conf, cls = box
    if int(cls) == 0 and conf > 0.5:
        detections.append([x1, y1, x2-x1, y2-y1], conf, 'person'))

# Seguimiento con DeepSORT
tracks = tracker.update_tracks(detections, frame=frame)

for track in tracks:
    if not track.is_confirmed():
        continue

    track_id = track.track_id
    x1, y1, x2, y2 = map(int, track.to_ltrb())
    center_x, center_y = (x1 + x2) // 2, (y1 + y2) // 2
    current_time = start_time + timedelta(seconds=(frame_count / fps))

```

Fig 27. Fragmento de código que muestra la detección de personas mediante YOLOv8.

➤ ***Resultados obtenidos de las detecciones en zona VIPRI.***

El video analizado corresponde a la zona VIPRI de la ciudad de Pasto, del día 20 de marzo del 2025, con un intervalo de 10 minutos. Donde se detectó aproximadamente 306 peatones en ese intervalo de tiempo, tal como se muestra en la imagen.

```

0: 384x640 8 cars, 1 truck, 72.0ms
Speed: 1.8ms preprocess, 72.0ms inference, 1.3ms postprocess per image at shape (1, 3, 384, 640)
Total final de personas: 306

```

Fig 28. resultado de peatones en consola.

En la figura se pudo observar que el sistema asignó un identificador único a cada peatón. Además, se detectó únicamente a los peatones sin identificar los vehículos que estaban en la zona tal como se mostró en la imagen.

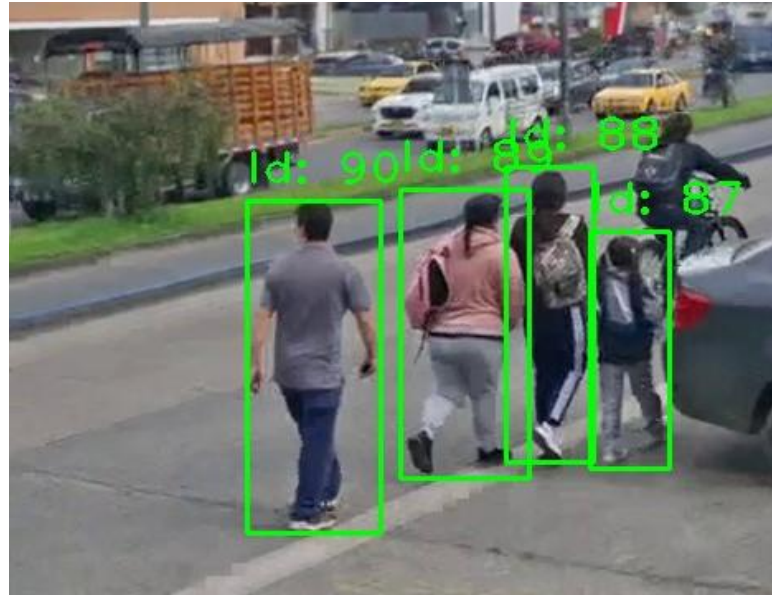


Fig 29. Detección y seguimiento de peatones.



Fig 30. Detección y seguimiento de peatones.

➤ **Resultados de análisis en la zona parque Nariño.**

El video analizado corresponde a la zona parque Nariño de la ciudad de Pasto, del día 27 de marzo del 2025, con un intervalo de 10 minutos. Donde se detectó aproximadamente 320 peatones en ese intervalo de tiempo, tal como se muestra en la imagen.

```
[Running] python deteccion_personas.py

Speed: 2.7ms preprocess, 136.9ms inference, 1.1ms postprocess per image at shape (1, 3, 384, 640)
Total final de personas: 320
Datos guardados en deteccion_personas.xlsx
```

Fig 31. resultado de detección de peatones en consola.

Las figuras presentadas corresponden a los resultados obtenidos en la detección de peatones en la zona denominada Parque Nariño. En estas imágenes, se puede observar cómo el modelo de detección identificó y asignó un identificador único (ID) a cada peatón, permitiendo su seguimiento a lo largo del tiempo. Además, el sistema logró detectar personas que se encontraban en distintos contextos, como caminando por la vía, sin considerar el vehículo en el proceso de identificación.

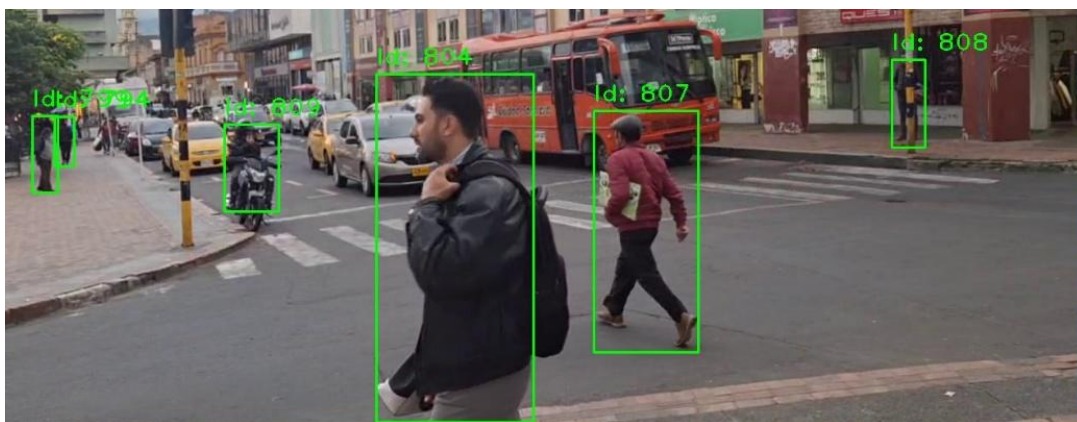


Fig 32. Detección y seguimiento de peatones.

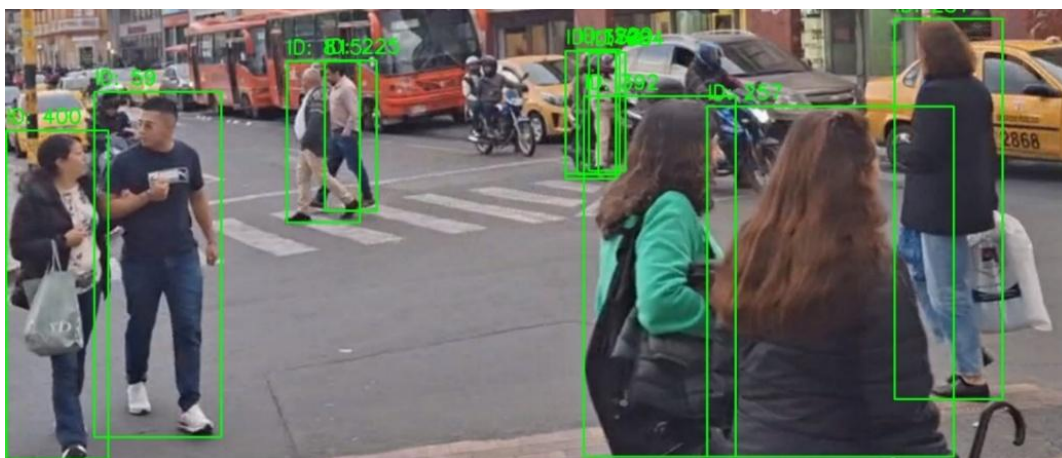


Fig 33. Detección y seguimiento de peatones.

➤ **Resultados de análisis en la zona obrero.**

El video analizado corresponde a la zona obrero, del día 20 de marzo del 2025, con un intervalo de 10 minutos. Donde se detectó aproximadamente 354 peatones en ese intervalo de tiempo, tal como se muestra en la figura.

```
Proceso completado. Archivos generados:  
- Video: video_procesado_obrero.mp4  
- Detecciones: deteccion_personas_obrero.xlsx  
- Trayectorias: trayectorias_optimizadas_obrero.xlsx (con 2 hojas)  
- Total de personas detectadas: 354
```

Fig 34. resultado de detección de peatones en consola.

En las siguientes imágenes, correspondientes al sector Obrero, se evidencian los resultados obtenidos tras aplicar el modelo de detección. En comparación con el video anterior del sector parque Nariño, se logró una notable mejora en la calidad de las detecciones, especialmente en lo relacionado con la reducción de la oclusión de objetos, gracias a un mejor ángulo y mayor altura de instalación de la cámara. Estas condiciones permitieron al modelo identificar con mayor precisión a los peatones incluso si están a una distancia considerable o situaciones de cruce o acumulación. Las figuras 35 y 36 ilustran los resultados del proceso de detección y seguimiento de peatones en el sector Obrero, evidenciando la mejora de visibilidad y precisión de las detecciones gracias al ángulo y altura de la cámara.

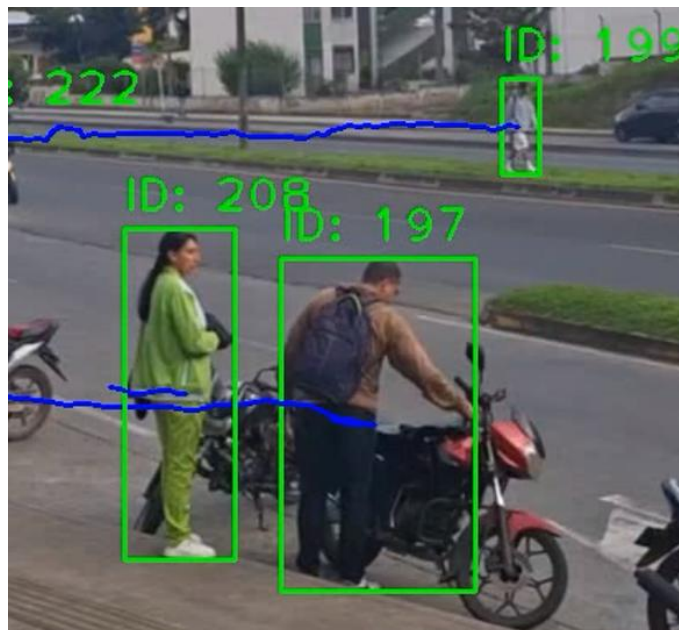


Fig 35. Detección y seguimiento de peatones.

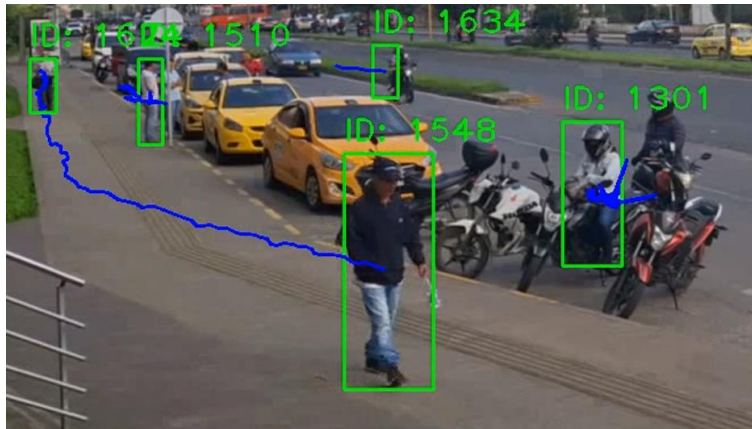


Fig 36. Detección de peatones y su trayectoria.

➤ **Resultados de análisis en la zona Avenida Boyacá.**

El video analizado corresponde a la zona Avenida Boyacá, del día 29 de marzo del 2025, con un intervalo de 10 minutos. Donde se detectó aproximadamente 110 peatones en ese intervalo de tiempo, tal como se muestra en la figura.

```
[Running] python deteccion_personas.py

Speed: 2.7ms preprocess, 136.9ms inference, 1.1ms postprocess per image at shape
(1, 3, 384, 640)
Total final de personas: 110
Datos guardados en deteccion_personas.xlsx
```

Fig 37. resultado de detección de peatones en consola.

En las siguientes imágenes, correspondientes al sector Avenida Boyacá, se presentaron los resultados obtenidos tras aplicar el modelo de detección. A diferencia del sector Obrero, la ubicación y altura de la cámara influyeron en la capacidad de detección, especialmente en distancias lejanas, donde se redujo la precisión para identificar peatones. No obstante, se logró una detección efectiva de personas sobre motocicletas. En cuanto a la oclusión, se evidenció que la posición de la cámara generó ciertas limitaciones visuales, especialmente cuando vehículos de gran tamaño transitaban frente al lente, bloqueando momentáneamente la visibilidad de los peatones ubicados en la acera opuesta o cuando están encima de motocicletas. Sin embargo, a pesar de estas obstrucciones temporales, el sistema de seguimiento DEEPSORT demostró un desempeño robusto al **conservar el ID asignado a los objetos detectados**, evitando la pérdida de

trazabilidad y manteniendo la continuidad en el análisis. **Las figuras 38 y 39 ilustran los resultados del proceso de detección en este sector**, destacando tanto la capacidad del modelo para adaptarse a las condiciones del entorno como las oportunidades de mejora asociadas al posicionamiento de la cámara.

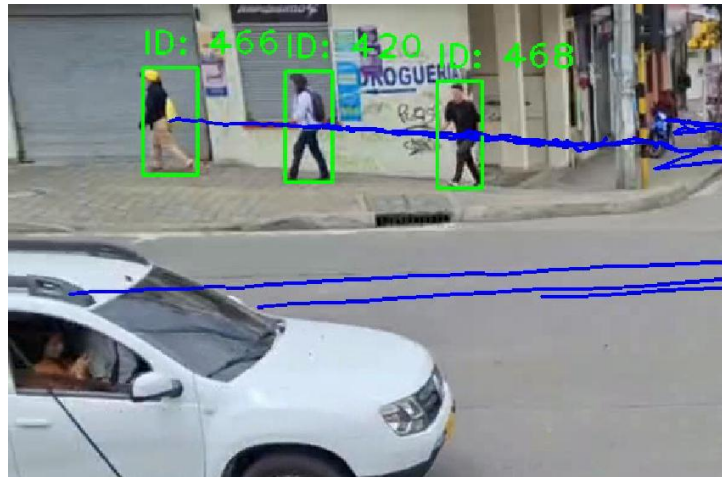


Fig 38. Resultados de detección aplicando YOLOv8m.

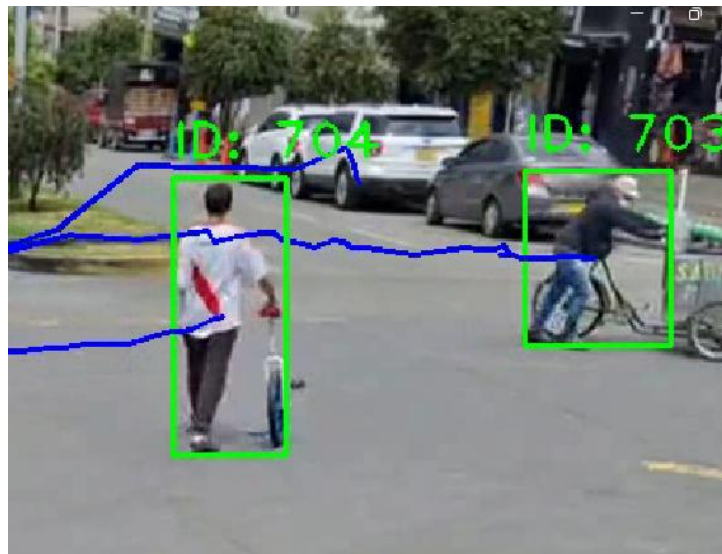


Fig 39. Resultado de seguimiento de trayectoria.

➤ **Resultados de análisis en la zona Santa Mónica.**

El video analizado corresponde a la zona Santa Mónica, del día 29 de marzo del 2025, con un intervalo de 10 minutos. Donde se detectó aproximadamente 248 peatones en ese intervalo de tiempo, tal como se muestra en la figura.

```

Proceso completado. Archivos generados:
- Video: video_processado_zona_santamonica.mp4
- Detecciones: deteccion_personas_zona_santamonica.xlsx
- Trayectorias: trayectorias_optimizadas_zona_santamonica.xlsx (con 2 hojas)
- Total de personas detectadas: 248

```

Fig 40. resultado de detección en consola.

En las siguientes imágenes, correspondientes al sector Santa Mónica, se presentaron los resultados obtenidos tras la aplicación del modelo de detección. La posición de la cámara en esta zona permitió obtener resultados favorables en términos generales; sin embargo, se identificaron casos de oclusión parcial, particularmente cuando los peatones permanecían estáticos durante períodos prolongados. Esta condición ocasionó que, en algunos casos, el sistema de seguimiento perdiera el ID asignado, afectando la continuidad del rastreo, asignándole un id nuevo. Aun así, en la mayoría de las situaciones, el modelo mantuvo un desempeño aceptable en la detección de peatones y vehículos en movimiento.

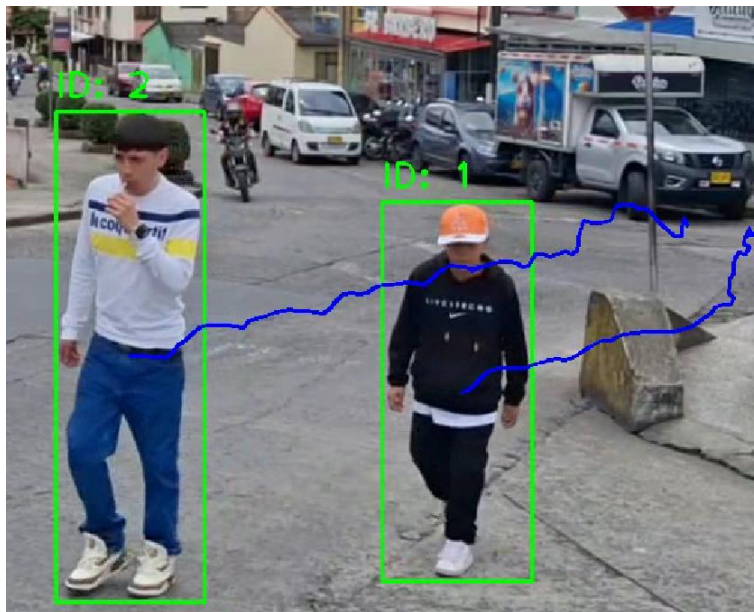


Fig 41. Resultado de detección en el sector Santa Mónica. Se observa la correcta identificación de peatones, con un ángulo de cámara favorable para el análisis.



Fig 42. Seguimiento de trayectoria de peatones.

B. Implementar una base de datos que permita almacenar la información de acuerdo con la clasificación de video.

Como parte del desarrollo de la presente investigación, se diseñó e implementó una base de datos relacional utilizando el sistema gestor MySQL Workbench. Esta base de datos se integró como componente fundamental del sitio web desarrollado, que tiene como finalidad central organizar y almacenar de forma estructurada los datos derivados de la detección de vehículos y peatones.

La estructura de la base de datos incluyó un conjunto de tablas que permitieron crear las distintas entidades del sistema, de la siguiente manera:

- **Tabla personas trayectoria:** en esta tabla se almacena información correspondiente a las trayectorias individuales detectadas por persona, se registró el punto de origen y destino, la duración total del trayecto. Adicionalmente, cada registro está asociada a una zona específica, lo que permitió segmentar los análisis por áreas.
- **Tabla vehículos trayectoria:** se diseñó para registrar los desplazamientos detectados por vehículo. Se almacenaron datos como el tipo de vehículo, trayectoria y zona asociada.

- **Tabla vehículos velocidad:** recopiló los valores promedio de velocidad detectados para los diferentes vehículos dentro de la zona, se almacenaron datos como tipo de vehículo, velocidad estimada en (km/h) y la zona específica donde fue calculada.
- **Tabla zonas:** la siguiente tabla actuó como entidad de referencia, donde se registró información sobre las distintas zonas de la ciudad, permitiendo dividir el área total en segmentos controlados. Cada zona se le agregó un identificador único y se relacionan con las tablas anteriores, facilitando así el análisis por ubicación.
- **Tablas users, roles y permisos:** las siguientes tablas forman parte del sistema de control de acceso del sitio web vinculado al proyecto. La tabla users almacenó los datos de los usuarios registrados. La tabla roles definió los distintos niveles de acceso como (administrador, usuario, entre otros). Mientras que la tabla permisos, detalló las acciones específicas permitidas para cada rol.

Las tablas descritas se visualizarán de forma estructurada en el diagrama entidad-relación, donde se detallan sus atributos, claves primarias y relaciones entre ellas.

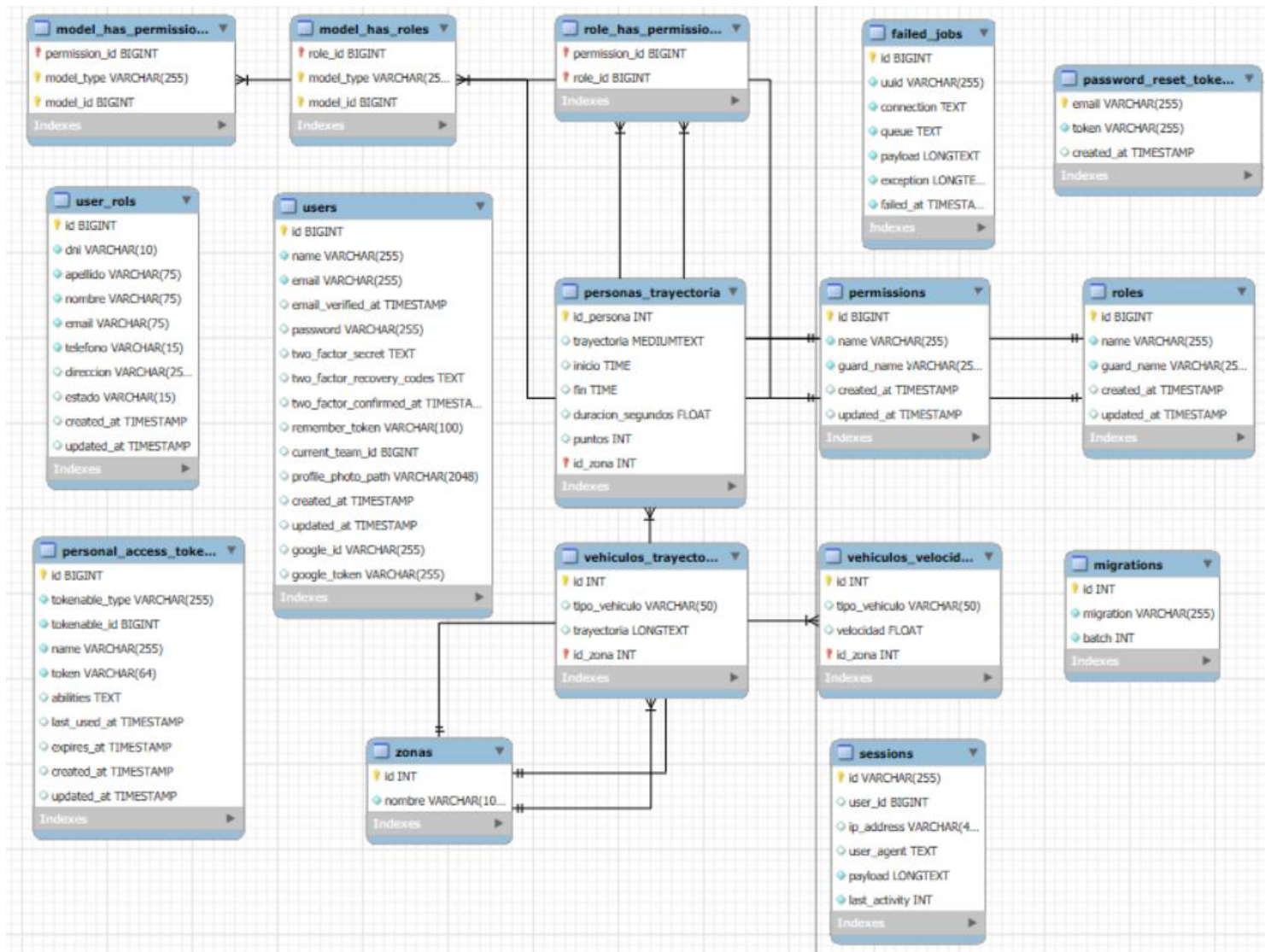


Fig 43. Diagrama entidad-relación del sitio we

C. Desarrollar un sitio web interactivo que permita visualizar de forma eficiente la información.

1. Planificación del sitio web.

➤ **Historias de usuario.**

Para establecer los requisitos funcionales y técnicos del sitio web, se utilizaron historias de usuario, las cuales permitieron identificar las necesidades del sitio web. Cada historia fue definida considerando criterios de prioridad, usabilidad y valor aportado al desarrollo del sitio, lo cual facilitó una organización clara y jerarquizada de los requerimientos.

El desarrollo del sitio web se llevó a cabo bajo la metodología ágil Scrum, permitiendo una implementación iterativa.

Para la realización del sitio web se tuvo en cuenta los resultados obtenidos de la detección de objetos del primer objetivo las cuales fueron mostradas anteriormente.

TABLA I. HISTORIA DE USUARIO DE CREDENCIALES DE USUARIO.

<i>Id</i>	<i>Como...</i>	<i>Necesito...</i>	<i>Para...</i>	<i>criterios de aceptacion</i>
1	Administrador	Diseño y desarrollo del front-end	Tener una interfaz visualmente atractiva, clara y coherente con la identidad del proyecto.	Debe ser accesible desde cualquier navegador. Interfaz clara y responsiva y facil de usar.
2	Usuario, administrador	crear una cuenta.	Interactuar con el sitio web.	Debe permitir crear una cuenta con el usuario, correo y contraseña.
3	Usuario, administrador	Iniciar sesión	Obtener información específica y segmentada sobre los grupos que más transitan por las zonas analizadas.	Debe permitir iniciar sesion con correo electronico y contraseña.
4	Usuario, administrador	Restablecer contraseña.	Recuperar acceso a mi cuenta en caso de olvido o pérdida.	Debe existir un enlace de "¿Olvidaste tu contraseña?" en la pantalla de inicio de sesión. - El sistema debe permitir enviar un enlace de recuperación al correo registrado.

TABLA II. HISTORIA DE USUARIO DE ROLES Y PERMISOS.

<i>Id</i>	<i>Como...</i>	<i>Necesito...</i>	<i>Para...</i>	<i>criterios de aceptacion</i>
4	Usuario, administrador	actualizar la informacion de la cuenta	mantener actualizados los datos.	Debe permitir editar nombre, correo electronico y actualizar la contraseña.
5	Administrador	Necesito gestionar los roles de usuario (administrador y usuario normal)	Controlar el acceso y las características del sitio para cada usuario	Debe permitir asignar roles a los usuarios registrados.
6	Administrador	Necesito gestionar los permisos de usuario (administrador y usuario normal)	Controlar el acceso y las características del sitio para cada usuario	. El sistema debe permitir asignar y modificar roles de usuario . Los usuarios con rol administrador deben acceder a funciones avanzadas (gestión de contenido y edición de usuarios).
7	Administrador	Necesito asignar los roles de usuario.	Agregar el rol a cada usuario y acceda a distintas funciones según su rol de usuario	. El sistema debe permitir asignar y modificar roles de usuario . Los usuarios con rol administrador deben acceder a funciones avanzadas (gestión de contenido y edición de usuarios).

➤ **Interfaces**

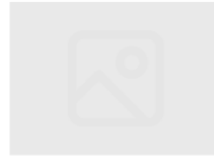
Con base en las historias de usuario, se han diseñado una interfaz que procuró ser amigable, simple e intuitiva, orientada a facilitar la navegación y el acceso a la información por parte de los usuarios. El diseño de la interfaz se enfocó en la usabilidad, empleando elementos visuales claros, para garantizar el cumplimiento de los requisitos del sitio.

- **Página de inicio.**

el siguiente mackup fue diseñado como una propuesta de interfaz del sitio web informativo. Donde se estructuró con un encabezado principal, un área de bienvenida con texto introductorio y una imagen representativa, se incluyeron botones de acceso como inicio de sesión y registro para facilitar la navegación del usuario.

Título
[Iniciar sesión](#)
[Registrarse](#)

Body text for your whole article or post. We'll put in some lorem ipsum to show how a filled-out page might look:

**Section heading**

TÍTULO
Body text for whatever you'd like to add more to the subheading.



TÍTULO
Body text for whatever you'd like to expand on the main point.



TÍTULO
Body text for whatever you'd like to share more.

Fig 44. Mockup de inicio del sitio web.

- Registro.

El siguiente mockup representó la interfaz de un formulario para la creación de usuario en el sitio web, se diseñó con un enfoque claro incluyendo campos para ingresar el nombre de usuario, correo electrónico y la contraseña, junto con su confirmación.

crear usuario

Usuario

Correo

Contraseña

Repita su contraseña


Registrarse

[ya tengo una cuenta](#)

Fig 45. Mockup de crear usuario.

- Dashboard.

Este mockup correspondió a una vista de panel administrativo del sitio web diseñado para visualizar el resultado del análisis mediante tablas y gráficos. Se estructuró con una barra lateral de navegación que permitió el acceso rápido a distintas secciones como el perfil de usuario, administración y visualización de gráficos.

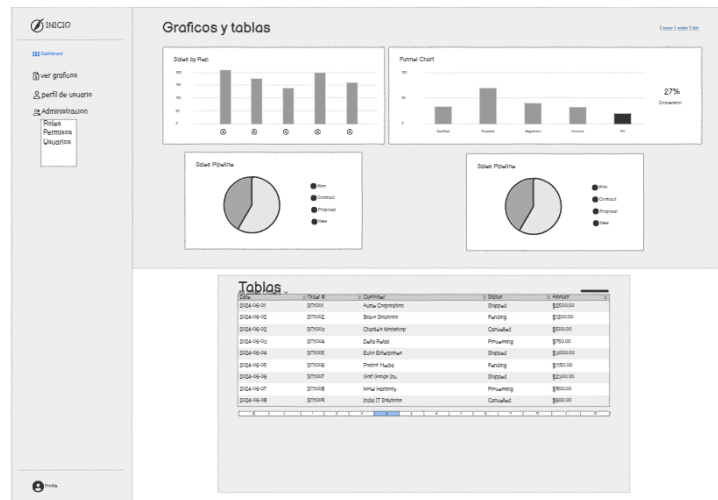


Fig 46. Mockup de vista del panel administrativo.

- Roles de usuario

Este mockup ilustró la interfaz de administración de roles de usuario dentro de un sistema web. La estructura presentó una tabla central donde se listaron los usuarios junto con su respectivo ID, rol asignado (Administrador o Usuario) y una columna de acciones que incluía íconos para editar o eliminar registros.

The user role administration interface mockup shows a sidebar with navigation links: INICIO, Dashboard, ver graficos, perfil de usuario, Administracion, Roles, Permisos, and Usuarios. The main content area is titled 'Administracion de roles de usuario' and includes a 'Bienvenido' message. Below this is a table with columns for ID, Nombre, and Actions. The table contains 10 rows of data.

ID	Nombre	Actions
1	Administrador	Edit Delete
2	Usuario	Edit Delete
3	Administrador	Edit Delete
4	Usuario	Edit Delete
5	Administrador	Edit Delete
6	Usuario	Edit Delete
7	Usuario	Edit Delete
8	Administrador	Edit Delete
9	Usuario	Edit Delete
10	Administrador	Edit Delete

Fig 47. Mackup de administración de roles.

- Permisos de usuario

Este mockup presentó una interfaz de administración de permisos de usuarios, donde se visualizaron diferentes roles como Crear, Eliminar, Editor, Administrador de configuración y Lector. Se integró un menú lateral para acceder a distintas secciones del sistema, y se incorporaron acciones de edición y eliminación para cada permiso.

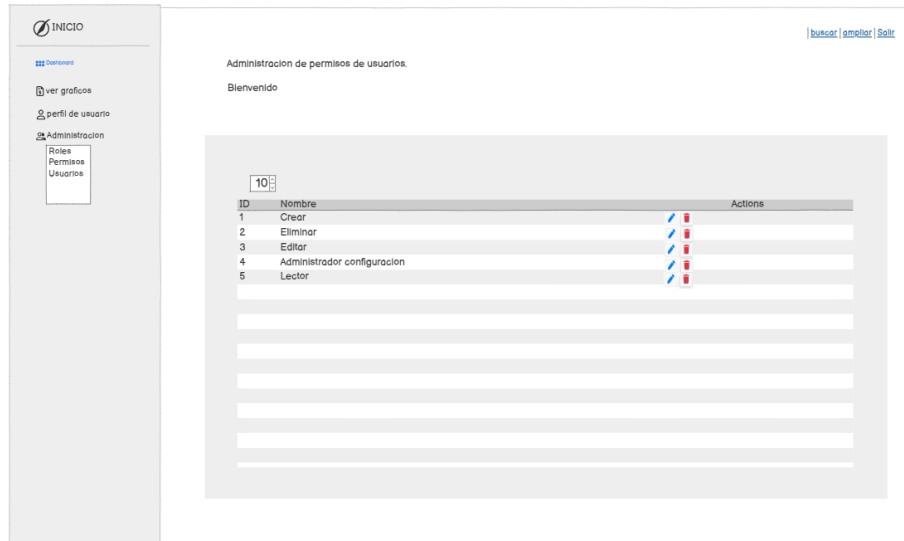


Fig 48. Mockup de interfaz de permisos.

2. Desarrollo del sitio web.

En esta fase se llevó a cabo la construcción del sitio web conforme al diseño previamente establecido. Para el desarrollo, se utilizaron múltiples herramientas tecnológicas que facilitaron tanto la implementación de la lógica del sistema como la presentación visual.

En particular, se empleó el framework Laravel versión 10.48.22 para la construcción del backend, aprovechando su estructura modular y su robustez para la gestión de rutas, controladores y bases de datos. Para el diseño de la interfaz de usuario, se integró la librería Bootstrap, lo que permitió crear un entorno visual atractivo, responsivo y coherente con los principios de usabilidad definidos en etapas anteriores.

➤ Vistas del sistema.

Se evidenciaron en pantalla las distintas vistas del sitio web, correspondientes a las interfaces diseñadas para cada funcionalidad implementada. Estas vistas permitieron verificar la correcta integración entre el frontend y el backend, así como la

correspondencia entre los requerimientos definidos y las características visuales del sistema. Las interfaces presentaron una estructura clara y coherente, facilitando la navegación, la consulta de datos procesados y la interacción por parte del usuario.

- Se desarrolló la página principal del sitio web bajo el enfoque de “Ciudad de 15 minutos”. Esta interfaz presentó un diseño amigable y responsivo, se incluyó un mensaje introductorio que sintetizó el propósito de la plataforma, resaltando la importancia de la movilidad sostenible para mejorar la calidad de vida de los ciudadanos.



Fig 49. Vista de página de inicio.

- Se integró una interfaz de inicio de sesión como una medida de seguridad y control de acceso al sistema. En esta pantalla, se permitió a los usuarios autenticarse mediante correo electrónico y contraseña, asegurando que solo personas autorizadas pudieran acceder a las funcionalidades internas del sitio web.

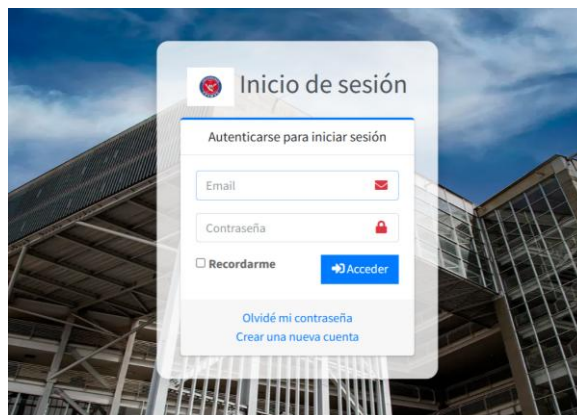


Fig 50. Vista de inicio de sesión.

- Se implementó una interfaz para el restablecimiento de contraseña, con el objetivo de mejorar la experiencia del usuario y reforzar la seguridad del sistema. Esta vista permitió a los usuarios recuperar el acceso a sus cuentas mediante el ingreso de su correo electrónico, tras lo cual el sistema enviaba un enlace para la creación de una nueva clave de acceso.

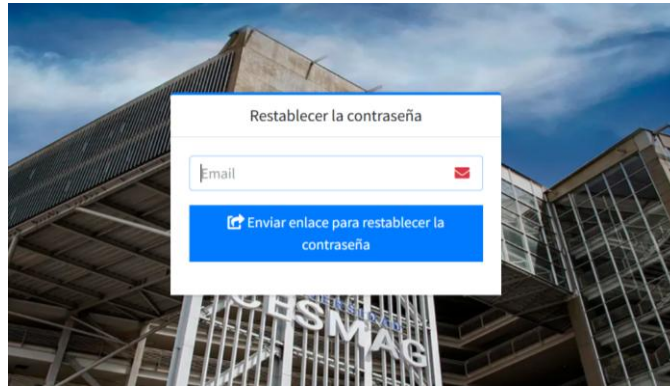


Fig 51. Vista restablecer contraseña.

- Se desarrolló un módulo de administración de roles de usuario, que permitió gestionar y asignar permisos según el perfil correspondiente dentro del sistema. Esta funcionalidad ofreció la posibilidad de crear, editar y eliminar roles como administrador, usuario, superadministrador y visitante.



Fig 52. Vista de administración de roles.

- Se implementó una interfaz para la administración de permisos de usuario, la cual permitió definir y gestionar acciones específicas dentro del sistema, tales como crear, eliminar, editar, configurar y acceder como lector.

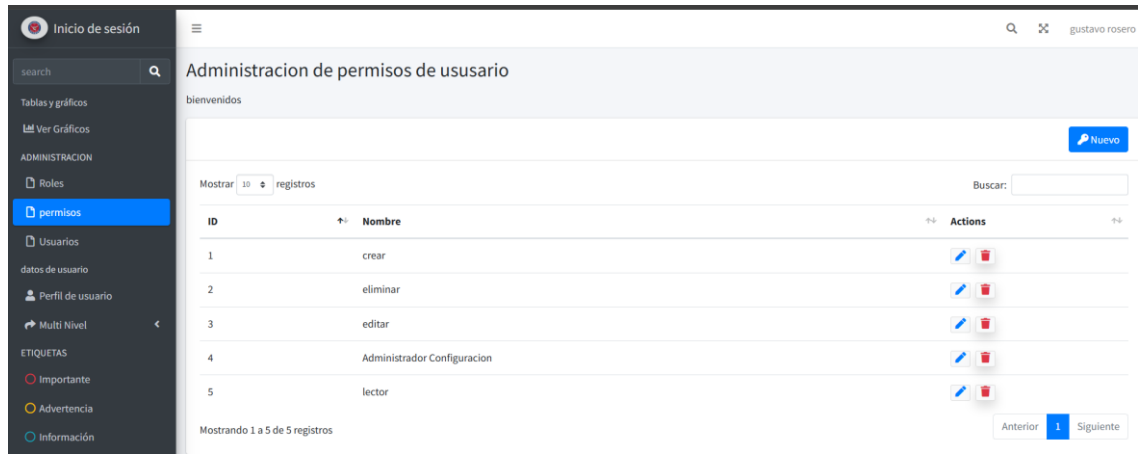


Fig 53. Vista de administración de permisos de usuario.

- Se diseñó una vista específica para la asignación de roles a los usuarios registrados en el sistema. Esta funcionalidad permitió seleccionar uno o varios roles disponibles, como administrador, usuario, superadministrador o visitante, según el perfil y las responsabilidades del usuario.

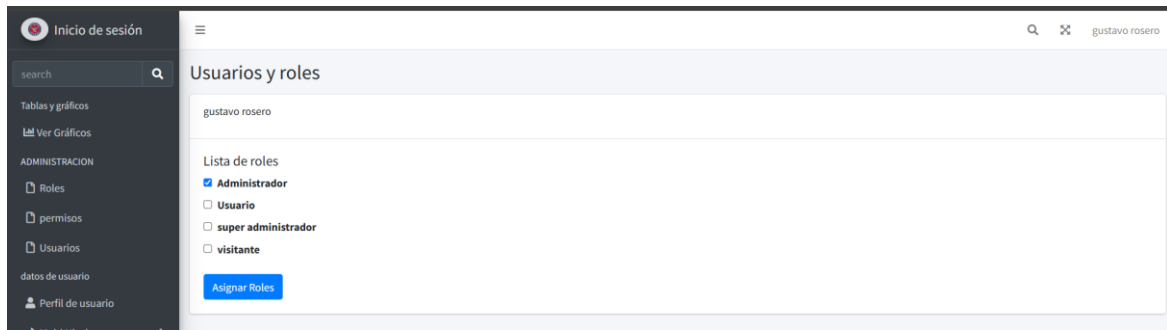


Fig 54. Vista de asignación de roles a usuarios.

D. Validar mediante métricas de usabilidad la eficiencia del sitio web.

Para evaluar la eficiencia y usabilidad del sitio web desarrollado, se utilizó la herramienta de Google Chrome llamada Lighthouse. Esta herramienta permitió analizar de forma automatizada aspectos clave del rendimiento del sitio web, incluyendo métricas como accesibilidad, buenas prácticas, optimización, rendimiento general y posicionamiento SEO. Esta evaluación se realizó directamente desde el navegador mediante la auditoría del sitio en su entorno de prueba local.

La validación del sitio web se realizó en modo navegación (Navigation), simulando la carga completa del sitio desde el inicio. Se ejecutó en entorno de escritorio (Desktop), considerando que el sitio está orientado a su uso desde computadores personales.

Se evaluaron las categorías de rendimiento, accesibilidad, buenas prácticas y SEO, para identificar oportunidades de mejora. Los resultados obtenidos se muestran en la **figura 55**.

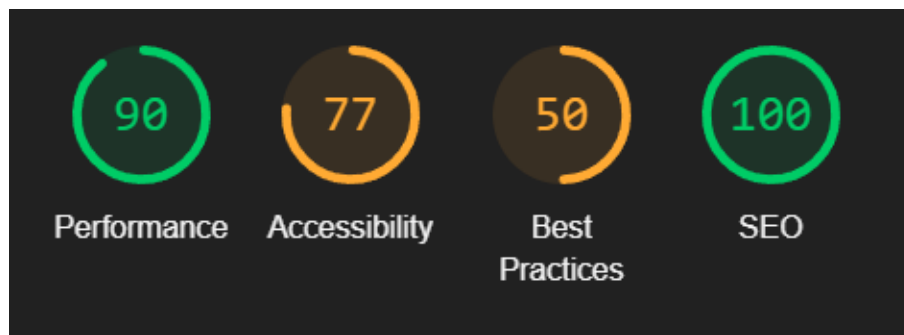


Fig 55. Resultados obtenidos mediante la herramienta Lighthouse para la auditoría del sitio web en entorno de escritorio.

1. *Análisis de la métrica rendimiento.*

El sitio web obtuvo una puntuación de 90% en rendimiento, lo cual indica un desempeño general sólido. Esta métrica evalúa el tiempo que tarda una página en cargarse y volverse interactiva para el usuario. A continuación, se detallan los resultados en la figura 56

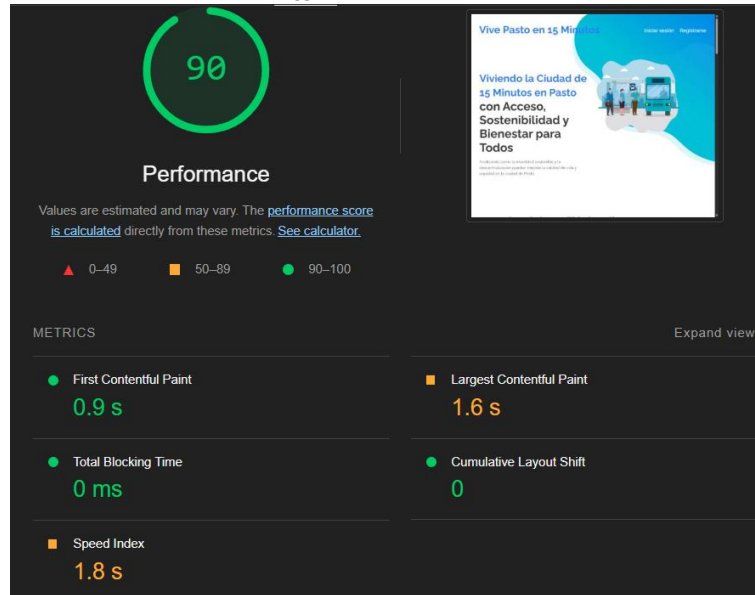


Fig 56. Resultados de rendimiento obtenidos mediante la herramienta Lighthouse.

TABLA III. ANÁLISIS DETALLADO DE MÉTRICAS DE RENDIMIENTO.

Indicador	Valor	Interpretación
First Contentful Paint	0.9 s	El contenido principal apareció rápidamente en pantalla.
Largest Contentful Paint	1.6 s	Buen tiempo, no supera el límite recomendado (< 2.5 s).
Total Blocking Time	0 ms	No hubo bloqueo del hilo principal. Óptimo.
Speed Index	1.8 s	La página se cargó visualmente de forma rápida.
Cumulative Layout Shift	0	No hubo cambios inesperados en el diseño visual. Ideal.

2. Análisis de la métrica accesibilidad

El sitio evaluado obtuvo una puntuación de 77%, lo que indicó un cumplimiento parcial de las buenas prácticas recomendadas en materia de accesibilidad web. El análisis permitió identificar varias deficiencias técnicas que podrían impactar negativamente en la experiencia de usuarios. Entre los principales hallazgos se encontró lo siguiente:

- Insuficiente contraste entre los colores de fondo y los elementos en primer plano, lo cual dificulta la lectura del contenido para usuarios con baja visión.

- Presencia de elementos `<iframe>` sin títulos descriptivos, limitando la comprensión de su propósito por parte de lectores de pantalla.
- Enlaces sin nombre discernible, lo que representa una barrera para la navegación accesible.
- Encabezados estructurados de forma incorrecta, es decir, sin seguir un orden jerárquico descendente, lo cual puede generar confusión al navegar mediante teclado o dispositivos de asistencia.

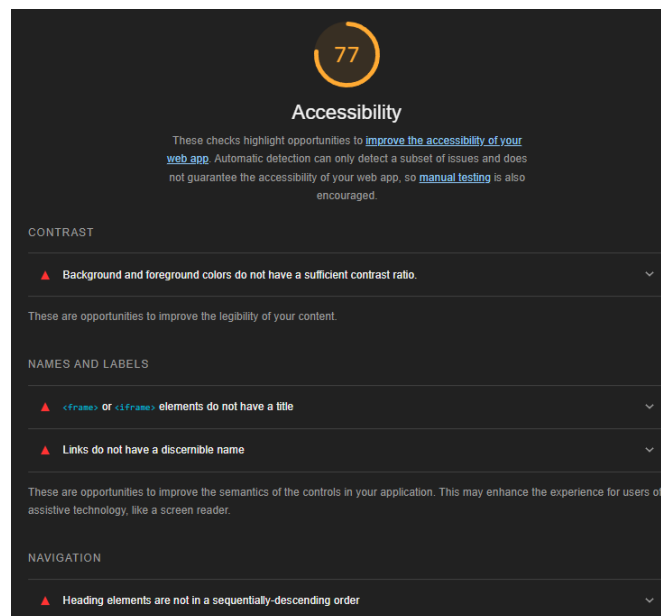


Fig 57. Resultados de la auditoría de accesibilidad.

3. *Análisis de la métrica buenas prácticas*

El sitio web evaluado obtuvo una puntuación de 50%, lo que evidenció un bajo nivel de cumplimiento con las recomendaciones básicas en materia de seguridad, debido a que el sitio web evaluado se encuentra alojado en un entorno local (localhost) al momento de realizar las pruebas. Esta configuración permitió analizar aspectos técnicos y estructurales del sitio web de manera precisa, algunas limitaciones encontradas como la falta de HTTPS podrían deberse a la naturaleza del entorno de desarrollo.

No obstante, estos hallazgos siguen siendo bastante relevantes, ya que evidenciaron configuraciones por defecto que deben ser corregidas o adaptadas antes de una eventual implementación en un entorno de producción en el futuro.

Las métricas que se obtuvieron reflejan el estado actual del desarrollo y permitió establecer recomendaciones concretas para asegurar que el sitio web tenga buenas prácticas.

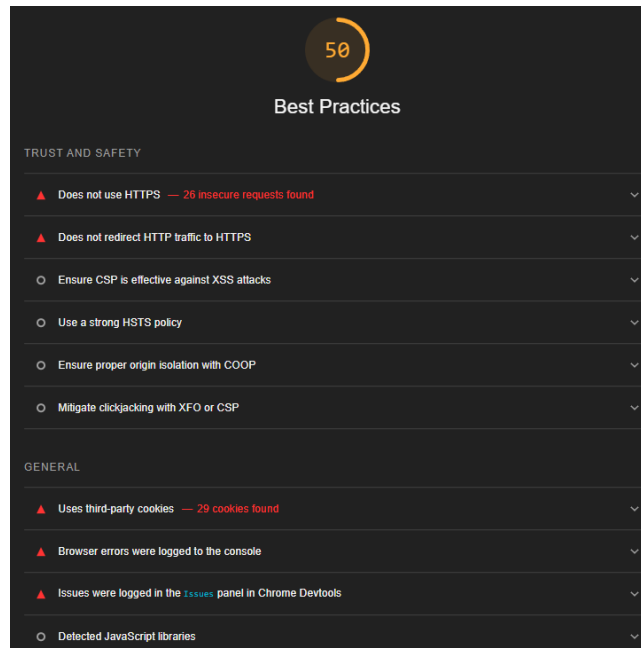


Fig 58. Resultados de la auditoría de mejores prácticas (“Best Practices”).

4. Resultado de la métrica SEO

El resultado fue altamente satisfactorio, con un porcentaje del 100%, lo que indicó que el sitio web cumple con las practicas básicas recomendadas para mejorar su visibilidad en buscadores en un futuro.

Durante la evaluación se verificaron elementos fundamentales como la presencia de etiquetas **<meta>**, el uso adecuado de atributos en imágenes, títulos y descripciones claras, y un diseño adaptable para dispositivos móviles. Todos estos aspectos fueron superados con éxito, sin registrar errores ni advertencias. Tal como se muestra en la figura 59.

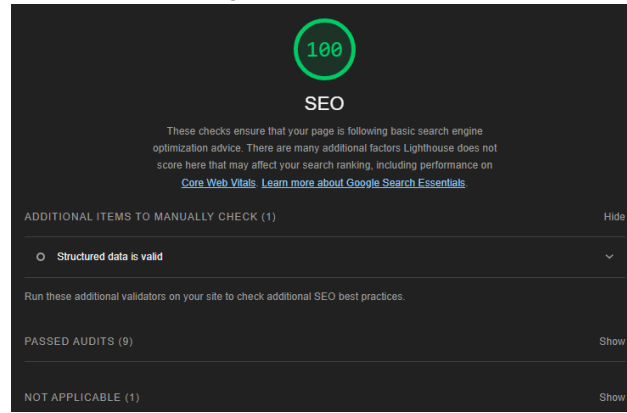


Fig 59. Resultados de SEO.

V. ANÁLISIS DE RESULTADOS

El presente capítulo presentó un análisis detallado de los datos obtenidos mediante la detección y el seguimiento de peatones y vehículos, utilizando el modelo YOLOv8. Se evaluaron métricas de rendimiento, la precisión en la detección y la fiabilidad del seguimiento de objetos en diversos escenarios. Asimismo, se analizaron las variables extraídas a partir de los videos, entre las cuales se incluyeron:

- **Vehículos:** tipo de vehículo, cantidad de vehículos y trayectoria.
- **Peatones:** número de personas que transitan, trayectoria y tiempo.

1. Análisis de precisión en la detección de vehículos.

➤ Seguimiento y consistencia del identificador DeepSort

Se implementó el algoritmo de DeepSort como mecanismo de seguimiento de objetos. El análisis reveló una baja tasa de Re identificación errónea duplicados de IDs inclusive en casos de oclusión parcial. Esta característica resultó clave en la construcción de trayectorias completas, identificación de vehículos únicos e inclusive fue clave para la variable Km/h. tal como se muestra en la siguiente figura

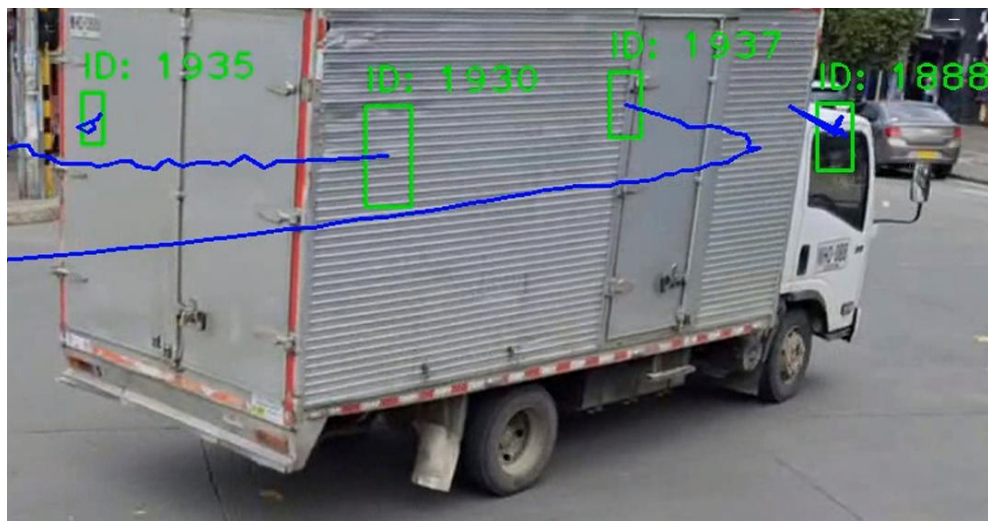


Fig 60. análisis del algoritmo DeepSort.

➤ **Precisión en la detección y clasificación de tipo vehículos.**

Durante las pruebas realizadas, el sistema logró identificar de forma consistente cinco clases de vehículos: automóvil, motocicleta, bus, camión y bicicleta. La precisión en general fue elevada, especialmente en vehículos grandes como automóviles, camión y bus, donde se observó un umbral de confianza 85%. Clases como motocicleta y bicicleta presentaron un umbral de confianza ligeramente menor, con una tasa de acierto de acierto de 50%, atribuidas a factores como la distancia y la oclusión parcial. Tal como se muestra en la siguiente figura.

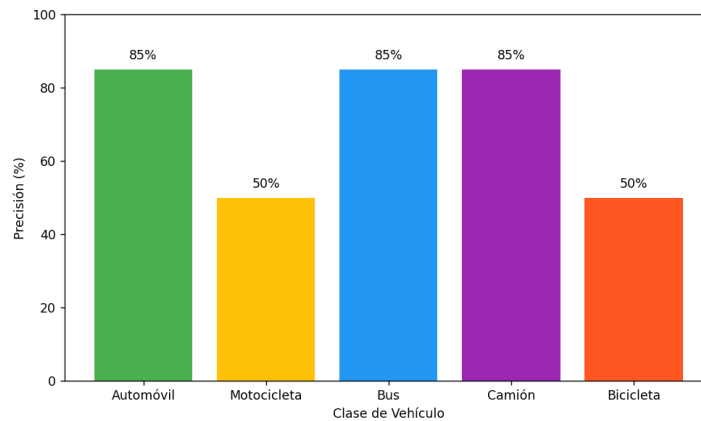


Fig 61. Gráfico por clase de vehículo detectado en las zonas.

➤ **Cantidad total de vehículos por zona.**

Se cuantificó la cantidad de vehículos detectados en las cinco zonas, donde se reveló que Avenida Boyacá concentra el mayor volumen de vehículos detectados, con un total del 794, con predominio de automóviles y motocicletas. En contraste, Vipri destaca por su alta presencia de camiones, la casi nula circulación de bicicletas en zonas como obrero plantea oportunidades para promover el transporte sostenible.

TABLA IV. RESULTADOS DE CANTIDAD DE VEHÍCULOS POR ZONA.

zona	Automóviles	Motocicletas	Camiones	Bicicletas	Bus	Total
Obrero	250	120	60	0	25	455
Santa Mónica	428	200	15	10	18	671
Avenida Boyacá	400	291	38	23	42	794
Vipri	415	62	100	6	17	600
Parque Nariño	278	194	20	18	25	535

TABLA V. RESULTADO DE PORCENTAJE DE VEHÍCULOS POR ZONA.

Tipo	Total	Porcentaje	Zona más frecuente
Automóviles	1,771	58.0%	Santa Mónica (400)
Motocicletas	867	28.4%	Avenida Boyacá (291)
Camiones	233	7.6%	Vipri (100)
Buses	127	4.2%	Avenida Boyacá (42)
Bicicletas	57	1.9%	Avenida Boyacá (23)

➤ **Análisis trayectorias de los vehículos**

Cada objeto detectado fue asignado una trayectoria compuesta por coordenadas (x, y) extraídas por frame. Las trayectorias fueron interpretadas como secuencias de posiciones espaciales que reflejan el movimiento de cada vehículo en el tiempo.

- **Zona Obrero**

en la figura 62 se presenta el grafico de trayectorias correspondiente al sector Obrero, obtenido a partir de seguimiento. Este grafico permite visualizar el comportamiento espacial de los vehículos detectados a lo largo del video. La densidad y distribución de las trayectorias permiten inferir varias características del flujo vehicular de esta zona:

- Predominio de autos: la gran mayoría de trayectorias corresponde a la clase car, lo que indica un flujo dominado por vehículos particulares. Este comportamiento es consistente con sectores urbanos con alta actividad residencial o comercial.
- Presencia de doble carril de circulación: se observan dos grupos principales de trayectorias, uno que se desplaza de izquierda a derecha y otro de derecha a izquierda, lo que evidencia una vía bidireccional. Ambos sentidos presentan una densidad significativa.
- Variabilidad de las trayectorias: algunas líneas presentan desviaciones o curvas pronunciadas. Estas irregularidades se deben a maniobras de cambio de carril o desvíos.

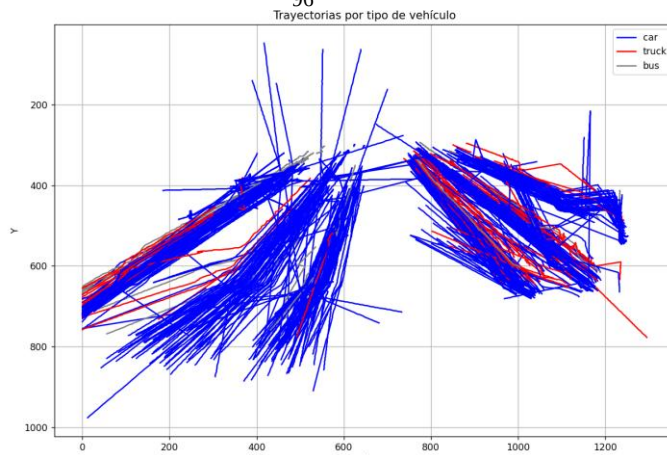


Fig 62. Trayectorias por tipo de vehículo.

- Zona Vipri

En la figura 63 se muestra el gráfico de trayectorias por tipo de vehículo en la zona Vipri. Se visualizaron cinco clases vehiculares: autos (car) en azul, camiones (truck) en rojo, motocicletas (motorcycle) en verde, buses (bus) en gris claro y bicicletas (bicycle) en gris oscuro. Este análisis del patrón permitió identificar varias características importantes del flujo vehicular en esta zona:

- **Dominancia de carros y motocicletas:** las trayectorias azules y verdes tienen una gran densidad, lo cual refleja una alta frecuencia de circulación de vehículos particulares. debido a que es una zona mixta y de alta movilidad.
- **Presencia de doble carril de circulación:** en la zona Vipri se observó una orientación diagonal, lo que indica un predominio de circulación en doble sentido para los vehículos.
- **Trayectorias atípicas o fragmentadas:** se observó trayectorias más cortas o con movimientos irregulares, principalmente en las clases truck y bicycle, lo cual está relacionado con cambios de dirección, obstrucciones temporales o perdidas puntuales del tracking.

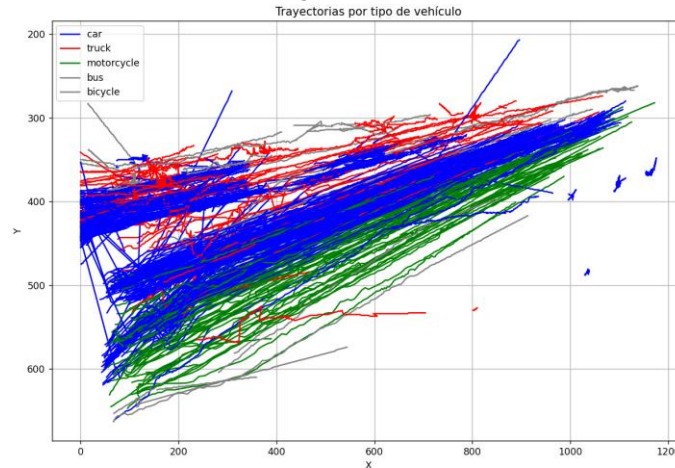


Fig 63. Trayectorias por tipo de vehículo.

- Zona parque Nariño.

En la figura 64 se muestra el gráfico de trayectorias por tipo de vehículo en la zona Parque Nariño. Este análisis permitió identificar características importantes del flujo vehicular en esta zona:

- Se observa una alta densidad de trayectorias en azul y verde, lo cual indica que los vehículos particulares, como automóviles y motocicletas, son los más frecuentes en esta zona, siendo bastante característico en este sector que cuenta con una alta actividad comercial y residencial.
- **Presencia de doble carril de circulación:** se observó que la orientación general de las trayectorias, son en sentidos opuestos y relativamente paralelos, sugiere que la vía principal del área tiene circulación en ambos sentidos, lo que facilitó la movilidad en esta zona de alta demanda.
- **Trayectorias atípicas o fragmentadas:** se identificaron trayectorias irregulares o más cortas, especialmente en las clases truck y bicycle, lo que puede estar relacionado con interrupciones momentáneas, zonas de carga y descarga, o incluso limitaciones del sistema de detección al capturar movimientos más erráticos o lentos.

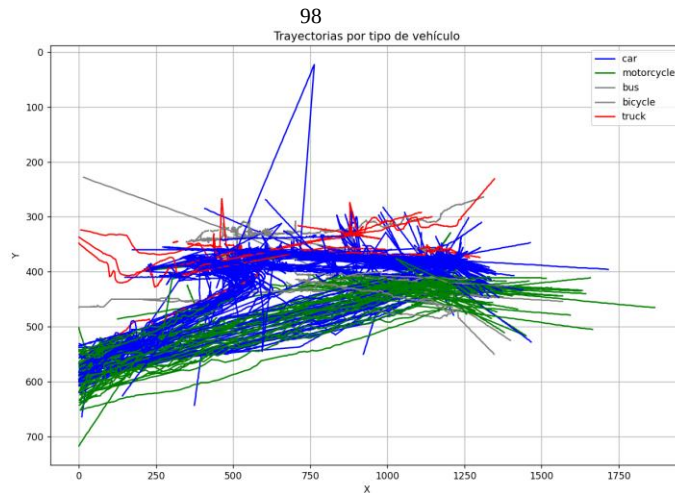


Fig 64. Trayectorias por tipo de vehículo.

- Zona Avenida Boyacá

En la figura 65 se muestra el gráfico de trayectorias por tipo de vehículo en la zona Avenida Boyacá. Este análisis permitió identificar características importantes del flujo vehicular en esta zona:

- **Dominancia de motocicletas y autos:** se observó que las trayectorias en verde (motocicletas) y azul (autos) muestran una gran concentración, lo que sugiere que los vehículos particulares son los más prevalentes en el área.
- **Tráfico denso y largo:** las trayectorias más largas y densas, principalmente en verde y azul, indican una alta circulación, mientras que los camiones (rojo) y bicicletas (gris oscuro) tienen trayectorias más cortas o fragmentadas. Esto puede indicar que las motocicletas y autos están en constante movimiento por la zona, mientras que los camiones y bicicletas realizan maniobras más específicas o tienen restricciones en sus trayectorias.
- **Poca presencia de buses y bicicletas:** los buses (gris claro) y las bicicletas (gris oscuro) muestran trayectorias menos densas y más limitadas, lo que podría reflejar una menor frecuencia de estos vehículos en esta zona, o que su circulación está más influenciada por restricciones específicas como carriles exclusivos o limitaciones de espacio.

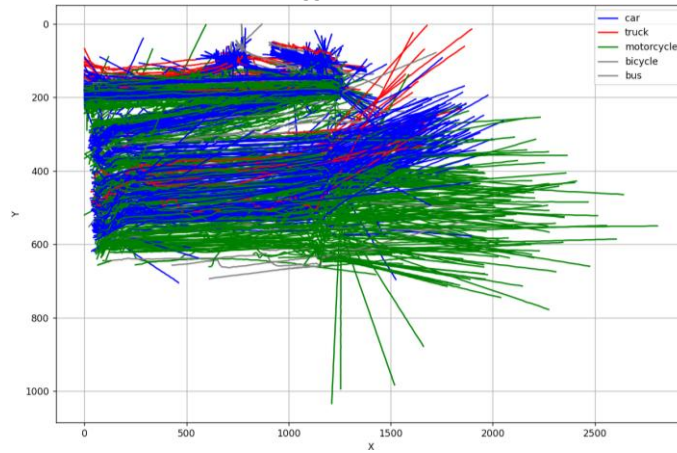


Fig 65. Trayectorias por tipo de vehículo.

- Zona Santa Mónica

La figura 66 muestra las trayectorias recorridas por distintos tipos de vehículos en la sección de estudio Santa Mónica. Los datos han sido clasificados según el tipo de vehículo, representando con distintos colores las trayectorias de autos (azul), motocicletas (verde), camiones (rojo), bicicletas (gris claro) y autobuses (gris oscuro).

- **Dominancia de motocicletas y autos:** Se observó que los automóviles y motocicletas conforman la mayoría de los desplazamientos registrados. Las trayectorias de los automóviles presentan una distribución relativamente uniforme y alineada con los ejes viales principales, lo que sugiere una circulación regular dentro de los carriles establecidos. En contraste, las motocicletas muestran una mayor dispersión espacial, extendiéndose incluso hacia zonas fuera del eje principal de circulación. Esto indica maniobras evasivas, circulación entre carriles o acceso a zonas no convencionales.
- Los camiones y autobuses presentan trayectorias más concentradas y rectilíneas, lo que sugiere rutas predefinidas y posiblemente asociadas a labores de transporte de carga o pasajeros en corredores específicos. Las trayectorias de bicicletas, aunque en menor cantidad, muestran un patrón más sinuoso, relacionado con desplazamiento en aceras y rutas de baja velocidad.

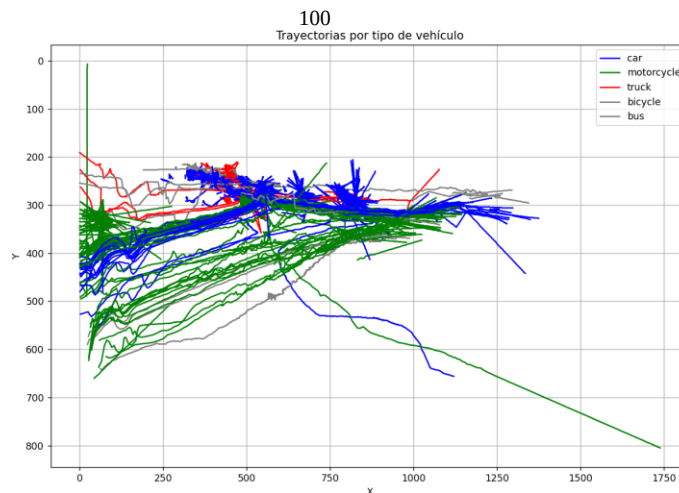


Fig 66. Trayectorias por tipo de vehículo.

➤ ***Análisis de la variable velocidad del vehículo.***

Se realizó un análisis de velocidades capturadas a partir de los vehículos detectados en el sector Obrero, clasificándolos por tipo y evaluando sus velocidades en km/h. En la siguiente tabla se muestran las estadísticas generales por tipo de vehículo.

TABLA VI. RESULTADO DE CANTIDAD DE VEHÍCULOS Y REGISTRO VELOCIDAD.

Tipo de vehículo	Cantidad de registros	Velocidad promedio (km/h)	Mínima (km/h)	Máxima (km/h)	Desviación estándar
car	159	12.28	4.54	28.47	3.72
motorcycle	18	16.94	7.58	22.98	2.42
bus	3	12,41	6.02	18.57	2.75
truck	3	6.73	5.68	18.15	2.63

➤ **Observaciones**

- El vehículo con mayor velocidad promedio fue la motocicleta, con 16.94 km/h, superando a las demás clases, lo cual es un comportamiento coherente teniendo en cuenta su tamaño y agilidad.
- Los carros representan una gran cantidad de registros, mostrando una velocidad promedio de 12.28 km/h, evidenciando una notable dispersión.

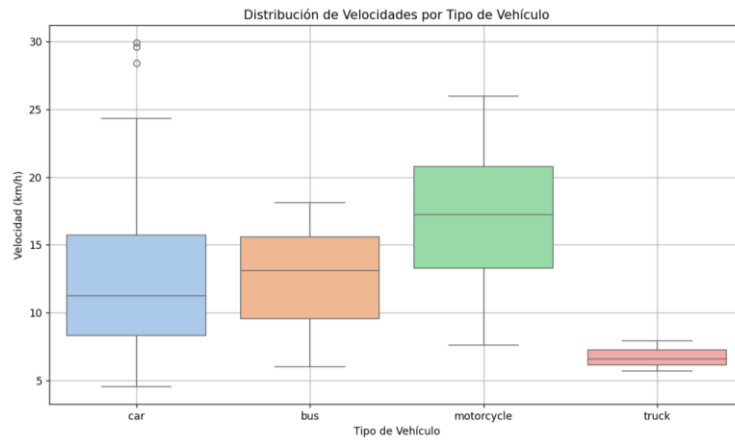


Fig 67. distribución de velocidades.

2. *Análisis de precisión en la detección de peatones.*

Durante la evaluación del tránsito peatonal en las cinco zonas de estudio, se analizaron las variables extraídas por medio de la detección, los datos obtenidos por zona fueron: número de personas, trayectoria y tiempo de permanencia en campo visual de cada grabación. Esta información proporcionó una visión detallada del comportamiento peatonal en cada área.

➤ **Número de personas por zona**

Se detectó un número de personas en cada zona reflejando el nivel de afluencia peatonal, siendo un indicador clave que evaluó la dinámica urbana y la distribución del flujo peatonal. Esta variable nos permitió identificar zonas con alta concentración de peatones, lo cual puede estar asociado a factores como: proximidad a centros educativos, estaciones de transporte público o zonas comerciales.

En la tabla VII se presenta el número total de personas detectadas por zona durante los periodos monitoreados.

TABLA VII. RESULTADO TOTAL DE PEATONES.

Zona	Número de Personas
Obrero	354
Santa Mónica	112
Avenida Boyacá	110
Vipri	306
Parque Nariño	320

La zona de Obrero registró una mayor afluencia peatonal, lo que puede indicar una alta densidad poblacional, una mayor actividad comercial o una ubicación estratégica dentro de una red urbana. En contraste, la zona Avenida Boyacá mostró un tránsito peatonal más bajo. Lo que puede indicar una infraestructura menos amigable para el peatón, debido a que es una zona bastante transitada por vehículos.

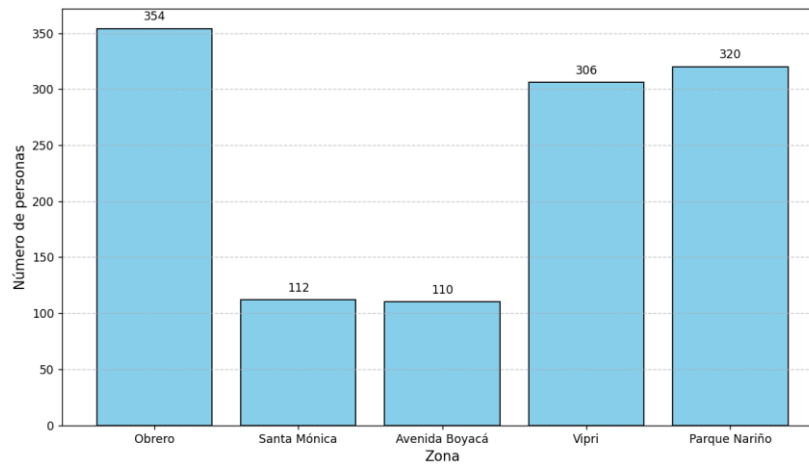


Fig 68. resultado de mayor afluencia peatonal.

➤ **Análisis de duración del tránsito peatonal**

Se identificó el tiempo de tránsito peatonal, se entiende como la duración que una persona tarda en atravesar el campo visual de la cámara, representó una métrica fundamental para comprender el comportamiento del flujo peatonal en las distintas zonas analizadas. Esta variable no solo permitió estimar la velocidad de desplazamiento, sino que también puede estar influenciada por factores como la densidad de personas, la amplitud del espacio, la existencia de obstáculos físicos o visuales, la dirección del tránsito, y la intención del peatón. En la tabla VIII se resumió los valores estadísticos básicos de esta variable.

TABLA VIII. RESULTADOS DE TIEMPO PROMEDIO EN EL VIDEO.

Zona	Promedio (s)	Mínimo (s)	Máximo (s)
Obrero	8	1.2	108
Santa Mónica	6.8	1.5	54.7
Avenida Boyacá	4.7	1.5	57,6
Vipri	5.6	2.2	12.7
Parque Nariño	8.3	3.8	17.5

Los datos revelaron diferencias bastante notables entre zonas, Parque Nariño presentó el mayor tiempo promedio (8.3 s), lo que sugiere que los peatones en esta área enfrentan condiciones que posiblemente ralenticen su desplazamiento. Esto podría deberse a una mayor longitud del campo visual, a la presencia de barreras físicas o a una circulación más densa y lenta.

Es importante destacar que valores mínimos relativamente bajos (entre 1.2 s y 1.5 s) indican que algunos peatones cruzan rápidamente, lo que puede corresponder a personas que se desplazan con prisa o en trayectorias más directas. En cambio, los valores máximos, que en algunos casos superan los 15 segundos, reflejan comportamientos más pausados o trayectorias complejas.

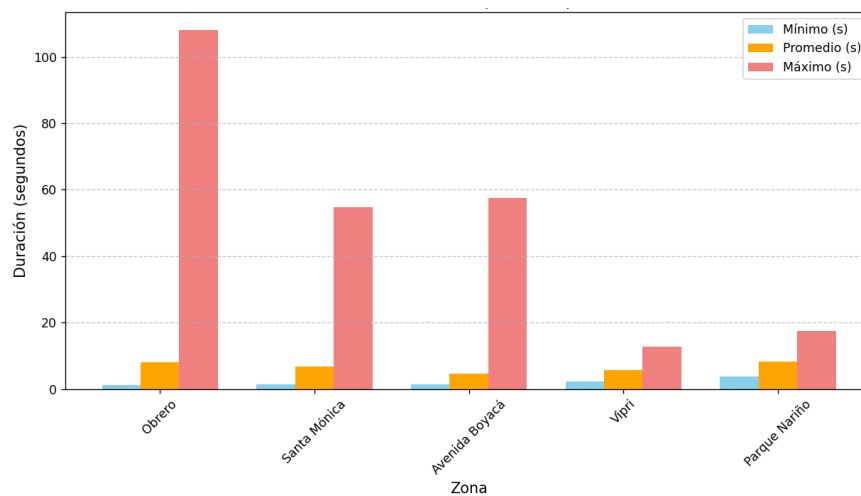


Fig 69. resultado de duración de peatones en el video.

➤ **Comportamiento de trayectorias.**

El análisis del comportamiento de trayectorias permitió comprender con mayor profundidad los patrones de desplazamiento peatonal en cada una de las cinco zonas observadas.

• **Análisis de trayectorias en la zona Avenida Boyacá**

En la figura 72, mostró como resultado las trayectorias detectadas de personas en la zona correspondiente a la Avenida Boyacá. Se observó una alta densidad de líneas que representan el movimiento de los individuos a lo largo del video, muchas de ellas con orientación predominantemente horizontal, lo cual sugiere un flujo transversal característico de zonas de cruce peatonal. Sin embargo, también se identifican trayectorias con pendientes pronunciadas, lo que indica desplazamientos diagonales o movimientos hacia y desde la cámara. Adicionalmente, algunas trayectorias muestran comportamientos atípicos, como desplazamientos abruptos o posiciones fuera del campo visual

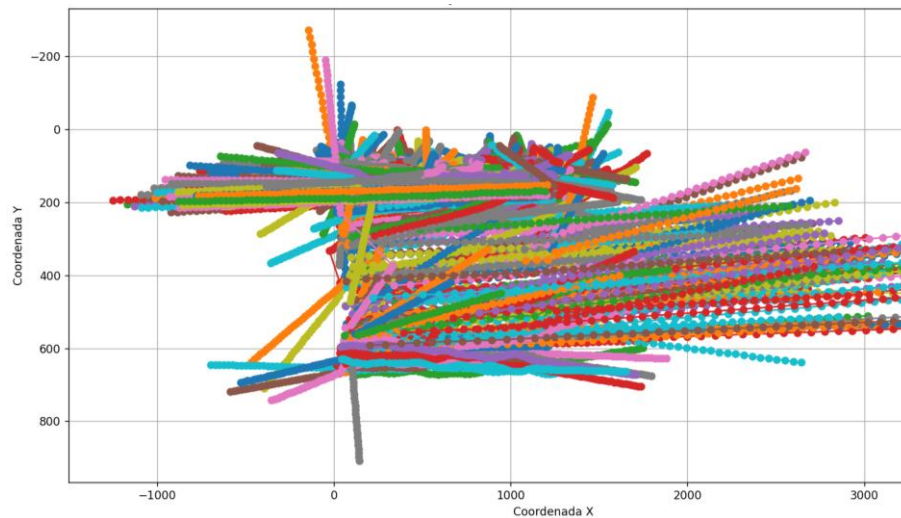


Fig 70. trayectoria de personas detectadas.

• **Análisis de trayectorias en la zona Obrero.**

La Figura 71 muestra las trayectorias de personas detectadas en el sector Obrero. Se identificaron trayectorias predominantemente diagonales, con desplazamientos que se extienden desde el borde izquierdo hacia el derecho del campo de visión, lo que sugiere un flujo constante en una sola dirección, determinado por la configuración vial

y la ubicación de accesos peatonales. La agrupación de múltiples trayectorias en ciertas áreas reveló zonas de mayor tránsito o concentración de personas.

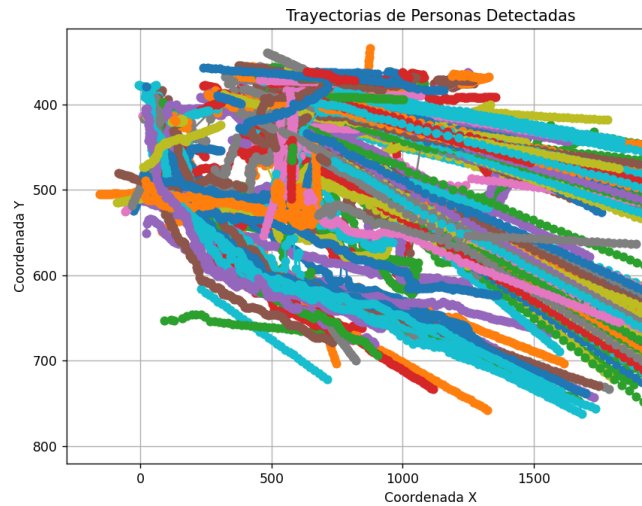


Fig 71. trayectorias de personas detectadas.

- **Análisis de trayectorias en la Santa Mónica.**

La Figura 74 muestra las trayectorias de personas detectadas en la zona de Santa Mónica. A diferencia de otras zonas como Obrero o Avenida Boyacá, en esta área se evidencia una mayor dispersión en los patrones de movimiento, con trayectorias que abarcan un rango más amplio tanto en el eje X como en el eje Y. Esta variabilidad sugiere que el entorno presentó múltiples puntos de ingreso o salida, y cruces peatonales en diferentes direcciones. Se observan desplazamientos en sentido diagonal, horizontal y vertical, algunos de los cuales son abruptos o con cambios de dirección, lo que puede indicar pausas o interacciones en la vía.

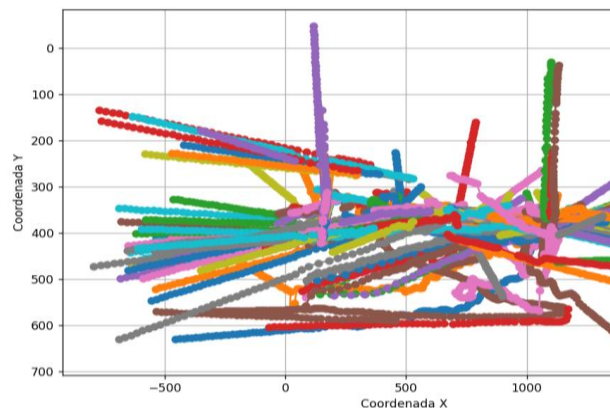


Fig 72. trayectorias de personas detectadas.

Los algoritmos de detección de objetos en tiempo real, como el modelo YOLOv8, demostraron un alto nivel de precisión al clasificar imágenes y videos, estableciendo umbrales de confianza superiores al 0.7 para vehículos grandes y medianos, 0.6 para peatones, y 0.5 para bicicletas y motocicletas. Además, el modelo permitió estimar la velocidad promedio de circulación con una precisión aproximada del 80 % para automóviles, 85 % para buses y camiones, y 45 % para motocicletas y bicicletas, evidenciando así su capacidad para ofrecer un análisis robusto y confiable del tráfico peatonal y vehicular en entornos urbanos.

La implementación de una base de datos relacional basada en las variables definidas en la investigación proporcionó una plataforma estructurada, escalable y eficiente. Esta organización no solo garantizó la integridad de la información, sino que también facilitó la incorporación de nuevas funcionalidades y la integración de datos adicionales. Así, la solución desarrollada se posiciona como una herramienta eficaz para el almacenamiento, consulta y análisis de datos en apoyo a la gestión urbana, especialmente en el marco del modelo de Ciudad de 15 Minutos.

La aplicación de la metodología ágil Scrum resultó fundamental en la definición y priorización de requerimientos funcionales mediante historias de usuario, lo cual contribuyó a mejorar la usabilidad del sistema. Por su parte, el uso del framework Laravel en conjunto con la librería Bootstrap permitió la construcción de una arquitectura web modular, escalable y responsiva, asegurando la correcta integración entre la lógica de backend y la interfaz de usuario, y garantizando una experiencia consistente en diferentes dispositivos y entornos.

El uso de herramientas tecnológicas ofrecidas por Google representó un soporte significativo durante el desarrollo del proyecto. En particular, Google Colab facilitó la ejecución eficiente del modelo YOLOv8 en un entorno de pruebas con GPU, mientras que Google Lighthouse permitió realizar una evaluación técnica rigurosa del rendimiento, accesibilidad, buenas prácticas y SEO del sitio web desarrollado. Estas herramientas aseguraron la validación objetiva de las funcionalidades implementadas y aportaron elementos clave para el análisis de calidad del sistema.

RECOMENDACIONES

Se recomienda continuar explorando e implementando modelos de inteligencia artificial como YOLOv8, los cuales han demostrado ser altamente efectivos para la detección de objetos en tiempo real. No obstante, se sugiere realizar entrenamientos personalizados y calibración de umbrales en función del tipo de entorno urbano y calidad del video, con el fin de mejorar la precisión en la detección de clases como motocicletas, bicicletas y peatones. Esta mejora permitirá una mayor confiabilidad en los resultados obtenidos, especialmente en condiciones de baja resolución o con oclusiones frecuentes.

Se recomienda mantener y escalar la base de datos relacional desarrollada, ampliando su capacidad para integrar nuevos sectores, variables y fuentes de datos (como sensores IoT o bases de datos municipales). Para garantizar sostenibilidad a largo plazo, es aconsejable establecer políticas de respaldo, seguridad de la información y anonimización de datos sensibles, alineadas con la normativa vigente (como la Ley 1581 de 2012 en Colombia sobre protección de datos personales).

Se recomienda a las autoridades locales de movilidad (como la Secretaría de Tránsito o la Alcaldía de Pasto) implementar un sistema piloto en sectores de alta congestión, como la Avenida Boyacá o el Parque Nariño. Este piloto podría consistir en la instalación de cámaras optimizadas y el uso del modelo entrenado para generar datos en tiempo real, lo que permitiría validar su utilidad para la toma de decisiones operativas y planificación de rutas.

Se recomienda ampliar la funcionalidad del sitio web desarrollado, incorporando la integración con sistemas de información geográfica (SIG) para georreferenciar trayectorias, velocidades y concentración de peatones/vehículos. Asimismo, se sugiere optimizar su escalabilidad, considerando el uso de arquitecturas tipo SPA (Single Page Application) y bases de datos más robustas como PostgreSQL con soporte para datos espaciales (PostGIS), lo cual permitirá soportar mayor volumen de datos y brindar herramientas interactivas más avanzadas.

BIBLIOGRAFÍA

- [1] A. M. González Bastidas, “Formulación de recomendaciones para el aprovechamiento de proximidades de servicios bajo el enfoque de ciudad de 15 minutos en el ordenamiento territorial de pasto, apoyado en analítica de datos”. Universidad CESMAG, el 20 de septiembre de 2023.
- [2] M. López, “Minería de Datos: transforma Información en estrategia”, IMMUNE. Consultado: el 4 de abril de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://immune.institute/blog/mineria-de-datos-que-es-y-aplicaciones/>
- [3] Jesús, “La Minería de Datos y su Impacto en la Toma de Decisiones”, Tutoriales Dongee. Consultado: el 4 de abril de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://www.dongee.com/tutoriales/que-es-mineria-de-datos/>
- [4] G. de España, “¿Qué es la Inteligencia Artificial?”, Plan de recuperación. Consultado: el 14 de abril de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://planderecuperacion.gob.es/noticias/que-es-inteligencia-artificial-ia-prtr>
- [5] M. Saban Orsini y J. Pelaez, “LAS CIUDADES DEL FUTURO”, 2023, Consultado: el 5 de abril de 2024. [En línea]. Disponible en: <http://www.bdigital.cesba.gob.ar/handle/123456789/487>
- [6] T.-E. Telefónicas, “Cuántos habitantes tiene Nariño, Colombia, en 2024”, Telencuestas. Consultado: el 5 de abril de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://telencuestas.com/censos-de-poblacion/colombia/2024/narino>
- [7] S. de tránsito y transporte, “Plan estratégico de control al cumplimiento del marco normativo de transporte”. Secretaría de tránsito Municipal, 2022. [En línea]. Disponible en: <https://www.pasto.gov.co/resoluciones/resoluciones-2023?download=24430:plan-estrategico-2022-2023-transito&start=325>
- [8] B. jimenez, “La ciudad de Pasto: La batalla por el espacio público”, TuBarco Noticias. Consultado: el 27 de marzo de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://tubarco.news/la-ciudad-de-pasto-la-batalla-por-el-espacio-publico/>
- [9] A. de Pasto, “DECRETO 0097 DE 2024.” Alcaldía, el 31 de enero de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://www.pasto.gov.co/decretos-2024?download=27730:dec-0097-01-feb-2024>
- [10] R. MAPFRE, “¿Qué son las ciudades de 15 minutos?”, MAPFRE. Consultado: el 27 de marzo de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://www.mapfre.com/actualidad/sostenibilidad/que-son-las-ciudades-de-15-minutos/>
- [11] R. C. Visible, ““El concepto de ciudades inteligentes significa la toma de decisiones asertivas para mejorar las condiciones de vida de los ciudadanos”: Juan David Palacio”, Colombia Visible. Consultado: el 30 de marzo de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://colombiavisible.com/el-concepto-de-ciudades-inteligentes-significa-la-toma-de-decisiones-asertivas-para-mejorar-las-condiciones-de-vida-de-los-ciudadanos-juan-david-palacio/>
- [12] Alcaldía de Pasto, “Pasto incluido en Ciudades Sostenibles”, Alcaldía de Pasto. Consultado: el 31 de marzo de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://www.pasto.gov.co/index.php/component/content/article/728-pasto-incluido-en-ciudades-sostenibles?catid=102&Itemid=101>
- [13] M. S. Shirazi, B. T. Morris, y S. Zhang, “Intersection analysis using computer vision techniques with SUMO”, *Intelligent Transportation Infrastructure*, vol. 2, p. liad003, may 2023, doi: 10.1093/iti/liad003.

- [14] S. E. Herrera Chirinos, “Modelo predictivo basado en minería de datos para predecir patrones de tráfico en unidades de peaje peruanos”, 2024, Consultado: el 12 de abril de 2024. [En línea]. Disponible en: <http://repositorio.unprg.edu.pe/handle/20.500.12893/12689>
- [15] J. A. Díaz Pulido, “Aplicación de la minería de datos especiales basada en técnicas de agrupamiento al congestionamiento del tráfico vehicular en la Ciudad de Trujillo, Perú”, 2023, Consultado: el 21 de abril de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://repositorio.uns.edu.pe/handle/20.500.14278/4502>
- [16] “Pinilla - DESARROLLO DE UN MODELO DE INTELIGENCIA ARTIFICIAL.pdf”. Consultado: el 12 de abril de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://repository.universidadean.edu.co/bitstream/handle/10882/13233/RuizJuan2023.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- [17] J. C. Del Rio Cuervo, “Entendiendo comportamientos ciudadanos viales a partir de datos abiertos e inteligencia artificial”, PhD Thesis, Universidad Nacional de Colombia. Consultado: el 12 de abril de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://repositorio.unal.edu.co/handle/unal/81613>
- [18] L. J. HERRERA MARTÍN y J. S. CRUZ BELTRÁN, “MODELO DE ANALÍTICA DE DATOS PARA DEFINICIÓN DE ESTRATEGIAS DE CIRCULACIÓN SEGURA DE LOS VEHÍCULOS DE CARGA EN EL CORREDOR VIAL DE LA CALLE 13 DE LA CIUDAD DE BOGOTÁ. D.C.” el 9 de junio de 2023. [En línea]. Disponible en: <https://repository.unilibre.edu.co/bitstream/handle/10901/25704/Modelo%20de%20Anal%20adtica%20de%20Datos%20para%20Definici%20b3n%20de%20Estrategias%20de%20Circulaci%20b3n%20Segura%20de%20los%20Veh%20adculos%20de%20Carga%20en%20el%20Corredor%20Vial%20de%20la%20Calle%2013%20de%20la%20Ciudad%20de%20Bogot%20a1%20DC.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- [19] “Díaz y Narvaez - 2021 - PREVENCIÓN EN MORBILIDAD MATERNA EXTREMA MEDIANTE .pdf”. Consultado: el 14 de abril de 2024. [En línea]. Disponible en: <http://repositorio.unicesmag.edu.co:8080/xmlui/bitstream/handle/123456789/784/CEIS001-IS%20B456%202022.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- [20] E. A. Erazo Ortiz, “Aplicación de la minería de datos para la detección de factores asociados a la deserción estudiantil en los programas profesionales de las ciencias naturales y ciencias sociales de la Universidad de Nariño sede Pasto”. [En línea]. Disponible en: https://www.lareferencia.info/vufind/Record/CO_984e25bc23fcd08e415ff48d173e784/Details#tabnav
- [21] J. Hernández, “Analítica de datos, ¿Qué es, para qué sirve y cómo utilizarla en las empresas?”, Impacto TIC. Consultado: el 14 de abril de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://impactotic.co/tecnologia/analitica-de-datos-que-es-para-que-sirve-y-como-utilizarla-en-las-empresas/>
- [22] Aricmetrics, “Qué es Analítica descriptiva - Definición y ejemplos”, Aricmetrics. Consultado: el 14 de abril de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://www.aricmetrics.com/glosario-digital/analitica-descriptiva>
- [23] Capterra, “Análisis de diagnóstico”, Capterra. Consultado: el 14 de abril de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://www.capterra.co/glossary/524/diagnostic-analytics>
- [24] G. Cloud, “¿Qué son las analíticas predictivas y cómo funcionan?”, Google Cloud. Consultado: el 14 de abril de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://cloud.google.com/learn/what-is-predictive-analytics?hl=es>
- [25] D. soluciones, “analítica prescriptiva · Decide Soluciones”, Decide. Consultado: el 14 de abril de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://decidesoluciones.es/analitica-avanzada/analitica-prescriptiva/>

- [26] “NotasMD.pdf”. Consultado: el 14 de abril de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://www.cs.buap.mx/~bbeltran/NotasMD.pdf>
- [27] I. de Ingeniería del conocimiento, “Big Data - Expertos en IIC”, Instituto de Ingeniería del Conocimiento. Consultado: el 14 de abril de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://www.iic.uam.es/big-data/>
- [28] U. C. San Pablo, “¿Qué es el big data y cuáles son sus beneficios?”, Postgrado. Consultado: el 14 de abril de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://postgrado.ucsp.edu.pe/articulos/que-es-big-data/>
- [29] P. Europeo, “¿Qué es la inteligencia artificial y cómo se usa?”, Europarl. Consultado: el 14 de abril de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://www.europarl.europa.eu/topics/es/article/20200827STO85804/que-es-la-inteligencia-artificial-y-como-se-usa>
- [30] S. Russell, *Inteligencia artificial un enfoque moderno*. Madrid: PEARSON EDUCACIÓN, S.A, 2009. [En línea]. Disponible en: <https://luismejias21.wordpress.com/wp-content/uploads/2017/09/inteligencia-artificial-un-enfoque-moderno-stuart-j-russell.pdf>
- [31] I. CORPORATIVA, “Descubre los principales beneficios del Machine Learning”, Iberdrola. Consultado: el 21 de abril de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://www.iberdrola.com>, <https://www.iberdrola.com/innovacion/machine-learning-aprendizaje-automatico>
- [32] QuinnRadich, “Entrenamiento del modelo de ML con TensorFlow”. Consultado: el 21 de abril de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://learn.microsoft.com/es-es/windows/ai/windows-ml/tutorials/tensorflow-train-model>
- [33] Z. Keita, “YOLO Object Detection Explained: A Beginner’s Guide”, datacamp. Consultado: el 29 de abril de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://www.datacamp.com/blog/yolo-object-detection-explained>
- [34] Z. Keita, “Explicación de la detección de objetos YOLO: Guía para principiantes”, datacamp. Consultado: el 21 de abril de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://www.datacamp.com/blog/yolo-object-detection-explained>
- [35] J. Redmon, S. Divvala, R. Girshick, y A. Farhadi, “You Only Look Once: Unified, Real-Time Object Detection”, el 9 de mayo de 2016, *arXiv*: arXiv:1506.02640. Consultado: el 21 de abril de 2024. [En línea]. Disponible en: <http://arxiv.org/abs/1506.02640>
- [36] A. Ghosh, “Seguimiento y conteo de objetos YOLOv8”, Learn OpenCV. Consultado: el 27 de abril de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://learnopencv.com/yolov8-object-tracking-and-counting-with-opencv/>
- [37] S. Mallick, “Seguimiento de objetos usando OpenCV (C++/Python)”, Learn OpenCV. Consultado: el 27 de abril de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://learnopencv.com/object-tracking-using-opencv-cpp-python/>
- [38] Python, “El tutorial de Python”, Python documentation. Consultado: el 27 de abril de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://docs.python.org/3/tutorial/index.html>
- [39] A. S. Alberca, “La librería Numpy”, Aprende con Alf. Consultado: el 27 de abril de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://aprendeconalf.es/docencia/python/manual/numpy/>
- [40] A. S. Alberca, “La librería Pandas”, Aprende con Alf. Consultado: el 28 de abril de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://aprendeconalf.es/docencia/python/manual/pandas/>
- [41] E. Pérez Rizo y A. Fernández Mora, “LIBRERÍA Scikit-Learn DE Python PARA MACHINE LEARNING”, SERVICIOS DE APOYO A LA INVESTIGACIÓN. Consultado: el 28 de abril de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://saishnp.com/2023/06/28/libreria-scikit-learn-de-python-para-machine-learning/>
- [42] L. González, “¿Qué es TensorFlow? ¿Cómo funciona?”, Aprende IA. Consultado: el 28 de abril de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://aprendeia.com/que-es-tensorflow-como-funciona/>

- [43] D. Á. Gil, “Metodología CRISP-DM - Adictos al trabajo Tutoriales”, Adictos al trabajo. Consultado: el 27 de abril de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://www.adictosaltrabajo.com/2021/01/14/metodologia-crisp-dm/>
- [44] Atlassian, “¿Qué es scrum? [+ Cómo empezar]”, Atlassian. Consultado: el 28 de abril de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://www.atlassian.com/es/agile/scrum>
- [45] “Sánchez et al. - 2020 - Revisión de algoritmos de detección y seguimiento .pdf”. Consultado: el 27 de abril de 2025. [En línea]. Disponible en: <http://scielo.sld.cu/pdf/rcci/v14n3/2227-1899-rcci-14-03-165.pdf>
- [46] Ultralytics, “Explicación del filtro de Kalman (KF) | Ultralytics”. Consultado: el 27 de abril de 2025. [En línea]. Disponible en: <https://www.ultralytics.com/es/glossary/kalman-filter-kf>
- [47] G. Chrome, “Puntuación de rendimiento de Lighthouse | Chrome for Developers”. Consultado: el 5 de mayo de 2025. [En línea]. Disponible en: <https://developer.chrome.com/docs/lighthouse/performance/performance-scoring?hl=es-419>
- [48] F. B. Ríos, “PARADIGMAS Y PERSPECTIVAS TEÓRICO-METODOLÓGICAS EN EL ESTUDIO DE LA ADMINISTRACIÓN”.
- [49] C. Ortega, “¿Qué es la investigación cuantitativa?”, QuestionPro. Consultado: el 2 de mayo de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://www.questionpro.com/blog/es/que-es-la-investigacion-cuantitativa/>
- [50] C. de la República de Colombia, “Ley 1581 de 2012 - Gestor Normativo”. Consultado: el 31 de marzo de 2025. [En línea]. Disponible en: <https://www.funcionpublica.gov.co/eva/gestornormativo/norma.php?i=49981>

San Juan de Pasto 10 de mayo del 2024

Coronel Ángel Aldemar Acosta Herrera
Comandante Policía Metropolitana
Calle 18 No 47-160 Torobajo
San Juan de Pasto

Asunto: Solicitud Colaboración

Estimado Coronel Acosta,

Un saludo de Paz y Bien. Deseándole muchos éxitos en sus actividades diarias.

Somos docentes investigadores del programa de Arquitectura e Ingeniería de Sistemas de la Universidad CESMAG. Actualmente estamos realizando un proyecto de investigación denominado: **"Formulación de recomendaciones para el aprovechamiento de proximidades de servicios bajo el enfoque de ciudad de 15 minutos en el ordenamiento territorial de Pasto, apoyado en analítica de datos"**.

Uno de los objetivos de la investigación evalúa las trayectorias peatonales y vehiculares de algunos sectores estratégicos de la ciudad que previamente se han escogido. La evaluación de las trayectorias se realizará depurando imágenes y videos de los sectores de referencia y realizando una base de datos con la consolidación de los hallazgos. Con base en esta información se pretende indicar el comportamiento de los usuarios y los accesos a 15 minutos de distancia.

Por lo anterior, de manera respetuosa y en la medida de las posibilidades, nos permitimos solicitar su colaboración para contar con imágenes y/o videos de algunos puntos de la ciudad en un lapso de veinticuatro horas cualquier día de la semana. El uso de la información tiene únicamente fines académicos. Entendemos que el acceso a estas grabaciones está sujeto a ciertas regulaciones y procedimientos de rigor establecidos, y estamos totalmente comprometidos a cumplir con cualquier requisito o protocolo necesario para obtener y tratar esta información de manera ética.

A continuación presentamos un listado de los puntos que estratégicamente ha definido el equipo de investigación. De estos puntos estratégicos agradecemos poder acceder a dos de ellos por cada sector.

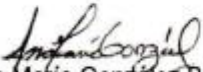
Sector	Punto
1	Tramo: Cll 21C desde Cra 2B hasta la Cra 4E Tramo: Cll 20ª desde Cra 2ª hasta la Cra 6 Este Tramo: Cll 19 desde Cra 1C hasta la Cra 3 Tramo: Cll 18ª desde Cra 1 hasta la Cra 4
2	Tramo: Cll 16 desde la Av. Panamericana hasta la Cra 42D Tramo: Cra 35ª desde la Cll 9 hasta la Cll 13 Tramo: Cll 6 desde Cra 34 hasta la Cra 37 Tramo: Cll 13 desde Cra 44 hasta la Cra 46
3	Tramo: Cra 26 desde la Av. Panamericana hasta la Cll 10 Tramo: Cll 22B desde Cll 4 hasta la Cll 10 Tramo: Cll 13 desde Cra 25 hasta la Cra 27 Tramo: Cra 23 desde Cll 12 hasta la Cll 17

POLICIA METROPOLITANA DE SAN JUAN DE PASTO
Ventanilla única de radicación
22 MAY 2024
Fecha: 12:01
Hora: 12:01
Recibido por: ST. [Firma]

4	Tramo: Cra 29 desde Cll 30 hasta la Cll 31C Tramo: Cra 25 desde Cll 28 hasta la Cll 30A Tramo: Cll 26 desde Cra 16 hasta la Cra 18 Tramo: Cra 19 desde la Corporación hasta Torres del cielo etapa 1 Tramo: Cll 23ª desde la Corporación hasta Mirador de Aquines
5	Tramo: Cll 19 desde la Sebastián de Belalcázar hasta el Banco de la república Tramo: Cra 27 desde la Cll 13 hasta la Cll 18 Tramo: Cra 22 desde la Tierra santa hasta Av. Boyacá Tramo: Av. Las Américas desde la Cll 14 hasta la Av. Boyacá

Quedamos a su disposición para proporcionar cualquier información adicional que pueda ser requerida y agradecemos de antemano su apoyo crucial en el cumplimiento de esta investigación.

Atentamente,


Ana María González Bastidas
Investigador Principal
Docente Programa Arquitectura
amgonzalez@unicesmag.edu.co


Luis Arroyo Escobar Hernández
Coinvestigador
Docente Ingeniería de Sistemas
laescobar@unicesmag.edu.co

Anexo 1: solicitud de colaboración a la policía metropolitana.



**UNIVERSIDAD
CESMAG**
NIT 800.109.387-7
VIA C&A

"Hombres Nuevos para Tiempos Nuevos"

Froy Guillermo de Castellanos O'Donnell



COMPROMISO DE CONFIDENCIALIDAD Y USO DE INFORMACIÓN ESTUDIANTES AUXILIARES O ASISTENTES DE INVESTIGACIÓN

1. IDENTIFICACIÓN DEL ESTUDIANTE:

Nombre:	Gustavo Andrés Rosero Bucheli
NIUP:	1004133900
Código Estudiantil:	1201104025
Programa Académico:	Ingeniería de Sistemas
Semestre:	Noveno
Domicilio:	Carrera 4E No 21b – 24 Santa Barbara
Teléfono:	3175304033
Correo electrónico:	garosero.3900@uniminuto.edu.co

2. PROYECTO DE INVESTIGACIÓN:

Título proyecto de investigación:	Formulación de recomendaciones para el aprovechamiento de proximidades de servicios bajo el enfoque de ciudad de 15 minutos en el ordenamiento territorial de Pasto, apoyado en analítica de datos.
Tipo de participación en la Investigación:	Auxiliar de investigación
Duración total de la investigación:	24 meses
Duración de la vinculación del estudiante en la investigación:	18 meses

3. CONSIDERACIONES:

En calidad de estudiante auxiliar o asistente de investigación de la Universidad CESMAG – UNICESMAG, en adelante denominado "estudiante", por medio del presente documento hago constar que acepto que una de mis responsabilidades durante el proyecto de investigación es mantener estricta confidencialidad y hacer uso adecuado de la información a la que tenga acceso en el proyecto de investigación citado en el numeral 2. En este sentido, suscribo este compromiso conforme a las estipulaciones en él contenidas.

4. CLASIFICACIÓN Y TRATAMIENTO DE INFORMACIÓN SENSIBLE:

Me comprometo a identificar y clasificar la información a la que tenga acceso según las categorías de confidencialidad definidas por la Universidad CESMAG, incluyendo información pública, confidencial, sensible, y de acceso restringido. Cualquier mal manejo o divulgación indebida de la información a la que tenga acceso en el proyecto de investigación, será considerada una violación grave a este compromiso.

5. OBLIGACIONES DE CONFIDENCIALIDAD MANEJO, GESTIÓN Y USO DE INFORMACIÓN

Mediante el presente documento me comprometo a cumplir las siguientes obligaciones:

- Confidencialidad:** Mantener absoluta confidencialidad sobre toda la información sensible confidencial y de acceso restringido relacionada con el proyecto de investigación, incluyendo, pero no limitado a datos personales, documentos, resultados, metodologías, entre otros.
- Acceso limitado:** Sólo acceder a la información a la que esté autorizado y que sea estrictamente necesaria para el cumplimiento de mis funciones en el proyecto.



UNIVERSIDAD
CESMAG
NIT 900 109 367-7
UNIVERSIDAD CESMAG

"Hombres Nuevos para Tiempos Nuevos"

Fray Guillermo de Castellana OFM Cap.



- c. **Manejo de Información en equipos y plataformas institucionales:** La información debe ser almacenada, procesada y gestionada exclusivamente en equipos de cómputo y plataformas digitales de la Universidad o autorizadas por esta.
- d. **Restricciones de uso:** No divulgar, compartir, reproducir, o utilizar la información a la que acceda para ningún fin distinto al autorizado por el proyecto de investigación, siempre acatando los términos del presente acuerdo.
- e. **Almacenamiento Seguro:** Asegurar que cualquier información sensible o personal que maneje, se almacene en entornos seguros, respetando los protocolos de la Universidad en cuanto a seguridad de la información, y no utilizar dispositivos personales para el manejo de dicha información, sin autorización.
- f. **Protección de la información:** Adoptar todas las medidas necesarias para proteger la confidencialidad de la información incluyendo la prevención de accesos no autorizados, alteración o pérdida de la información. Abstenerme de copiar, reproducir o duplicar la información sin la autorización expresa de la Universidad y los propietarios del proyecto.
- g. **Cumplimiento de normativas:** Acatar lo dispuesto en la Ley 1581 de 2012, el Decreto 1074 de 2015, la Política de Tratamiento de Datos Personales de la Universidad CESMAG y cualquier otra normativa o política aplicable.
- h. **Informes de incidentes o intentos de incidentes de seguridad:** En caso de identificar cualquier incidente o intento de incidente de seguridad, acceso no autorizado o vulneración de información personal, confidencial o sensible, me comprometo a notificar de inmediato al Asesor de Seguridad de la Información y Gobierno de Datos de la Universidad CESMAG, al correo electrónico jacasanova@unicesmag.edu.co, con el fin de que se implementen las medidas correctivas pertinentes.

6. TRANSMISIÓN Y COMPARTICIÓN DE INFORMACIÓN:

Conozco y acepto que cualquier transmisión de información para los fines relacionados con el proyecto de investigación deberá realizarse exclusivamente a través de canales de comunicación seguros y autorizados por la Universidad, tales como plataformas cifradas y correos electrónicos oficiales. Queda prohibido el uso de canales no seguros para la transferencia de información.

7. PROTECCIÓN DE DATOS PERSONALES:

Me comprometo a manejar cualquier dato personal obtenido en el curso del proyecto de investigación con estricta confidencialidad y conforme a las normativas vigentes sobre protección de datos personales.

8. EXCEPCIONES AL COMPROMISO DE CONFIDENCIALIDAD:

Este compromiso no será aplicable en los siguientes casos:

- a. Si la información ya es de dominio público al momento de su divulgación, sin incumplir este acuerdo.
- b. Si la ley o una orden judicial exigen la divulgación de la información. En tal caso, me comprometo a notificar de inmediato a la Universidad para que tome las medidas necesarias.

9. DEVOLUCIÓN Y BORRADO DE LA INFORMACIÓN SUMINISTRADA:

El suscrito estudiante con la firma de este documento hace constar que me comprometo a devolver toda la documentación suministrada (escrita, audiovisual, fotográfica, filmica, informática, oral o sonora) facilitada en cualquier formato, así como las copias obtenidas, al finalizar mi vinculación en el proyecto de investigación o cuando así lo requiera la Universidad. Además, me comprometo a destruir adecuadamente la información que no deba ser retenida o aplicar procedimiento de borrado seguro, de acuerdo a establecido por la Universidad.

10. RESPONSABILIDAD PERSONAL Y SANCIONES:

Reconozco y acepto que cualquier incumplimiento de este compromiso podrá resultar en:



UNIVERSIDAD
CESMAG
TEL: 800.109.387-7
www.cesmag.edu.co

"Hombres Nuevos para Tiempos Nuevos"

Fray Guillermo de Castellana OFM Cap.



- a. Responsabilidad legal: Ser sujeto de acciones legales por parte de la Universidad y/o los titulares de la información, incluyendo, pero no limitado a demandas civiles, administrativas y denuncias penales conforme a lo dispuesto en la Ley 1273 de 2009 y demás normas a que haya lugar.
- b. Sanciones disciplinarias: La imposición de sanciones disciplinarias internas por parte de la Universidad.
- c. La terminación de mi vinculación en el proyecto de investigación y/o o la inhabilitación para participar en futuros proyectos de investigación por parte de la Universidad.

11. DURACIÓN DEL COMPROMISO:

Este compromiso de confidencialidad permanecerá vigente durante mi participación en el proyecto de investigación y continuará en vigor indefinidamente después de mi desvinculación, sea cual fuere la causa.

12. ACEPTACIÓN, FECHA Y FIRMA:

COMPROMETIDO

Declaro haber leído, comprendido y aceptado las obligaciones y responsabilidades establecidas en este documento, y me comprometo a cumplirlas de manera íntegra como condición para mi participación en el proyecto de investigación.

Fecha:

19 de noviembre de 2024



Gustavo R.

(Gustavo Andrés Rosero Buchelli (auxiliar o asistente de investigación)
C.C. No. 1004133800 de 1977

Anexo 2: compromiso de confidencialidad



SISTEMA DE ASEGURAMIENTO DE LA CALIDAD

ACTA DE REUNIÓN

Código: SAC-FR-01

Página: 1 de 3

Versión: 1

Vigente a partir de:

2014-06-10

Acta No. 4 2024-2							
Tipo de reunión:	Ordinaria:	X	Extraordinaria:		Obligatoria:		
Proceso:	GRUPO INVESTIGACION TECNOFILIA – ALARIFE			Fecha reunión:	Día	Mes	Año
Lugar:	Salón H201F				29	08	2024
Hora de inicio:	10:30			Hora finalización:	12:00		

Asistentes			
Nº	Nombre	Cargo	Dependencia
1	Ana María González Bastidas	Investigadora principal	Arquitectura
2	Luis Arnoby Escobar Hernández	Co investigador	Ingeniería de Sistemas
3	Gustavo Andrés Rosero Bucheli	Asistente de investigación	Ingeniería de Sistemas
4	Karen Pabón	Asistente de investigación	Arquitectura
5			
6			
7			
8			
9			

Orden del día		
Nº	Temática	Responsable
1	Llamado de lista	Docente
2	Definición de los alcances de la investigación para este semestre	Docentes investigadores
3	Socialización de resultados parciales de trabajo de grado	Karen Pabón

Conclusiones	
1	Se verifica la asistencia y se cuenta con el total de los investigadores y estudiantes asistentes de investigación.
2	Los docentes investigadores definen las variables para tener en cuenta, una vez se realice el tratamiento de la información fotográfica y en video de los cinco puntos seleccionados. Las variables para el análisis de los peatones son: • Género: masculino y femenino • Movilidad reducida: sí o no • Número de personas que transitan. • Trayectoria: transición. • Tiempo: en segundos. Las variables para el análisis de tráfico son: • Tipo de vehículo: carro, camionetas, moto, carga pesada, bicicleta, bus, Scooter • Velocidad del vehículo: en Km/h (en proceso) • Trayectoria: transición. Dada la falta de respuesta del departamento jurídico de la Universidad CESMAG para el tratamiento de información sensible por parte de los estudiantes, los docentes investigadores acuerdan que, hasta recibir la respuesta oficial y en aras de agilizar el proceso investigativo generado por los trabajos de grado, se recurre a trabajar así: El profesor Luis Arnoby tendrá hasta el 12 de septiembre para realizar el recorte de los videos en las franjas horarias acordadas en acta No. 3 del 8 de agosto de 2024. El tratamiento de la información se realiza en estricto cumplimiento a la Ley 1581 de 2012, por la cual se dictan disposiciones generales para la protección de datos personales, y bajo el rigor ético que el proyecto de investigación demanda en esta fase del proyecto.

SISTEMA DE ASEGURAMIENTO DE LA CALIDAD

ACTA DE REUNIÓN

	Por tanto, desde la coordinación del proyecto se realizará un oficio de entrega que será entregado por correo electrónico del co investigador. El recorte de las franjas horarias es necesario pues a partir de la especificidad de la información, el estudiante Gustavo Rosero puede iniciar con la calibración y entreno de los fotogramas. Se trabajará la información punto por punto y franja por franja, de tal manera que el estudiante pueda trabajar un video a la vez. Después de esto, eliminará la información respectiva para evitar cualquier situación de exposición. Si ya por esfuerzo de máquina y tiempo, se requiere trabajar toda la información se espera a tener la respuesta de jurídica para que el estudiante empiece a realizar su proceso. El modelo identifica las personas y trayectoria para automáticamente generar la extracción. Se están buscando alternativas de eficiencia en el análisis, por ejemplo, en este momento, se está trabajando con la versión 5 de YOLO, no es tan exigente, pero viene limitada de herramientas. Por tanto, se recomendó al estudiante realizar pruebas con COLLAB repositorio en la nube y subir la versión de YOLO a 8 de manera integral. Este trabajo operativo será parte del diseño metodológico del trabajo de grado, es el estudiante quien debe ingresar la información e ir redactando los resultados.
3	Se hace la presentación y socialización de los resultados de los avances proyecto de investigación de Karen Pabón. Se incluye en los anexos a esta acta, la infografía presentada por la estudiante con la síntesis del diseño metodológico y los resultados parciales obtenidos hasta el momento. Como observación para ajustes internos en asesoría con la estudiante, se debe determinar el número de imágenes que deberá revisar Karen para la materialidad, morfología y permeabilidad. Es importante porque bajo ellas va a realizar la calificación (ponderación cuantitativa). Estas imágenes van a salir de la extracción de videos que realice el profesor Luis Escobar. También se debe revisar o ajustar el diseño de permeabilidad equivalente al principio de caminar y principio de pedalear. Trabajar con los cuartiles (estandarización estadística) para señalar intervalos de ponderación.



SISTEMA DE ASEGURAMIENTO DE LA CALIDAD

ACTA DE REUNIÓN

	Actividad	Responsable
6.	Gestionar información y formatos en la Oficina Jurídica de la Universidad	Ana María González
	Avances documento	Karen Pabón
	Avances documento / Revisión del FrameWork a utilizar para el Sitio Web	Gustavo Andrés Rosero Bucheli
	Gestionar información sobre integridad y confidencialidad de la información desde la oficina de seguridad de la información y gobierno de datos.	Luis Arroyo Escobar H.
	Asesorar los avances en documento y selección del FrameWork más apropiado en el desarrollo del sitio web.	

En constancia de lo expuesto, firman la presente acta los docentes a cargo de la investigación y se brinda conocimiento de esta reunión a los directores de los grupos de investigación de cada facultad.

Mg. Ana María González Bastidas
Investigadora principal

Mg. ~~Luis Arroyo~~ Escobar
Co investigador

Esp. Jorge ~~Albeiro~~ Rivera
Director Grupo TECNOFILIA

Mg. Mario ~~Calvachi~~
Director Grupo ALARIFE

Anexo 3: acta de definición de variables




I Congreso Internacional de Innovación Social


Gestión de conocimiento
y construcción de paz

Hace constar que:

GUSTAVO ANDRÉS ROSERO BUCHELI

1004133900

Documento de identidad

Por su participación en la modalidad de Póster con el proyecto
 Aplicación de analítica de datos para identificar tendencias de comportamiento en los flujos peatonales y vehiculares en
 sectores estratégicos de la ciudad de San Juan de Pasto

Primer Congreso Internacional de Innovación Social
 realizado los días 6 y 7 de noviembre de 2024.

Se firma en San Juan de Pasto a los 7 días del mes de noviembre de 2024.



Mg. Tito Manuel Piamba Mamian
Director Ingeniería Mecatrónica
Universidad Mariana



Mg. Lilian Montufar Andrade
Subsecretaria de Innovación
Gobernación de Nariño



Mg. Robinson Andrés Jiménez Toledo
Decano Ingenierías
Universidad Mariana



Universidad Mariana



Gobernación de NARIÑO



Subsecretaría de Innovación



ai



M&S



UNAD



SANMARTÍN



UNIMINUTO



UNIVALLE



LA CASA DEL BUIO



DEPARTAMENTO DE PASTO

Anexo 4. Certificado de Congreso Internacional de Innovación Social



UNIVERSIDAD
DIOS
CIENCIA Y SERVICIO
CES MAG

La Vicerrectoría de Investigación y Extensión y la
Jefatura de Semilleros de Investigación

Certifican que :

ROSERO BUCHELI GUSTAVO ANDRES

Identificado(a) con documento n° **1004133900**

PARTICIPÓ COMO **PONENTE** EN EL

**Tercer Encuentro Internacional de
Semilleros de Investigación**

Código de Verificación
82dee7-94f6-fec2b2a

Realizado el 15 y 16 de mayo de 2024
Se firma en San Juan de Pasto




Fray Luis Eduardo Rubiano Guáqueta, OFMCap.
Rector


PhD Javier Jiménez Toledo
Vicerrector de Investigación y Extensión

* VIGILADA MINEDUCACIÓN

HOMBRES NUEVOS PARA TIEMPOS NUEVOS
Fray Guillermo de Cossío, OFMCap.

Anexo 5. Certificado de Semilleros de Investigación

 UNIVERSIDAD CESMAG NIT: 800.109.387-7 VIGILADA MINEDUCACIÓN	CARTA DE ENTREGA TRABAJO DE GRADO O TRABAJO DE APLICACIÓN – ASESOR(A)	CÓDIGO: AAC-BL-FR-032 VERSIÓN: 1 FECHA: 09/JUN/2022
---	---	---

San Juan de Pasto, 27 de agosto 2025

Biblioteca
REMIGIO FIORE FORTEZZA OFM. CAP.
Universidad CESMAG
Pasto

Saludo de paz y bien.

Por medio de la presente se hace entrega del Trabajo de Grado / Trabajo de Aplicación denominado **Aplicación de analítica de datos para identificar tendencias de comportamiento en los flujos peatonales y vehiculares en sectores estratégicos de San Juan de Pasto**, presentado por el (los) autor(es) **Gustavo Andres Rosero Bucheli**, del Programa Académico Ingeniería de Sistemas al correo electrónico biblioteca.trabajosdegrado@unicesmag.edu.co. Manifiesto como asesor, que su contenido, resumen, anexos y formato PDF cumple con las especificaciones de calidad, guía de presentación de Trabajos de Grado o de Aplicación, establecidos por la Universidad CESMAG, por lo tanto, se solicita el paz y salvo respectivo.

Atentamente,


Luis Arnoby Escobar Hernández.
98388299 de Pasto
Ingeniería de Sistemas
3154671444
laescobar@unicesmag.edu.co

 UNIVERSIDAD CESMAG NIT: 800.109.387-7 VIGILADA MINEDUCACIÓN	AUTORIZACIÓN PARA PUBLICACIÓN DE TRABAJOS DE GRADO O TRABAJOS DE APLICACIÓN EN REPOSITORIO INSTITUCIONAL	CÓDIGO: AAC-BL-FR-031
		VERSIÓN: 1
		FECHA: 09/JUN/2022

INFORMACIÓN DEL (LOS) AUTOR(ES)	
Nombres y apellidos del autor: Gustavo Andrés Rosero Bucheli	Documento de identidad: 1004133900
Correo electrónico: andresbucheli352@gmail.com	Número de contacto: 3175304033
Nombres y apellidos del asesor: Luis Arnoby Escobar Hernández	Documento de identidad: 98388299
Correo electrónico: laescobar@unicesmag.edu.co	Número de contacto: 315 4671444
Título del trabajo de grado: Aplicación de analítica de datos para identificar tendencias de comportamiento en los flujos peatonales y vehiculares en sectores estratégicos de San Juan de Pasto.	
Facultad y Programa Académico: Ingeniería, Ingeniería de Sistemas	

En mi (nuestra) calidad de autor(es) y/o titular (es) del derecho de autor del Trabajo de Grado o de Aplicación señalado en el encabezado, confiero (conferimos) a la Universidad CESMAG una licencia no exclusiva, limitada y gratuita, para la inclusión del trabajo de grado en el repositorio institucional. Por consiguiente, el alcance de la licencia que se otorga a través del presente documento, abarca las siguientes características:

- La autorización se otorga desde la fecha de suscripción del presente documento y durante todo el término en el que el (los) firmante(s) del presente documento conserve (mos) la titularidad de los derechos patrimoniales de autor. En el evento en el que deje (mos) de tener la titularidad de los derechos patrimoniales sobre el Trabajo de Grado o de Aplicación, me (nos) comprometo (comprometemos) a informar de manera inmediata sobre dicha situación a la Universidad CESMAG. Por consiguiente, hasta que no exista comunicación escrita de mi(nuestra) parte informando sobre dicha situación, la Universidad CESMAG se encontrará debidamente habilitada para continuar con la publicación del Trabajo de Grado o de Aplicación dentro del repositorio institucional. Conozco(conocemos) que esta autorización podrá revocarse en cualquier momento, siempre y cuando se eleve la solicitud por escrito para dicho fin ante la Universidad CESMAG. En estos eventos, la Universidad CESMAG cuenta con el plazo de un mes después de recibida la petición, para desmarcar la visualización del Trabajo de Grado o de Aplicación del repositorio institucional.
- Se autoriza a la Universidad CESMAG para publicar el Trabajo de Grado o de Aplicación en formato digital y teniendo en cuenta que uno de los medios de publicación del repositorio institucional es el internet, acepto(amos) que el Trabajo de Grado o de Aplicación circulará con un alcance mundial.
- Acepto (aceptamos) que la autorización que se otorga a través del presente documento se realiza a título gratuito, por lo tanto, renuncio(amos) a recibir emolumento alguno por la publicación, distribución, comunicación pública y/o cualquier otro uso que se haga en los términos de la presente autorización y de la licencia o programa a través del cual sea publicado el Trabajo de grado o de Aplicación.
- Manifiesto (manifestamos) que el Trabajo de Grado o de Aplicación es original realizado sin violar o usurpar derechos de autor de terceros y que ostento(amos) los derechos patrimoniales de autor sobre la misma. Por consiguiente, asumo(asumimos) toda la responsabilidad sobre su contenido ante la Universidad CESMAG y frente a terceros, manteniéndose indemne de cualquier reclamación que surja en virtud de la misma. En todo caso, la Universidad CESMAG se

 UNIVERSIDAD CESMAG NIT: 800.109.387-7 VIGILADA MINEDUCACIÓN	AUTORIZACIÓN PARA PUBLICACIÓN DE TRABAJOS DE GRADO O TRABAJOS DE APLICACIÓN EN REPOSITORIO INSTITUCIONAL	CÓDIGO: AAC-BL-FR-031
		VERSIÓN: 1
		FECHA: 09/JUN/2022

compromete a indicar siempre la autoría del escrito incluyendo nombre de(los) autor(es) y la fecha de publicación.

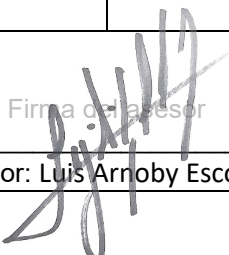
- e) Autorizo(autorizamos) a la Universidad CESMAG para incluir el Trabajo de Grado o de Aplicación en los índices y buscadores que se estimen necesarios para promover su difusión. Así mismo autorizo (autorizamos) a la Universidad CESMAG para que pueda convertir el documento a cualquier medio o formato para propósitos de preservación digital.

NOTA: En los eventos en los que el trabajo de grado o de aplicación haya sido trabajado con el apoyo o patrocinio de una agencia, organización o cualquier otra entidad diferente a la Universidad CESMAG. Como autor(es) garantizo(amos) que he(hemos) cumplido con los derechos y obligaciones asumidos con dicha entidad y como consecuencia de ello dejo(dejamos) constancia que la autorización que se concede a través del presente escrito no interfiere ni transgrede derechos de terceros.

Como consecuencia de lo anterior, autorizo(autorizamos) la publicación, difusión, consulta y uso del Trabajo de Grado o de Aplicación por parte de la Universidad CESMAG y sus usuarios así:

- Permito(permitimos) que mi(nuestro) Trabajo de Grado o de Aplicación haga parte del catálogo de colección del repositorio digital de la Universidad CESMAG por lo tanto, su contenido será de acceso abierto donde podrá ser consultado, descargado y compartido con otras personas, siempre que se reconozca su autoría o reconocimiento con fines no comerciales.

En señal de conformidad, se suscribe este documento en San Juan de Pasto a los 27 días del mes de 08 del año 2025

 Firma del autor	
Nombre del autor: Gustavo Andrés Rosero Bucheli	Nombre del autor:
 Firma del asesor Nombre del asesor: Luis Arnooby Escobar Hernández	