

DESARROLLO DE UN SISTEMA AUTOMATIZADO PARA EL CONTEO Y
CLASIFICACIÓN DE LA AFLUENCIA VEHICULAR EN GIRARDOT UTILIZANDO
VISIÓN ARTIFICIAL Y SEGUIMIENTO DE OBJETOS

JUAN CAMILO BULA OYUELA

UNIVERSIDAD PILOTO DE COLOMBIA
SECCIONAL DEL ALTO MAGDALENA
FACULTAD DE INGENIERIA
PROGRAMA DE INGENIERIA DE SISTEMAS
GIRARDOT, CUNDINAMARCA

2025

DESARROLLO DE UN SISTEMA AUTOMATIZADO PARA EL CONTEO Y
CLASIFICACIÓN DE LA AFLUENCIA VEHICULAR EN GIRARDOT UTILIZANDO
VISIÓN ARTIFICIAL Y SEGUIMIENTO DE OBJETOS

JUAN CAMILO BULA OYUELA

Juan-bula@upc.edu.co

Trabajo de grado para optar por el título de ingeniero de sistemas

Asesores

LUDWIG IVAN TRUJILLO HERNANDEZ

EMMANUEL RIVERA GUZMAN

MICHAEL AFRANIO DIAZ RICARDO

UNIVERSIDAD PILOTO DE COLOMBIA

SECCIONAL DEL ALTO MAGDALENA

FACULTAD DE INGENIERIA

PROGRAMA DE INGENIERIA DE SISTEMAS

GIRARDOT, CUNDINAMARCA

2025

DEDICATORIA

"Las ideas son el capital del futuro."

— W. Edwards Deming

Dedico este proyecto a quienes comprenden que el conocimiento aplicado y la visión tecnológica son motores del cambio real.

A toda mi familia en especial a mi padre, madre y hermano, por su respaldo constante, y a quienes contribuyeron desde lo académico, técnico y humano al desarrollo de esta propuesta.

Este trabajo representa una apuesta por el futuro desde lo local; una idea convertida en sistema, diseñada para ayudar a mejorar el tránsito en la ciudad, aprovechando de forma consciente los avances tecnológicos actuales.

Porque las ideas que se construyen con intención se transforman en soluciones. Y las soluciones, en impacto.

AGRADECIMIENTOS

Agradezco profundamente a mi padre, mi madre y mi hermano, por su apoyo constante, por su confianza en mí y por acompañarme en cada etapa de este proceso con palabras de ánimo y compromiso incondicional.

A mi tía Edilma y a mi abuela Fanny, por brindarme también ese respaldo que siempre estuvo presente cuando más lo necesité.

Extiendo mi agradecimiento al ingeniero Michael, por proporcionarme el material necesario y tutoría para desarrollar este proyecto.

Al profesor Ludwing y al profesor Emmanuel Rivera, quienes me guiaron con claridad, convicción y cercanía, alentándome a continuar con disciplina y visión profesional. Y de manera especial, al profesor Moncada, por haber compartido la idea que dio origen a este trabajo, marcando el punto de partida de este proyecto académico.

A todos ustedes, gracias por formar parte esencial de este logro.

TABLA DE CONTENIDO

GLOSARIO	13
RESUMEN.....	14
ABSTRACT.....	15
1. INTRODUCCION.....	16
1.1. Titulo	17
1.2. Tema.....	17
2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	19
2.1. Observación y descripción de datos y hechos del problema.....	19
2.2. Hallazgo del problema	20
2.3. Formulación del problema	21
2.4. Elementos del problema.....	21
2.5. Preguntas generadoras.....	21
3. OBJETIVOS	22
3.1. Objetivo general	22
3.2. Objetivos específicos	22
4. JUSTIFICACION	23
5. ALCANCE Y LIMITE	25
5.1. Alcance presente	25
5.2. Futuro	27
5.3. Limites	28
6. MARCOS DE REFERENCIA.....	30
6.1. Antecedentes	30
6.2. Marco teórico	32
6.3. Marco conceptual	39
6.4. Marco legal.....	42
7. HIPOTESIS	45
7.1. Hipótesis del trabajo.....	45
7.2. Variables independientes	45
7.3. Variables dependientes.....	45
8. DISEÑO METODOLÓGICO DE LA INVESTIGACIÓN.....	46

8.1.	Área o tema de investigación	46
8.2.	Línea de investigación.....	46
8.3.	Tipo de investigación	47
8.4.	Enfoque de la investigación	47
8.5.	Carácter de la investigación	48
8.6.	Técnicas e instrumentos para la recolección de información.....	48
8.6.1.	Instrumento de Recolección de Datos: Actas de Reunión	48
8.7.	Tabulación de resultados.....	49
9.	METODOLOGÍA DE DESARROLLO DE SOFTWARE	51
9.1.	Tipo de metodología a desarrollar de la solución informática.....	51
9.2.	Fases de la metodología	52
9.3.	Desarrollo de la metodología	54
9.3.1.	Fase 1: definición de requerimientos	54
9.3.1.1.	Actividades realizadas.....	54
9.3.1.1.1.	Requerimientos funcionales	54
9.3.1.1.2.	Requerimientos no funcionales	55
9.3.1.1.3.	Requerimientos Técnicos	56
9.3.1.1.4.	Priorización de requerimientos	57
9.3.1.2.	Resultados obtenidos.....	57
9.3.1.2.1.	Diagrama de caso de uso.....	57
9.3.2.	Fase 2: Diseño	67
9.3.2.1.	Arquitectura del sistema.....	67
9.3.3.	Fase 3: Pruebas.....	75
9.3.3.1.	Resultados obtenidos.....	76
9.3.3.1.1.	Pruebas Funcionales.....	76
9.3.3.1.2.	Pruebas de Integración	83
9.3.3.1.3.	Pruebas de precisión.....	89
9.3.4.	Fase 4: Análisis de Resultados.....	97
10.	ANÁLISIS DEL SISTEMA ACTUAL	99
10.1.	Diagnostico	99
11.	ANÁLISIS DE RIESGO.....	100
11.1.	Definición de Escalas.....	100

11.2.	Identificación de Factores	102
11.2.1.	Factor humano.....	102
11.2.2.	Factor técnico o tecnológico	103
11.2.3.	Factor organizacional	104
11.3.	Conclusiones del Análisis de Riesgo	105
12.	ANALISIS DEL PROYECTO.....	106
12.1.	Estudio de factibilidad.....	106
12.1.1.	Factibilidad Técnica	106
12.1.2.	Factibilidad legal y ética	107
12.1.3.	Factibilidad Económica (Presupuesto).....	107
12.1.3.1.	Recursos humanos.....	107
12.1.3.2.	Materiales.....	109
12.1.4.	Cronograma de actividades	111
13.	RECOMENDACIONES	112
14.	CONCLUSIONES	114
	BIBLIOGRAFIA	118
	ANEXOS	124

INDICE DE FIGURAS

Figura 1. Diagrama de caso de uso del sistema de conteo y clasificación vehicular.....	58
Figura 2. Estructura del software desarrollado para el conteo y clasificación vehicular.....	69
Figura 3. Modelo conceptual (entidad-relación).....	70
Figura 4. Diagrama de clases del sistema de conteo vehicular.....	72
Figura 5. Detección, clasificación y asignación de id a los vehículos durante las pruebas funcionales.	78
Figura 6. Conteo de vehículos al cruzar la línea predefinida en las pruebas funcionales....	79
Figura 7. Selección de video	80
Figura 8. Dibujo de la línea de conteo	81
Figura 9. Historial de videos analizados	82
Figura 10. Detección y conteo de automóviles	85
Figura 11. Actualización del contador en la interfaz.....	85
Figura 12. Conteo de diferentes tipos de vehículos	86
Figura 13. Registro en la base de datos (historial).....	87
Figura 14. Exportación de datos a excel	88
Figura 15. Pruebas realizadas en la mañana bajo cielo nublado.....	91
Figura 16. Pruebas realizadas en la tarde en condiciones soleadas.....	92
Figura 17. Pruebas realizadas en la noche con buena iluminación.	93
Figura 18. Cronograma de actividades.....	111

INDICE DE TABLAS

Tabla 1. RF1. Cargar un video desde el sistema de archivos	25
Tabla 2. RF2. Detectar y clasificar objetos mediante yolov8	26
Tabla 3. RF3. Dibujar líneas de conteo de manera manual.....	26
TABLA 4. RF4. Registro y reporte de resultados	27
Tabla 5. Comparacion de modelos de deteccion de objetos.....	37
Tabla 6. Tabulación de resultados de las reuniones realizadas para la recolección de información	50
Tabla 7. RF1. Cargar un video desde el sistema de archivos.	59
Tabla 8. RF2. Detectar y clasificar objetos mediante yolov8	60
Tabla 9. RF3. Dibujar líneas de conteo de manera manual.....	61
Tabla 10. RF4. Realizar seguimiento de objetos	62
Tabla 11. RF6. Guardar en la base de datos	63
Tabla 12. RF7. Mostrar historial de videos analizados	64
Tabla 13. RF9. Exportar resultados a excel.....	65
Tabla 14. RF10. Eliminar un registro de la base de datos	66
Tabla 15. Diccionario de datos de la tabla videos	71
Tabla 16. Diccionario de datos de la tabla conteo.....	71
Tabla 17. Descripción de clases, métodos y funciones del sistema de conteo vehicular	74
Tabla 18. Componentes evaluados	83
Tabla 19. Resultados de las pruebas.....	84
Tabla 20. Precisión por clase – franja horaria: mañana / nublado	94
Tabla 21. Precisión por clase – franja horaria: tarde / soleado.....	94
Tabla 22. Precisión por clase – franja horaria: noche / iluminación baja.....	95
Tabla 23. Resultados por franja horaria	95
Tabla 24. Definición de escalas de impacto y probabilidad para la evaluación de riesgos	100
Tabla 25. Niveles de riesgo según el valor del riesgo total	101
Tabla 26. Riesgos por factor humano.....	102
Tabla 27. Riesgos por factor tecnológico	103
Tabla 28. Riesgos por factor organizacional	104

Tabla 29. Costos estimados de personal para el desarrollo del sistema	108
Tabla 30. Costos estimados de materiales y software para el desarrollo del sistema	110

INCIE DE ANEXOS

Anexo 1. Aval del Proyecto por el Observatorio de Movilidad.....	125
Anexo 2. Manual de Usuario del Sistema.....	125
Anexo 3. Manual Técnico del Sistema.....	125
Anexo 4. Actas de Reunión.....	126

INDICE DE FORMULAS

Fórmula 1. Cálculo de precisión.....	91
Fórmula 2. Cálculo del riesgo total.....	102

GLOSARIO

Flujo vehicular. Número de vehículos que transitan por una carretera o intersección en un período determinado. Funciona como un factor central en los estudios de movilidad urbana.

Algoritmo de seguimiento. Asignando identificadores únicos, una técnica computacional para rastrear objetos en movimiento a través de secuencias de video, evitando conteos repetitivos.

Base de datos. Un sistema organizado para registrar, consultar y manejar la información producida durante el proceso de conteo y análisis de vehículos.

Clasificación de vehículos. Una clasificación automática de los vehículos detectados según su categoría, como coches, motocicletas o autobuses.

Conteo de vehículos. La tarea de contar el número de vehículos que cruzan una línea o región predeterminada dentro del espacio de análisis.

Detección de objetos. Método de visión artificial capaz de posicionar y encontrar objetos (vehículos) dentro de imágenes o secuencias de video.

Interfaz gráfica. Material visual o punto de contacto desde el cual el usuario controla el sistema, permitiendo la presentación de videos, resultados y opciones analíticas.

Modelo YOLOv8. Clásico de IA para la detección de objetos, posee excelente velocidad y precisión en un entorno urbano.

Visión artificial. Tecnología que permite a los sistemas informáticos leer una imagen o video para llevar a cabo actividades como detectar, rastrear y contar vehículos.

Zona de conteo. Un área definida por el usuario mediante una línea en la interfaz gráfica para determinar el punto de cruce, activando el conteo de vehículos.

RESUMEN

El presente trabajo tuvo como objetivo desarrollar un sistema automatizado para el conteo y clasificación de la afluencia vehicular en Girardot, utilizando visión artificial y seguimiento de objetos. Se empleó una metodología de desarrollo por prototipos, lo cual permitió realizar ajustes iterativos a partir de pruebas funcionales y retroalimentación continua. El modelo YOLOv8 para la detección de vehículos fue integrado junto con un algoritmo de seguimiento para evitar conteos duplicados, permitiendo distinguir entre coches, motocicletas y autobuses. Los videos fueron procesados localmente y los resultados se almacenaron en una base de datos con capacidad de exportación. Se realizaron pruebas de precisión en diferentes condiciones de iluminación en la categoría de coches y se lograron niveles superiores al 75%. Los resultados obtenidos demostraron la funcionalidad del sistema y pueden contribuir significativamente a la planificación urbana y la gestión eficiente del tráfico. Además, se identificaron la colocación de la línea de conteo, el ángulo y la altura de la cámara como factores que afectan la precisión del sistema. Este proyecto demuestra la aplicabilidad de la inteligencia artificial para resolver problemas reales de movilidad urbana en contextos locales.

Palabras clave: visión por computadora, conteo de vehículos, YOLOv8, seguimiento de objetos, inteligencia artificial, movilidad urbana.

ABSTRACT

This work aimed to develop an automated system for counting and classifying vehicular traffic in Girardot, using computer vision and object tracking. A prototype development methodology was employed, allowing for iterative adjustments based on functional tests and continuous feedback. The YOLOv8 model for vehicle detection was integrated with a tracking algorithm to avoid duplicate counts, enabling differentiation between cars, motorcycles, and buses. Videos were processed locally, and the results were stored in an exportable database. Accuracy tests were performed under different lighting conditions in the car category, achieving levels above 75%. The results obtained demonstrated the system's functionality and can significantly contribute to urban planning and efficient traffic management. Furthermore, the placement of the line of contact, the camera angle, and height were identified as factors affecting the system's accuracy. This project demonstrates the applicability of artificial intelligence to solve real-world urban mobility problems in local contexts.

Keywords: computer vision, vehicle content, YOLOv8, object tracking, artificial intelligence, urban mobility.

1. INTRODUCCION

El proceso de urbanización rápida que muchas ciudades han experimentado en las últimas décadas ha resultado en los desafíos mencionados anteriormente relacionados con el manejo del tráfico y la movilidad urbana. Girardot, en este sentido, representa un caso único al estar en la encrucijada de volúmenes vehiculares masivos. La congestión, las colisiones y la insuficiencia de infraestructura son problemas típicos que afectan el tráfico urbano y las operaciones de transporte público y de carga en la ciudad, así como las condiciones en las que los residentes viven día a día. Por lo tanto, es fundamental contar con equipos que permitan un análisis más preciso y eficiente del flujo vehicular en estas áreas. La rápida revolución tecnológica de las últimas décadas ha allanado el camino para una nueva era de tecnologías de inteligencia artificial para abordar problemas que hacen que el mundo real sea desafiante, en términos de salud, industria y movilidad urbana; desde la salud, hasta la industria, la movilidad, y de ahí, a la industria y muchas otras áreas. Entre estas, entre las arquitecturas emergentes en este entorno, las redes neuronales de IA son las más prometedoras, ya que aprenden de los datos que se les presentan, aprendiendo para la tarea de encontrar patrones, clasificar la información y tomar decisiones con precisión sin programación explícita de cada tarea.

Basado en este enfoque propuesto, el presente proyecto tiene como objetivo desarrollar un sistema automatizado capaz de analizar secuencias de video tomadas en la intersección de interés, para poder cuantificar y categorizar el tráfico vehicular con la ayuda del modelo de detección de objetos entrenado mediante aprendizaje profundo. Estudiar el comportamiento del tráfico en franjas horarias de alta demanda, condiciones de iluminación variables o eventos climáticos adversos, es más manejable y reproducible si se trabaja con video pregrabado. Los métodos tradicionales de conteo de tráfico, que dependen de personal de campo o dispositivos de detección básicos, con deficiencias conocidas tanto en precisión como en cobertura temporal, carecen de las capacidades para automatizar usando visión por computadora, lo que lleva a mejoras sustanciales: mayor precisión en la recolección de datos, menor tiempo de procesamiento y un flujo continuo de inteligencia que sirve estratégicamente para avanzar en la planificación de la movilidad y la gestión eficiente del El objetivo específico del trabajo es diseñar la instrumentación para el control y la

categorización de la circulación vehicular en el lugar para separar coches, motocicletas y autobuses; para monitorear el flujo de tráfico en escalas de tiempo definidas en el momento de la investigación. Con esta información, las autoridades locales de Girardot podrán centrarse en sus decisiones de control de tráfico y hacer cifras objetivas y frescas en lugar de estimaciones subjetivas o números esporádicos. La investigación es metodológica en procedimiento y experimental en metodología. En la encuesta de campo, se recopilaban y cuantificaban resultados utilizando el equipo actual en términos de precisión de detección y tiempo computacional en el sistema actual, y se compararon con el método convencional de conteo de tráfico. Las variables de conteo y clasificación se analizaron descriptivamente para el comportamiento del tráfico en la intersección con diferentes estados de operación. Y además del lado técnico, el proyecto es importante en dos aspectos. En un sentido práctico, el sistema genera datos que se utilizan directamente para la planificación de la infraestructura vial, la regulación del tráfico y la política de seguridad vial en el municipio. Además, académicamente, la construcción de la solución brindará la oportunidad a los participantes de aplicar herramientas de inteligencia artificial a un problema real de movilidad urbana, produciendo así conocimiento transferible a cualquier otro entorno espacial que tenga alguna similitud en características.

1.1. Título

DESARROLLO DE UN SISTEMA AUTOMATIZADO PARA EL CONTEO Y CLASIFICACIÓN DE LA AFLUENCIA VEHICULAR EN GIRARDOT UTILIZANDO VISIÓN ARTIFICIAL Y SEGUIMIENTO DE OBJETOS

1.2. Tema

El aumento del tráfico en las ciudades ha generado la necesidad de implementar soluciones tecnológicas para mejorar la gestión y el análisis de la afluencia vehicular. En particular, en Girardot, se carece de un sistema eficiente y automatizado que permita el conteo preciso de los vehículos que transitan por la zona.

El presente trabajo aborda la construcción de un sistema automatizado orientado al conteo y clasificación de la afluencia vehicular, utilizando visión artificial y seguimiento de objetos. Al emplear redes neuronales y algoritmos de detección y seguimiento, el sistema podrá reconocer y contar varios tipos de vehículos, incluidos automóviles, motocicletas y autobuses, a partir del análisis de video en la intersección mencionada. Basado en la información anterior, el sistema propuesto utilizará el modelo YOLO (You Only Look Once) en una técnica de detección de vehículos y seguimiento de objetos para que el mismo vehículo no sea contado varias veces. Además, el conteo también se almacenará en una base de datos, lo cual será útil durante el análisis de los conteos resultantes. El objetivo de este método es desarrollar una herramienta que permita a las autoridades locales y a los urbanistas del municipio de Girardot tomar decisiones informadas sobre movilidad y planificación vial. Se busca abordar las desventajas de los enfoques manuales (o semiautomáticos) que son más lentos y menos precisos. Este enfoque no solo minimizará el riesgo de error humano en la interpretación de datos, sino que también permitirá la recopilación de grandes cantidades de datos en períodos cortos, lo cual es invaluable para el estudio de la planificación urbana y la movilidad. Este proyecto ayudará a satisfacer un requisito particular de la ciudad de Girardot, ya que la expansión del parque vehicular supera la capacidad de la tecnología tradicional de monitoreo vial. Los datos generados por el sistema presentan una base sólida para que las autoridades locales tomen decisiones en tres áreas principales, como optimizar el flujo vehicular en intersecciones críticas, planificar obras de infraestructura vial y desarrollar estrategias para la prevención de accidentes en la ciudad.

2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

2.1. Observación y descripción de datos y hechos del problema

La congestión del tráfico se está convirtiendo en un problema importante en muchas ciudades colombianas, lo que afecta la calidad de vida de los ciudadanos y la efectividad del sistema de transporte urbano. En Girardot, municipio de Cundinamarca, encontramos áreas críticas con alta densidad vehicular y también la necesidad de sistemas de monitoreo automatizados para ayudar a las autoridades de tráfico a tomar decisiones informadas, particularmente en las principales intersecciones del área urbana. En la medida en que se mantenga esta tendencia, se deben aplicar soluciones tecnológicas que permitan el conteo y la clasificación automatizada de vehículos. Al implementar el proceso de validación del sistema propuesto, se seleccionó la intersección de la Calle Dos con la Carrera Cuarta en el distrito de Gualanday, municipio de Coello, Tolima, como un entorno de prueba para el sistema propuesto debido a condiciones logísticas favorables. No obstante, este sistema se basó en los problemas que la comunidad investigadora había experimentado en Girardot y está destinado a ser llevado a esa área para analizar los patrones de tráfico dentro de la ciudad y las ciudades para mejorar la movilidad urbana. En ciudades más grandes como Phoenix, Arizona, el sistema SCOOT (Split Cycle Offset Optimization Technique) ha ayudado a gestionar los semáforos que permiten el uso de su software adaptativo para optimizar el flujo de vehículos en tiempo real y reducir el tiempo de viaje (SciPublications, 2023).

En Dalian, China, se aplicó la dinámica de fluidos computacional (CFD) para explorar y refinar el diseño de las intersecciones urbanas para aliviar el número de puntos de congestión mediante la modificación de la geometría de las carreteras (Dong et al., 2024).

En ciudades como Bogotá, las restricciones a los vehículos han sido parte de la solución a la congestión. En particular, la implementación del esquema de extensión para la medida de "Pico y Placa" ha reducido la congestión de las ciudades en horas de los días laborables en un 11%, según el estudio reportado por el análisis de datos de Waze (Banco Mundial, 2022). Tales métodos aún no son aplicables a ciudades intermedias como Girardot, donde los recursos y la infraestructura son escasos. La movilidad se ha convertido en un desafío considerable en Medellín. Según las estadísticas del Área Metropolitana del Valle de Aburrá

(AMVA), la flota vehicular creció un 55.23% entre 2015 y 2021, de 1,219,085 vehículos a 1,892,436 vehículos, y el aumento anual promedio es del 8%, lo que ha resultado en el desarrollo de más tráfico en áreas de alto tráfico (AMVA, 2022). Los tiempos de viaje se han destacado por aumentar a lo largo de rutas de alto tráfico como la Avenida Regional debido a la alta demanda. En este contexto, se sugieren herramientas como las cámaras basadas en IA, los sistemas de conteo automático de vehículos como una opción para maximizar la captura de datos e informar decisiones en la planificación urbana del tráfico.

En Girardot no existe un sistema automatizado de flujo vehicular. Debido a su ubicación central y la convergencia de rutas de transporte público y privado, esta intersección sigue siendo un importante cuello de botella para el tráfico en la ciudad. Sin información precisa sobre el flujo vehicular, es difícil basar decisiones en datos, lo que limita la gestión del tráfico y provoca congestión, largos tiempos de espera y desafíos en la planificación urbana. Un sistema automatizado de conteo de autos, una percepción artificial y un sistema de seguimiento de objetos podrían manejar mejor las cuestiones, con el resultado de que las autoridades locales puedan producir datos para un mejor control, así como para predecir la congestión vial y planificar obras y optimizar rutas de transporte público-privado.

2.2. Hallazgo del problema

El problema con la búsqueda es que Girardot no cuenta con un sistema avanzado y automatizado para el conteo de vehículos. Esto también limita la capacidad de los funcionarios de la ciudad para adquirir datos adecuados de monitoreo del tráfico, lo que lleva a un impacto negativo en la gestión del tráfico y la planificación urbana en el área. Actualmente, sin los últimos datos de circulación de vehículos, las decisiones de gestión del tráfico se basan en estimaciones o información desactualizada que puede llevar a soluciones ineficaces o desenfocadas.

Por último, debido a la completa falta de un sistema de monitoreo automático, a los empleados les toma mucho más tiempo y recursos rastrear el flujo de vehículos, los cuales no se utilizan adecuadamente y, por lo tanto, las autoridades son menos capaces de responder a los cambios en el comportamiento del tráfico. Como resultado, sería crucial establecer una

aplicación en tiempo real de visión por computadora y seguimiento de objetos al flujo de vehículos para que, a través de la visión por computadora, se extraiga más información en tiempo real y, posteriormente, se facilite un control de tráfico efectivo en esta intersección tan importante.

2.3. Formulación del problema

¿Cómo desarrollar un sistema automatizado de conteo para la afluencia vehicular en en Girardot utilizando visión artificial y seguimiento de objetos para el procesamiento de video?

2.4. Elementos del problema

- Configuración del entorno de desarrollo y pruebas: El sistema requiere un entorno de desarrollo y pruebas adecuado para asegurar que funcione correctamente.
- Falta de datos precisos: La carencia de un sistema automatizado para la afluencia vehicular dificulta la obtención de datos precisos sobre la situación del tráfico en esta área.
- Necesidad de toma de decisiones informadas: La falta de información precisa dificulta la implementación de medidas efectivas para mejorar la planificación urbana y la fluidez del tráfico para garantizar la seguridad vial en la intersección.

2.5. Preguntas generadoras

- ¿Cuál es el volumen de tráfico vehicular en la intersección de la calle dos con carrera cuarta en el corregimiento de Gualanday, municipio de Coello, en distintos momentos del día, como entorno de prueba del sistema?
- ¿Cómo influyen los patrones de tráfico vehicular en la congestión y la seguridad vial en escenarios similares a los de Girardot?
- ¿Qué medidas podrían adoptarse en Girardot para mejorar la gestión del tráfico, la planificación urbana y la seguridad vial, con base en datos generados por un sistema automatizado de conteo vehicular?

3. OBJETIVOS

3.1. Objetivo general

Desarrollar un sistema automatizado de conteo de afluencia vehicular en Girardot utilizando visión artificial y seguimiento de objetos.

3.2. Objetivos específicos

- Investigar un modelo para la detección de vehículos, integrándolo con un algoritmo de seguimiento de objetos que evite el conteo duplicado.
- Determinar el mejor modelo de visión artificial que para la detección de vehículos.
- Diseñar y desarrollar un prototipo del sistema de conteo que registre el número y clasificación de vehículos detectados en la intersección.
- Realizar pruebas del sistema que integren el algoritmo de visión artificial con el algoritmo de seguimiento de objetos, con el fin de verificar su correcto funcionamiento y registrar adecuadamente la afluencia vehicular
- Despliegue del prototipo del sistema automatizado de conteo para el observatorio de movilidad de Girardot.

4. JUSTIFICACION

Girardot es un área donde ahora se observa un aumento en la cantidad de vehículos, muy por encima del nivel de los dispositivos antiguos, para los cuales casi no hay instalaciones en el municipio. La ausencia de datos oportunos y precisos sobre el flujo de tráfico dificulta localizar el área más concurrida, conocer la tasa de accidentes en las principales intersecciones y elaborar planes de intervención vial, tareas que inciden directamente en la seguridad de conductores y peatones. En este sentido, el conteo automático y la distinción de vehículos utilizando aprendizaje profundo y visión por computadora es una alternativa actual. El sistema utiliza video de las intersecciones más concurridas para identificar patrones en la franja horaria, localizar puntos importantes para atención y evaluar la efectividad de las medidas regulatorias introducidas, y genera datos objetivos sobre la composición y volumen del tráfico. Investigadores de la Universidad EAFIT encontraron que crear un sistema basado en YOLOv5 adecuado para el entorno local y generar un conjunto de datos de entrada por sí mismo podría obtener una detección precisa de vehículos para centros urbanos colombianos (Fallon, Urrego & Ortiz, 2021).

Este proyecto es un avance significativo para la gestión del tráfico en Girardot, ya que puede proporcionar a su gobierno local una herramienta objetiva para impulsar la toma de decisiones. Esto no solo reduciría el tiempo de viaje y la congestión del tráfico; garantizaría que la seguridad vial también mejore. Esto se logra encontrando posibles puntos de ataque y eliminándolos de la ecuación. Por ejemplo, en Bogotá, un sistema automático de medición de tráfico urbano desarrollado por la Universidad Nacional de Colombia fue el único medio para descubrir el conteo de vehículos y encontrar al menos tasas de precisión del 75%, lo que resultó en la estrategia para desplegar medidas en las principales vías que sufrían sobrecarga por sí mismas (Universidad Nacional de Colombia, 2018). Además, la aplicación de herramientas avanzadas como la visión por computadora y la inteligencia artificial en la gestión del tráfico es un gran avance científico y técnico. Así, el uso inteligente y efectivo de la infraestructura vial sería posible para la planificación del desarrollo urbano desde la perspectiva de la vigilancia del tráfico en tiempo real.

La telemetría y las cámaras de IA están convirtiendo la carretera en datos sobre muchas características de los vehículos y alertando automáticamente sobre situaciones de

conducción, haciendo así que las infracciones de tráfico y la imprudencia sean un peligro (Ártimo, 2024). Proyectos como este brindan a estudiantes y profesionales una experiencia educativa, en un entorno académico, ya que adquieren habilidades del mundo real en ingeniería de sistemas, IA y planificación urbana.

Participar en el diseño y aplicación de soluciones tecnológicas para problemas prácticos de movilidad urbana no solo expone a los practicantes a una profesión, sino que también promueve la agenda de investigación de nuevas soluciones tecnológicas para la movilidad urbana. La implementación del Sistema Automatizado de Conteo de Flujo Vehicular en Girardot representa, por lo tanto, un paso importante hacia la mejora de la movilidad y la seguridad vial. Actualmente, el proyecto también está resolviendo el problema de la gestión del tráfico de manera eficiente en un corto número de años, además de contribuir a largo plazo a la zona en forma de desarrollo de infraestructura, tecnología y logros educativos que se suministran utilizando el modelo.

5. ALCANCE Y LIMITE

5.1. Alcance presente

El sistema de conteo automatizado de vehículos para el observatorio de movilidad de Girardot busca registrar de manera eficiente el número y clasificación de vehículos que transitan por una intersección específica. El sistema utilizará visión artificial para la detección de vehículos y un algoritmo de seguimiento para evitar conteos duplicados.

Este sistema procesará videos previamente capturados para detectar y clasificar automóviles, motos y buses, presentando reportes con los resultados obtenidos. El objetivo es ofrecer una herramienta confiable para apoyar la planificación vial y el análisis de afluencia vehicular.

El sistema contará con funcionalidades clave que se describen detalladamente en las siguientes tablas, entre ellas: carga de videos, detección y clasificación de vehículos, seguimiento por ID y generación de reportes exportables.

Tabla 1. RF1. Cargar un video desde el sistema de archivos

Funcionalidades del Proyecto			
SISTEMA DE CONTEO VEHICULAR			
Nombre	Procesamiento de Video	Prioridad	1
Descripción	El sistema permitirá cargar un archivo de video desde el entorno gráfico para su análisis posterior.		
Tareas			
Tarea 1	Seleccionar el archivo de video desde el sistema local		
Tarea 2	Visualizar el video en la interfaz		
Tarea 3	Definir zona de conteo o línea de cruce		
Tarea 4	Iniciar el procesamiento del video cargado		

Fuente: Elaboración propia

Tabla 2. RF2. Detectar y clasificar objetos mediante yolov8

Funcionalidades del Proyecto			
SISTEMA DE CONTEO VEHICULAR			
Nombre	Detección de Vehículos	Prioridad	2
Descripción	Se integrará un modelo de inteligencia artificial para detectar vehículos en cada cuadro del video. Solo se detectarán automóviles, motos y buses.		
Tareas			
Tarea 1	Cargar el modelo de detección entrenado		
Tarea 2	Detectar vehículos en tiempo de ejecución		
Tarea 3	Clasificar los vehículos según su tipo		

Fuente: Elaboración propia

Tabla 3. RF3. Dibujar líneas de conteo de manera manual

Funcionalidades del Proyecto			
SISTEMA DE CONTEO VEHICULAR			
Nombre	Seguimiento de Vehículos	Prioridad	3
Descripción	Se usará un algoritmo de tracking para identificar el trayecto de cada vehículo y evitar conteos múltiples.		
Tareas			
Tarea 1	Integrar algoritmo de seguimiento por ID		
Tarea 2	Asociar trayectorias entre cuadros del video		
Tarea 3	Identificar paso por la zona de conteo		

Fuente: Elaboración propia

TABLA 4. RF4. Registro y reporte de resultados

Funcionalidades del Proyecto			
SISTEMA DE CONTEO VEHICULAR			
Nombre	Registro y Reporte de Resultados	Prioridad	4
Descripción	Los resultados del conteo serán almacenados y podrán exportarse en formato legible (por ejemplo, CSV o Excel) para su análisis.		
Tareas			
Tarea 1	Contabilizar vehículos detectados por tipo		
Tarea 2	Mostrar conteo en pantalla		
Tarea 3	Exportar los resultados en archivo descargable		

Fuente: elaboración propia

- Diseño del sistema: Desarrollar un sistema automatizado capaz de recopilar datos precisos sobre la afluencia vehicular en Girardot.
- Implementación de tecnologías: Utilizar tecnologías avanzadas, específicamente visión artificial, para procesar las imágenes captadas en los videos.
- Recopilación de datos: Implementar cámara de video para conteo de afluencia vehicular en la intersección mencionada para recopilar datos.
- Integración del sistema: Integrar el sistema automatizado en la infraestructura existente de la intersección, garantizando su funcionamiento sin interrupciones.
- Validación del sistema: Realizar pruebas del sistema para garantizar su precisión y confiabilidad en la recopilación de datos.
- Documentación y entrega: Elaborar documentación técnica detallada sobre el diseño y funcionamiento del sistema, así como capacitar al personal encargado de su operación y mantenimiento.

5.2. Futuro

Aunque el presente proyecto implica diseñar, construir y desplegar un prototipo de software de conteo de vehículos automatizado completo y funcional con visión por computadora, se identifican varias oportunidades para mejorar y expandir que permiten un trabajo adicional:

- Desarrollo de interfaz de usuario final: Se podría proporcionar una interfaz gráfica que apoye al usuario final para consultar estadísticas, generar informes e interactuar con videos procesados en un panel gráfico.
- Uso en tiempo real a través de cámaras IP: El siguiente paso lógico podría ser habilitar el sistema para su uso en tiempo real, por ejemplo, conectándose a cámaras de vigilancia instaladas en ubicaciones estratégicas de la ciudad.
- Almacenamiento de datos y revisión histórica: Agregar una base de datos que almacene los resultados de los conteos diarios y permita el análisis del flujo vehicular por días, semanas y meses para análisis de datos; esto será de interés para el campo de los estudios urbanos.
- Crecimiento de la clasificación de objetos: La detección se puede expandir para reconocer más tipos de vehículos (camiones, bicicletas, vehículos de carga, etc.) o incluso peatones para ampliar la funcionalidad del sistema.
- Interacción con aplicaciones de control de tráfico inteligente: el sistema es aplicable a interfaces con semáforos u otros sistemas de control de tráfico, haciendo las carreteras más inteligentes de manera automática.
- Medición de rendimiento y pruebas de campo sobre los resultados de las pruebas: En futuros proyectos de investigación podría haber una etapa de validación estadística con la recopilación de datos reales y comparación con conteos manuales para la verificación de precisión y fiabilidad.
- El sistema puede adaptarse a múltiples ubicaciones concurrentes: El sistema puede expandirse para operar en múltiples intersecciones simultáneamente centralizando la salida en una plataforma de gestión.

5.3. Limites

El propósito de este sistema automatizado de conteo de vehículos es detectar, rastrear y contar vehículos utilizando visión por computadora. Sin embargo, presenta varias limitaciones operativas y funcionales que se pueden considerar:

- Procesamiento solo en videos grabados: El sistema no soportará transmisiones en tiempo real. Para el análisis y conteo, requiere videos previamente grabados.
- No se añaden interfaces de usuario avanzadas: El sistema funcionará en un entorno local sin una interfaz avanzada. No se considera establecerlo en tecnología web o móvil para visualización y uso remoto.
- Restricción de clasificación de vehículos basada en automóviles: El sistema está limitado a identificar y contar solo vehículos como automóviles, motocicletas y autobuses, excluyendo bicicletas, camiones, peatones u otros objetos en movimiento.
- Sin interoperación con sistemas de señales de tráfico o control de tráfico: El prototipo no interactúa con otros sistemas de infraestructura urbana ni toma decisiones automáticas sobre el flujo de tráfico.
- Sin cambios automáticos a las condiciones del entorno: El sistema no cambia automáticamente los parámetros de luz, condiciones climáticas, diferentes ángulos de grabación o resolución de video. Está ajustado para situaciones controladas.
- Monitoreo y mantenimiento: Desarrollar un sistema para el monitoreo periódico del sistema y atención correctiva preventiva para observar el deterioro del rendimiento antes de que afecte la calidad de los datos recopilados.
- Actualizaciones técnicas: Programar rondas de actualización del modelo de detección y la infraestructura de procesamiento para que el sistema se mantenga preciso ante variaciones en las condiciones del entorno vial y cambios en la tecnología.

Las limitaciones están establecidas para el proyecto con el fin de mantener el desarrollo del sistema disponible para el uso de recursos y tiempo para construir e implementar un prototipo funcional que demuestre que este enfoque propuesto es posible.to.

6. MARCOS DE REFERENCIA

6.1. Antecedentes

El desarrollo de sistemas automatizados para el monitoreo del tráfico vehicular se ha vuelto una prioridad en la gestión urbana, debido al aumento significativo de la congestión en las ciudades y la necesidad de optimizar la movilidad. Los avances en inteligencia artificial, específicamente en redes neuronales, han permitido el diseño de soluciones innovadoras que pueden procesar grandes volúmenes de datos en tiempo real, contribuyendo a la toma de decisiones en la planificación urbana y mejorando la eficiencia de los sistemas de transporte. A nivel internacional y nacional, diversos proyectos han sido desarrollados con el objetivo de abordar estas problemáticas utilizando redes neuronales para el conteo de vehículos.

Proyectos Internacionales

Tema: “Detection and Tracking Meet Drones Challenge.”

Autores: Pengfei Zhu, Longyin Wen, Dawei Du, Xiao Bian, Heng Fan, Qinghua Hu, Haibin Ling

arXiv

Resumen: Este proyecto organiza una serie de desafíos enfocados en la detección y seguimiento de objetos utilizando drones. Proporciona un conjunto de datos a gran escala llamado VisDrone, capturado en diversas áreas urbanas y suburbanas de 14 ciudades en China, con el objetivo de promover el desarrollo de algoritmos de análisis visual para plataformas de drones.

Año: 2020

Institución: Diversas instituciones académicas en China y Estados Unidos

Tema: Sistema de detección y conteo de vehículos basado en visión por computadora utilizando aprendizaje profundo en escenas de autopistas

Autores: Huansheng Song, Haoxiang Liang, Huaiyu Li, Zhe Dai, Xu Yun

Resumen: Este estudio propone un sistema de detección y conteo de vehículos basado en visión por computadora, diseñado para abordar los desafíos de la gestión del tráfico en autopistas. El sistema introduce un nuevo conjunto de datos de alta definición que incluye 57,290 instancias anotadas en 11,129 imágenes, lo que proporciona una base sólida para el entrenamiento de modelos de aprendizaje profundo. El enfoque se centra en mejorar la precisión de la detección de vehículos de diferentes tamaños y en condiciones variadas, utilizando técnicas avanzadas de segmentación y aprendizaje profundo para optimizar el rendimiento del sistema en entornos reales de tráfico.

Año: 2019

Institución: European Transport Research Review

Proyectos Nacionales (Colombia)

Tema: " Análisis de tráfico vehicular usando visión artificial en la ciudad de San Juan de Pasto"

Autores: Jhon Jairo Gómez, Carlos Andrés Muñoz

Resumen: Gómez y Muñoz (2014) desarrollaron en la Universidad de Nariño una herramienta de software orientada al análisis automatizado del tránsito urbano en San Juan de Pasto. La aplicación, construida en C++ con soporte de la librería OpenCV, integró funcionalidades para cuantificar el flujo vehicular, distinguir categorías de vehículos y estimar su velocidad de desplazamiento a partir de secuencias de video. Su propósito fue ofrecer a los profesionales del transporte una fuente de datos objetiva y continua que apoyara la toma de decisiones en materia de planificación vial e intervención sobre la infraestructura urbana de la ciudad.

Año: 2014.

Institución: Universidad de Nariño.

Tema: " Simulación de un Sistema de Clasificación de Objetos Basado en Visión Artificial"

Autores: Erik Gregorio Velásquez Hernández.

Resumen: Este proyecto diseña e implementa un sistema de clasificación de objetos utilizando visión artificial. Utiliza una cinta transportadora controlada por un microcontrolador y una cámara que captura imágenes de objetos para su posterior clasificación mediante procesamiento digital de imágenes en MATLAB.

Año: 2014. Institución:

Universidad Nacional Abierta y a Distancia (UNAD), Colombia.

6.2. Marco teórico

Las raíces teóricas de este trabajo cruzan y fertilizan las contribuciones de varias literaturas en áreas como la movilidad urbana, los procesos visuales automatizados, la visión artificial, los sistemas de conteo de vehículos, el seguimiento de objetos y el flujo vehicular.

Sistemas Automatizados de Conteo Vehicular

La tecnología avanzada ha evolucionado dramáticamente los sistemas de conteo de vehículos. La mayoría de los sistemas antiguos tenían métodos manuales o semiautomáticos como sensores de presión en la carretera, bucles inductivos o conteos de observadores humanos. Pero estos métodos tienen sus inconvenientes, por ejemplo, en precisión, costos de instalación y mantenimiento, y problemas para trabajar en entornos urbanos dinámicos. Los métodos tradicionales de conteo de vehículos no pueden proporcionarte datos confiables (particularmente durante las horas pico o en áreas de alto tráfico), no separan diferentes tipos de vehículos de otros objetos en la carretera (Retail Sensing 2023). Por ejemplo, los sistemas de conteo de vehículos ya han mostrado un gran progreso utilizando soluciones de visión artificial y aprendizaje profundo. Basado en el rendimiento de este método, las imágenes y los videoclips se procesan en tiempo real y pueden ser detectados y clasificados, con muy

alta precisión, sobre la marcha, y son útiles como ayuda en la clasificación y localización de vehículos en entornos urbanos.

Los métodos clásicos como el conteo manual o la utilización de sensores simples para el conteo de vehículos carecen de precisión en el conteo (Retail Sensing, 2023). No pueden diferenciar entre tipos de vehículos y otros obstáculos en la carretera, especialmente durante las horas pico o en áreas de alto tráfico. Actualmente, los sistemas de conteo de vehículos utilizan tecnología de visión artificial, así como aprendizaje profundo. De este modo, facilitan la detección y clasificación de vehículos en diversos entornos urbanos a través del análisis de imágenes y videos en tiempo real y con alta precisión.

Según Segarra y Cobos (2022), es posible diferenciar, clasificar y contar vehículos aplicando algoritmos de inteligencia artificial, así como visión por computadora, utilizando bibliotecas de código abierto como TensorFlow y OpenCV para mejorar la efectividad de la recopilación de datos de movilidad y la optimización del análisis del flujo de tráfico.

Modelos para Visión Artificial y Detección de Objetos en el Tráfico

La visión por computadora es una subdisciplina de la inteligencia artificial destinada a permitir que los sistemas informáticos reconozcan y analicen información visual de manera independiente. Las aplicaciones en el tráfico urbano abarcan desde la lectura automatizada de matrículas y la detección de infracciones de tráfico hasta la monitorización continua del volumen de vehículos en intersecciones críticas (Valencia et al., 2020).

YOLO (You Only Look Once). YOLO (You Only Look Once) es una arquitectura de red neuronal convolucional bien conocida para la detección de objetos en tiempo real. A diferencia de otros enfoques que pueden examinar un fragmento de imagen por separado, YOLO, que analiza la imagen completa de una vez, logra una eficiencia muy alta.

Desde sus orígenes hasta YOLOv8, este enfoque se ha desarrollado tanto en términos de velocidad como de precisión, y también se ha refinado constantemente en términos de facilidad de uso. YOLO se ha convertido en uno de los modelos más populares para la detección de vehículos en vigilancia por video, conteo de vehículos, sistemas de control de tráfico y análisis de movilidad urbana. Incluso puede reconocer múltiples tipos de vehículos

(coches, motocicletas, autobuses y camiones) en imágenes y videos con alta precisión, incluso en tiempo real.

Ventajas:

- Alta velocidad de procesamiento (ideal para videos o tiempo real).
- Buena precisión incluso en resoluciones medianas o bajas.
- Arquitectura ligera y fácil de implementar.
- Disponible en múltiples frameworks como PyTorch y TensorFlow.

Características del modelo:

- El modelo segmenta el fotograma de entrada en celdas y, para cada una, estima simultáneamente las coordenadas de los marcos delimitadores, la categoría del objeto contenido y el nivel de certeza asociado a cada predicción.
- Usa una única red neuronal para predicción directa.
- Es capaz de detectar múltiples objetos simultáneamente.
- Funciona bien con imágenes complejas y fondos variados.

SSD (Single Shot Multibox Detector). Es un modelo de detección de objetos que realiza predicciones en una sola pasada (single shot), al igual que YOLO, lo que le permite detectar objetos de forma rápida sin necesidad de fases múltiples de análisis. Utiliza múltiples mapas de características para detectar objetos de distintos tamaños, lo que mejora su rendimiento en imágenes con gran diversidad de escalas.

Se utiliza frecuentemente para detectar vehículos en entornos donde los recursos computacionales son limitados, como dispositivos móviles, cámaras de seguridad embebidas, drones o soluciones IoT. También es útil en sistemas de asistencia al conductor (ADAS).

Ventajas:

- Alta velocidad y bajo consumo de recursos.
- Buen desempeño en detección de objetos pequeños.

- Fácil de integrar en dispositivos embebidos.
- Disponible con modelos preentrenados.

Características del modelo:

- Utiliza múltiples capas convolucionales para detectar objetos a diferentes escalas.
- Detecta objetos directamente en mapas de características sin necesidad de propuestas.
- Permite ajustar el tamaño de la red según la necesidad de precisión o velocidad.
- Compatible con TensorFlow y Caffe.

Faster R-CNN. Es una arquitectura de red neuronal profunda que combina dos fases: generación de propuestas de objetos y clasificación. Fue una mejora significativa sobre sus versiones anteriores (R-CNN y Fast R-CNN), integrando un módulo llamado Region Proposal Network (RPN) para acelerar el proceso sin sacrificar precisión. Aunque no es tan rápido como YOLO o SSD, su nivel de precisión es excelente.

Este modelo se aplica donde la velocidad no importa mucho y que la precisión es mas importante, como en sistemas de análisis forense, conteo de vehículos, lectura de matrículas y en condiciones difíciles (niebla, noche, lluvia).

Ventajas de este modelo:

- Muy potente para la detección de objetos.
- Excelente para la detección de objetos parcialmente ocultos.
- Resultados consistentes que proporcionan resultados estables en imágenes difíciles.
- Personaliza su entrenamiento con conjuntos de datos específicos.

Características del modelo:

- RPN sugiere posibles objetos.
- Las regiones propuestas se clasifican y ajustan a través de una segunda capa de red.
- Utiliza arquitecturas de base como ResNet o VGG.
- Lento en comparación con YOLO/SSD, pero mejor para la mayoría de los escenarios.

EfficientDet. Es un modelo de detección de objetos diseñado por Google que busca obtener el máximo equilibrio entre precisión, velocidad y costo computacional. Toma la familia de redes EfficientNet como núcleo, optimizado para un mejor rendimiento, con unos pocos parámetros, y un método llamado BiFPN (Red de Pirámide de Características Bidireccional) para combinar características en diferentes niveles. Este modelo se puede utilizar en sistemas de detección de vehículos en general. Como debe y puede operar en dispositivos de pequeña escala como móviles, tabletas o cámaras inteligentes, puede ser muy útil. Además, se practica en aplicaciones comerciales para asegurar una muy buena calidad de detección de manera eficiente.

Ventajas:

- La eficiencia de memoria y procesamiento es muy alta.
- La precisión es alta con modelos pequeños.
- Fácil de escalar a varios niveles (EfficientDet-D0 a D7).
- Perfecto para aplicaciones móviles y de bajo consumo.

Características del modelo:

- La columna vertebral de características es EfficientNet.
- Las características aún pueden mejorarse a muchas escalas utilizando BiFPN para un rendimiento a múltiples escalas.
- Permite un escalado equilibrado (resolución, profundidad y ancho de red).
- Modelos más ligeros (D0-D1) y modelos más fuertes (D6-D7).

La comparación de los modelos más utilizados en la detección de vehículos se proporciona en la siguiente tabla: YOLO, SSD, Faster R-CNN y EfficientDet. Se consideran aspectos clave como precisión, velocidad y facilidad de uso. Este análisis permite identificar cuál modelo se adapta mejor a los requerimientos de detección vehicular en distintos contextos.

Tabla 5. Comparacion de modelos de deteccion de objetos

Criterio	YOLO	SSD	Faster R-CNN	EfficientDet
Arquitectura	Una sola etapa (one-stage)	Una sola etapa (one-stage)	Dos etapas (two-stage)	Una sola etapa con red BiFPN
Velocidad	(muy alta, ideal para tiempo real)	(alta)	(media a baja)	(media-alta)
Precisión	(muy buena, balanceada)	(buena, pero inferior a YOLO)	(muy alta, ideal para tareas forenses o detalladas)	(buena, mejora en modelos más grandes)
Uso de recursos	Bajo a medio	Bajo	Alto	Bajo
Dificultad de implementación	Fácil	Fácil	Media a alta	Media
Mejor caso de uso	Conteo vehicular en tiempo real, vigilancia de tráfico	Sistemas móviles o embebidos con pocos recursos	Detección detallada y análisis post-procesamiento	Detección en dispositivos con limitaciones de hardware

Fuente: Elaboración propia

YOLO (You Only Look Once) es una arquitectura muy rápida y eficiente para detectar objetos, por lo que es uno de los modelos adecuados para sistemas de conteo y seguimiento de vehículos en tiempo real. Con esta arquitectura, una imagen puede ser procesada en una sola ejecución de una red neuronal y se encuentra un buen equilibrio entre velocidad y precisión. Esto es importante para aplicaciones de vigilancia urbana, control de tráfico o

análisis de movilidad donde el tiempo de respuesta es importante. YOLO es un algoritmo de detección de objetos muy rápido desarrollado por Redmon y Farhadi (2018), por lo que puede lograr un rendimiento en tiempo real sin deteriorar la precisión y es adecuado para usar en sistemas de detección de vehículos debido a su simplicidad y velocidad.

Seguimiento de Objetos para la Gestión del Tráfico.

El seguimiento de objetos es un método importante en la visión por computadora en el conteo de vehículos, donde se sigue el mismo vehículo a lo largo de una secuencia de fotogramas de video, evitando el conteo duplicado. Algunos de los algoritmos de seguimiento de objetos más utilizados incluyen SORT (Simple Online and Realtime Tracker) y DeepSORT, que se basan en el aprendizaje automático y filtros de Kalman para la detección de la trayectoria del vehículo (Wojke et al., 2017). Tales métodos han demostrado ser efectivos en el caso de entornos urbanos densos al aumentar la precisión del conteo automático. La integración de tales algoritmos con arquitecturas de detección de objetos como YOLO (Doan y Truong, 2020) ha permitido maximizar el rendimiento del sistema de conteo y asegurar un análisis más preciso del flujo de vehículos en intersecciones complejas y alta congestión.

Aplicaciones de los sistemas de conteo de vehículos en la planificación urbana.

La recopilación y análisis automáticos de datos de tráfico ayudan a una planificación urbana óptima y a la toma de decisiones sobre temas de movilidad. La evaluación de las condiciones del tráfico y los procedimientos de toma de decisiones se realizarán a través de estos sistemas. Otro ejemplo es la solución KiTraffic Statistics de Kistler, donde Kistler recopila automáticamente datos de tráfico en tiempo real (Kistler, s.f.), información que puede ser esencial para la planificación y mejora de la seguridad vial.

Las tecnologías de visión artificial ayudan a optimizar la gestión del tráfico y a disminuir los accidentes viales en diferentes ciudades. El Ayuntamiento de Madrid, por ejemplo, ha ampliado su despliegue de cámaras de vigilancia utilizando inteligencia artificial, que podría rastrear y analizar objetos y matrículas con mayor precisión, mejorando la gestión del tráfico y haciendo las carreteras más seguras (El País, 2025). El flujo vehicular es el número de coches que pasan en un tiempo determinado, y una medida clave para la planificación del tráfico urbano y la toma de decisiones sobre movilidad. Esta medición facilita la

determinación de la intensidad del tráfico, los cuellos de botella y el diseño de las carreteras. El análisis preciso de datos es crítico para gestionar eficientemente el espacio urbano, especialmente en municipios de transición como Girardot, donde las intersecciones altamente concurridas se están volviendo más comunes (Navarro Hudiel, 2008). En Girardot, en particular, la disponibilidad de estimaciones objetivas del flujo vehicular en algunas de las intersecciones más difíciles sería fundamental para permitir a las autoridades locales pasar de un uso reactivo del tráfico a una planificación proactiva que especifique los lugares más congestionados y los eventos críticos que necesitan ser abordados a un nivel superior. Este método maximizará el espacio en la red vial, minimizará el tiempo de viaje y mejorará el bienestar de conductores y peatones. Como parte del proceso de validación técnica del sistema, se realizaron pruebas en la intersección de la Calle Dos y la Carrera Cuarta, ubicada en el corregimiento de Gualanday, municipio de Coello, Tolima, debido a las condiciones favorables para probar y asegurar la prueba técnica del sistema. La visión artificial aplicada al conteo de vehículos ha demostrado ser una buena herramienta para obtener datos precisos según el monitoreo en tiempo real, lo que ha llevado a la toma de decisiones en la planificación urbana (Ramos, 2013).

6.3. Marco conceptual

Desarrollar un sistema automático de conteo de vehículos en Girardot para visión artificial y seguimiento de objetos es una tarea que solo puede implementarse eficazmente a través de una comprensión fundamental de la inteligencia artificial, el procesamiento de imágenes y la movilidad urbana. La aplicación de estas tecnologías garantizará una mejor adquisición de datos de tráfico y optimización de las decisiones de planificación vial. El tráfico vehicular se refiere a la cantidad de vehículos que circulan por una carretera o intersección existente dentro de un tiempo especificado. La idea es de gran importancia para la evaluación de la movilidad urbana, de modo que podamos evaluar las concentraciones de congestión, diseñar modificaciones viales y desarrollar mejores políticas de tráfico.

Es importante medir el tráfico vehicular para equilibrar la infraestructura actual y saber qué sigue en el sistema de transporte. El movimiento de vehículos en la carretera representa un proceso dinámico que requiere una investigación sistemática, como afirma Arrieta (s.f.), para

ser analizado sistemáticamente antes de intervenir en el sistema de infraestructura de transporte. Comprender los factores que lo determinan – volumen, velocidad y densidad – facilita a los ingenieros de tráfico diseñar y operar carreteras y calles reales.

La visión por computadora es una disciplina de la IA que proporciona una inteligencia de información capaz de interpretar imágenes y secuencias de video (Szeliski, 2022). Y ha encontrado aplicación en varios dominios, incluyendo la detección de tráfico vehicular, el reconocimiento de matrículas y el análisis del flujo de movilidad urbana (Zhou et al., 2023). Su aplicación en sistemas automatizados de conteo de vehículos proporciona mayores beneficios en comparación con la reducción de errores humanos y la mejora de la eficiencia del análisis en tiempo real (Liu et al., 2019).

En el dominio del tráfico, uno de los procesos más fundamentales en la visión artificial es la detección de objetos, mediante la cual se identifican y localizan los diferentes elementos a partir de imágenes o videos, resultando en una representación más precisa de la carretera. Modelos como YOLO (You Only Look Once) han sido ampliamente utilizados en la detección de vehículos por su capacidad de realizar análisis en tiempo real con alta precisión (Bochkovskiy et al., 2020). YOLO, a diferencia de Faster R-CNN o SSD (Single Shot Multibox Detector), puede detectar varios objetos en una imagen en pocos segundos, lo que puede ser una solución eficiente para el análisis del tráfico urbano (Redmon & Farhadi, 2018). Para lograr esto, es importante implementar un mecanismo de seguimiento de objetos (para seguir el movimiento de los autos en secuencias de video y prevenir duplicaciones) para determinar el conteo de vehículos. Enfoques basados en aprendizaje automático y filtros de Kalman se han empleado para predecir las trayectorias de los objetos detectados, permitiendo una mejor fiabilidad del sistema, como los sistemas SORT (Simple Online and Realtime Tracker) y DeepSORT (Wojke et al., 2017).

En el monitoreo del tráfico vial, las técnicas de seguimiento basadas en estos algoritmos combinados con modelos de detección como YOLO han demostrado ser útiles para el monitoreo del tráfico al proporcionar información más detallada sobre el flujo de vehículos. Por ejemplo, como se indica en el estudio de Vázquez et al. (2020), utilizando el programa YOLO como sensor de objetos, se desarrollaron detecciones de carriles de vehículos en avenidas, facilitando el análisis de información en tiempo real y mejorando la gestión del

tráfico urbano. El conteo automatizado de vehículos es un procedimiento que implica registrar información de tráfico sin asistencia humana mediante el uso de sensores, cámaras y algoritmos de procesamiento de imágenes (Instituto Mexicano del Transporte, s.f.).

Los dispositivos de conteo tradicionales se basan predominantemente en bucles inductivos, sensores ultrasónicos, operadores humanos registrando datos para registrar una observación, y estos pueden llevar a limitaciones significativas de precisión y costo de instalación (Universidad Piloto de Colombia, 2018). Usando visión artificial y aprendizaje profundo, los sistemas existentes son capaces de procesar grandes cantidades de datos para un procesamiento de información más preciso y rápido y ayudar en la planificación de la movilidad urbana y la planificación del tráfico en intersecciones vitales. Para la movilidad urbana, los datos de tráfico precisos son importantes para una adecuada planificación vial y gestión del espacio público.

Los datos de tráfico recopilados a través de sistemas automatizados de conteo asistido por conductores apoyan a las autoridades del sector público en el reconocimiento de la congestión del tráfico, la planificación eficiente de la infraestructura y la formulación de planes de movilidad mejorados. Por ejemplo, en Salento, Colombia, un sistema de monitoreo en tiempo real proporcionó información precisa sobre la capacidad de flujo de vehículos, y por lo tanto es importante ajustar el sistema a la congestión y el movimiento en áreas urbanas de muestra (Universidad Tecnológica de Pereira, s.f.).

En ciudades de rápido crecimiento como Girardot, la provisión de tales sistemas es fundamental para mejorar el flujo de tráfico y reducir el tiempo de viaje para los ciudadanos. Sin embargo, el despliegue de sistemas de conteo de vehículos que dependen de la visión artificial enfrenta problemas importantes. Variables como las condiciones ambientales (por ejemplo, iluminación y clima), la oclusión de vehículos en escenas congestionadas y la necesidad de un rendimiento óptimo del modelo de detección deben tenerse en cuenta para lograr el éxito del sistema (Pérez Nasser, 2019; Universidad Piloto de Colombia, 2018). Además, la integración con las infraestructuras de tráfico existentes y las bases de datos gubernamentales es un área que necesita resolverse para aprovechar el uso de estas tecnologías en la planificación urbana (Instituto Mexicano del Transporte, s.f.).

Por lo tanto, un nuevo método para medir el tráfico automovilístico en Girardot mediante el uso de un conteo automático de máquinas en sistemas numéricos ofrece una solución innovadora para mejorar la movilidad en una ciudad determinada. La implementación de modelos de detección como YOLO y el seguimiento complejo son prometedores para una mejor recopilación de datos de tráfico, permitiendo la toma de decisiones de planificación vial. Este enfoque no solo resuelve los problemas actuales de congestión y gestión del tráfico, sino que también responde a la tendencia mundial de tecnologías de transporte inteligentes para optimizar los servicios de transporte y promover el desarrollo de la movilidad sostenible.

6.4. Marco legal

La implementación del sistema automatizado de conteo de tráfico vehicular en el municipio de Girardot, que incluye la incorporación de redes neuronales y cámaras de vigilancia, debe cumplir con una serie de leyes nacionales. Aquí están las principales normas que lo guían en Colombia para este tipo de proyecto:

Regulaciones de Conducción y Transporte en Colombia. La principal regulación de construcción vial en Colombia es la Ley 769 de 2002, conocida como el Código Nacional de Tránsito Terrestre. Esta legislación establece los principios generales que regulan el tráfico y la movilidad en el territorio y las competencias de las autoridades de tránsito que gobiernan la infraestructura vial, la seguridad y la protección vial en el área (Congreso de la República de Colombia, 2002). Específicamente, el Artículo 3 de esta ley destaca la planificación y regulación del tráfico como un papel fundamental del Estado en la promoción de la seguridad y el orden en las vías públicas. De manera similar, el Artículo 5 de la Ley 769 de 2002 otorga a los gobiernos municipales la autoridad para establecer sistemas de control y monitoreo del tráfico para promover la movilidad y evitar accidentes. En consecuencia, la aplicación de tecnologías de visión artificial y seguimiento de objetos en Girardot está en sintonía con los objetivos de modernización y optimización de la gestión vial en el país. En contraste, la Ley 105 de 1993 define los principios del transporte en Colombia, enfatizando la necesidad de eficiencia, seguridad y sostenibilidad, como un principio básico para la construcción de

infraestructura vial (Congreso de la República de Colombia, 1993). En consecuencia, el sistema automatizado de conteo de vehículos conducirá a una mejor gestión del tráfico en la que los funcionarios locales podrán tomar decisiones informadas basadas en la precisión de la información de movilidad.

Aplicaciones de tecnología de la información en el control del tráfico. La promoción e implementación de tecnologías en la gestión del tráfico también está respaldada en Colombia por el Plan Nacional de Desarrollo 2018-2022, que explica la importancia del avance tecnológico en la mejora de los sistemas de movilidad urbana (Departamento Nacional de Planeación [DNP], 2019). Este documento destaca la importancia del uso de medios electrónicos y tecnología en la gestión del transporte público y los sistemas de monitoreo del tráfico para optimizar la capacidad de movimiento de la ciudad. El Decreto 1079 de 2015 proporciona un estándar único que regula el sistema de transporte en Colombia y delega al Ministerio de Transporte la formulación de políticas, planes y proyectos relacionados con el tráfico y la infraestructura vial (Ministerio de Transporte, 2015). Entendido de esta manera, las herramientas técnicas para la recolección y análisis de datos de movilidad, en este sentido, tienen respaldo institucional. Dentro de la ley, son los objetivos impulsados por la regulación de la planificación y regulación del tráfico confiados a las autoridades competentes por decreto.

Protección de Datos Personales. Considerando que el sistema de conteo de autos autónomos necesitará usar cámaras para grabar fotos en lugares físicos y públicos, se deben considerar las cuestiones de las leyes de protección de datos personales en Colombia. La protección de datos personales está regida por la Ley 1581 de 2012, que establece las reglas de legalidad, seguridad y confidencialidad respecto a la gestión de la información obtenida a través de tecnologías digitales (Congreso de la República de Colombia, 2012). Específicamente, la obligación de garantizar la seguridad de los datos y su uso solo para fines del sistema, bajo el Artículo 4 de la Ley 1581 de 2012, es evidente en la ley. En este sentido, es necesario que la información recopilada se utilice solo para el análisis del flujo de tráfico y que no se comprometa la privacidad de los ciudadanos. Además, el Decreto 1377 de 2013, parte de la

Ley 1581 de 2012, manda que los sistemas de videovigilancia en áreas abiertas deben tener mecanismos para la regulación de la información capturada y el no uso de dicha información (Ministerio de Tecnologías de la Información y las Comunicaciones [MinTIC], 2013). Esta norma es altamente aplicable al presente proyecto, ya que la fotografía del tráfico motorizado debe estar autorizada por las legislaciones de privacidad y procesamiento de datos personales.

Este documento se centra en la seguridad vial y la gestión del espacio público. La adopción integral de herramientas tecnológicas para reducir accidentes de tráfico y mejorar la movilidad ha sido adoptada en Colombia (Agencia Nacional de Seguridad Vial [ANSV], 2022). Para abordar este problema, la nueva política promueve la adopción de IA y sistemas de monitoreo automatizados para mejorar la seguridad vial y evitar que los accidentes causen daños graves a las carreteras en los principales centros urbanos. Además, la Ley 1503 de 2011 fomenta la educación y la protección vial como un elemento clave de una agenda global para reducir la ocurrencia de accidentes en todo el país (Congreso de la República de Colombia, 2011). En Girardot, un sistema automatizado de conteo de vehículos ayudará a realizarlos al ofrecer información vital que informará la formulación de estrategias de movilidad más seguras y eficientes.

7. HIPOTESIS

7.1. Hipótesis del trabajo

La implementación de un sistema automatizado de conteo de afluencia vehicular basado visión artificial y seguimiento de objetos permitirá que el registro de los datos coincida de manera precisa con las imágenes capturadas, asegurando que cada conteo esté correctamente asociado a su respectiva imagen.

7.2. Variables independientes

Implementación del sistema automatizado de conteo de afluencia vehicular mediante visión artificial y algoritmos de seguimiento de objetos.

7.3. Variables dependientes

- Cantidad de vehículos contados: El número total de vehículos clasificados y contados por el sistema en un periodo determinado.
- Precisión en la clasificación vehicular: La exactitud con la que el sistema clasifica entre buses, automóviles y motos.

8. DISEÑO METODOLÓGICO DE LA INVESTIGACIÓN

8.1. Área o tema de investigación

El área de investigación es el desarrollo de tecnologías para la gestión del tráfico vehicular mediante el uso de inteligencia artificial. En particular, el estudio aborda la implementación de un sistema automatizado de conteo basado en visión artificial. Este tipo de investigación se sitúa en el campo de la ingeniería de software y la inteligencia artificial aplicada a la movilidad urbana, con un enfoque en el monitoreo de la afluencia vehicular. La relevancia de este tipo de sistemas radica en su capacidad para optimizar el diseño urbano y mejorar la planificación de infraestructuras, como se ha evidenciado en investigaciones previas sobre sistemas inteligentes para la movilidad.

8.2. Línea de investigación

Este documento se encuentra en el área de aplicación de la Inteligencia Artificial y la Visión por Computadora, centrándose en la producción de procesos automatizados de análisis y procesamiento de imágenes, aplicados al reconocimiento y conteo de vehículos. La tecnología de aplicación impulsada por inteligencia artificial está desempeñando un papel crítico en la mejora de sus aplicaciones, haciendo obsoletas las tareas similares a las humanas. La visión por computadora es un subconjunto de la inteligencia artificial, fundada en la exploración, interpretación y análisis de información visual en imágenes o videos. En este contexto, técnicas avanzadas de detección y seguimiento de objetos como las redes neuronales convolucionales (CNN) y modelos de aprendizaje profundo como YOLO (You Only Look Once) pueden ser utilizados para encontrar vehículos de manera precisa y rápida en un entorno urbano.

Por eso, en este proyecto, se intentará contribuir un paso a las tecnologías inteligentes para la movilidad y gestión del tráfico que incluirían un sistema automatizado y que abordará las limitaciones de los métodos tradicionales de conteo de vehículos. Utilizará algoritmos de visión artificial para actualizar el monitoreo del tráfico en Girardot, proporcionando

capacidades de recolección de datos para un monitoreo del tráfico más confiable y continuo, para una mejor optimización y planificación del tráfico en la ciudad.

8.3. Tipo de investigación

Clasificamos este trabajo como investigación aplicada ya que intenta implementar un sistema útil que pueda resolver un problema específico en un entorno real; esto será estimar vehículos en una intersección clave en el municipio de Girardot. Además, dado que el objetivo general será recopilar y procesar datos numéricos, el método es cuantitativo; cuya precisión será esencial para determinar qué tan bien funciona realmente el sistema desarrollado.

8.4. Enfoque de la investigación

La investigación cuantitativa y experimental se ocupa de determinar el rendimiento de un sistema automatizado de conteo de vehículos comparándolo con métodos tradicionales, por lo tanto, el estudio es mayormente cuantitativo. Los datos de campo se obtendrán mediante registros visuales y conteo manual, y el grado en que el sistema basado en visión representa una mejora en términos de consistencia, continuidad y adaptabilidad será el propósito del análisis. Este método permitirá el desarrollo de hipótesis, la realización de pruebas controladas y la formulación de conclusiones basadas en evidencia estadística de la efectividad del sistema propuesto en comparación con los enfoques tradicionales.

8.5. Carácter de la investigación

El carácter de la investigación es tecnológico y exploratorio, ya que introduce un nuevo sistema de conteo afluencia vehicular basado en visión artificial en un entorno urbano específico. Se busca explorar su utilidad en la generación de datos para la toma de decisiones en movilidad urbana específica.

8.6. Técnicas e instrumentos para la recolección de información

El análisis documental es una técnica cualitativa que permite examinar registros escritos con el fin de extraer información significativa sobre un fenómeno en estudio. En este caso, el análisis de las actas de reunión facilitará la identificación de acuerdos, decisiones y problemáticas discutidas en las sesiones de trabajo del equipo de investigación y los actores involucrados en el desarrollo del sistema automatizado de conteo vehicular (Calderón Almerco, 2012).

8.6.1. Instrumento de Recolección de Datos: Actas de Reunión

Para la recolección de datos para el desarrollo del sistema automatizado de conteo de tráfico vehicular, el instrumento de información se basará en la observación automática de la escena urbana en el campo de videos obtenidos a través de las cámaras estáticas instaladas en la intersección de la Calle Segunda y la Avenida Cuarta en el distrito de Gualanday, en el municipio de Coello, Tolima. La información verificaría el correcto desempeño del sistema con respecto al modelo de detección de vehículos y al algoritmo de seguimiento de objetos, midiendo la capacidad de identificar, rastrear y contar con precisión cada uno de los vehículos que pasaron por la escena evitando duplicaciones, donde los coches, motocicletas y autobuses serían clasificados según su tipo. Además, los datos de entrada recopilados de los sistemas se utilizarán para fines de validación, aplicables a escenarios reales, como los del municipio de Girardot. Actas de reunión: Estas actas incluyeron registros formales de cualquier decisión tomada, observaciones completadas, sugerencias realizadas, necesidades y lo que expresaron las partes interesadas. A partir de estas, se identificaron algunos atributos clave de su análisis:

- Las necesidades de la comunidad en cuanto al monitoreo de la afluencia vehicular.
- Requerimientos funcionales del sistema automatizado propuesto.
- Criterios técnicos y administrativos relevantes para el despliegue del proyecto.
- Validación del enfoque propuesto por parte de las autoridades locales.

Este instrumento resultó fundamental para orientar correctamente el diseño del sistema automatizado, alineándolo con las expectativas del entorno y los objetivos institucionales.

8.7. Tabulación de resultados

Para recopilar requisitos, verificar el enfoque técnico y asegurar la participación de las personas involucradas en el proceso de construcción del sistema automatizado de conteo de vehículos, se llevaron a cabo varias reuniones con representantes institucionales y el equipo de desarrollo. La Tabla 6 describe las actividades principales, los participantes, la fecha, los temas y los compromisos en estas reuniones.

Nota: A pesar de que las reuniones de planificación y validación del proyecto se llevaron a cabo en el municipio de Girardot, en el entorno académico y administrativo de la Universidad Piloto de Colombia, la construcción de este sistema y la experimentación se realizaron en el corregimiento de Gualanday, perteneciente al municipio de Coello, Tolima. Esta situación fue puramente un escenario de validación técnica. Pero el sistema fue diseñado para Girardot, por lo tanto, cumple con los objetivos establecidos en el proyecto.

Tabla 6. Tabulación de resultados de las reuniones realizadas para la recolección de información

N° Acta	Fecha	Lugar	Participantes	Temas Tratados	Compromisos Adquiridos
1	07/03/2025	Girardot	Ingeniero civil, Estudiante (UPC)	Presentación del proyecto. Aprobación del sitio de estudio. Recolección de requerimientos iniciales. Autorización para uso de imágenes.	Entregar formato de autorización. Obtener video de prueba. Socializar avances del diseño técnico.
2	21/03/2025	Girardot	Ingeniero civil, Estudiante (UPC)	Revisión del video. Presentación del modelo preliminar YOLOv8. Discusión sobre categorías. Revisión de bases de datos. Condiciones de prueba en campo.	Ajustar modelo por clases. Crear base de datos. Definir estructura del prototipo de GUI.
3	04/04/2025	Girardot	Ingeniero civil, Estudiante (UPC)	Demostración funcional del sistema. Presentación de interfaz gráfica. Exportación de datos. Retroalimentación del cliente.	Agregar línea de conteo editable. Incluir documentación técnica. Elaborar manual de usuario.

Fuente: Elaboración propia

Aunque las reuniones descritas en la Tabla 6 se realizaron en el municipio de Girardot, estas correspondieron a actividades de planeación, validación técnica y acompañamiento académico por parte de la Universidad Piloto de Colombia. Sin embargo, la implementación del sistema automatizado de conteo vehicular y la recolección de datos se llevaron a cabo en el corregimiento de Gualanday, perteneciente al municipio de Coello, Tolima, esto debido a recursos limitados.

Notas adicionales para el análisis:

- Frecuencia de reuniones: cada 15 días aproximadamente.

- Actores involucrados: cliente institucional (observatorio de movilidad), estudiante desarrollador.
- Evidencias de avance: progresión del sistema desde fase de requerimientos hasta funcionalidad práctica.
- Soporte documental: cada acta está respaldada con acuerdos y avances técnicos.

9. METODOLOGÍA DE DESARROLLO DE SOFTWARE

9.1. Tipo de metodología a desarrollar de la solución informática

El proceso de desarrollo de prototipos es un proceso iterativo que implica desarrollar los componentes del sistema de manera modular e incremental para que un producto pueda ser construido y evaluado rápidamente por los usuarios. Basado en este diálogo, el sistema se ajusta y afina para satisfacer las necesidades reales del proyecto. Este modelo es más valioso cuando los requisitos no están completamente definidos o podrían mejorarse o modificarse durante el desarrollo. Se eligió la metodología de desarrollo de prototipos del sistema porque es una metodología rápida, iterativa, adaptable y aplicable en todos los casos de cambio en los requisitos a lo largo del proceso.

Como lo describe Pressman (2010), este modelo gira en torno a un primer prototipo funcional que se construye rápidamente, posteriormente evaluado por el usuario para recibir retroalimentación continua y hacer ajustes en iteraciones posteriores. Esta metodología sigue las etapas esenciales: recopilación inicial de requisitos, diseño rápido, construcción del prototipo, validación del prototipo por los usuarios y refinamiento acumulativo (Sommerville, 2011).

Tales etapas allanan el camino para soluciones que mejor satisfacen los requisitos reales del usuario final, asegurando que sean funcionales, utilizables y eficientes. Este enfoque se aplicó al proyecto actual como una forma efectiva de formar un sistema automático de conteo de vehículos para trabajar en un entorno particular, que se iteró continuamente en términos de

diseño y pruebas para maximizar la precisión y eficiencia del sistema. Se implementaron fases básicas de desarrollo de prototipos para llevar a cabo el proyecto de manera ordenada. El progreso a través de cada etapa permitió que el sistema se desarrollara cada vez más con retroalimentación continua que cambiaba continuamente el desarrollo construido.

9.2. Fases de la metodología

Especificación de requisitos: En la primera fase, definimos los requisitos preliminares del sistema a crear, que se derivan de un análisis del problema identificado y las necesidades del entorno. El objetivo principal de este sistema es ayudar en el conteo automatizado del tráfico vehicular en Girardot. Actividades planificadas:

- Recolección de especificaciones funcionales: Se informará sobre el reconocimiento automático de vehículos, el sistema específico por tipo (coche, motocicleta, autobús), el conteo de línea virtual y el almacenamiento de los resultados.
- Recolección de requisitos no funcionales: Se examinará la precisión del sistema.
- Priorización de requisitos: Los requisitos se clasificarán según el impacto que tendrán en el funcionamiento de todo el sistema, permitiendo un progreso gradual en el desarrollo del prototipo.
- Requisitos del sistema: Se especificará y gestionará lo que se necesitará para el sistema, como una cámara o video pregrabado, una unidad de procesamiento mínima (CPU, GPU), RAM, compatibilidad con el modelo de detección YOLOv8, un sistema operativo (Windows o Linux), así como almacenamiento para los datos procesados y espacio de almacenamiento de resultados.

Diseño: Aquí se determinará el diseño general del software de conteo automatizado de tráfico (modelo automatizado del sistema de conteo de tráfico vehicular, disposición de los componentes de este sistema, la interacción entre ellos y la arquitectura de software de diseño para desarrollarlo).

Arquitectura del sistema

También se diseñará una modularidad del sistema, un diseño basado en componentes, en el cual las características clave del sistema pueden dividirse en archivos o módulos separados como en la disposición del proyecto:

- Módulos para la detección de vehículos.
- Módulo de seguimiento de objetos.
- Módulo para dibujar líneas de conteo.
- Módulo de interfaz.
- Módulo de gestión de bases de datos.
- Archivo del modelo de detección YOLOv8.

Además, se desarrollarán representaciones gráficas y documentales para ayudar en el diseño técnico del sistema. Como el modelo entidad-relación que establece la estructura de la base de datos; el diccionario de datos describe los campos, tipos y claves de cada tabla; y finalmente el diagrama de clases se refiere a la disposición del sistema basado en un enfoque orientado a objetos. Tales diagramas permitirían el desarrollo y mantenimiento del sistema, para futuros propósitos.

Pruebas: En esta fase, se planificará la validación del prototipo desarrollado mediante la realización de diferentes pruebas que permitirán probar su funcionamiento para confirmar la resolución de errores y la validación de los requisitos establecidos en las fases anteriores.

Objetivo de la fase: El objetivo de esta fase es evaluar el rendimiento del sistema en condiciones controladas y su comportamiento en escenarios reales simulados a través de videos de tráfico. Además, se realizará una verificación de la integración de los módulos desarrollados, la precisión del conteo y clasificación de vehículos, y la interactividad de la interfaz.

Tipos de pruebas planificadas:

- Pruebas funcionales, que se llevarán a cabo para verificar si cada módulo del sistema puede realizar su función designada. Pruebas de integración: estas proporcionarán validación de que los componentes individuales del sistema funcionan bien juntos, particularmente aquellos que procesan video, rastrean líneas y almacenan resultados.
- Pruebas de precisión: esto incluirá la ejecución del sistema con videos para diferentes escenarios, cambios de ubicación con respecto a la línea de conteo y precisión en la detección de objetos.

Análisis de resultados: en este punto, se realizará un estudio muy detallado de los conocimientos proporcionados por las pruebas del prototipo, que evaluará el rendimiento general de la herramienta e identificará áreas de mejora. Esto informará los cambios necesarios para futuras iteraciones del sistema.

9.3. Desarrollo de la metodología

9.3.1. Fase 1: definición de requerimientos

Los requisitos del sistema de conteo automático de flujo vehicular en Girardot fueron recopilados, recogidos y estructurados en la primera etapa. Todas las acciones se llevaron a cabo utilizando el proceso iterativo de la metodología de prototipado, por lo que el primer prototipo se basó en necesidades reales y pudo ajustarse sobre la marcha según la retroalimentación.

9.3.1.1. Actividades realizadas

9.3.1.1.1. Requerimientos funcionales

- RF1. Cargar un video desde el sistema de archivos: El sistema debe permitir al usuario seleccionar un video desde su computador mediante una interfaz gráfica.

- RF2. Detectar y clasificar objetos mediante YOLOv8: El sistema debe utilizar el modelo de inteligencia artificial YOLOv8 para identificar objetos en movimiento dentro del video, específicamente vehículos de las clases car, bus y motorcycle.
- RF3. Dibujar líneas de conteo de manera manual: El usuario debe poder dibujar con el mouse las líneas que representan las zonas de conteo sobre el video.
- RF4. Realizar seguimiento de objetos: El sistema debe realizar el seguimiento de los objetos detectados mediante un algoritmo personalizado (clase Tracker), asignando un ID único a cada vehículo para evitar contar el mismo más de una vez.
- RF5. Contar vehículos que cruzan la línea: El sistema debe contar un vehículo solo cuando cruce la línea previamente definida por el usuario.
- RF6. Guardar resultados en una base de datos: El sistema almacenará en base de datos la acumulación de vehículos detectados por categoría, consolidando los registros en franjas temporales de un minuto.
- RF7. Mostrar historial de videos analizados: El sistema debe visualizar los registros de los videos analizados.
- RF8. Mostrar resultados finales del análisis: Al finalizar el procesamiento del video, el sistema debe mostrar un resumen con los resultados del conteo almacenados.
- RF9. Exportar resultados a Excel: El sistema debe exportar un registro del video analizado a Excel, el Excel debe mostrar el conteo acumulado por tipo de vehículo en intervalos de un minuto.
- RF10. Eliminar un registro de la base de datos: El sistema debe permitir al usuario eliminar manualmente un registro específico del historial de análisis almacenado en la base de datos, en caso de errores o datos no deseados.

9.3.1.1.2. Requerimientos no funcionales

- RNF1 Precisión. Precisión mínima de detección y conteo del 70 %.
- RNF2. Interfaz gráfica sencilla: La interfaz debe ser intuitiva para facilitar el uso por parte de usuarios no técnicos.

- RNF3. Procesamiento eficiente: El sistema debe ser capaz de procesar videos sin causar bloqueos, utilizando procesamiento por hilos (multithreading) para mantener la interfaz fluida.
- RNF4. Compatibilidad con archivos comunes de video: El sistema debe aceptar algún formato estándar como MP4.
- RNF5. Almacenamiento local de datos: Los resultados de los videos procesados deben almacenarse localmente para su posterior análisis.
- RNF6. Escalabilidad modular: El sistema debe estar diseñado de forma modular, permitiendo la futura incorporación de nuevas clases de objetos o funcionalidades adicionales (por ejemplo, detección de peatones, análisis de dirección del tráfico, etc.).

9.3.1.1.3. Requerimientos Técnicos

- RT1. Procesador (CPU): Intel Core i5 de 7ª generación o AMD Ryzen 5 1600 como mínimo, para garantizar un rendimiento estable durante el procesamiento.
- RT2. Memoria RAM: 8 GB como mínimo para asegurar la fluidez del sistema, especialmente al trabajar con múltiples procesos en paralelo (detección, seguimiento y visualización).
- RT3. Tarjeta Gráfica (GPU): Se recomienda el uso de una GPU NVIDIA GTX 1050 Ti o superior con soporte CUDA 11+, lo que permite acelerar el proceso de detección utilizando el modelo YOLOv8.
- RT4. Almacenamiento: Al menos 20 GB de espacio libre, preferiblemente en una unidad SSD para mejorar los tiempos de carga, almacenamiento de videos procesados, modelos y archivos temporales.

- RT5. Sistema Operativo: Windows 10/11 o Ubuntu 18.04+ como plataformas compatibles. El sistema también puede ejecutarse en macOS con CPU, aunque el soporte de GPU es más limitado.
- RT6. Compatibilidad con formatos de video: Se verificó que el sistema pueda procesar videos en formatos comunes como .mp4, asegurando compatibilidad con cámaras y dispositivos de grabación convencionales.
- RT7. Entorno de ejecución: Se requiere Python 3.10+, librerías como OpenCV, Ultralytics YOLOv8, y una versión estable de PyTorch compatible con la GPU disponible.

9.3.1.1.4. Priorización de requerimientos

Los requerimientos funcionales y no funcionales se jerarquizaron según su impacto en el objetivo principal y viabilidad técnica:

- Alta prioridad: RF1, RF3, RF4, RNF1, RNF4.
- Media prioridad: RF2, RF5, RNF2.
- Baja prioridad: RNF5, RNF6.

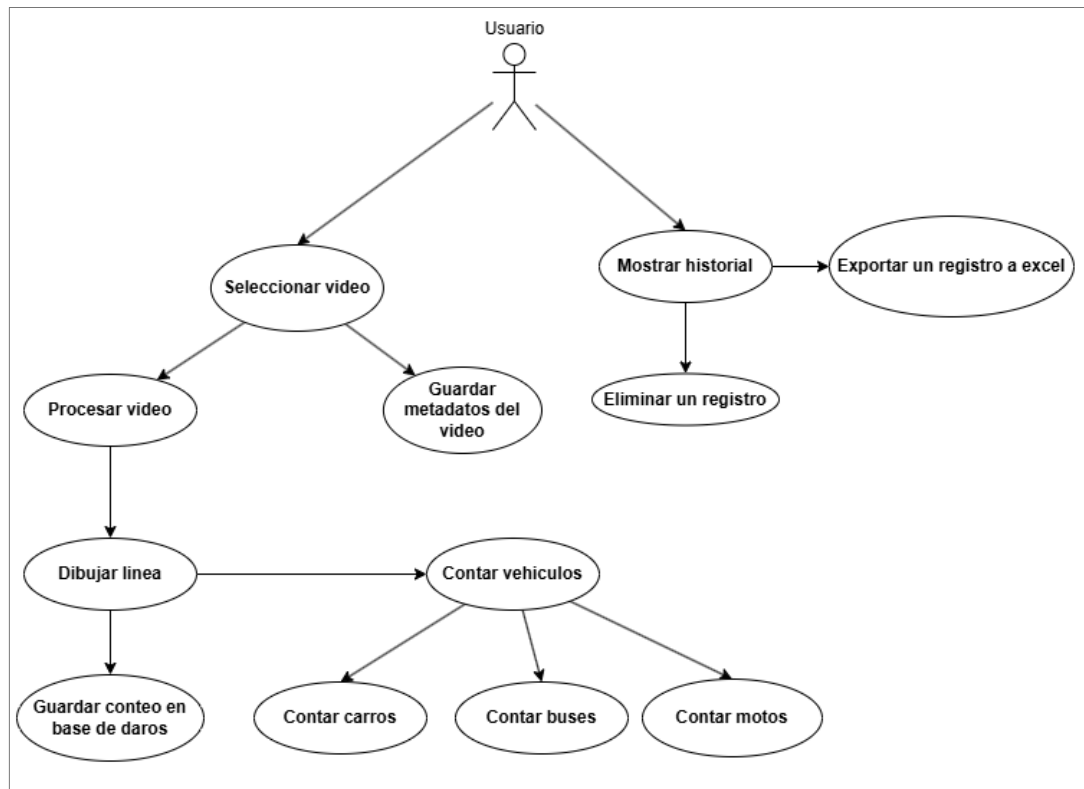
9.3.1.2. Resultados obtenidos

Listado de Requerimientos Preliminar: Contiene el listado completo de RF y RNF, su descripción y nivel de prioridad.

9.3.1.2.1. Diagrama de caso de uso

Para proporcionar una representación organizada del flujo de uso del sistema y sus funcionalidades clave, se presentaron cinco escenarios básicos de interacción. Estos escenarios ejemplifican las acciones que un usuario puede realizar, desde cargar el video hasta exportar los resultados procesados.

Figura 1. Diagrama de caso de uso del sistema de conteo y clasificación vehicular



Fuente: Elaboración propia

En una fase de desarrollo del sistema se definieron los requisitos funcionales que llevaron a la construcción de cada componente del sistema. Estas especificaciones describen las funciones esenciales que el sistema debe cumplir para lograr los objetivos establecidos, asegurando su correcto funcionamiento en el entorno de aplicación. A continuación, se presentan las tablas numeradas que detallan los requisitos funcionales, organizados según los principales procesos y componentes del sistema de conteo y clasificación de vehículos

Tabla 7. RF1. Cargar un video desde el sistema de archivos.

Código	RF-01	
Nombre	Selección de Video para Conteo Vehicular	
Versión	1.0	
Autores	Juan Camilo Bula	
Objetivos Asociados	OBJ-01: Iniciar procesamiento de video para conteo vehicular	
Requisitos Asociados	RI-01: Almacenamiento de datos del video	
Descripción	El sistema debe permitir al usuario seleccionar un archivo de video desde su computadora para realizar el conteo y clasificación de vehículos.	
Precondición	El usuario debe tener un archivo de video (.mp4, .avi, .mov) disponible y accesible en su dispositivo.	
Secuencia Normal	Paso	Acción
	1	El usuario solicita abrir el sistema.
	2	El usuario selecciona la opción "Seleccionar Video".
	3	El sistema abre un cuadro de diálogo para buscar el archivo.
	4	El usuario selecciona el archivo de video.
	5	El sistema lee el archivo de video, obtiene sus metadatos — identificador, fecha de captura y duración total— y los registra en la base de datos.
Excepciones	Paso	Acción
	5	Si el usuario no selecciona ningún video, el sistema no realiza ninguna acción.
	5	Si el archivo seleccionado no es un video compatible, el sistema muestra un mensaje de error.
Postcondición	El video queda registrado en la base de datos y listo para ser procesado.	
Importancia	Alta	
Urgencia	Inmediata	
Comentarios	El sistema debe garantizar compatibilidad con los formatos MP4, AVI y MOV.	

Fuente: Elaboración propia

Tabla 8. RF2. Detectar y clasificar objetos mediante yolov8

Código	RF-02	
Nombre	Detección de Vehículos	
Versión	1.0	
Autores	Juan Camilo Bula	
Objetivos Asociados	OBJ-02: Detectar objetos vehiculares en video	
Requisitos Asociados	RI-02: Modelo YOLOv8 entrenado	
Descripción	El sistema detecta vehículos en cada cuadro del video usando el modelo de visión artificial YOLOv8.	
Precondición	Video cargado exitosamente.	
Secuencia Normal	Paso	Acción
	1	Procesar cada frame.
	2	Ejecutar YOLOv8
	3	Detectar objetos "car", "bus" y "motorcycle".
Excepciones	No detección de objetos si calidad de video es muy baja.	
Postcondición	Vehículos detectados y disponibles para seguimiento.	
Importancia	Vital	
Urgencia	Alta	
Comentarios	Sólo se consideran "car", "bus" y "motorcycle"	

Fuente: Elaboración propia

Tabla 9. RF3. Dibujar líneas de conteo de manera manual

Código	RF-03	
Nombre	Conteo de Vehículos al Cruzar Línea	
Versión	1.0	
Autores	Juan Camilo Bula	
Objetivos Asociados	OBJ-03: Contabilizar vehículos correctamente	
Requisitos Asociados	RI-03: Definición de línea de conteo	
Descripción	Cada vehículo que cruce la línea definida será contado una única vez, por su ID.	
Precondición	Línea de conteo dibujada sobre el video.	
Secuencia Normal	Paso	Acción
	1	Dibujar línea
	2	Detectar cruce de cada ID
	3	Incrementar contador.
Excepciones	Si un vehículo no cruza exactamente, no se cuenta.	
Postcondición	Conteo acumulado de vehículos por tipo.	
Importancia	Vital	
Urgencia	Alta	
Comentarios	Offset de tolerancia de cruce incluido	

Fuente: Elaboración propia

Tabla 10. RF4. Realizar seguimiento de objetos

Código	RF-04	
Nombre	Seguimiento de Vehículos	
Versión	1.0	
Autores	Juan Camilo Bula	
Objetivos Asociados	OBJ-04: Evitar conteo duplicado	
Requisitos Asociados	RI-04: Algoritmo de Tracking (Tracker)	
Descripción	Asigna un ID único a cada vehículo detectado para su rastreo a través de los cuadros.	
Precondición	Vehículos detectados previamente.	
Secuencia Normal	Paso	Acción
	1	Asociar ID único
	2	Actualizar posición en cada frame.
	3	Eliminar IDs inactivos.
Excepciones	Pérdida de ID si el objeto sale del área de visión.	
Postcondición	Cada vehículo es rastreado individualmente.	
Importancia	Alta	
Urgencia	Alta	
Comentarios	Se basa en distancia de centros entre cuadro	

Fuente: Elaboración propia

Tabla 11. RF6. Guardar en la base de datos

Código	RF-06	
Nombre	Guardar resultados en base de datos	
Versión	1.0	
Autores	Juan Camilo Bula	
Objetivos Asociados	OBJ-06: Almacenar resultados de conteo	
Requisitos Asociados	RI-07: Estructura de base de datos implementada	
Descripción	El sistema debe registrar en una base de datos el conteo acumulado por tipo de vehículo en intervalos de un minuto.	
Precondición	Conteo procesado exitosamente.	
Secuencia Normal	Paso	Acción
	1	Iniciar conexión con base de datos
	2	Enviar resultados por minuto
	3	Confirmar almacenamiento
Excepciones	Fallo de conexión o de escritura en la base de datos.	
Postcondición	Datos almacenados correctamente.	
Importancia	Alta	
Urgencia	Alta	
Comentarios	Se registra cada categoría de vehículo con su conteo acumulado.	

Fuente: Elaboración propia

Tabla 12.RF7. Mostrar historial de videos analizados

Código	RF-07	
Nombre	Mostrar historial de videos analizados	
Versión	1.0	
Autores	Juan Camilo Bula	
Objetivos Asociados	OBJ-07: Visualizar análisis anteriores	
Requisitos Asociados	RI-06: Acceso a base de datos	
Descripción	El sistema debe visualizar los registros de los videos previamente analizados.	
Precondición	Existencia de al menos un video analizado.	
Secuencia Normal	Paso	Acción
	1	Consultar base de datos de análisis previos
	2	Listar videos procesados
	3	Mostrar resumen de análisis
Excepciones	Base de datos vacía o inaccesible.	
Postcondición	Historial desplegado en la interfaz.	
Importancia	Media	
Urgencia	Media	
Comentarios	Permite ver detalles de los metadatos por video.	

Fuente: Elaboración propia

Tabla 13. RF9. Exportar resultados a excel

Código	RF-09	
Nombre	Exportación de Resultados	
Versión	1.0	
Autores	Juan Camilo Bula	
Objetivos Asociados	OBJ-09: Permitir análisis externo de datos	
Requisitos Asociados	RI-09: Base de datos local creada	
Descripción	El usuario puede exportar los datos de conteo a un archivo Excel para su posterior análisis	
Precondición	Existencia de registros de conteo para un video.	
Secuencia Normal	Paso	Acción
	1	Consultar historia
	2	Seleccionar video.
	3	Click en “Exportar”.
Excepciones	Si no existen datos, se notifica al usuario.	
Postcondición	Archivo Excel generado y descargado.	
Importancia	Media	
Urgencia	Media	
Comentarios	Exporta "Minuto", "automóviles", "Buses", "Motos"	

Fuente: Elaboración propia

Tabla 14. RF10. Eliminar un registro de la base de datos

Código	RF-10	
Nombre	Eliminar registro de la base de datos	
Versión	1.0	
Autores	Juan Camilo Bula	
Objetivos Asociados	OBJ-10: Gestionar registros almacenados	
Requisitos Asociados	RI-10: Acceso a base de datos y control de interfaz	
Descripción	Permite al usuario eliminar un registro específico del historial de análisis almacenado en la base de datos.	
Precondición	Existencia de registros en la base de datos.	
Secuencia Normal	Paso	Acción
	1	Mostrar historial de análisis
	2	Seleccionar registro a eliminar
	3	Eliminar registro de la base de datos
Excepciones	Error en la eliminación por falta de permisos o acceso.	
Postcondición	Registro eliminado de forma permanente.	
Importancia	Media	
Urgencia	Media	
Comentarios	Solo usuarios autorizados deben tener acceso a esta opción.	

Fuente: Elaboración propia

Con este paquete de requerimientos se definió el alcance de la siguiente fase de diseño, asegurando que el prototipo incluya las funcionalidades críticas de manera prioritaria.

9.3.2. Fase 2: Diseño

El sistema automatizado de conteo de tráfico vehicular fue definido y estructurado, estableciendo la organización de los componentes, las interacciones entre los componentes y la arquitectura de software más adecuada durante esta fase de desarrollo. La arquitectura modular seleccionada se basa en componentes del sistema, proporcionando una clara separación de funciones y un medio para mantener y escalar el sistema.

9.3.2.1. Arquitectura del sistema

El sistema de conteo de vehículos está organizado de manera modular, lo cual permite una gestión clara y eficiente del código. A continuación, se describe el propósito de cada archivo y carpeta dentro del proyecto:

- `__pycache__`: Carpeta generada automáticamente por Python que contiene versiones compiladas de los archivos .py para acelerar la ejecución del programa.
- `basedatos.py`: Módulo encargado de gestionar la base de datos SQLite, incluyendo la creación de tablas y el almacenamiento de los registros de conteo.
- `buses.py`: Contiene funciones específicas para el conteo y procesamiento de buses detectados en los videos.
- `carros.py`: Encargado del procesamiento y conteo de vehículos tipo automóvil (carros).
- `motos.py`: Administra el conteo y procesamiento de motocicletas detectadas por el sistema.
- `conteo_vehiculos.db`: Archivo de base de datos SQLite que almacena los datos históricos de conteo, clasificados por tipo de vehículo y fecha.
- `historial.py`: Módulo que permite visualizar y exportar el historial de conteo por registro guardado en la base de datos.
- `imagen.png`: Imagen utilizada posiblemente como logo o fondo dentro de la interfaz gráfica del sistema.
- `lines.py`: Gestiona la lógica de las líneas de conteo (por ejemplo, líneas que se dibujan en pantalla para determinar cuándo contar un vehículo).

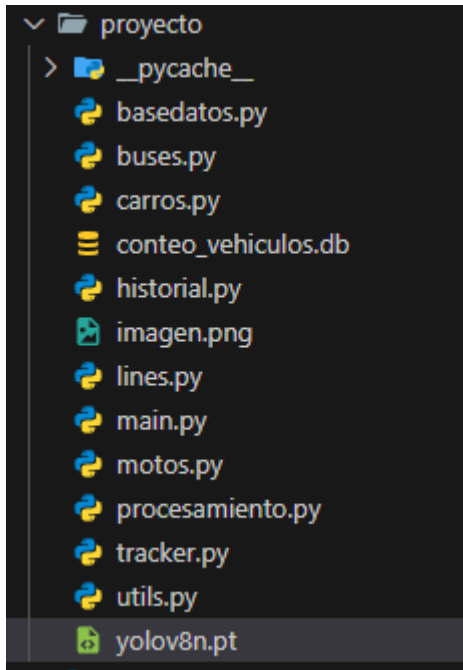
- `main.py`: Archivo principal del sistema. Es el punto de entrada desde donde se inicializa la interfaz gráfica y se ejecutan las funcionalidades del programa.
- `procesamiento.py`: Orquesta el procesamiento del video, incluyendo la detección de objetos y la lógica de conteo utilizando el modelo de inteligencia artificial.
- `tracker.py`: Implementa el seguimiento (tracking) de objetos detectados entre cuadros consecutivos para asegurar que cada vehículo sea contado solo una vez.
- `utils.py`: Contiene funciones auxiliares y utilitarias que apoyan diferentes partes del sistema, como formatos y conversiones, etc.
- `yolov8n.pt`: Modelo preentrenado de YOLOv8 (versión nano), utilizado por el sistema para realizar la detección de vehículos a partir del video.

Además de proporcionar el diseño de los componentes funcionales principales del sistema, se crearon posteriormente los aspectos visuales y los elementos documentales en esta etapa. Se diseñó el modelo entidad-relación para describir la estructura lógica de la base de datos y sus relaciones clave. De manera similar, se redactó el diccionario de datos que definía los campos de cada tabla, los tipos de datos y las funciones (VIDEOS y COUNT). Al mismo tiempo, se construyó un diagrama de clases, que presenta las clases fundamentales en el sistema que describen los atributos de las clases principales, los métodos y su relación entre sí para dar una visión clara del sistema desde una perspectiva orientada a objetos. Fueron esenciales para mantener la coherencia estructural, facilitar la implementación del prototipo y apoyar el mantenimiento futuro del sistema.

9.3.2.2. Resultados obtenidos

Para ilustrar la organización interna del sistema desarrollado, a continuación, se presenta la estructura del software mostrada en la Figura 2, donde se observan los principales módulos y componentes que conforman la solución de conteo y clasificación vehicular.

Figura 2. Estructura del software desarrollado para el conteo y clasificación vehicular



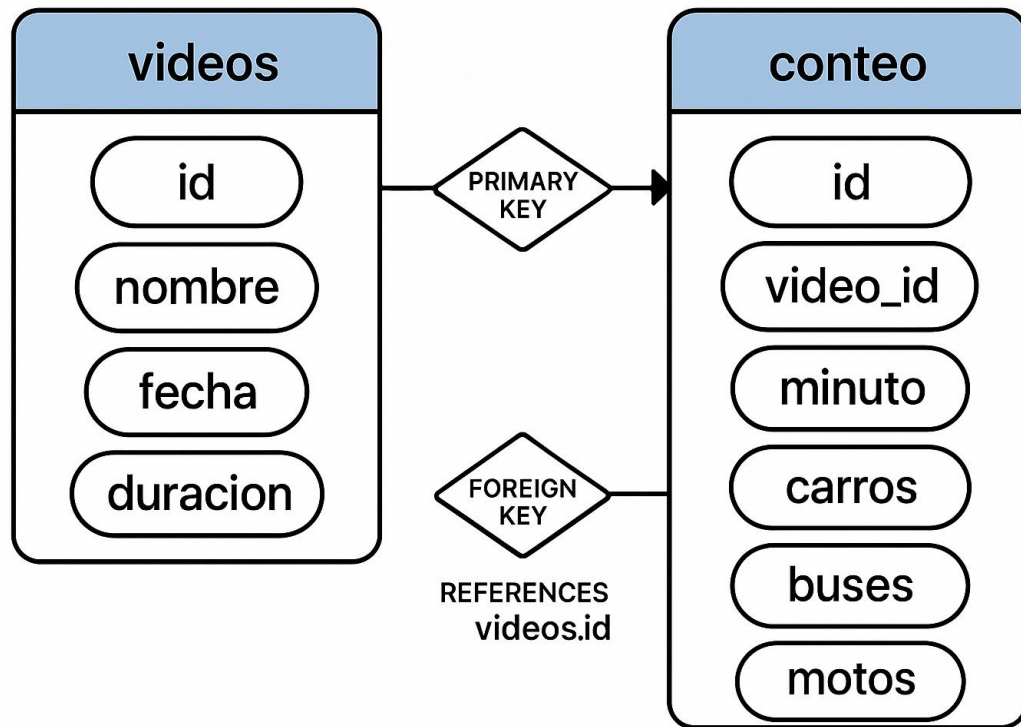
Fuente: Elaboración propia.

9.3.2.2.1. Modelo conceptual (entidad-relación)

El modelo entidad-relación utilizado para estructurar la base de datos del sistema de conteo vehicular se presenta en la Figura 3. En este modelo se definen dos entidades principales: videos y conteo. La entidad videos almacena los metadatos de cada video procesado, incluyendo su identificador (id), nombre del archivo, fecha de captura o carga, y duración. Por su parte, la entidad conteo registra la cantidad de vehículos detectados por minuto, vinculando cada registro con un video específico mediante la clave foránea video_id, que hace referencia al campo **id** de la tabla **videos**. Este modelo asegura una correcta relación uno a muchos entre los videos y sus respectivos datos de conteo, permitiendo mantener la

integridad referencial y facilitando consultas estructuradas sobre el historial de afluencia vehicular.

Figura 3. Modelo conceptual (entidad-relación)



Fuente: Elaboración propia

9.3.2.2.2. Diccionario de datos

El sistema cuenta con dos tablas principales documentadas en el diccionario de datos: VIDEOS y CONTEO. La tabla VIDEOS almacena los metadatos esenciales de cada video procesado, incluyendo el identificador único (**id**), el nombre del archivo (**nombre**) y la fecha de carga o grabación (**fecha**). Sin embargo, la tabla CONTEO contiene los registros por minuto del número de vehículos detectados y vincula cada entrada con un video a través de la clave foránea **video_id**, que se refiere al campo **id** de la tabla VIDEOS. El esquema que corresponde a este enfoque está representado en la Tabla 15 y la Tabla 16, donde se anotan los campos, sus tipos de datos y cualquier relación establecida para mantener la integridad referencial y permitir una consulta formal de la base de datos.

Tabla 15. Diccionario de datos de la tabla videos

Nombre de tabla	VIDEOS		
Nombre del Campo	Tipo de Dato	Clave	Descripción
id	INTEGER	PK	Identificador único del video.
nombre	TEXT	-	Nombre del archivo de video.
fecha	TEXT	-	Fecha en la que se grabó o cargó.

Fuente: Elaboración propia

Tabla 16. Diccionario de datos de la tabla conteo

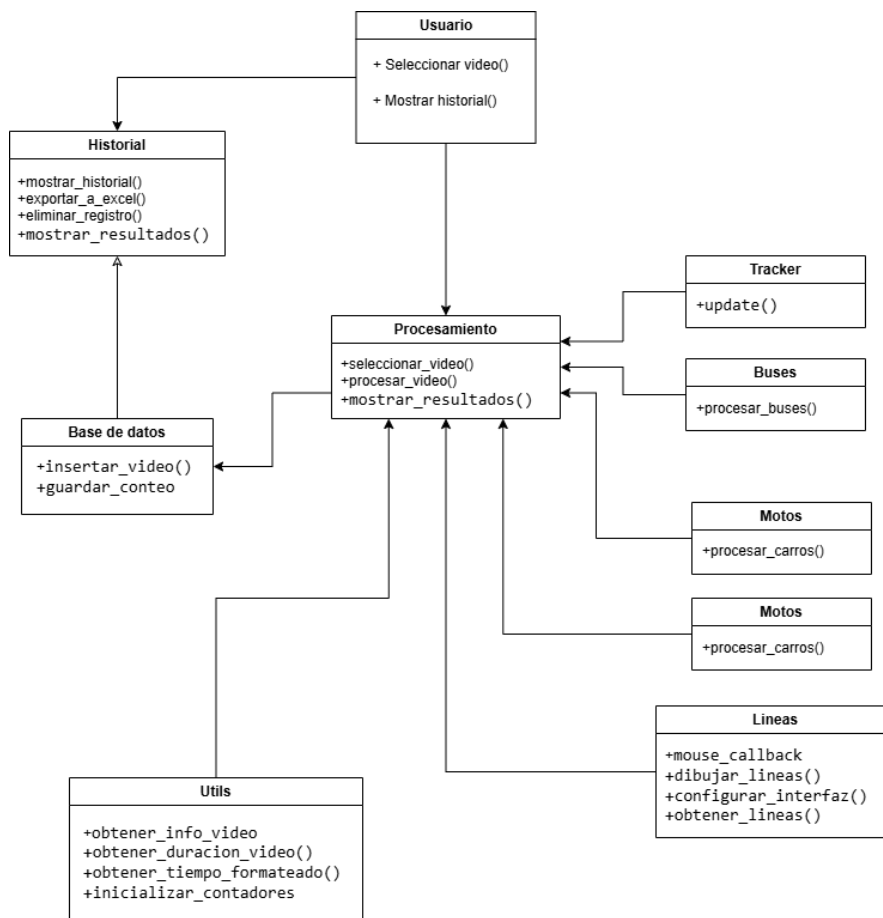
Nombre de tabla	CONTEO		
Nombre del Campo	Tipo de Dato	Clave	Descripción
id	INTEGER	PK	Identificador único del conteo.
video_id	INTEGER	FK → videos.id	Relación con el video al que pertenece el conteo.
minuto	INTEGER	-	Minuto específico del video donde se hace el conteo.
carros	INTEGER	-	Número de carros detectados.
buses	INTEGER	-	Número de buses detectados.
motos	INTEGER	-	Número de motocicletas detectadas.

Fuente: Elaboración propia

9.3.2.2.3. Diagrama de clases

El diagrama de clases es una estructura de programación orientada a objetos. Esto indica las principales clases del sistema de conteo de vehículos que contienen funciones como el procesamiento de vehículos (coches, autobuses, motocicletas), gestión de bases de datos (base de datos), detección y seguimiento de objetos (procesamiento, rastreador), y módulos de utilidad y visualización (utilidades, historial, principal). Cada clase se representa con sus atributos y métodos más relevantes, mostrando también las relaciones entre ellas. Este modelo se muestra en la Figura 6, lo que ayuda a comprender la estructura lógica detrás del software y, por lo tanto, apoya una implementación coherente, mantenible y escalable.

Figura 4. Diagrama de clases del sistema de conteo vehicular



Fuente: Elaboración propia

Además del diagrama de clases, se presenta a continuación la Tabla 17, donde se detallan las clases más relevantes del sistema de conteo vehicular, junto con sus métodos asociados y una breve descripción funcional de cada uno. Se incluyen clases como Usuario, encargada de la interacción inicial con el sistema; Historial, para la gestión de registros procesados; Procesamiento, que orquesta la detección de vehículos en los videos; y Base de datos, que administra la inserción y recuperación de información. También se describen módulos auxiliares como Utils, que contiene funciones de apoyo, Tracker, responsable del seguimiento de objetos, Módulos, que gestiona el conteo por tipo de vehículo, y Líneas, utilizada para dibujar las zonas de conteo. Esta tabla complementa el diagrama de clases, brindando una visión más clara y específica sobre el comportamiento de cada clase dentro del sistema.

Tabla 17. Descripción de clases, métodos y funciones del sistema de conteo vehicular

Clase	Métodos	Descripción
Usuario	seleccionar_video()	Permite al usuario seleccionar un video. Muestra el historial de videos procesados.
	mostrar_historial()	
Historial	mostrar_historial()	Muestra el historial de registros. Exporta el historial a un archivo Excel. Elimina un registro específico. Muestra los resultados del procesamiento.
	exportar_a_excel()	
	eliminar_registro()	
	mostrar_resultados()	
Procesamiento	seleccionar_video()	Selecciona un video para ser procesado. Procesa el video seleccionado. Muestra los resultados del video procesado.
	procesar_video()	
	mostrar_resultados()	
Base de datos	insertar_video()	Inserta un nuevo video en la base de datos. Guarda el conteo de objetos procesados.
	guardar_conteo()	
Utils	obtener_info_video()	Obtiene información, duración y tiempo del video. Inicializa los contenedores necesarios.
	obtener_duracion_video()	
	obtener_tiempo_formateado()	
	inicializar_contenedores()	
Tracker	update()	Algoritmo de seguimiento de objetos que actualiza el objeto en seguimiento
Modulos	procesar_buses(), procesar_carros(), procesar_motos()	Procesa la información de los buses, carros y motos.
Líneas	mouse_callback()	Maneja eventos del mouse permitiendo dibujar líneas para el conteo.
	dibujar_lineas()	
	configurar_interfaz()	
	obtener_lineas()	

Fuente: Elaboración propia

Esta organización permitió avanzar con el desarrollo del prototipo de forma ordenada, facilitando la integración de componentes y asegurando una base sólida para fases posteriores.

9.3.3. Fase 3: Pruebas

En esta etapa se comprobó el correcto funcionamiento del prototipo a través de una serie de pruebas diseñadas para verificar que el sistema respondía bajo el conjunto de requisitos mencionado, determine qué podría salir mal y valide que los requisitos establecidos en la parte anterior se cumplan. Las pruebas se realizaron en condiciones controladas con videos que eran casi realistas y en las proximidades del entorno objetivo. Esto hizo posible evaluar más rápidamente el funcionamiento del sistema.

Tipos de pruebas realizadas:

- Enfocándose en la funcionalidad del módulo: Todos los módulos fueron verificados para cumplir con sus requisitos funcionales. Por ejemplo, ha identificado vehículos con éxito. Además, el módulo de seguimiento puede continuar sin duplicaciones el seguimiento de vehículos y el módulo de interfaz fue receptivo a las interacciones del usuario.
- Integración: Esta prueba asegura que haya una correcta comunicación entre las diferentes partes del sistema para enviar información desde el módulo de detección al módulo de conteo en un orden sincronizado y que la información pueda almacenarse en la base de datos si también se cuenta un objeto.
- Prueba de precisión: Se analizaron diferentes videos de varias situaciones (día, sol, noche), en diferentes momentos de diferentes días durante cada sesión, para probar el sistema según la precisión de detección de objetos y la precisión de conteo.

Las pruebas realizadas en los sistemas ayudaron a identificar cualquier cambio necesario para mejorar el sistema y su operatividad para funcionar correctamente con el entorno de la aplicación.

9.3.3.1. Resultados obtenidos

9.3.3.1.1. Pruebas Funcionales

Las pruebas funcionales tuvieron como objetivo validar que cada componente del sistema cumpliera con las funciones para las cuales fue diseñado, garantizando así el correcto funcionamiento del sistema en su conjunto. Estas pruebas se centraron en evaluar la lógica operativa de cada módulo, sus entradas, procesos y salidas esperadas.

A continuación, se detallan las pruebas realizadas para cada módulo del sistema:

Módulo de Detección

- **Objetivo:** Verificar que el sistema identificara correctamente los vehículos presentes en los videos de prueba utilizando el modelo YOLOv8.
- **Procedimiento:** Se proceso un video con diferentes tipos de vehículos (autos, motocicletas, bicicletas, personas).
- **Resultado esperado:** El sistema debe detectar cada objeto dentro del campo de visión y clasificarlo correctamente según su tipo.
- **Resultado obtenido:** Cumplido. El modelo logró identificar de manera precisa los objetos relevantes en cada escena.

Módulo de Seguimiento de Objetos

- **Objetivo:** Asegurar que el sistema mantuviera el seguimiento de cada objeto detectado, sin generar duplicados.
- **Procedimiento:** Se monitoreó el rastro de los objetos a través del área de conteo, verificando que se asignara un ID único a cada uno.

- Resultado esperado: El sistema debe evitar la duplicación en el conteo, rastreando de forma continua y coherente los objetos.
- Resultado obtenido: Cumplido. Cada objeto conservó su ID único y no se contabilizó más de una vez.

Módulo de Conteo

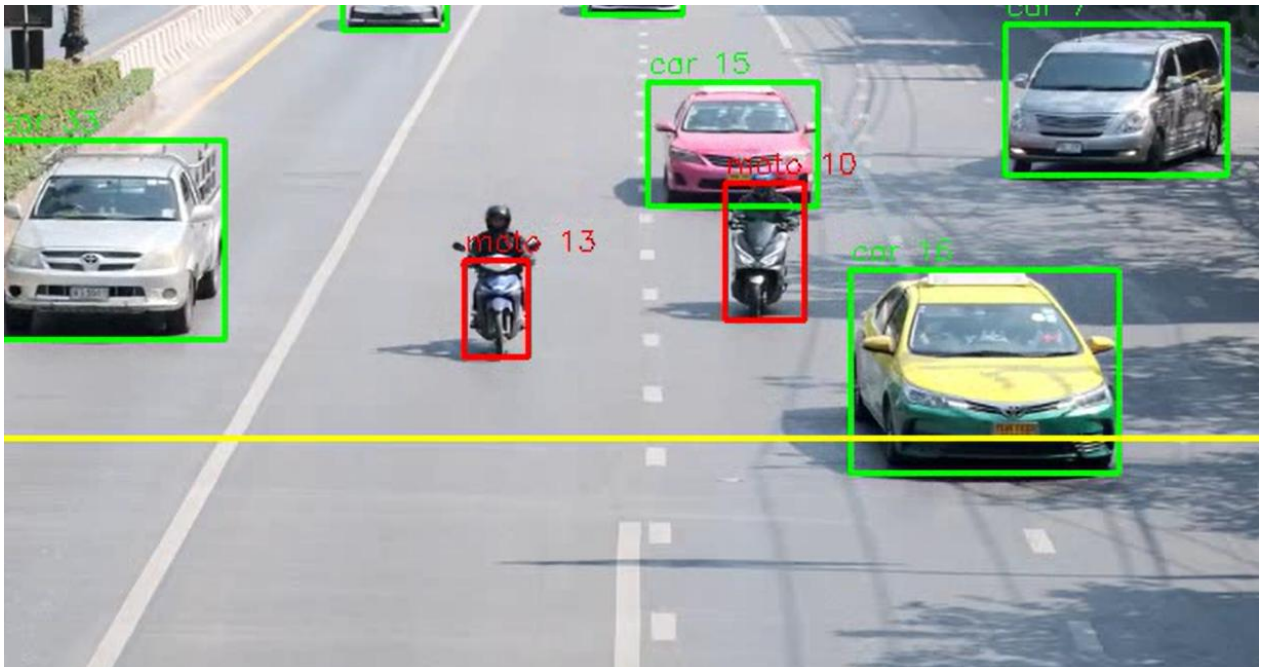
- Objetivo: Validar que el sistema contara correctamente los vehículos que cruzaban una línea predefinida.
- Procedimiento: Se trazó una línea en el video y se verificó que el sistema incrementara el conteo solo al cruzarla.
- Resultado esperado: Cada cruce válido debe incrementar el conteo de forma precisa por categoría.
- Resultado obtenido: Cumplido. El conteo respondió adecuadamente a los cruces detectados.

Interfaz Gráfica (GUI)

- Objetivo: Comprobar que la interfaz respondiera correctamente a las acciones del usuario y mostrara el historial de los videos analizados.
- Procedimiento: Se realizaron interacciones típicas como seleccionar el video, dibujar la línea sobre el video a analizar, mostrar el historial de registros de videos analizados, eliminar un registro y exportar los resultados a excel.
- Resultado esperado: La interfaz debe reflejar los cambios inmediatamente y sin errores.
- Resultado obtenido: Cumplido. La GUI funcionó de manera fluida, permitiendo una experiencia de usuario clara y funcional.

A continuación, la Figura 5 ilustra el resultado obtenido durante las pruebas funcionales aplicadas a los módulos de detección y seguimiento de objetos del sistema. Se observa cómo el modelo YOLOv8 identifica y clasifica correctamente los vehículos presentes en el entorno, asignándoles etiquetas como "car" para automóviles y "moto" para motocicletas. Además, cada objeto detectado recibe un identificador único (ID), lo que permite su rastreo a lo largo del área de conteo y evita el registro duplicado en el proceso de conteo. Esta evidencia confirma el cumplimiento de los objetivos planteados tanto para el módulo de detección como para el módulo de seguimiento, garantizando una identificación precisa y un conteo confiable de los vehículos en condiciones reales de tráfico.

Figura 5. Detección, clasificación y asignación de id a los vehículos durante las pruebas funcionales.



Fuente: Elaboración propia

La Figura 6 corresponde a la validación del módulo de conteo de vehículos durante las pruebas funcionales. En ella se evidencia cómo el sistema, tras trazar una línea de conteo sobre el área de análisis, incrementa correctamente los contadores de vehículos únicamente cuando estos cruzan dicha línea. Se muestra el conteo acumulado de carros, buses y motocicletas, así como el tiempo de procesamiento en el video, confirmando que el incremento de las cifras se realiza de forma precisa y conforme a la categoría del vehículo. Estos resultados validan el cumplimiento del objetivo planteado para el módulo de conteo, asegurando un registro confiable de la afluencia vehicular.

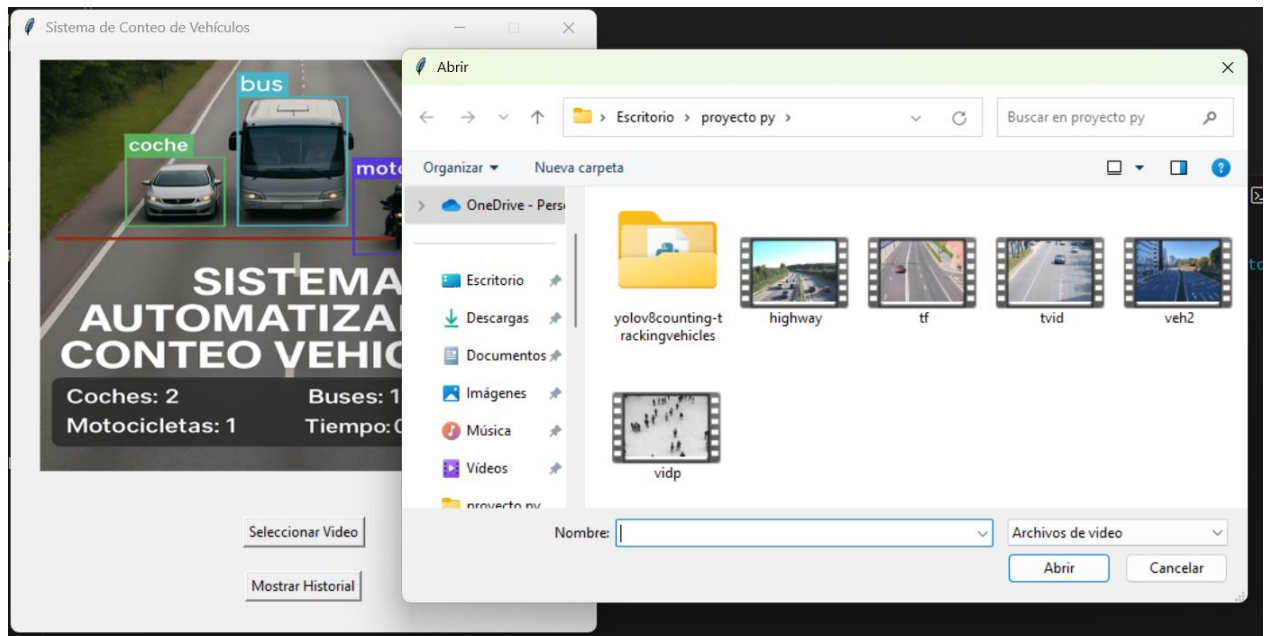
Figura 6. Conteo de vehículos al cruzar la línea predefinida en las pruebas funcionales.



Fuente: Elaboración propia

La Figura 7 muestra la funcionalidad de selección de video implementada en la interfaz gráfica del sistema. El usuario puede navegar entre sus carpetas locales para elegir el archivo de video que será analizado, asegurando un acceso rápido y flexible a las grabaciones. Esta interacción fue validada durante las pruebas funcionales, confirmando que el sistema responde de manera inmediata a la acción de selección sin presentar errores.

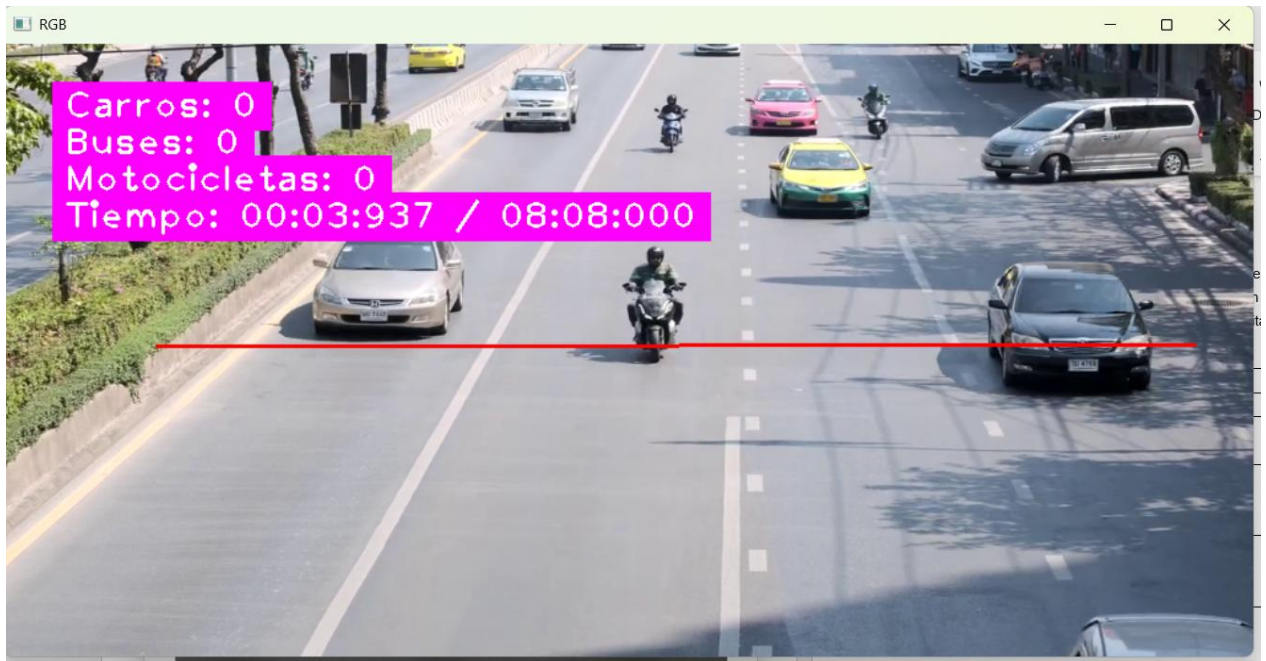
Figura 7. Selección de video



Fuente: Elaboración propia

La Figura 8 mostrada continuación, ilustra el proceso de trazo de la línea de conteo sobre el video en análisis. El sistema permite al usuario dibujar dinámicamente la línea que delimita el área donde se contabilizarán los vehículos, adaptándose a diferentes escenarios de tráfico. Las pruebas demostraron que esta funcionalidad responde de manera precisa a la interacción del usuario, actualizando en tiempo real la visualización sin errores ni demoras.

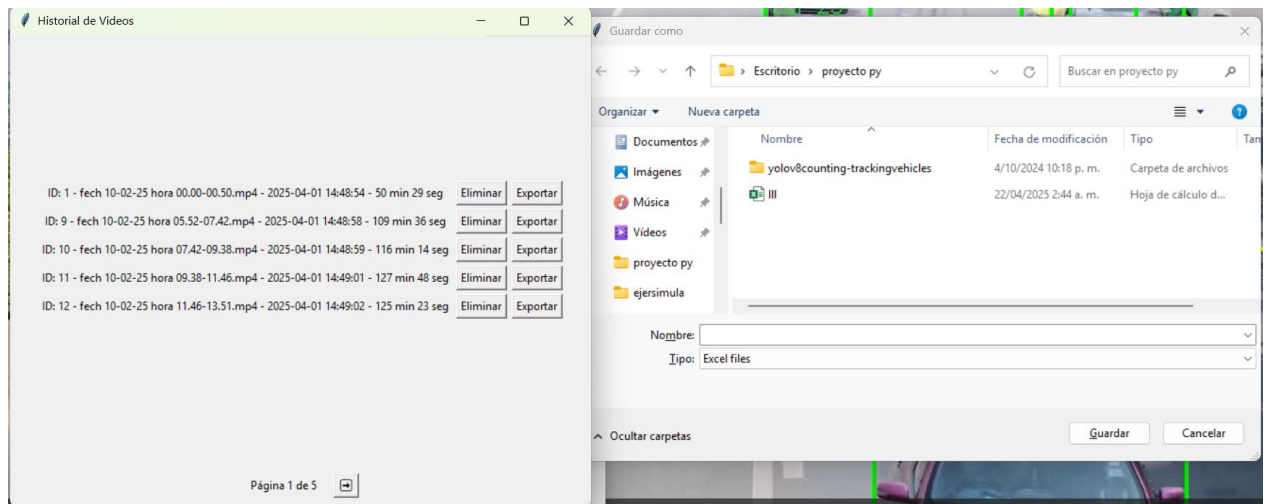
Figura 8. Dibujo de la línea de conteo



Fuente: Elaboración propia

La Figura 9 corresponde a la sección del historial de videos procesados, donde se almacenan los registros de los análisis anteriores. En esta vista, el usuario puede consultar información detallada de cada video, eliminar registros que ya no sean necesarios o exportar los resultados a un archivo Excel para su análisis externo. Esta funcionalidad fue comprobada durante las pruebas, evidenciando que la interfaz gestiona correctamente las operaciones sobre el historial sin interrupciones.

Figura 9. Historial de videos analizados



Fuente: Elaboración propia

Conclusión: Los resultados obtenidos en las pruebas funcionales permiten concluir que todos los módulos del sistema cumplen con los requerimientos establecidos. Cada uno opera de manera autónoma y en conjunto, ofreciendo una solución robusta para el conteo y clasificación vehicular en la intersección seleccionada.

9.3.3.1.2. Pruebas de Integración

Se verificó la correcta comunicación e interoperabilidad entre los distintos módulos que componen el sistema. Las pruebas de integración tienen como propósito asegurar que las funciones individuales —ya validadas en pruebas unitarias— interactúan de manera fluida cuando se integran en un solo sistema funcional.

Tabla 18. Componentes evaluados

Componentes evaluados		
Módulo Origen	Módulo Destino	Datos intercambiados
Detección de objetos (YOLOv8)	Módulo de conteo	Clasificación del objeto detectado.
Módulo de conteo	Interfaz gráfica	Actualización de los contadores de buses, carros y motos
Módulo de historial	Base de datos	Registro de video, duración, nombre, fecha de creación.

Fuente: Elaboración propia

Escenarios de prueba

- Transferencia de datos desde la detección hasta el conteo
 - Objetivo: Verificar que, al detectar un objeto, este sea enviado correctamente al módulo de conteo.
 - Resultado esperado: El objeto detectado cruza la línea definida y es contabilizado una sola vez.
- Actualización del contador del conteo de buses, carros y motos
 - Objetivo: Validar que la interfaz muestre en pantalla la cantidad de objetos contados.
 - Resultado esperado: Cada vehículo que cruce la línea incrementa la cuenta inmediatamente.
- Registro en la base de datos

- Objetivo: Verificar que cada conteo exitoso se registre en la base de datos con todos los campos requeridos.
- Resultado esperado: Por video analizado, se genera un nuevo registro con información coherente (ID, nombre del video, fecha de creación y duración).
- Exportar un registro a Excel
 - Objetivo: verificar que los datos de conteo de un registro se puedan exportar a Excel.
 - Resultado esperado: un archivo de tipo xlsx en donde se visualiza la cantidad de minutos y la cantidad de carros, buses y autos que pasaron durante ese minuto

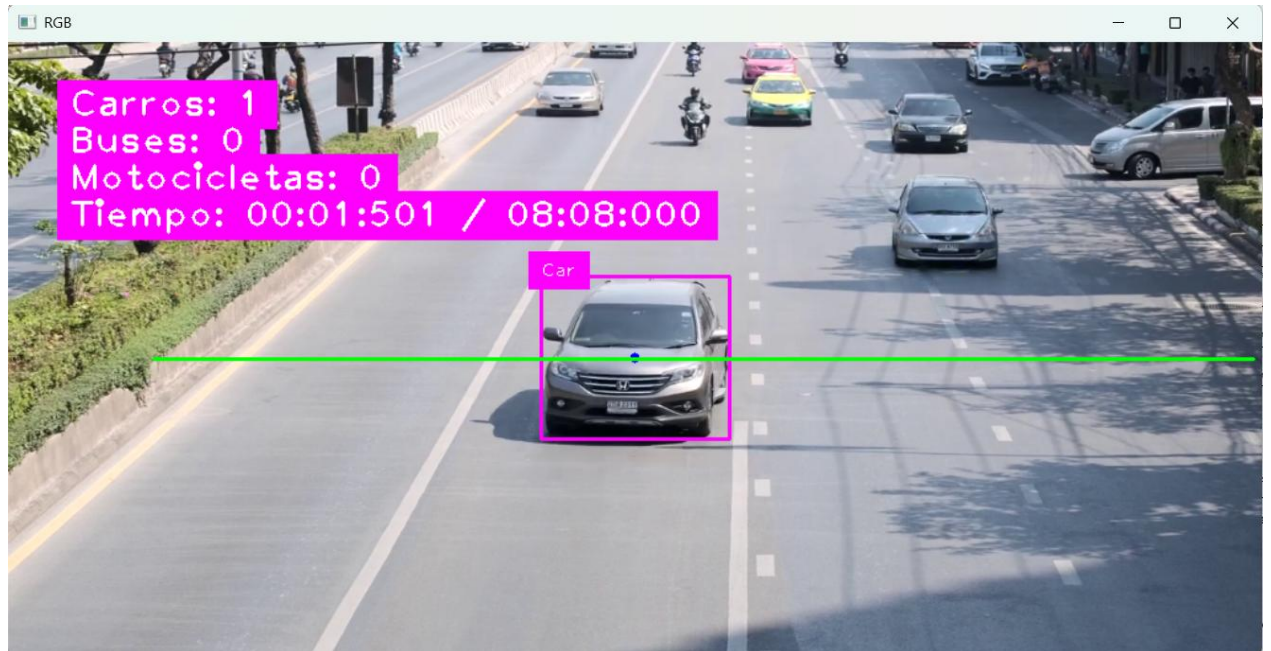
Tabla 19. Resultados de las pruebas

Resultado de las pruebas		
Prueba	Resultado	Observaciones
Comunicación Detección → Conteo	Exitosa	El flujo de datos se mantiene constante, sin errores de envío
Conteo → Interfaz gráfica	Exitosa	Conteo se actualiza correctamente en pantalla
Registro en base de datos + Exportar a Excel	Exitosa	Todos los registros aparecen correctamente en la base de datos y se pueden exportar a Excel

Fuente: Elaboración propia

A continuación, la Figura 10 evidencia el proceso de integración entre el módulo de detección y el módulo de conteo. Se observa cómo el sistema detecta un vehículo que cruza la línea predefinida y actualiza el contador correspondiente en tiempo real. Esta verificación confirma que los datos generados por YOLOv8 son correctamente transferidos al sistema de conteo sin pérdidas ni duplicaciones.

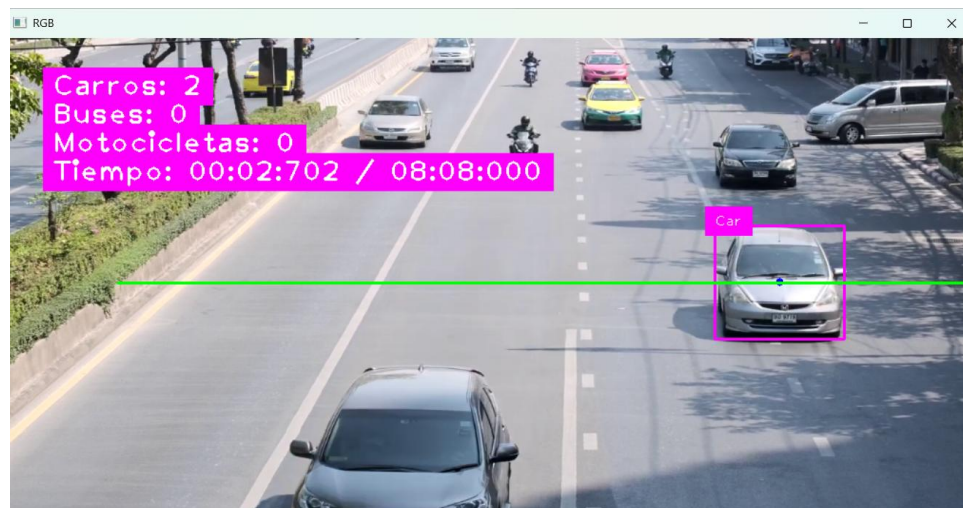
Figura 10. Detección y conteo de automóviles



Fuente: Elaboración propia

La Figura 11 muestra la actualización inmediata de los contadores de vehículos en la interfaz gráfica tras la detección de nuevos cruces. Esto demuestra la integración efectiva entre el módulo de conteo y la GUI, permitiendo que el usuario visualice la cantidad de carros, buses y motocicletas contabilizados en el video procesado.

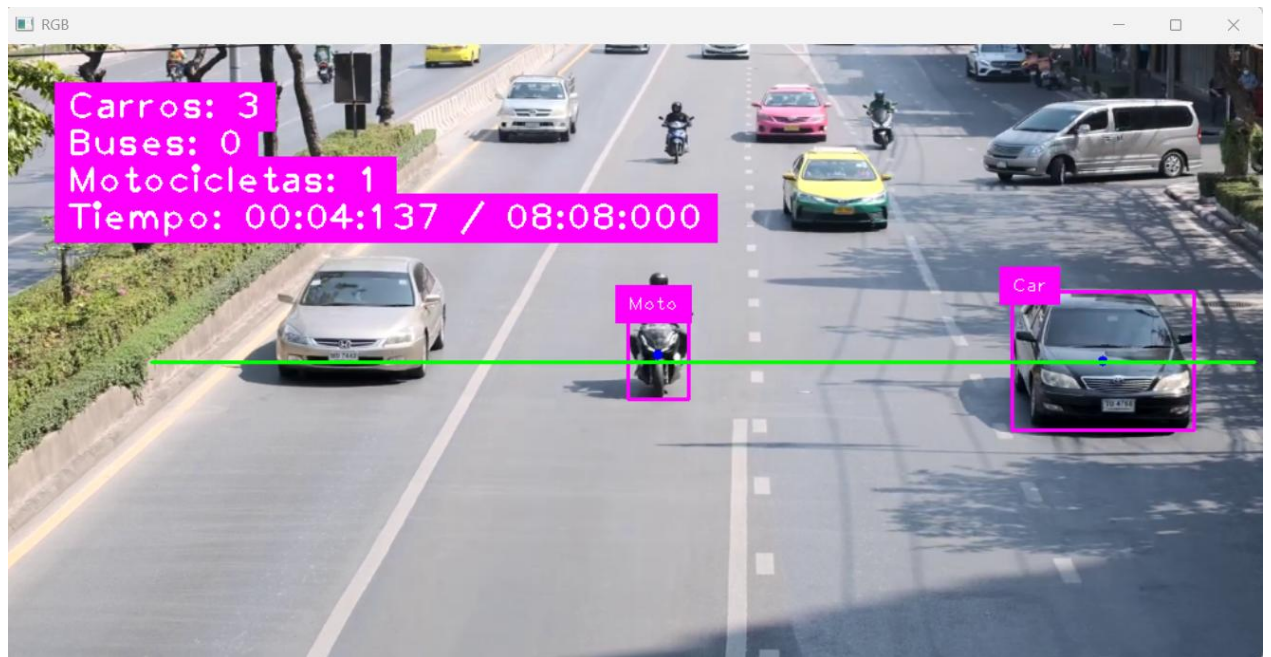
Figura 11. Actualización del contador en la interfaz



Fuente: Elaboración propia

La Figura 12 presenta la capacidad del sistema para integrar múltiples tipos de objetos en el conteo simultáneo. Se observa cómo tanto un automóvil como una motocicleta son detectados y contabilizados correctamente, reflejándose el incremento de sus respectivas categorías en los contadores. Esto valida la adecuada transferencia y clasificación de los datos entre los módulos de detección, conteo y visualización.

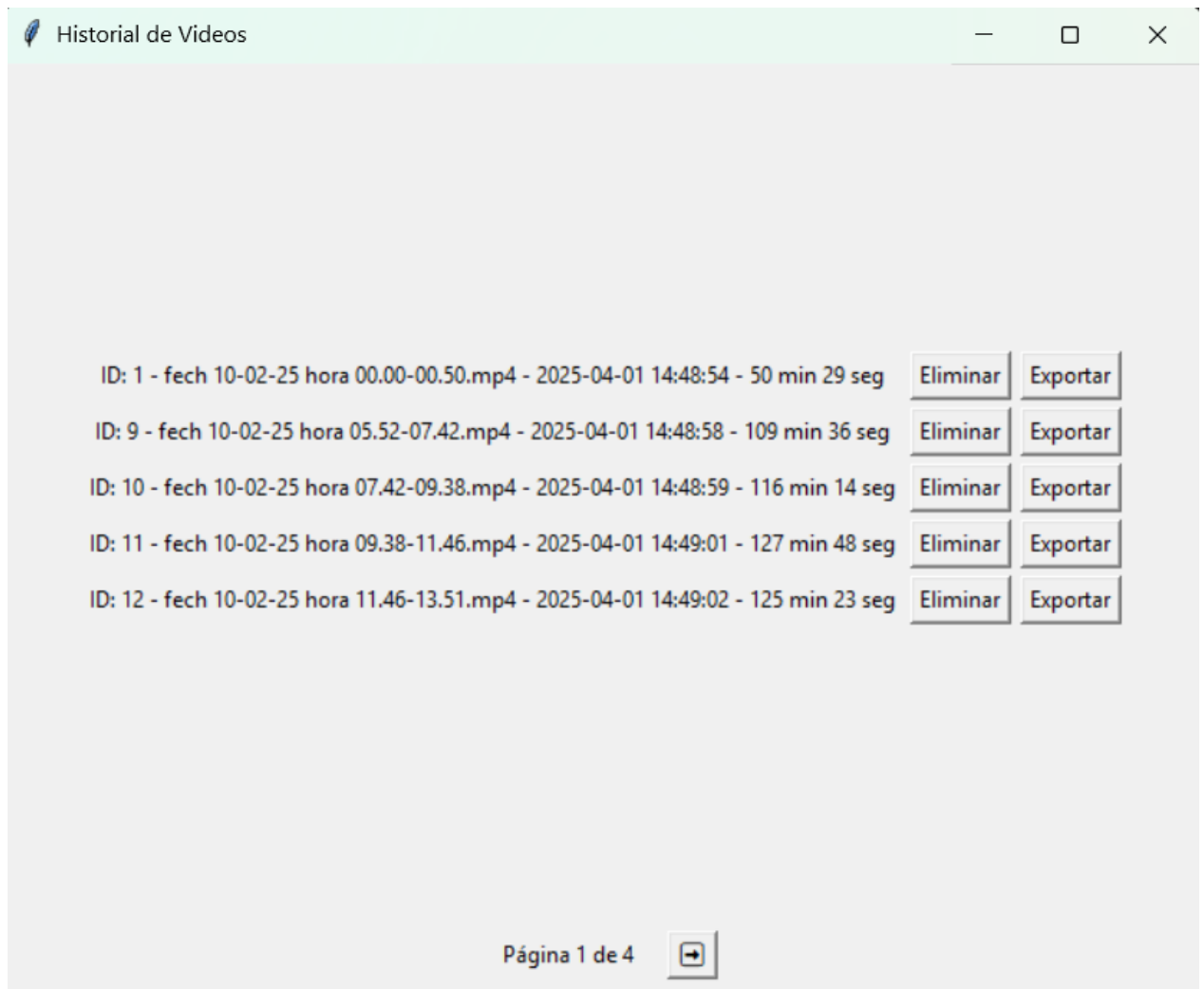
Figura 12. Conteo de diferentes tipos de vehículos



Fuente: Elaboración propia

La Figura 13 muestra el historial de videos procesados, donde se registran los datos de cada video analizado: ID, nombre del archivo, fecha de creación y duración. Esta evidencia confirma la integración entre el módulo de historial y la base de datos, asegurando que cada análisis quede correctamente almacenado para futuras consultas o exportaciones.

Figura 13. Registro en la base de datos (historial)



Historial de Videos			
ID: 1	- fech 10-02-25 hora 00.00-00.50.mp4	- 2025-04-01 14:48:54	- 50 min 29 seg
ID: 9	- fech 10-02-25 hora 05.52-07.42.mp4	- 2025-04-01 14:48:58	- 109 min 36 seg
ID: 10	- fech 10-02-25 hora 07.42-09.38.mp4	- 2025-04-01 14:48:59	- 116 min 14 seg
ID: 11	- fech 10-02-25 hora 09.38-11.46.mp4	- 2025-04-01 14:49:01	- 127 min 48 seg
ID: 12	- fech 10-02-25 hora 11.46-13.51.mp4	- 2025-04-01 14:49:02	- 125 min 23 seg

Página 1 de 4

Fuente: Elaboración propia.

Finalmente, la quinta imagen presenta un archivo Excel generado tras la exportación de los datos de conteo de un video analizado. La hoja muestra el número de vehículos detectados por minuto y por categoría, validando que el proceso de exportación funciona correctamente y que los datos registrados en la base de datos pueden ser extraídos de manera estructurada y precisa.

Figura 14. Exportación de datos a excel

	A	B	C	D	E
1	Minuto	Carros	Buses	Motos	
2	0	0	0	0	
3	1	0	0	0	
4	2	0	0	0	
5	3	0	0	0	
6	4	0	0	0	
7	5	1	0	0	
8	6	0	0	0	
9	7	0	0	0	
10	8	0	0	0	
11	9	0	0	0	
12	10	0	0	2	
13	11	0	0	0	
14	12	0	0	1	
15	13	0	0	0	
16	14	0	0	1	
17	15	0	0	2	
18	16	1	0	2	
19	17	0	0	2	
20	18	0	0	2	
21	19	1	0	0	
22	20	1	0	3	
23	21	1	0	0	
24	22	1	1	0	
25	23	0	0	0	

Fuente: Elaboración propia

Conclusión: Las pruebas de integración confirmaron que todos los módulos del sistema interactúan correctamente entre sí. No se detectaron errores de sincronización ni pérdida de datos. La arquitectura modular y el uso de estructuras de datos simples (como listas de seguimiento y xlsx) facilitaron una integración estable y efectiva.

9.3.3.1.3. Pruebas de precisión

Pruebas de precisión

Se realizaron doce pruebas en tres franjas horarias el mismo día bajo tres condiciones ambientales (nublado, soleado y de noche) para evaluar la precisión del sistema de conteo automatizado. En varias pruebas, se cambió la posición de la línea de conteo para verificar la reacción del sistema en varias posiciones de entrada y salida de vehículos. Condiciones técnicas del entorno de prueba: Todas las evaluaciones de precisión se realizaron utilizando videos grabados por una cámara IP inalámbrica con resolución de 1080p (Full HD), equipada con una lente de 2.8 mm, una apertura de f/2.0 y un campo de visión de 109 grados.

La compresión fue H.264 y la tasa de fotogramas fue de 20 FPS. La cámara se fijó a una altura y ángulo de grabación constantes durante todas las pruebas y, por lo tanto, estas variables no se incluyeron en el análisis. La distancia de cobertura efectiva de la cámara era de aproximadamente 4.50 metros y era suficiente para observar el flujo de vehículos en la intersección analizada. Estos parámetros técnicos se estandarizaron en todas las pruebas para asegurar que las diferencias en los resultados de precisión se debieran únicamente a factores como la iluminación, la posición de la línea de conteo y las características de los vehículos..

Las franjas horarias en las que se realizaron las pruebas fueron las siguientes:

- Mañana/nublado: cuatro pruebas realizadas entre las 11:46 a.m. y 12:16 p.m.
- Tarde/soleado: cuatro pruebas realizadas entre las 4:39 p.m. y 5:10 p.m.
- Noche: cuatro pruebas realizadas entre las **8:22 p.m. y 8:52 p.m.**

Cálculo de la precisión

Para cada prueba se evaluó la precisión del sistema por categoría de vehículo (autos, buses y motos), comparando el conteo del sistema con los datos originales registrados manualmente. La precisión del sistema en la detección de vehículos se calcula utilizando la siguiente fórmula:

$$\text{Presicion} = \frac{\text{TP}}{\text{TP} + \text{FP}} \quad (1)$$

Donde:

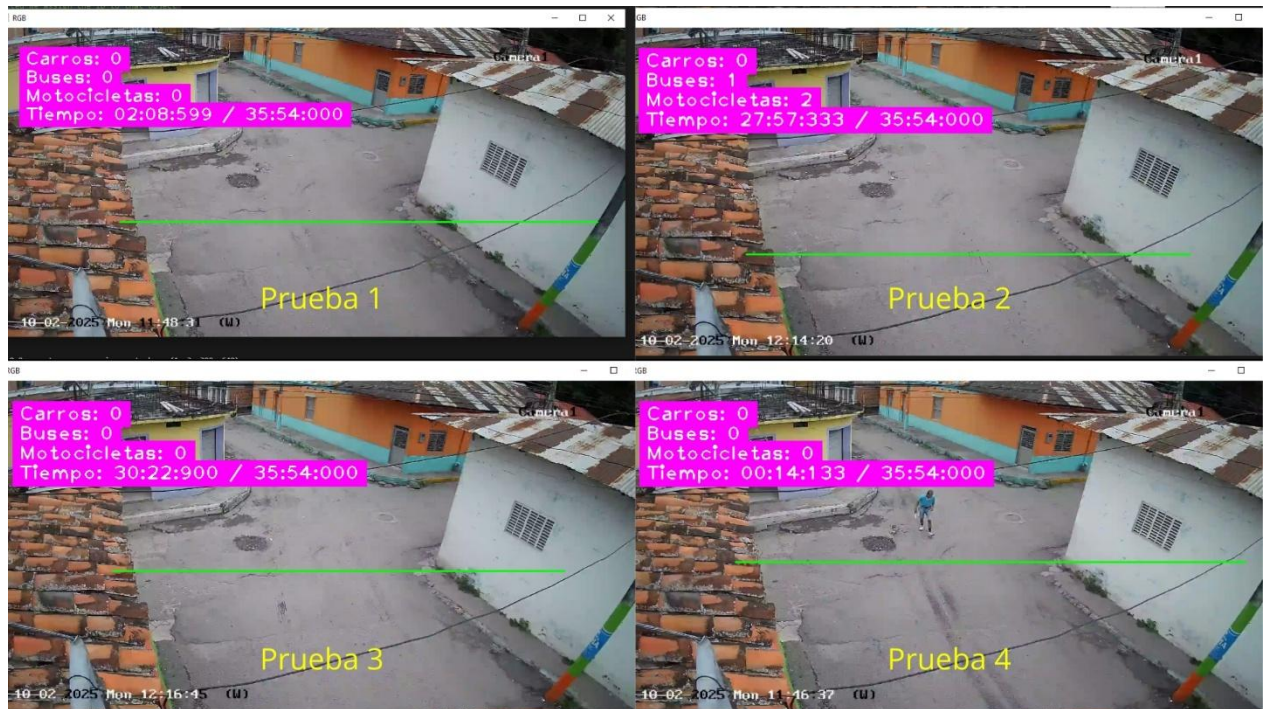
- TP (True Positives): objetos correctamente contados (es decir, cuando tanto el sistema como el registro manual coinciden en la detección para un minuto determinado).
- FP (False Positives): objetos contados por el sistema que no aparecen en el registro original.

Se realizaron doce pruebas en tres franjas horarias el mismo día bajo tres condiciones ambientales (nublado, soleado y de noche) para evaluar la precisión del sistema de conteo automatizado. En varias pruebas, se cambió la posición de la línea de conteo para verificar la reacción del sistema en varias posiciones de entrada y salida de vehículos. Condiciones técnicas del entorno de prueba: Todas las evaluaciones de precisión se realizaron utilizando videos grabados por una cámara IP inalámbrica con resolución de 1080p (Full HD), equipada con una lente de 2.8 mm, una apertura de f/2.0 y un campo de visión de 109 grados. La compresión fue H.264 y la tasa de fotogramas fue de 20 FPS.

La cámara se fijó a una altura y ángulo de grabación constantes durante todas las pruebas y, por lo tanto, estas variables no se incluyeron en el análisis. La distancia de cobertura efectiva de la cámara era de aproximadamente 4.50 metros y era suficiente para observar el flujo de vehículos en la intersección analizada. Estos parámetros técnicos se estandarizaron en todas las pruebas para asegurar que las diferencias en los resultados de precisión se debieran únicamente a factores como la iluminación, la posición de la línea de conteo y las características de los vehículos:

La Figura 15 muestra las capturas correspondientes a las cuatro pruebas realizadas durante la franja horaria de la mañana, en condiciones de cielo nublado. En cada prueba se modificó la ubicación de la línea de conteo para evaluar la capacidad del sistema de detectar correctamente los cruces de vehículos en distintos puntos del área. Estos ensayos permitieron observar cómo factores como la orientación de la cámara, la iluminación tenue pueden influir en la precisión del conteo.

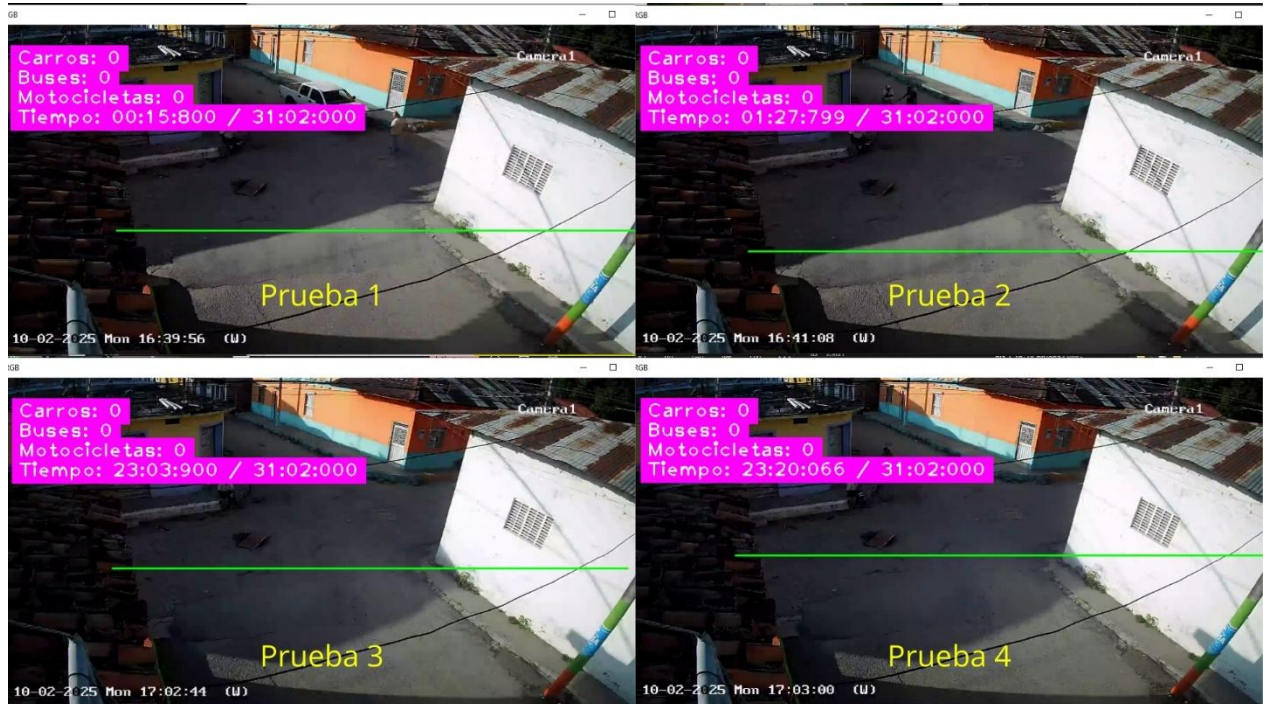
Figura 15. Pruebas realizadas en la mañana bajo cielo nublado



Fuente: Elaboración propia

En la Figura 16 se visualizan las pruebas realizadas durante la franja de la tarde, bajo condiciones de luz solar intensa. El objetivo de estas pruebas fue analizar si la exposición a luz directa, las sombras afectaban la capacidad del sistema para realizar una detección y conteo preciso. Al igual que en la sesión de la mañana, se variaron las posiciones de la línea de conteo para comparar el impacto en los resultados.

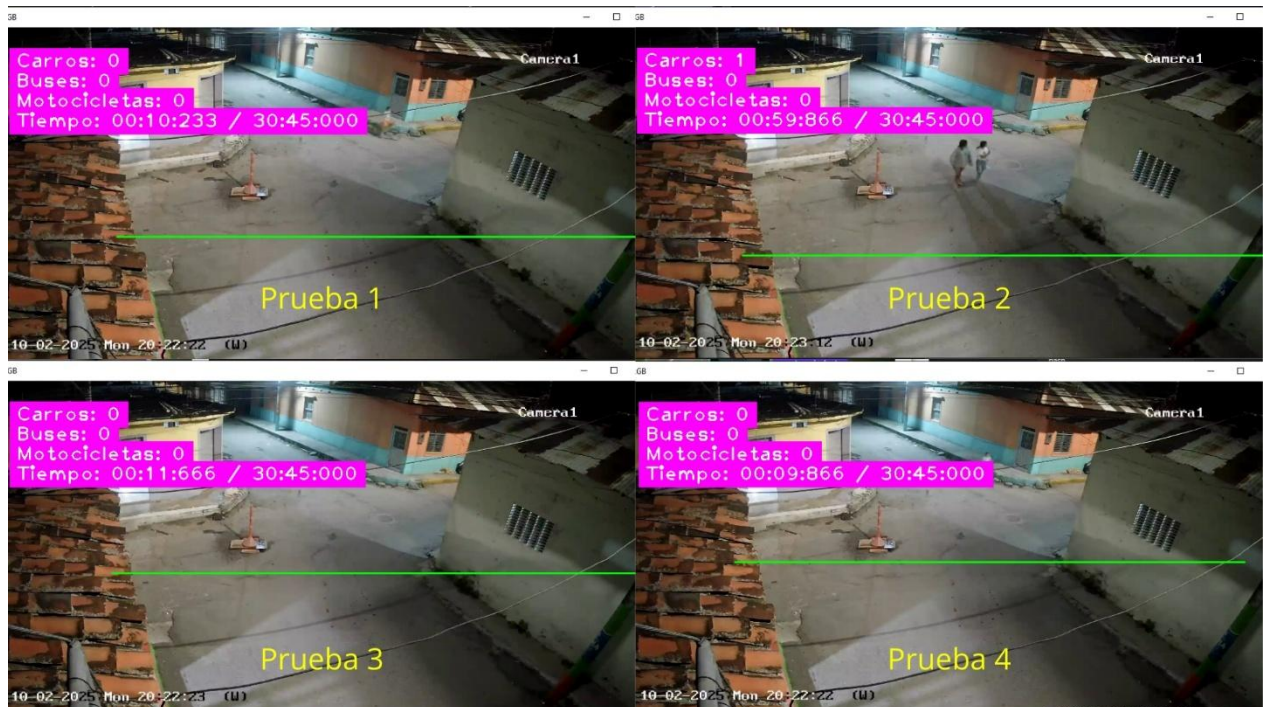
Figura 16. Pruebas realizadas en la tarde en condiciones soleadas.



Fuente: Elaboración propia

Finalmente, la Figura 17 presenta las pruebas realizadas en horas de la noche. Estas pruebas fueron clave para evaluar el comportamiento del sistema en condiciones de buena iluminación. A pesar de los desafíos asociados a la visibilidad nocturna, el sistema logró identificar correctamente varios objetos y reflejar los resultados en los contadores correspondientes. Estas pruebas demostraron que, si bien el desempeño puede verse afectado, el sistema conserva un buen nivel aceptable de precisión.

Figura 17. Pruebas realizadas en la noche con buena iluminación.



Fuente: Elaboración propia

La Tabla 20 presenta los resultados de precisión obtenidos en las pruebas realizadas durante la franja de la mañana, en condiciones de cielo nublado. En esta sesión se evidenció un buen desempeño del sistema en la categoría de **carros**, con valores superiores al 90 % en las dos primeras pruebas. Sin embargo, la detección de **motos** fue más irregular y la detección de **buses** se mostró limitada, posiblemente debido a la escasa presencia de estos en el escenario.

Tabla 20. Precisión por clase – franja horaria: mañana / nublado

Prueba	Carro	Bus	Moto
Prueba 1	0,9091	0,0	0,67
Prueba 2	0,9091	0,0	0,4516
Prueba 3	0,5789	0,0	0,5952
Prueba 4	0,5294	0,5	0,1392

Fuente: Elaboración propia

En la Tabla 21 se muestran los resultados correspondientes a la franja de la tarde, bajo condiciones de luz solar donde genera sombras. A pesar de la variabilidad en el posicionamiento de la línea de conteo, el sistema mantuvo un nivel aceptable de precisión en la detección de carros, aunque con una ligera disminución respecto a la mañana. La precisión en motos continuó siendo intermedia, y la categoría de buses no presentó resultados positivos debido a la escasa presencia de estos en el escenario, lo cual indica que aún existen desafíos en su correcta detección bajo condiciones donde las sombras afectaban la capacidad del sistema para realizar una detección y conteo preciso.

Tabla 21. Precisión por clase – franja horaria: tarde / soleado

Prueba	Carro	Bus	Moto
Prueba 1	0,75	0,0	0,4091
Prueba 2	0,875	0,0	0,2857
Prueba 3	0,30	0,0	0,4074
Prueba 4	0,2162	0,0	0,4815

Fuente: Elaboración propia

Finalmente, la Tabla 22 muestra los resultados obtenidos durante las pruebas nocturnas, donde el sistema operó en condiciones con buena iluminación artificial. En este escenario, el modelo mantuvo un excelente rendimiento, en la detección de buses la precisión es de 0.0 dado que no pasan buses de noche por esta la zona, en la detección de **carros**, alcanzando una precisión del 100 % en tres de las cuatro pruebas. Sin embargo, la precisión en **motos** fue más baja en comparación con las otras franjas horarias, lo cual resalta la necesidad de reforzar la capacidad del sistema para operar en entornos con visibilidad nocturnos.

Tabla 22. Precisión por clase – franja horaria: noche / iluminación baja

Prueba	Carro	Bus	Moto
Prueba 1	1	0,0	0,42
Prueba 2	1	0,0	0,50
Prueba 3	0,833	0,0	0,3125
Prueba 4	1	0,0	0,722

A partir de las pruebas realizadas en las tres franjas horarias definidas (mañana, tarde y noche), se calcularon los promedios de precisión obtenidos por categoría de vehículo. Esta información permite comparar el desempeño general del sistema en distintos escenarios de iluminación y condiciones del entorno. La Tabla 23 resume los resultados promedio de precisión por franja, diferenciando entre carros, buses y motocicletas, y proporcionando una visión global del comportamiento del sistema de conteo automatizado.

Tabla 23. Resultados por franja horaria

Franja Horaria	Carros (Prom.)	Buses (Prom.)	Motos (Prom.)
Mañana / Nublado	0,7316	0,1250	0,4645
Tarde / Soleado	0,5353	0,0000	0,3959
Noche / Iluminación buena	0,9583	0,0000	0,4886

Fuente: Elaboración propia

Análisis:

- Carros:

El sistema muestra una muy buena precisión en la detección y conteo de automóviles en todas las franjas horarias. Se destaca especialmente en la franja nocturna (95.8%), gracias a que el entorno contaba con una buena iluminación artificial, lo cual favoreció la detección por parte del modelo. La mañana nublada (73.2%) también presentó buen desempeño, mientras que en la tarde soleada (53.5%) se evidenció una leve disminución, posiblemente por sombras duras o variaciones lumínicas intensas.

- Buses:

Aunque se observa una precisión baja o nula en todas las franjas, esto se debe a que en el entorno de pruebas no circulaban buses. Por tanto, esta categoría no puede evaluarse objetivamente en este conjunto de pruebas.

- Motos:

La precisión fue estable, aunque moderada, con valores que oscilaron entre el 39 % y el 48 % en las tres franjas horarias. El sistema logró detectar motocicletas de forma regular, aunque presentó más errores en comparación con los automóviles. Esta variación en el rendimiento puede estar relacionada con factores como la ubicación de la línea de conteo, la altura de la cámara y el ángulo de grabación del entorno de pruebas.

Conclusiones:

- Satisface el requisito no funcional RNF1 ($\geq 70\%$) para la categoría de automóviles, especialmente en escenarios de iluminación artificial brillante, como bandas nocturnas y condiciones nubladas. •
- La precisión cayó por debajo del límite ya definido para motocicletas, pero los resultados fueron justos a la luz de la complejidad de su detección. La precisión lograda por el sistema en esta categoría dependía de factores como la posición de la línea de conteo, la altura de la cámara y el ángulo de captura en la imagen circundante.
- La categoría de autobuses no fue analíticamente útil en este conjunto de pruebas porque no estaba incluida en el entorno de prueba, por lo tanto, no se evalúa como una deficiencia del sistema, sino más bien como una limitación inevitable del escenario con el que se utilizó.

Los cambios en la posición de la línea de conteo impactan significativamente en la precisión del sistema en las pruebas. La posición de la línea puede generar omisiones o conteos incorrectos, especialmente si los vehículos cruzan la línea parcialmente o lo hacen de manera muy brusca. Por eso, la colocación de la línea en relación con el entorno y la dirección del flujo vehicular es muy importante para aumentar la fiabilidad del sistema en diversas situaciones.

9.3.4. Fase 4: Análisis de Resultados

Una vez que se completaron las pruebas del prototipo, se realizó una revisión detallada de los resultados para verificar el rendimiento de todo el sistema, confirmar si se cumplían los requisitos propuestos o encontrar formas de mejorar el producto final de la prueba. En este paso se estudiaron datos relevantes como la precisión en la clasificación de vehículos, la consistencia en el seguimiento de objetos y la usabilidad de la interfaz visual.

Se encontró que la precisión de los resultados en la categoría de automóviles era relativamente buena, especialmente en el rango nocturno (95.8%) y en la atmósfera nublada (73.2%). Sin embargo, la precisión fue menor en el rango de la tarde/soleado (53.5%), lo cual podría atribuirse a sombras pronunciadas y cambios extremos de iluminación. En la

subcategoría de motocicletas, la precisión fue estable, pero más baja, en el rango de 39–48%. Al contar, la posición de la línea de conteo, la altura de la cámara y el ángulo de grabación variarían, lo que podría influir en la observación y posicionamiento de objetos pequeños o de rápido movimiento como las motocicletas.

En cuanto a la categoría de autobuses, aunque encontramos valores bajos o nulos en el resultado, lo consideramos debido al hecho de que no había autobuses circulando dentro del entorno de prueba y que ninguno de ellos puede ser evaluado definitivamente en términos objetivos. Esto no se considera una desventaja del sistema, sino un problema en la configuración de la prueba en sí. Se ha verificado que la interfaz gráfica de usuario está funcionando, es intuitiva y usable por no expertos.

El sistema pudo responder bien a las acciones del usuario proporcionando una selección de videos, trazado de líneas de conteo, vista de historial y exportación a Excel (como se estipuló previamente para la usabilidad y accesibilidad). Este análisis exhaustivo ha traído algunas implicaciones que pueden ser útiles para futuras modificaciones del sistema (por ejemplo, para promover clasificaciones más precisas y los parámetros pueden adaptarse a los datos según el contexto, adaptándolo en varios escenarios de cámara o adaptándolo a entornos urbanos).

10. ANALISIS DEL SISTEMA ACTUAL

Actualmente, en el municipio de Girardot no existe un sistema automatizado que permita el conteo y clasificación de vehículos en las intersecciones viales, lo cual limita la disponibilidad de datos precisos para la planificación del tránsito. Aunque la validación técnica del sistema propuesto se realizó en la intersección de la calle dos con carrera cuarta en el corregimiento de Gualanday, perteneciente al municipio de Coello, Tolima, esta zona fue utilizada como entorno de prueba. Las mediciones de tráfico en Girardot, cuando se realizan, dependen de conteos manuales propensos a errores, falta de continuidad y altos costos de personal.

Esta carencia genera:

- Falta de datos actualizados y precisos.
- Dificultad en la toma de decisiones para optimizar la movilidad y planificar intervenciones.
- Mayor riesgo de congestiones y accidentes.

La propuesta responde a la necesidad urgente de contar con una herramienta confiable, automatizada y flexible que permita recopilar información de afluencia vehicular de manera continua y objetiva.

10.1. Diagnostico

Se identificaron las siguientes problemáticas:

- Imposibilidad de realizar mediciones de tráfico continuas sin intervención humana.
- Ausencia de registros históricos estructurados de afluencia vehicular.
- Falta de criterios técnicos sólidos para justificar cambios en la infraestructura vial.

El diagnóstico concluye que la implementación de un sistema de conteo automatizado permitirá:

- Disponer de datos confiables de tráfico.
- Mejorar la planificación vial basada en evidencia.

- Reducir costos operativos de monitoreo.
- Aumentar la seguridad vial.

11. ANALISIS DE RIESGO

Cada proceso de construcción de software enfrenta incertidumbres que, si no se gestionan con anticipación, pueden comprometer los plazos, los recursos y la calidad del sistema resultante. Por esta razón, el proyecto actual incorporó un análisis de riesgos destinado a identificar las amenazas más probables antes de que se materializaran, definiendo para cada una las acciones preventivas y correctivas necesarias para mantener el desarrollo dentro de los parámetros planificados. A continuación, se detallan las escalas de valoración utilizadas, los factores de riesgo identificados y las conclusiones derivadas de su evaluación.

11.1. Definición de Escalas

Para valorar adecuadamente los riesgos identificados en el proyecto, se definieron dos escalas: impacto y probabilidad (prioridad). Ambas escalas siguen el formato sugerido por la guía institucional, asignando un valor numérico de 1 a 5 según el nivel de afectación o posibilidad de ocurrencia. La Tabla 24 describe cada nivel de estas escalas, proporcionando una base estructurada para la posterior evaluación cuantitativa de los riesgos.

Tabla 24. Definición de escalas de impacto y probabilidad para la evaluación de riesgos

Nivel	Valor	Descripción
Muy bajo	1	Afectación mínima, no compromete el avance del proyecto.
Bajo	2	Impacto bajo, manejo simple o rutinario.
Medio	3	Requiere atención, pero puede controlarse sin grandes cambios.
Alto	4	Riesgo significativo, puede afectar cronograma o entregables.
Muy alto	5	Compromete directamente el éxito del proyecto.

Fuente: Elaboración propia

La evaluación del riesgo se realiza mediante la fórmula:

$$\text{Riesgo total} = \text{Impacto} \times \text{Prioridad} \quad (2)$$

Esta fórmula permite establecer de forma cuantitativa el nivel de atención que debe prestarse a cada riesgo, combinando la probabilidad de ocurrencia (prioridad) con la magnitud del impacto que dicho riesgo tendría sobre el proyecto.

La evaluación del riesgo se basa en la fórmula que multiplica la probabilidad por el impacto, lo que posibilita asignar una magnitud numérica a cada riesgo, facilitando su ordenamiento y atención según el nivel de impacto potencial durante el desarrollo del proyecto. Esta metodología es ampliamente utilizada en esquemas de análisis de riesgos que definen escalas para cada uno de estos factores (INCIBE, 2020, p. 14).

El valor obtenido mediante la fórmula de riesgo orienta el nivel de atención requerido para cada situación identificada, como se muestra en la Tabla 25.

Tabla 25. Niveles de riesgo según el valor del riesgo total

Riesgo Total	Nivel de riesgo
1 – 5	Bajo
6 – 10	Medio
11 – 25	Alto

Fuente: Elaboración propia

11.2. Identificación de Factores

Los factores de riesgo que se consideran en este proyecto están agrupados en tres grandes categorías: humano, técnico-tecnológico y organizacional, siguiendo la estructura de la guía oficial:

11.2.1. Factor humano

Incluye situaciones relacionadas con las personas involucradas en el desarrollo del sistema, su salud, desempeño y relaciones interpersonales.

A continuación, en la Tabla 26, se presentan los riesgos asociados al factor humano, categorizados según su impacto, prioridad, nivel de riesgo total y estrategia de respuesta.

Tabla 26. Riesgos por factor humano

#	Riesgo identificado	Impacto	Prioridad	Riesgo Total	Estrategia	Respuesta
1	Enfermedad o retiro de algún integrante del equipo	5	4	20	Reasignar funciones	Aceptar
2	Problemas de comunicación o coordinación interna	3	3	9	Canales formales de diálogo	Prevenir

Fuente: Elaboración propia

11.2.2. Factor técnico o tecnológico

La Tabla 27 presenta los riesgos asociados a factores técnicos o tecnológicos, los cuales abarcan fallas en equipos, software, infraestructura o conectividad que puedan afectar el funcionamiento del sistema o el avance del proyecto.

Tabla 27. Riesgos por factor tecnológico

#	Riesgo identificado	Impacto	Prioridad	Riesgo Total	Estrategia	Respuesta
1	Fallas en la integración del sistema (detección, GUI, BD)	4	4	16	Pruebas modulares	Prevenir
2	Hardware insuficiente o fallos en GPU/CPU	5	3	15	Validación previa	Prevenir
3	Baja calidad del video (noche, lluvia, movimiento)	4	5	20	Mejora de filtros y preprocesamiento	Prevenir
4	Daños o pérdida en la base de datos	5	3	15	Copias de seguridad y redundancia	Prevenir

Fuente: Elaboración propia

11.2.3. Factor organizacional

La Tabla 28 presenta los riesgos identificados en el factor organizacional, abarcando aspectos como la entrega de insumos, cambios de requerimientos y coordinación interna, los cuales pueden afectar el desarrollo y la implementación del sistema.

Tabla 28. Riesgos por factor organizacional

#	Riesgo identificado	Impacto	Prioridad	Riesgo Total	Estrategia	Respuesta
1	Retraso en la entrega de insumos (videos, permisos, etc.)	3	4	12	Ajustar cronograma y fases	Mitigar
2	Cambios frecuentes en los requerimientos del sistema	4	4	16	Control de versiones y trazabilidad	Aceptar

Fuente: Elaboración propia

11.3. Conclusiones del Análisis de Riesgo

El análisis indica que varios de los riesgos actuales están calificados como muy altos, especialmente aquellos relacionados con la infraestructura técnica y los recursos humanos. Los riesgos técnicos que pueden afectar la calidad del video y la integración de módulos, dada la naturaleza técnica del sistema, representan amenazas considerables para el sistema.

Se han definido estrategias preventivas y reactivas para mitigar estos riesgos, incluyendo la implementación de pruebas funcionales y de integración, el uso de equipos compatibles con GPU, la realización de copias de seguridad regulares de la base de datos y la formalización de canales de comunicación con la entidad local.

Este análisis fortalece la gestión del proyecto al anticipar situaciones críticas y proponer acciones que aseguren la continuidad y calidad del sistema desarrollado. También permite la optimización de recursos, la minimización de errores y asegura que el prototipo cumpla con los objetivos funcionales y no funcionales establecidos.

12. ANALISIS DEL PROYECTO

El análisis del proyecto permite establecer la viabilidad integral de su implementación a nivel técnico, legal, ético y económico. Este proceso es esencial para garantizar que el sistema automatizado de conteo y clasificación de afluencia vehicular sea factible en su desarrollo, funcionalidad y aplicación dentro del contexto urbano del municipio Girardot. A continuación, se presentan los distintos estudios de factibilidad que componen esta sección:

12.1. Estudio de factibilidad

Este proyecto se centra en el desarrollo de un sistema de conteo automatizado en el municipio de Girardot, Colombia, utilizando visión artificial y seguimiento de objetos para capturar, procesar y clasificar la afluencia vehicular. A continuación, se analiza su viabilidad en los ámbitos técnico, legal y ético, así como económico.

12.1.1. Factibilidad Técnica

El sistema propuesto emplea visión artificial, modelos de detección como YOLOv8 y algoritmos de seguimiento de objetos para el conteo y clasificación vehicular. Desde el punto de vista técnico, el proyecto es factible, ya que:

- Se dispone de tecnologías accesibles y bien documentadas como YOLOv8, OpenCV, y herramientas de programación como Python.
- El sistema trabaja con videos previamente grabados, lo que reduce la necesidad de recursos de procesamiento en tiempo real.
- Se ha definido un entorno modular que facilita el mantenimiento y futuras actualizaciones.
- El hardware requerido (CPU con 4 núcleos o más, GPU compatible con CUDA, mínimo 8 GB de RAM) se encuentra disponible en laboratorios universitarios y entornos de desarrollo accesibles.

La factibilidad técnica se respalda con pruebas previas realizadas en distintas condiciones (diferente luz, clima, tipos de vehículos), que han demostrado un nivel aceptable de precisión y eficiencia en el conteo.

12.1.2. Factibilidad legal y ética

El desarrollo del sistema se encuentra alineado con la legislación colombiana vigente:

- Cumple con la Ley 769 de 2002 (Código Nacional de Tránsito), que habilita a los municipios para implementar sistemas de control y monitoreo del tráfico.
- Se acoge a la Ley 1581 de 2012 y al Decreto 1377 de 2013, que regulan la protección de datos personales, ya que el sistema no almacena información personal ni imágenes de rostros o placas de vehículos. Solo recopila estadísticas de conteo.
- El uso de cámaras en espacios públicos está amparado por normativas de videovigilancia urbana y seguridad vial.

Desde el punto de vista ético, el proyecto no afecta la privacidad de los ciudadanos ni realiza identificación individual. Además, contribuye al bienestar colectivo al facilitar decisiones informadas para mejorar la movilidad y reducir accidentes.

12.1.3. Factibilidad Económica (Presupuesto)

El análisis económico permite evaluar la viabilidad del proyecto en términos financieros, considerando recursos humanos, materiales, institucionales y de apoyo. La implementación del sistema se plantea como un prototipo funcional, lo que reduce significativamente los costos iniciales.

12.1.3.1. Recursos humanos

- Técnico de Hardware y Soporte: Realizará la instalación y mantenimiento de cámaras. Costos estimados: \$2'500.000 COP al mes.
- Personal de Supervisión y Evaluación: Encargado de realizar pruebas de calidad y precisión del sistema. Costos estimados: 3'000,000 COP al mes.
- Desarrollador en Python: Encargado de la implementación y personalización del algoritmo YOLOv8 para la identificación y conteo vehicular. Costos estimados: \$4'000,000 COP al mes.

- Especialista en IA y Modelos Preentrenados: Responsable de escoger el modelo YOLOv8 y ajustarlo adicionalmente si es necesario para condiciones locales específicas. Costos estimados: \$5'100,000 COP al mes.
- Administrador de Base de Datos: Asegurará la integridad y accesibilidad de los datos y para análisis históricos. Costos estimados: \$4'00,000 COP al mes.

La Tabla 29 presenta el detalle de los recursos humanos requeridos para el desarrollo del sistema automatizado de conteo vehicular, especificando los cargos, funciones, cantidad de personal, horas laborales y los costos estimados mensuales asociados a cada perfil técnico.

Tabla 29. Costos estimados de personal para el desarrollo del sistema

Nombre del cargo	Descripción	Cantidad	Horas laborales	Salario básico (mes)
Técnico de Hardware y Soporte	Realiza instalación y mantenimiento de cámaras y equipos asociados al sistema de conteo.	1	8	\$2,500,000
Desarrollador en Python	Implementa y personaliza el algoritmo YOLOv8 para la identificación y conteo vehicular.	1	8	\$4,000,000
Especialista en IA y Modelos Preentrenados	Escoge y ajusta el modelo YOLOv8 para adaptarlo a las condiciones locales específicas	1	8	\$5,100,00
Personal de Supervisión y Evaluación	Realiza pruebas de calidad y precisión del sistema para garantizar su correcto funcionamiento.	1	8	\$3,000,000
Administrador de Base de Datos y Seguridad	Gestiona la integridad, seguridad y accesibilidad de los datos generados por el sistema.	1	8	\$4,000,000
TOTAL				\$18,600,000

Fuente: elaboración propia

Según la Tabla 29, el costo total estimado en personal por mes es de \$18.600.000 COP. Para un desarrollo proyectado en seis meses, el presupuesto de personal sería de aproximadamente \$111.600.000 COP.

12.1.3.2. Materiales

Para el desarrollo del prototipo del sistema automatizado de conteo vehicular, se consideran los siguientes recursos tecnológicos esenciales:

- Cámara HD: Se estima el uso de una cámara de alta definición o un celular con buena calidad de grabación para capturar los videos en la intersección de análisis. Costo estimado: \$800.000 COP.
- Computador con GPU (mínima GTX 1050 Ti): Este equipo servirá como estación de trabajo para el procesamiento de videos, uso del modelo YOLOv8 y almacenamiento local. Costo estimado: \$4.000.000 COP.
- Monitor HD (21" o superior): Se requiere un monitor que permita visualizar los videos, el área de conteo y los resultados en tiempo real, facilitando la validación del sistema. Costo estimado: \$600.000 COP.
- Disco externo o almacenamiento adicional: Para respaldar los videos capturados y los resultados del conteo de vehículos se considera necesario un disco de almacenamiento externo. Costo estimado: \$500.000 COP.
- Software y herramientas de análisis: Se opta por herramientas de código abierto como Python, YOLOv8, OpenCV y SQLite o PostgreSQL, lo cual permite evitar costos en licencias. Los únicos costos asociados se contemplan en soporte o instalación de librerías complementarias. Costo estimado: \$0 – 300.000 COP si se requiere configuración adicional.
- Total estimado: Sumando todos los componentes, el costo total aproximado en esta fase prototipo asciende a \$5.900.000 COP.

La Tabla 30 presenta los materiales y recursos tecnológicos requeridos para el desarrollo del prototipo del sistema de conteo vehicular, detallando los equipos y herramientas necesarias junto con su costo estimado.

Tabla 30. Costos estimados de materiales y software para el desarrollo del sistema

Material	Descripción	Costo Estimado (COP)
Cámara de buena resolución	1 cámaras de buena definición para cubrir el área de intersección	\$800,000
Computador con GPU (mínima GTX 1050 Ti)	Para procesamiento y pruebas	4.000.000
Monitor HD de 21” o superior	Para visualizar videos y resultados en tiempo real	600.000
Disco externo o almacenamiento adicional	Para respaldo de datos	500.000
Software (YOLO, Python, OpenCV)	Código libre / Open Source	0
TOTAL		\$5'900,000

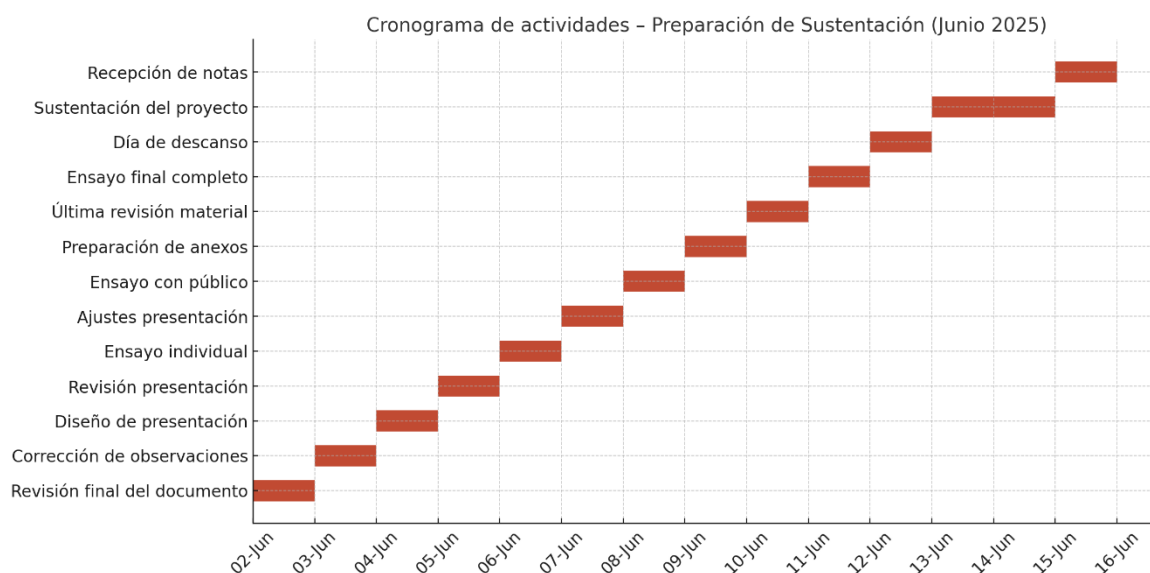
Fuente: Elaboración propia

Según la Tabla 30, el costo total estimado en materiales y software necesarios para el desarrollo del sistema asciende a aproximadamente \$5.900.000 COP. Este valor incluye la adquisición de equipos de captura, procesamiento, almacenamiento y las herramientas de software requeridas para la implementación y validación del prototipo.

12.1.4. Cronograma de actividades

El cronograma de actividades presentado en la Figura 18 organiza las tareas específicas correspondientes a la fase final del proyecto, centradas en la preparación de la sustentación, a lo largo de un período de dos semanas en junio de 2025. Este cronograma contempla acciones como la revisión documental, el diseño y ajuste de la presentación, la realización de ensayos, y la preparación de anexos técnicos, estructurando así de forma precisa la planificación temporal de las actividades previas a la presentación final del sistema automatizado de conteo vehicular.

Figura 18. Cronograma de actividades



Fuente: Elaboración propia

El diagrama de Gantt presentado en la Figura 18 muestra la programación detallada de actividades durante un período de dos semanas en junio de 2025, enfocadas en la preparación de la sustentación del proyecto. En él se visualizan claramente las fechas y la duración de cada tarea, lo que permite gestionar de manera ordenada las fases previas a la presentación final del sistema de conteo vehicular.

13. RECOMENDACIONES

Se sugiere avanzar hacia una versión en tiempo real del sistema que tenga cámaras IP conectadas en tiempo real. Los gobiernos locales estarían en tiempo real con información sobre el movimiento de vehículos, lo que permitiría un plan de tráfico más ágil y un manejo más oportuno de la congestión o los peligros en la carretera. Además, se podría recomendar ampliar el conjunto de características de clasificación de otros vehículos.

Actualmente, esto se limita al concepto de "coches, motocicletas y autobuses", e incluir camiones, bicicletas o incluso peatones aumentaría la utilidad del sistema para varios escenarios urbanos y para la planificación del espacio vial. Se propone además que el sistema debería soportar la interfaz con la gestión de tráfico preexistente, el mismo tipo de sistemas de control de tráfico o centros de observación de movilidad urbana existentes o actuales. Esto genera datos que pueden ser utilizados para la sincronización de semáforos, la optimización de rutas de transporte público o el diseño de nuevas políticas de movilidad basadas en datos reales.

Un sistema de mantenimiento periódico es importante para la continuidad y fiabilidad del servicio del sistema. Esto también requiere auditorías técnicas de hardware y software; además, los modelos y algoritmos para los cuales el entorno cambia y se introducen nuevos requisitos deben ser probados y actualizados. Aunque el sistema ya alcanza niveles de precisión razonables, la precisión debe ser validada regularmente mediante verificaciones manuales. Esto garantizará la calidad de los datos generados, especialmente si se añade funcionalidad adicional y/o se realizan modificaciones al modelo. En un contexto similar, también se considera que el personal que será responsable del uso y mantenimiento del sistema debe estar debidamente capacitado.

La toma de decisiones orientada a los datos debe comprender la función técnica pero también explicar el análisis correcto a los funcionarios basándose en los resultados de un análisis de datos de conteo automático. Afectado por el desarrollo académico y tecnológico, era el momento de centrarse en la mejora continua del sistema con la perspectiva de la investigación. Podrían ser sobre la optimización del rendimiento, la adaptación a diversas condiciones ambientales o la generación de nuevas funcionalidades para mejorar el sistema.

Por último, es muy necesario que la forma en que se utilizan las cámaras y también la recopilación de imágenes estén en línea con la normativa vigente para proteger los datos personales de la sociedad colombiana. Bajo la legislación actual, se debe asegurar que los datos recopilados se utilicen únicamente para un análisis de vehículos y planificación urbana, cumpliendo con los principios de legalidad, seguridad y confidencialidad.

14. CONCLUSIONES

Conteo y categorización automatizada del tráfico El proceso de automatización del conteo y categorización del tráfico vehicular se desarrolló con el objetivo de habilitar un sistema operativo en el municipio de Girardot. A pesar del uso de tanto la Calle Segunda como la Avenida Cuarta en el punto de cruce, el sistema se aplicó como método de prueba del sistema solo en el distrito de Gualanday, en el municipio de Coello. La selección de la ubicación se basó en puntos logísticos y la disponibilidad de la recolección de datos, en lugar de tener una influencia sobre el objetivo del proyecto dirigido a Girardot. Se construyó una solución basada en la implementación que puede segmentar y clasificar vehículos por tipos (coche, motocicleta, autobús), los coches han sido rastreados independientemente de los otros vehículos mediante identificadores únicos y se evita el conteo múltiple para hacer una observación precisa. Los resultados se presentaron y guardaron de manera organizada para ser analizados y proporcionar la base para la toma de decisiones basada en evidencia, logrando los objetivos generales y en particular de su uso futuro en Girardot. Se investigaron y utilizaron los modelos relevantes de Visión por Computador, de los cuales YOLOv8 se determinó como la opción óptima en términos de velocidad, precisión y simplicidad de implementación y análisis.

El sistema implementado logró una precisión de más del 70% en la categoría de coches, operando con éxito especialmente a través de luz artificial mejorada (por ejemplo, 95.8% por la noche) y en condiciones nubladas (73.2%). La precisión en la franja de la tarde soleada se redujo al 53.5%, como resultado de la presencia de sombras duras y condiciones de iluminación diferentes y fuertes. El equipo de diseño e implementación también ha diseñado y desarrollado un prototipo funcional que permitió la carga de videos, detección y clasificación de vehículos, líneas de conteo, registros de base de datos y exportación de datos a archivos Excel. Las pruebas funcionales, de integración y de precisión confirmaron que la solución es robusta en términos de detección, seguimiento y exportación y funcionó de manera estable y bien. En la categoría de motocicletas, pudimos mostrar una precisión estable en términos de métodos metodológicos experimentales y cuantitativos, que estuvo en el rango del 39%-48%. Al detectar motocicletas, las dificultades de detección se atribuyeron a la ubicación de la línea de conteo, la altura y el ángulo de la cámara y la velocidad de los objetos,

lo que constituye un área de mejora para la próxima generación del sistema. En cuanto a la categoría de autobuses, las puntuaciones fueron bajas o nulas debido a la ausencia de estos vehículos en el sistema de prueba, por lo tanto, el rendimiento no fue una debilidad del sistema, sino más bien, una limitación en la situación, en relación con el contexto de prueba. Se observó que el cambio de posición de la línea de conteo afecta en gran medida el nivel de precisión. Los cambios en su posición pueden causar omisiones o errores en el conteo, particularmente cuando los vehículos cruzan parcialmente el límite, o en un ángulo mayor que el de la carretera.

Por lo tanto, la importancia de la ubicación de la línea de tal manera que cumpla con las condiciones del flujo de tráfico y las condiciones ambientales, necesitaba ser encontrada. Esta solución de TI utilizó un enfoque de desarrollo de prototipos ya que el enfoque permitió la flexibilidad del sistema para adaptarse a las necesidades funcionales, técnicas y contextuales de manera iterativa. Los comentarios de las pruebas de campo y la observación técnica informaron la implementación final a lo largo del camino, reflejando una evolución del sistema que finalmente convergió con las necesidades del proyecto.

Finalmente, aunque la implementación de esos sistemas no se cubrió directamente en el documento, los resultados logrados y los requisitos cumplidos proporcionan una base sólida que puede usarse para pensar en su aplicación real en el contexto urbano de Girardot. El sistema desarrollado es una solución potencial para la modernización de la gestión del tráfico y la toma de decisiones racionales sobre la base de datos precisos e imparciales. Los resultados experimentales del sistema ocurrieron en la intersección de la Calle Segunda y la Avenida Cuarta en el distrito de Gualanday, municipio de Coello, y se utilizaron solo para validación técnica. La decisión de seleccionar el sitio se basó en circunstancias logísticas convenientes y disponibilidad de datos sin negar la prioridad del proyecto dirigido a Girardot. Una de las soluciones desarrolladas durante esta realización es descubrir y categorizar vehículos según el tipo (coche, motocicleta, autobús), seguirlos uno a uno con identificación distinguible y no tener duplicados contados, lo que lleva a cierta precisión de datos. Los resultados se almacenaron sistemáticamente y posteriormente se analizaron como evidencia para el proceso de toma de decisiones en Girardot, en línea con los objetivos generales y específicos establecidos para la futura aplicación en Girardot. Basado en esta investigación,

se seleccionaron los modelos de visión por computadora apropiados y se decidió que el modelo YOLOv8 proporcionaba el equilibrio óptimo de rapidez, precisión y facilidad de integración. Como resultado de su ejecución, el sistema obtuvo más del 70% de precisión en la categoría de coches, donde se encontró especialmente fuerte en condiciones donde la luz artificial es buena como la noche (95.8%) y nublado (73.2%). Sin embargo, en la franja de la tarde/soleado, la precisión disminuyó al 53.5% debido al efecto de sombras duras y cambios fuertes de iluminación presentes. Además, también se desarrolló un prototipo funcional en el que se realizaron cargas de video, se realizó la detección y clasificación de vehículos, se dibujaron líneas de conteo, se guardaron los resultados en una base de datos y se exportaron a archivos Excel.

Las pruebas funcionales, de integración y de precisión proporcionaron prueba de la solución al validar que los módulos de detección, seguimiento y exportación funcionarían juntos, por lo que fue posible tener una solución estable, fluida y funcional. De la evaluación general de los resultados experimentales y algunos métodos de investigación cuantitativa, los resultados demostraron la estabilidad del sistema con una precisión en la categoría de motocicletas en el rango entre 39% y 48%. El problema en la detección de motocicletas se debió en la mayoría de los casos a la posición de la línea de conteo, la posición de la cámara y la velocidad del objeto, un área clave de mejora para otras versiones del sistema. Para la categoría de autobuses, los resultados fueron bajos o nulos ya que estos vehículos no estaban presentes en el entorno de prueba, no una limitación del sistema, sino más bien una limitación del escenario que consideramos. Se encontró que cuando movemos la línea de conteo, influye drásticamente en la precisión del sistema.

Las variaciones en la ubicación resultarían en errores u omisiones, particularmente cuando los vehículos cruzan la línea a medias o se inclinan demasiado. Por lo tanto, se ha sugerido posicionar estratégicamente la línea de acuerdo con el flujo de tráfico y las condiciones ambientales. La metodología aplicada para el desarrollo del prototipo fue adecuada para esta solución porque el sistema podría evolucionar en respuesta a necesidades prácticas, técnicas y situacionales. Durante la duración de este trabajo, se aplicaron mejoras basadas en casos de prueba del campo y en observaciones técnicas, demostrando una forma iterativa de desarrollo que cristalizó una solución operativa que estaba en sintonía con los requisitos

reales del proyecto. Finalmente, el despliegue práctico no formó el enfoque principal de este documento, sin embargo, los resultados logrados y los requisitos cumplidos forman una buena base para evaluar la implementación en el entorno urbano de Girardot. El sistema desarrollado es una alternativa práctica para modernizar la gestión del tráfico y la toma de decisiones basada en datos sólidos y objetivos.

BIBLIOGRAFIA

AGENCIA NACIONAL DE SEGURIDAD VIAL. *Política Nacional de Seguridad Vial 2022–2031*. Bogotá: ANSV, 2022. [Citado: 5 de abril de 2025]. Disponible en: <https://ansv.gov.co/es/agencia/mipg/documentos/10155>

ÁREA METROPOLITANA DEL VALLE DE ABURRÁ – AMVA. *Informe Ambiental 2021*. Medellín: AMVA, 2022. [Citado: 15 de febrero de 2025]. Disponible en: <https://www.cdm.gov.co/cgm/Paginaweb/IP/Informe%20Ambiental%202021/Informe%20Ambiental%202021.pdf>

ARRIETA, H. *Flujo vehicular: El tránsito vehicular (también llamado tráfico vehicular)*. s.f. [Citado: 16 de marzo de 2025]. Disponible en: https://www.academia.edu/8263843/Flujo_Vehicular_El_tr%C3%A1nsito_vehicular_tambi%C3%A9n_llamado_tr%C3%A1fico_vehicular

ÁRTIMO. *Telemetría y cámaras con IA: La revolución de la seguridad vial*. 2024. [Citado: 16 de febrero de 2025]. Disponible en: <https://www.artimo.com.co/telemetria-y-camaras-con-ia-la-revolucion-de-la-seguridad-vial/>

BOCHKOVSKIY, Alexey; WANG, Chien-Yao; LIAO, Hong-Yuan Mark. *YOLOv4: Optimal Speed and Accuracy of Object Detection*. arXiv preprint arXiv:2004.10934, 2020. [Citado: 30 de marzo de 2025]. Disponible en: <https://arxiv.org/abs/2004.10934>

CALDERÓN ALMERCO, L. *La dinámica participativa en las actas de reuniones del CONEI. Educación*, 2012, vol. 21, n.º 41, p. 41–62. [Citado: 9 de abril de 2025]. Disponible en: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=717876780003>

CONGRESO DE LA REPÚBLICA DE COLOMBIA. *Ley 105 de 1993: Por la cual se dictan disposiciones básicas sobre el transporte en Colombia*. Diario Oficial No. 41.151, 30 de diciembre de 1993. [Citado: 10 de abril de 2025].

CONGRESO DE LA REPÚBLICA DE COLOMBIA. *Ley 1503 de 2011: Por la cual se promueve la formación de hábitos, comportamientos y conductas seguras en la vía*. Diario Oficial No. 48.180, 29 de diciembre de 2011. [Citado: 11 de abril de 2025].

CONGRESO DE LA REPÚBLICA DE COLOMBIA. *Ley 1581 de 2012: Por la cual se dictan disposiciones generales para la protección de datos personales*. Diario Oficial No. 48.587, 17 de octubre de 2012. [Citado: 12 de abril de 2025].

CONGRESO DE LA REPÚBLICA DE COLOMBIA. *Ley 769 de 2002: Por la cual se expide el Código Nacional de Tránsito Terrestre y se dictan otras disposiciones*. Diario Oficial No. 44.893, 6 de agosto de 2002. [Citado: 13 de abril de 2025].

DEPARTAMENTO NACIONAL DE PLANEACIÓN – DNP. *Plan Nacional de Desarrollo 2018–2022: Pacto por Colombia, pacto por la equidad*. Bogotá: DNP, 2019. [Citado: 14 de abril de 2025]. Disponible en: <https://colaboracion.dnp.gov.co/CDT/Prensa/Resumen-PND2018-2022-final.pdf>

DOAN, Thanh-Nghi; TRUONG, Minh-Tuyen. *Real-time vehicle detection and counting based on YOLO and DeepSORT*. ResearchGate, 2021. [Citado: 7 de marzo de 2025]. Disponible en: https://www.researchgate.net/publication/347671508_Real-time_vehicle_detection_and_counting_based_on_YOLO_and_DeepSORT

DONG, S.; ZHANG, H.; LI, S.; JIA, N.; HE, N. *A Study on Urban Traffic Congestion Pressure Based on CFD*. *Sustainability*, 2024, vol. 16, n.º 24, p. 10911. [Citado: 19 de febrero de 2025]. Disponible en: <https://www.mdpi.com/2071-1050/16/24/10911>

EL PAÍS. *Madrid amplía a la plaza del Dos de Mayo su red de cámaras con inteligencia artificial*. 2025. [Citado: 11 de marzo de 2025]. Disponible en: <https://elpais.com/espana/madrid/2025-01-08/madrid-amplia-a-la-plaza-del-dos-de-mayo-su-red-de-camaras-con-inteligencia-artificial.html>

FALLON, Simón; URREGO, Isabel; ORTIZ, Santiago. *Sistemas Automáticos de Conteo de Vehículos Basados en Video y Otras Soluciones de Smart Parking*. Universidad EAFIT, 2021. [Citado: 22 de febrero de 2025]. Disponible en: https://ciencias.medellin.unal.edu.co/eventos/coloquioestadistica/images/poster2021/Poster_2_Sistemas_automaticos_de_conteo_de_vehiculos_basados_en_video_y_otras_soluciones_de_smart_parking_Universidad_EAFIT.pdf

GÓMEZ, Jhon Jairo; MUÑOZ, Carlos Andrés. *Análisis de tráfico vehicular usando visión artificial en la ciudad de San Juan de Pasto*. Universidad de Nariño, 2014. [Citado: 15 de marzo de 2025]. Disponible en: <https://sired.udenar.edu.co/1952/1/90489.pdf>

GOOGLE DEVELOPERS. *Clasificación: Exactitud, recuperación, precisión y métricas relacionadas*. 2025. [Citado: 15 de abril de 2025]. Disponible en: <https://developers.google.com/machine-learning/crash-course/classification/accuracy-precision-recall?hl=es-419>

HANG, Pengfei; WEN, Longyin; DU, Dawei; BIAN, Xiao; FAN, Heng; HU, Qinghua; LING, Haibin. *Detection and Tracking Meet Drones Challenge*. arXiv, 2020. [Citado: 10 de marzo de 2025]. Disponible en: <https://arxiv.org/abs/2001.06303>

INCIBE – Instituto Nacional de Ciberseguridad. *Guía de gestión de riesgos* [en línea]. España: INCIBE, 2020. [Citado: 28 de abril de 2025]. Disponible en: https://www.incibe.es/sites/default/files/contenidos/guias/doc/guia_ciberseguridad_gestion_riesgos_metad.pdf

INSTITUTO MEXICANO DEL TRANSPORTE. *Estudio exploratorio sobre las tecnologías automatizadas de aforos vehiculares*. s.f. [Citado: 4 de abril de 2025]. Disponible en: <https://imt.mx/descarga-archivo.html?l=YXJjaGl2b3MvUHVibGljYWNPb25lcY9QdWJsaWNhY2lwbIRlY25pY2EvcHQ3NjMucGRm>

KISTLER. *Recopilación de datos de tráfico*. s.f. [Citado: 18 de marzo de 2025]. Disponible en: <https://www.kistler.com/ES/es/recopilacion-de-datos-de-trafico/C00000074>

LIU, Zhe; ZHANG, Wei; GAO, Xiaotian; MENG, Hui; TAN, Xiaoqiang; ZHU, Xiaoqing; DING, Errui. *Robust Movement-Specific Vehicle Counting at Crowded Intersections*. En: *Proceedings of the IEEE/CVF Conference on Computer Vision and Pattern Recognition Workshops (CVPRW)*. IEEE, 2020. [Citado: 26 de marzo de 2025]. Disponible en: https://openaccess.thecvf.com/content_CVPRW_2020/papers/w35/Liu_Robust_Movement-Specific_Vehicle_Counting_at_Crowded_Intersections_CVPRW_2020_paper.pdf

MINISTERIO DE TECNOLOGÍAS DE LA INFORMACIÓN Y LAS COMUNICACIONES. *Decreto 1377 de 2013: Reglamenta la Ley 1581 de 2012 en relación con la autorización para el tratamiento de datos personales*. Diario Oficial No. 48.834, 27 de junio de 2013. [Citado: 18 de abril de 2025]. Disponible en: <https://www.funcionpublica.gov.co/eva/gestornormativo/norma.php?i=53646>

MINISTERIO DE TRANSPORTE. *Decreto 1079 de 2015: Por medio del cual se expide el Decreto Único Reglamentario del Sector Transporte*. Diario Oficial No. 49.523, 26 de mayo de 2015. [Citado: 20 de abril de 2025]. Disponible en: <https://www.funcionpublica.gov.co/eva/gestornormativo/norma.php?i=77889>

NAVARRO HUDIEL, S. J. *Análisis del flujo vehicular*. 2008. [Citado: 19 de marzo de 2025]. Disponible en: <https://sjnavarro.files.wordpress.com/2008/08/analisis-de-flujo-vehicular-cal-y-mayor.pdf>

PÉREZ NASSER, Jovann. *Análisis de tráfico vehicular mediante visión artificial*. Universidad Técnica de Ambato, 2019. [Citado: 21 de abril de 2025]. Disponible en: <https://repositorio.uta.edu.ec/items/a9df9b17-ffec-44d2-8068-6afb740b9d72>

PRESSMAN, Roger S. *Ingeniería del software: un enfoque práctico*. 7.^a ed. México: McGraw-Hill, 2010. [Citado: 22 de abril de 2025]. Disponible en: <https://profesorezequielruizgarcia.wordpress.com/wp-content/uploads/2015/01/ingenieria-del-software-un-enfoque-practico-roger-s-pressman.pdf>

RAMOS, L. B. *Obtención automática de datos de tráfico a través de visión artificial*. Miovision Technologies GmbH, 2013. [Citado: 20 de marzo de 2025]. Disponible en: <https://www.movetrans.org/ITSEspanaMiovision.pdf>

REDMON, Joseph; FARHADI, Ali. *YOLOv3: An Incremental Improvement*. arXiv, 2018. [Citado: 6 de marzo de 2025]. Disponible en: <https://arxiv.org/abs/1804.02767>

REDMON, Joseph; FARHADI, Ali. *YOLOv3: An Incremental Improvement*. arXiv preprint arXiv:1804.02767, 2018. [Citado: 28 de marzo de 2025]. Disponible en: <https://arxiv.org/abs/1804.02767>

RETAIL SENSING. *Vehicle Counting: Ten ways compared*. 2023. [Citado: 20 de marzo de 2025]. Disponible en: <https://www.retailsensing.com/people-counting/vehicle-detection-count-traffic/>

SCIPUBLICATIONS. *Addressing Congestion and Traffic Flow with Intelligent Systems*. *Journal of Artificial Intelligence and Big Data*, 2023. [Citado: 20 de febrero de 2025]. Disponible en: <https://www.scipublications.com/journal/index.php/jaibd/article/view/1151>

SEGARRA LÓPEZ, Juan Fernando; COBOS TORRES, Juan Carlos. *Clasificación y conteo vehicular mediante análisis de imágenes*. MQR Investigar, 2022. [Citado: 8 de marzo de 2025]. Disponible en: <https://www.investigarmqr.com/ojs/index.php/mqr/article/view/115>

SOMMERVILLE, Ian. *Ingeniería de software*. 9.^a ed. México: Pearson Educación, 2011. [Citado: 23 de abril de 2025]. Disponible en: https://gc.scalahed.com/recursos/files/r161r/w25469w/ingdelsoftwarelibro9_compressed.pdf

SONG, Huansheng; LIANG, Haoxiang; LI, Huaiyu; DAI, Zhe; YUN, Xu. *Sistema de detección y conteo de vehículos basado en visión por computadora utilizando aprendizaje profundo en escenas de autopistas*. *European Transport Research Review*, 2019. [Citado: 11 de marzo de 2025]. Disponible en: <https://etr.springeropen.com/articles/10.1186/s12544-019-0390-4>

SZELISKI, Richard. *Computer Vision: Algorithms and Applications*. 2. ed. Cham: Springer, 2022. [Citado: 3 de abril de 2025]. Disponible en: <https://szeliski.org/Book/>

UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA. *Sistema automatizado mide tráfico urbano*. Agencia de Noticias UNAL, 2018. [Citado: 21 de febrero de 2025]. Disponible en: <https://agenciadenoticias.unal.edu.co/detalle/sistema-automatizado-mide-traffic-urbano>

UNIVERSIDAD PILOTO DE COLOMBIA. *Visión artificial para el reconocimiento del tráfico vehicular*. 2018. [Citado: 5 de abril de 2025]. Disponible en: <https://repository.unipiloto.edu.co/handle/20.500.12277/8844>

UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE PEREIRA. *Propuesta de monitoreo en tiempo real para la capacidad de flujo vehicular en zonas urbanas representativas en Salento, Colombia*. s.f. [Citado: 12 de abril de 2025]. Disponible en: <https://repositorio.utp.edu.co/bitstreams/ae36a3bd-8807-4b88-826e-587090eb3ac3/download>

VALENCIA, Jesús; RAMÍREZ-GUERRERO, Tomás; CASTAÑEDA, Leonel; TORO, Mauricio. *Detección de infracciones y matrículas en motocicletas, mediante visión artificial, aplicado a Sistemas Inteligentes de Transporte*. *Revista Ibérica de Sistemas e Tecnologías de Informação*, n.º 37, 2020, p. 1–15. [Citado: 15 de marzo de 2025]. Disponible en: <https://pdfs.semanticscholar.org/905d/81aef947d4c91549a9631917017d15d68c4b.pdf>

VÁZQUEZ, R.; TORRES, C.; MARIGUETTI, G. S.; ROBLEDO SANCHEZ, A. *Detección de carril vehicular utilizando el YOLO como sensor*. En: *EXTENSIONISMO, INNOVACIÓN Y TRANSFERENCIA TECNOLÓGICA - CLAVES PARA EL DESARROLLO*, vol. 8, 2020. [Citado: 15 de abril de 2025]. Disponible en: <https://revistas.unne.edu.ar/index.php/eitt/article/download/6884/6308/20213>

VELÁSQUEZ HERNÁNDEZ, Erik Gregorio. *Simulación de un Sistema de Clasificación de Objetos Basado en Visión Artificial*. Universidad Nacional Abierta y a Distancia – UNAD, 2014. [Citado: 20 de marzo de 2025]. Disponible en: <https://repository.unad.edu.co/handle/10596/2497>

WOJKE, Nicolai; BEWLEY, Alex; PAULUS, Dietrich. *Simple Online and Realtime Tracking with a Deep Association Metric*. arXiv, 2017. [Citado: 28 de marzo de 2025]. Disponible en: <https://arxiv.org/abs/1703.07402>

WORLD BANK. *Managing transport demand and traffic congestion: What can we learn from Bogotá?*, 2022. [Citado: 25 de febrero de 2025]. Disponible en: <https://blogs.worldbank.org/en/transport/managing-transport-demand-and-traffic-congestion-what-can-we-learn-bogota>

ZHOU, Zhen; LI, Huan. *Vehicle Object Detection Based on Deep Learning*. *Academic Journal of Science and Technology*, 2023, vol. 5, n.º 1, p. 38–45. [Citado: 6 de abril de 2025]. Disponible en: <https://doi.org/10.54097/ajst.v5i1.5302>

ANEXOS

Anexo 1. Aval del Proyecto por el Observatorio de Movilidad – Universidad Piloto de Colombia

Carta de validación y constancia emitida por el docente investigador Michael Afranio Díaz Ricardo, en representación del Observatorio de Movilidad, en la cual se aprueba el proyecto titulado “Desarrollo de un sistema automatizado para el conteo y clasificación de la afluencia vehicular en Girardot utilizando visión artificial y seguimiento de objetos”, presentado por el estudiante Juan Camilo Bula Oyola ante el Comité Académico del Programa de Ingeniería de Sistemas.

Anexo 2. Manual de Usuario del Sistema

Documento que describe, en lenguaje sencillo y estructurado, las instrucciones para el uso del sistema automatizado de conteo vehicular. Incluye la descripción de la interfaz gráfica, pasos para cargar un video, dibujar líneas de conteo, realizar el seguimiento y exportar resultados.

Anexo 3. Manual Técnico del Sistema

Guía técnica dirigida a desarrolladores y personal de soporte, que detalla la arquitectura del sistema, tecnologías utilizadas (como YOLOv8, Python, SQLite), estructura de carpetas, configuración del entorno de desarrollo, y procedimientos para mantenimiento y actualización del software.

Anexo 4. Actas de Reunión

Se presentan las actas de las reuniones sostenidas con el cliente institucional y los participantes del equipo de desarrollo, donde se evidencia el avance progresivo del proyecto y la toma de decisiones clave. Cada acta está firmada por las partes involucradas y contiene los temas tratados y los compromisos adquiridos.

- Acta de Reunión No. 1 – 04 de marzo de 2025
- Temas tratados: presentación del proyecto, aprobación del sitio de estudio, requerimientos iniciales, autorización de uso de imágenes, revisión de condiciones técnicas.
Compromisos: presentación de avances, obtención de video de prueba, socialización del diseño técnico.
- Acta de Reunión No. 2 – 19 de marzo de 2025
- Temas tratados: revisión del video, presentación del modelo YOLOv8, discusión de categorías, base de datos, condiciones de prueba.
Compromisos: ajustar modelo, crear base de datos, estructurar interfaz gráfica.
- Acta de Reunión No. 3 – 16 de abril de 2025
- Temas tratados: demostración funcional, presentación de la interfaz, revisión de exportación de datos, retroalimentación del cliente.
Compromisos: agregar línea editable, incluir documentación técnica y elaborar manual de usuario.

Nota: Las actas firmadas se incluyen en su totalidad al final del documento como respaldo del desarrollo del proyecto.