

DESARROLLO DE UN MODELO DE INTELIGENCIA ARTIFICIAL PARA EL  
MONITOREO DE FLUJO VEHICULAR EN BOGOTÁ.

Juan Esteban Ruiz Pinilla

Juan David Ortega Murcia

Yohan Stiven Andrade Peña

Proyecto de grado

Profesor: Juan Diego Granada Suarez

Universidad EAN

Facultad de Ingeniería

Bogotá D.C

2023

## Resumen

Según Pardo, D. (2022), el tráfico en la ciudad de Bogotá se presenta como uno de los problemas más notorios y preocupantes, generando un impacto significativo en la calidad de vida de sus habitantes y contribuyendo al aumento de la contaminación ambiental. Con el objetivo de abordar esta problemática, se ha propuesto la implementación de un sistema basado en inteligencia artificial que permita recopilar y monitorear datos relacionados con el flujo vehicular. Este enfoque tiene como finalidad obtener una gran cantidad de información para realizar análisis detallados sobre los patrones y comportamientos del tráfico.

**Palabras Clave:** Inteligencia artificial, YOLO, Monitoreo, Flujo Vehicular, Redes neuronales convolucionales.

## Abstract

*According to Pardo, D. (2022), the traffic in the city of Bogotá is presented as one of the most notorious and concerning problems, generating a significant impact on the quality of life of its inhabitants and contributing to the increase in environmental pollution. To address this issue, the implementation of an artificial intelligence-based system has been proposed to collect and monitor data related to vehicular flow. This approach aims to obtain a large amount of information to conduct detailed analyses on traffic patterns and behaviors.*

**Keywords:** *Artificial intelligence, YOLO, Monitoring, Traffic Flow, Convolutional Neural Networks.*

## Tabla de Contenido

Resumen .....	2
Palabras Clave: .....	2
Abstract .....	2
Keywords .....	2
Introducción .....	4
Objetivo General .....	6
Objetivos Específicos .....	7
Definición del problema .....	7
Justificación .....	8
Análisis de requerimientos .....	9
Marco de referencia .....	10
Marco teórico .....	13
Semáforo .....	13
Tráfico .....	15
Efectos del mal tráfico vehicular .....	16
Inteligencia artificial .....	17
Qué es Inteligencia Artificial .....	19
Deep Learning .....	22
Redes neuronales .....	22
Visión artificial .....	25
Redes neuronales convolucionales .....	26
Ciudades Inteligentes .....	29
Análisis de restricciones .....	32
Metodología para la selección .....	33
Desarrollo del modelo de Inteligencia artificial .....	35
Análisis de Costos .....	40
Conclusiones .....	43
Referencias .....	46
Anexos .....	53

## **Índice de tablas**

Tabla 1 .....	10
Tabla 2 .....	20
Tabla 3 .....	40
Tabla 4 .....	41

## **Índice de figuras**

Figura 1 .....	14
Figura 2 .....	24
Figura 3 .....	26
Figura 4 .....	36
Figura 5 .....	37
Figura 6 .....	38
Figura 7 .....	39

## Introducción

Con los avances constantes en el ámbito automotriz, el análisis de las estadísticas del Registro Único Nacional de Tránsito (RUNT) correspondientes al año 2022 revela que el parque automotor en Bogotá ha alcanzado una cifra cercana a los 18.082.451 vehículos. Dentro de este conjunto, se distinguen distintas categorías, destacando que el 61% lo componen las motocicletas, mientras que el 38% está conformado por vehículos móviles que incluyen busetas, volquetas, camiones, buses y camionetas. Por su parte, un 1% adicional se compone de maquinaria, remolques y semirremolques (RUNT, 2022).

Sin embargo, este constante crecimiento del parque automotor conlleva un incremento en la congestión vehicular. Según el informe emitido por INRIX (2022) en 2022, Bogotá se posiciona como la sexta ciudad con mayor tráfico a nivel global, situándose tras Nueva York. Durante las horas pico de la mañana, el desplazamiento en las principales vías hacia el distrito central de negocios se ve limitado a una velocidad aproximada de 11 millas por hora, generando retrasos significativos de hasta 122 horas por conductor. Esta problemática también se encuentra respaldada por el reporte de TomTom Traffic (2022), que clasifica a Bogotá en 2022 como la décima ciudad con peor congestión vehicular en sus áreas céntricas, siendo la primera en las zonas circundantes a 5 kilómetros. En este contexto, los habitantes de la ciudad requieren un promedio de 25 minutos para recorrer 10 kilómetros, lo que implica una velocidad media de apenas 24 kilómetros por hora. Un dato relevante es que, a pesar de la limitación actual, la velocidad máxima permitida por ley es de 50 kilómetros por hora.

No obstante, esta problemática trasciende el mero inconveniente temporal y acarrea consecuencias negativas en múltiples aspectos, como el medio ambiente, la salud pública y la economía. Los congestionamientos vehiculares no solo provocan un mayor consumo de

combustible, lo que incrementa los costos individuales, sino también una mayor emisión de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>). Como se señala en una fuente Muñoz Pérez, S., Salcedo Reátegui, J., & Sotomayor Mendoza, A. (2021), "El sector del transporte es uno de los principales contribuyentes a la contaminación atmosférica a nivel mundial". Además, la contaminación sonora se hace patente en esta situación, siendo que el ruido derivado del tráfico vehicular afecta la salud de la población al provocar problemas como estrés, dolores de cabeza e irritabilidad.

En virtud de los elementos descritos previamente, la búsqueda de soluciones a esta compleja problemática de movilidad adquiere una relevancia innegable. En este contexto, considerando la era actual marcada por el progreso tecnológico y, en particular, por el desarrollo de la inteligencia artificial, este trabajo propone la implementación de un modelo de inteligencia artificial diseñado para recopilar datos de variables tales como la densidad vehicular, la velocidad de circulación y la importancia de las vías. El propósito fundamental de este modelo es adoptar decisiones encaminadas a modificar temporalmente el ciclo de los semáforos y/o recomendar a los conductores la elección de rutas alternas.

### **Objetivo General**

Desarrollar un modelo de inteligencia artificial con capacidad para recopilar, analizar y almacenar datos sobre el flujo vehicular, con el fin de monitorear de manera efectiva el tráfico en la localidad de Fontibón.

## **Objetivos Específicos**

- Realizar un análisis bibliométrico sobre el estado actual del flujo vehicular en Bogotá y los avances de inteligencia artificial en el campo de gestión de tráfico.
- Proponer y desarrollar algoritmos de visión por computadora y aprendizaje profundo para la identificación precisa y el seguimiento continuo de vehículos en tiempo real para monitorear y obtener datos sobre el flujo vehicular.
- Establecer un sistema de almacenamiento seguro y eficiente capaz de gestionar grandes volúmenes de datos generados por el modelo, garantizando la disponibilidad y accesibilidad de la información para análisis detallados del flujo vehicular en la localidad.

## **Definición del problema**

Bogotá se sitúa entre las ciudades con mayor congestión vehicular a nivel global. Según el informe emitido por INRIX (2022), en ese año la ciudad se posicionó como la sexta ciudad con mayor tráfico a nivel mundial. Además, TomTom Traffic (2022) clasifica a Bogotá en 2022 como la décima ciudad con peor congestión vehicular en sus áreas céntricas, siendo la primera en las zonas circundantes a 5 kilómetros. Este problema ha continuado agravándose debido al constante crecimiento del parque automotor en la ciudad, dando lugar a una serie de consecuencias que trascienden el mero inconveniente temporal y ejercen un impacto negativo en diversas esferas, tales como el medio ambiente, la salud pública y la economía. Aunque se han propuesto diversas soluciones tecnológicas, como sistemas de control de tráfico adaptativo en tiempo real y aplicaciones de simulación de tráfico para la generación de modelos de inteligencia artificial, rara vez se ha incorporado la visión artificial para optimizar la detección de variables y abordar operaciones en casos particulares, como vehículos estacionados o accidentados.

A la luz de lo previamente expuesto, surge la interrogante: ¿Cómo puede la implementación de un modelo de inteligencia artificial para la recopilación, análisis y almacenamiento de datos sobre el flujo vehicular en tiempo real mediante visión computacional monitorear de manera efectiva el flujo vehicular en la AV. Boyacá – Calle 23?

## **Justificación**

La realización de este estudio posee fundamentos sólidos que respaldan su importancia y necesidad, y se anticipan múltiples beneficios derivados de su implementación. En primer lugar, abordar la problemática del congestionamiento vehicular en Bogotá es imperativo debido al crecimiento exponencial del parque automotor y la consiguiente congestión en sus vías. Dicho crecimiento no solo dificulta los desplazamientos cotidianos de los ciudadanos, sino que también impacta negativamente en la economía al aumentar los tiempos de viaje y los costos operativos de las empresas, además de agravar la emisión de gases contaminantes.

El empleo de la inteligencia artificial en la gestión del tráfico presenta un enfoque innovador y prometedor para solucionar esta problemática. La posibilidad de recopilar y analizar datos en tiempo real sobre la densidad vehicular, las velocidades de circulación y otros factores relevantes permite una gestión más eficiente y adaptable del tráfico en la ciudad. Al utilizar modelos de inteligencia artificial para ajustar los tiempos de los semáforos y ofrecer recomendaciones de rutas alternas a los conductores, se espera lograr una fluidez en la circulación vehicular, disminuir los retrasos y mejorar la experiencia de desplazamiento de los habitantes.

Adicionalmente, este proyecto contribuirá a reducir el impacto ambiental negativo del tráfico en la ciudad. La optimización de los flujos de tráfico resultará en una disminución de la

emisión de gases de efecto invernadero y otros contaminantes atmosféricos. Esto, a su vez, contribuirá a la mejora de la calidad del aire y a la preservación del entorno natural. No menos importante es el impacto en la calidad de vida de los residentes de Bogotá. La reducción del tiempo de desplazamiento y la disminución de la exposición al ruido y la contaminación tendrán un efecto positivo en la salud mental y física de la población. La reducción del estrés y de los problemas asociados a la congestión vehicular contribuirá al bienestar general de la comunidad.

### **Análisis de requerimientos**

Se estima que el modelo de visión artificial tendrá la capacidad para identificar de diversos tipos de vehículos, focalizándose principalmente en automóviles, autobuses y camiones. Así mismo, se espera que tenga la habilidad de realizar un seguimiento en tiempo real a los mismos y capture información aproximada sobre su velocidad. Finalmente, los datos recopilados serán almacenados con el propósito de análisis futuros, proporcionando así una valiosa base de información para evaluar patrones, tendencias y comportamientos en el contexto del tráfico vehicular.

## Marco de referencia

**Tabla 1**

### Marco de referencia

Tema	Fuente
Tráfico	<ul style="list-style-type: none"><li data-bbox="396 541 1433 699">• Pardo, D. (2022, 15 de septiembre). <i>Por qué Bogotá tiene el peor tráfico de América Latina y en qué se diferencia de otras grandes ciudades</i>. BBC News Mundo. Recuperado de <a href="https://www.bbc.com/mundo/noticias-america-latina-62829646">https://www.bbc.com/mundo/noticias-america-latina-62829646</a></li><li data-bbox="396 730 1433 888">• Alarcón, J., &amp; et al. (2022, 4 de julio). <i>Mortalidad por accidentes de tráfico en Colombia. Estudio comparativo con otros países</i>. Revista Española de Salud Pública, 95. Recuperado de <a href="https://scielo.isciii.es/scielo.php?script=sci_arttext&amp;pid=S1135-57272018000100415">https://scielo.isciii.es/scielo.php?script=sci_arttext&amp;pid=S1135-57272018000100415</a></li><li data-bbox="396 919 1433 1014">• Fernández Mellado, R. (2015). Análisis espacial de los accidentes de tráfico en Bogotá D.C. Dialnet. Recuperado de <a href="https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=5626884">https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=5626884</a></li><li data-bbox="396 1045 1433 1203">• Escobar Cerquera. A. (2013) análisis espacial de los accidentes de tráfico en bogota. Recuperado de: <a href="#">Análisis espacial de los accidentes de tráfico en Bogotá D.C.: Fundamentos de investigación - Dialnet (unirioja.es)</a></li><li data-bbox="396 1234 1433 1329">• Berbes Villalon. D (2020) Iot para ciudades inteligentes. Recuperado de: <a href="#">Una arquitectura IoT para ciudades inteligentes basada en la plataforma FIWARE (scielo.org.ar)</a></li><li data-bbox="396 1360 1433 1654">• Barrero. K. (2023) Cambios en movilidad y tarifas Bogotá. Recuperado de: <a href="https://bogota.gov.co/mi-ciudad/movilidad/conoce-las-medidas-de-movilidad-en-bogota-para-fin-de-2022-y-el-2023#:~:text=De%20acuerdo%20con%20el%20Registro,el%20último%20dígito%20de%20placa.">https://bogota.gov.co/mi-ciudad/movilidad/conoce-las-medidas-de-movilidad-en-bogota-para-fin-de-2022-y-el-2023#:~:text=De%20acuerdo%20con%20el%20Registro,el%20último%20dígito%20de%20placa.</a></li></ul>
Semáforo	<ul style="list-style-type: none"><li data-bbox="396 1654 1433 1770">• National Geographic. (2013) Los semáforos inteligentes. Recuperado de: <a href="#">Los semáforos inteligentes - National Geographic en Español (ngenespanol.com)</a></li><li data-bbox="396 1791 1433 1898">• Prado Oeste. J. (2020) Propuesta de implementación de sistema de semaforización inteligente. Recuperado de: <a href="#">Propuesta de implementación de un sistema de semaforización</a></li></ul>

	<p><a href="#">inteligente para mejorar los niveles de servicio de la Av. Javier Prado Oeste, tramo Ca. Las Palmeras y Ca. Las Flores en el distrito de San Isidro (upc.edu.pe)</a></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• UMA. (2020) Sistema de regulación en semáforos. Recuperado de: <a href="#">Investigadores de la UMA diseñan un sistema para regular los semáforos y reducir atascos y contaminación (20minutos.es)</a></li> <li>• Revista Motor. (2020) Cambio de semáforos. Recuperado de: <a href="https://www.motor.com.co/industria/Al-cambio-de-los-semaforos-en-Bogota-le-falto-Prudencia-20200710-0005.html">https://www.motor.com.co/industria/Al-cambio-de-los-semaforos-en-Bogota-le-falto-Prudencia-20200710-0005.html</a></li> <li>• Secretaria distrital (2021). Lineamientos en Semáforos. Recuperado de: <a href="https://www.movilidadbogota.gov.co/web/sites/default/files/Paginas/25-06-2021/lineamiento_externo_de_semaforos_-_v2.pdf">https://www.movilidadbogota.gov.co/web/sites/default/files/Paginas/25-06-2021/lineamiento_externo_de_semaforos_-_v2.pdf</a></li> </ul>
Inteligencia Artificial	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Alcaide Martínez, A. (2020). <i>Redes neuronales convolucionales siamesas aplicadas a la verificación facial</i>. <a href="https://e-archivo.uc3m.es/handle/10016/32814">https://e-archivo.uc3m.es/handle/10016/32814</a></li> <li>• Becerra Pérez, O. F. (2020). <i>Inteligencia artificial como generadora de competitividad a la Empresa de Servicios Públicos Domiciliarios del Distrito de Santa Marta</i>.</li> <li>• Bonilla Carrión, C. (2020). <i>REDES CONVOLUCIONALES</i>. <a href="https://idus.us.es/handle/11441/115221">https://idus.us.es/handle/11441/115221</a></li> <li>• Chicas Villegas, R. W., Contreras Ayala, H. E., Cortez Recinos, R. P., &amp; Gutierrez Recinos, D. W. (2004). <i>Investigación aplicada al área de inteligencia artificial y desarrollo de un sistema experto</i>. <a href="https://ri.ues.edu.sv/id/eprint/13463">https://ri.ues.edu.sv/id/eprint/13463</a></li> <li>• Kemeny, F. (2023). <i>¿Cómo se entrena un modelo IA? Una mirada dentro de la caja negra</i>. LinkedIn.com. <a href="https://www.linkedin.com/pulse/c%C3%B3mo-se-entrena-un-modelo-ia-una-mirada-dentro-de-la-caja-kemeny/?originalSubdomain=es">https://www.linkedin.com/pulse/c%C3%B3mo-se-entrena-un-modelo-ia-una-mirada-dentro-de-la-caja-kemeny/?originalSubdomain=es</a></li> <li>• <i>La Inteligencia Artificial en la sociedad: Explorando su Impacto Actual y los Desafíos Futuros</i>. (n.d.).</li> </ul>

	<ul style="list-style-type: none"> <li>• León, D. A., Martínez Cuenca, J. G., Ardila Sánchez, I. A., &amp; Mosquera Palacios, D. J. (2022). Inteligencia artificial para el control de tráfico en redes de datos: Una Revisión. <i>Entre Ciencia e Ingeniería</i>, 16(31), 17–24. <a href="https://doi.org/10.31908/19098367.2655">https://doi.org/10.31908/19098367.2655</a></li> <li>• Martín De Diego, E. (2022). <i>Redes Neuronales Convolucionales</i>.</li> <li>• Natareno Yanes, C. O. (2013). <i>INTELIGENCIA ARTIFICIAL APLICADA AL TRÁNSITO EN LA CUIDAD DE GUATEMALA UTILIZANDO REDES NEURONALES</i>.</li> <li>• Neira Voces, P. (2022). <i>Detección de accidentes de tráfico en tiempo real mediante redes neuronales convolucionales</i>. <a href="https://hdl.handle.net/20.500.12880/3419">https://hdl.handle.net/20.500.12880/3419</a></li> <li>• SUAREZ PRIETO, J. E. (2018). <i>LOS BENEFICIOS DE LA INTELIGENCIA ARTIFICIAL EN EL SECTOR EMPRESARIAL</i>.</li> </ul>
<p>Visión Artificial</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Alcaide Martínez, A. (2020). <i>Redes neuronales convolucionales siamesas aplicadas a la verificación facial</i>. <a href="https://e-archivo.uc3m.es/handle/10016/32814">https://e-archivo.uc3m.es/handle/10016/32814</a></li> <li>• Bonilla Carrión, C. (2020). <i>REDES CONVOLUCIONALES</i>. <a href="https://idus.us.es/handle/11441/115221">https://idus.us.es/handle/11441/115221</a></li> <li>• Martín De Diego, E. (2022). <i>Redes Neuronales Convolucionales</i>.</li> <li>• Neira Voces, P. (2022). <i>Detección de accidentes de tráfico en tiempo real mediante redes neuronales convolucionales</i>. <a href="https://hdl.handle.net/20.500.12880/3419">https://hdl.handle.net/20.500.12880/3419</a></li> <li>• Pérez Nasser, J. (2019). <i>ANÁLISIS DE TRÁFICO VEHICULAR MEDIANTE VISIÓN ARTIFICIAL</i>. <a href="http://repositorio.uta.edu.ec/jspui/handle/123456789/29182">http://repositorio.uta.edu.ec/jspui/handle/123456789/29182</a></li> </ul>
<p>Ciudades inteligentes</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Neira Voces, P. (2022). <i>Las Smart cities en la agenda del planteamiento y la gobernanza urbana en América Latina</i>. Scielo.org. Recuperado de: <a href="http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&amp;pid=S0121-215X2021000200280">http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&amp;pid=S0121-215X2021000200280</a></li> <li>• Universo Abierto. (11 de mayo de 2020). <i>Investigación sobre Ciudades y Pueblos Inteligentes Sostenibles</i>. Recuperado de <a href="https://universoabierto.org/2020/05/11/investigacion-sobre-ciudades-y-pueblos-inteligentes-sostenibles/">https://universoabierto.org/2020/05/11/investigacion-sobre-ciudades-y-pueblos-inteligentes-sostenibles/</a></li> </ul>

	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Martínez, A. (2020). <i>Ciudades inteligentes. ¿Cómo ves?</i>, 23(274), 10-13. Recuperado de <a href="https://www.comoves.unam.mx/numeros/articulo/202/ciudades-inteligentes">https://www.comoves.unam.mx/numeros/articulo/202/ciudades-inteligentes</a></li> <li>• Alvarado, R. Sf. <i>Ciudad inteligente y sostenible: hacia un modelo de innovación inclusiva</i>. Recuperado de <a href="https://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&amp;pid=S2007-36072018000100002">https://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&amp;pid=S2007-36072018000100002</a></li> <li>• Berbes, D. &amp; et al. (2022). <i>Una arquitectura IoT para ciudades inteligentes basada en la plataforma FIWARE</i>. Recuperado de <a href="http://www.scielo.org.ar/scielo.php?script=sci_arttext&amp;pid=S1851-75872022000200021&amp;lang=es">http://www.scielo.org.ar/scielo.php?script=sci_arttext&amp;pid=S1851-75872022000200021&amp;lang=es</a></li> </ul>
--	---

Nota. *Autoría propia*

## Marco teórico

### Semáforo

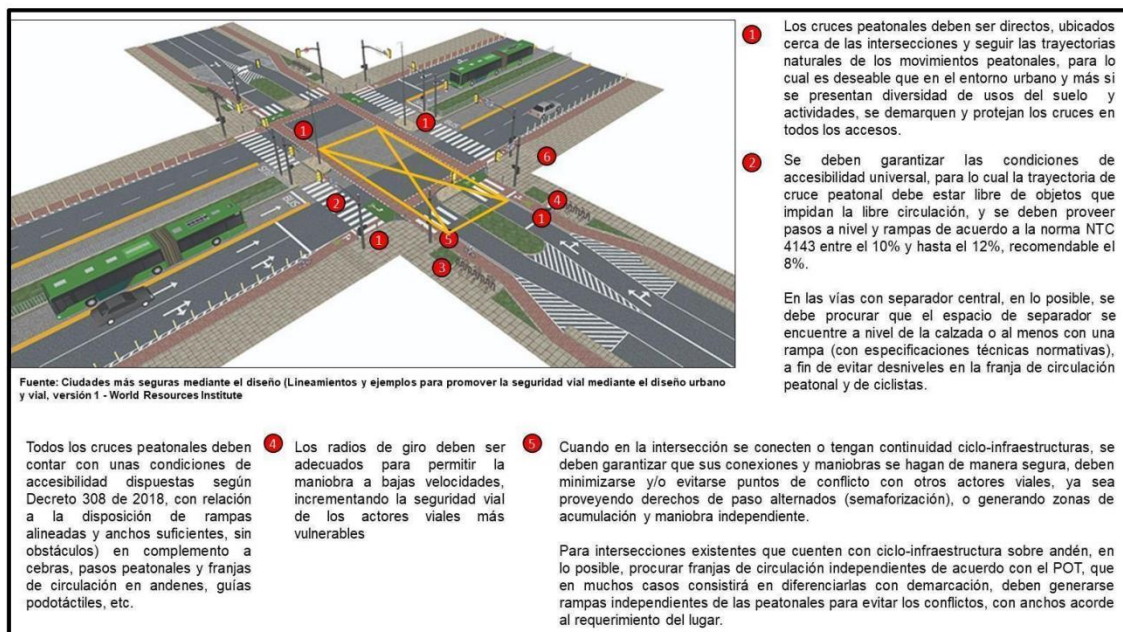
A raíz de un crecimiento en la industria automotriz y la naciente amenaza que presentaba a los peatones cruzar por espacios ya dominados solo por automóviles, en estados unidos se decidió implementar el uso de semáforos eléctricos el inicio del siglo XX, Valencia. V, (2000) definió al semáforo como: “todos los aparatos reguladores del tránsito en las calles accionados por corriente eléctrica que utilizan lentes iluminadas para exhibir sus indicaciones.”, definición que no ha variado mucho durante los últimos años siendo definido por la secretaria distrital de movilidad de Bogotá en 2021 como: “Un dispositivo de señalización cuya función principal es la de ordenar el tránsito vehicular y peatonal en una intersección vial brindando el derecho de paso de manera alternada mediante la emisión de señales luminosas para garantizar la seguridad de todos los usuarios motorizados y no motorizados.” Se puede observar como las definiciones de esta herramienta no son contradictorias y sus cambios parten principalmente de los cambios e innovaciones tecnológicas que estos han presentado durante estos tiempos por lo que se puede

dejar definido como una herramienta encargada de regular el flujo vehicular y facilitar el cruce peatonal en puntos específicos.

Parte de los avances y cambios que se han visto son parte de optimizar los ciclos semafóricos (tiempo que demora un semáforo en pasar por los 3 colores) y la seguridad de todos los que lo usan. La seguridad en los semáforos a pesar de que pueda parecer algo minúsculo tiene mucha relevancia pues la secretaria distrital de movilidad está constantemente buscando cambiar cosas en las calles para que todos puedan seguir las indicaciones de los semáforos, en el año 2010 presentaron unos nuevos lineamientos técnicos en materia de seguridad vial en los cruces peatonales donde los semáforos tienen presencia, quedando la siguiente idea:

### Figura 1

#### *Lineamientos Técnicos en Materia de Seguridad Vial para entidades externas*



Nota. Tomado de *Lineamientos Técnicos en Materia de Seguridad Vial para entidades externas*

Tema: *Semaforización, secretaria distrital de movilidad (2021)*

[https://www.movilidadbogota.gov.co/web/sites/default/files/Paginas/25-06-2021/lineamiento\\_externo\\_de\\_semaforos\\_-\\_v2.pdf](https://www.movilidadbogota.gov.co/web/sites/default/files/Paginas/25-06-2021/lineamiento_externo_de_semaforos_-_v2.pdf)

En la imagen se presentan varios cambios a las señalizaciones previas a los semáforos que brindan un beneficio en la seguridad de conductores y peatones dando señalizaciones, entregando espacios exclusivos a peatones y conductores como es el paso peatonal ya establecido desde hace mucho tiempo, el cual causal de infracción en caso de estacionar ahí durante un semáforo en rojo.

Los cambios tecnológicos van desde la intensidad de luz, el consumo de electricidad, y recopilación de datos. Durante el gobierno del alcalde Peñalosa se aprobó un cambio de semáforos donde se buscaba hacer que los semáforos por medio de fibra óptica llevaran información del flujo vehicular y así poder decidir el tiempo de duración del ciclo semafórico, estos cambios al ciclo semafórico no alteran de forma significativa al tiempo predeterminado del ciclo y son cambios momentáneos por lo que en ocasiones pueden no ser útiles sin mencionar los problemas que tuvo la implementación de estos cambios puesto a que recibieron muchas críticas por pictogramas usados que llevaron a que este quedara inconcluso, aun así, se logró implementar en algunos espacios y se desconoce si se está aplicando el control propuesto o si solo quedaron como semáforos comunes.

## **Trafico**

Producto de la necesidad humana del traslado a donde encuentra su actividad económica, lúdica, familiar, etc. Se denomina tráfico al exceso de elementos por llevar de un punto a un punto b al compararlo con la capacidad máxima de la ruta dispuesta para que ese algo cumpla su objetivo, en cuanto al tráfico vial se puede entender como ese algo a los vehículos y las rutas las vías por donde transitan. “Si el tráfico es la circulación de gente por el espacio público, entonces

generará interacciones entre personas: en algún instante, se encontrarán dos personas que están circulando. Estas interacciones darán origen a “conflictos” durante la circulación”. Fernandez R. (2011), Fernández cuando se refiere a “conflictos” habla de cuando dos personas tienen un objetivo en común e intereses personales que no se alinean con las del otro que en términos vehiculares trae como consecuencias la reducción del flujo vehicular en una vía o la reducción de la velocidad media vehicular en ese espacio.

Bogotá fue establecida como la ciudad con peor tráfico del mundo por el portal TomTom *Traffic Index*, quien revisa más de 390 ciudades y reveló que Bogotá obtuvo el primer puesto debido a que en promedio en el año 2022 para recorrer 10 km, cada bogotano tuvo que tardar 24.67 minutos (24 minutos 40 segundos). De acuerdo con el registro digital automotor (RDA), en 2022 Bogotá contaba con 1'932.562 vehículos registrados, sin contar motos las cuales son más de 497mil motos también para el año 2022. Se puede estimar que a una población de aproximadamente 8 millones de personas (dato de 2018), uno de cada 3 bogotanos tiene moto o carro, esto claramente sin tener en cuenta que una parte significativa de la población tiene más de un vehículo. Dado lo anterior, Bogotá se enfrenta a un exceso de vehículos en las calles, además, su sector productivo se encuentra ubicado en puntos muy específicos de la ciudad y muchas de las calles principales se encuentran en constantes obras, solo en el año 2022 Bogotá tuvo en promedio 627 obras activas como lo reportó el instituto de desarrollo urbano.

### **Efectos del mal tráfico vehicular**

Cuando se habla de la congestión vehicular es fácil pensar en contaminación, no solo como daño ambiental ya que la contaminación producida por el tráfico puede verse en lo acústico debido al ruido constante que estos vehículos provocan, así como dijo Rivera. J (2021) cuando afirmó que “El ruido de origen vehicular se ha establecido como una gran problemática. Este tipo

de contaminación se intensifica cada vez más, y la respuesta a este fenómeno es deficiente” (p. 15). Por otro lado, la contaminación en cuanto a lo medioambiental ya es un tema conocido por muchos y debido a la cantidad de combustible usado es que recomiendan el uso del transporte público a cambio del uso de un carro particular. Mientras eso ocurre la política brinda ventajas a aquellos que compran más vehículos así sea indirectamente como lo relató la revista motor (2017) cuando informó que “El pico y placa inicialmente arrancó restringiendo la circulación de los carros particulares dependiendo del último dígito de la placa, lo que obligaba a que se quedaran en los garajes de las casas cerca de 240 mil vehículos entre las 7 y las 9 de la mañana, y en la tarde entre las 5:30 y 7:30 de la noche.” La medida a pesar de traer beneficios en movilidad y medio ambiente para la época, a su vez incentivó a la compra de vehículos y aquellos con mayor solvencia económica comenzaron a manejar dos vehículos para evitar esta medida hasta llegar a las cifras actuales.

En cierta medida la adquisición de más vehículos y el tráfico han traído problemas en el precio de la gasolina ya que al aumentar desmedidamente la demanda los precios podían subir tanto como lo decidiera el mercado y su eficiencia cada vez se reducía más dado que al arrancar el vehículo y frenarlo consecutivas veces se desgasta la gasolina más rápido que si mantiene una velocidad constante, por este motivo las emisiones de dióxido de carbono han incrementado y el portal TomTom Traffic (2022) a la vez que ponía a Bogotá como la ciudad con peor tráfico del mundo reportaba que Bogotá emitió 984kg de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) en el año 2022.

### **Inteligencia artificial**

El término de Inteligencia Artificial (I.A.) se remonta a los años entre 1940-1950, con figuras importantes como Jhon Von Neumann y Norbert Wiener, pero no fue hasta 1956, que se habló oficialmente del mismo en una conferencia acerca de la informática como una disciplina de

investigación, en el *Dartmouth College* (Estados Unidos). A la misma asistieron algunos de los científicos, de los cuales destacamos a John McCarthy, Marvin Minsky, Allen Newell y Herbert Simón, que más tarde ellos se dedicarían a ampliarla en diferentes áreas y a atribuirle cierta estructura teórica y composicional. Esto se ve afirmado por Nilsson (2010), pues señaló que "Durante la década de 1960, la investigación en IA continuó a un ritmo acelerado y el campo experimentó una gran expansión" (p. 57). De hecho, en la misma conferencia, A. Newell y H. Simón expusieron un trabajo acerca de la demostración automática de teoremas al que denominaron *Logic Theorist*, el primer programa y considerado así el primer sistema de I.A., porque intentaba imitar las propias características del cerebro humano, muy relacionado al concepto que se había asociado de la idea de construir máquinas que pudieran realizar tareas que normalmente requerían inteligencia humana. "El término 'inteligencia artificial' en sí fue acuñado por John McCarthy en 1956, pero la idea de máquinas que piensan y aprenden ha sido objeto de reflexión y discusión mucho antes" (p. 2). *Logic Theorist* podía demostrar los teoremas lógico-matemáticos de los tres volúmenes de los *Mathematica* de Alfred N. Whitehead y Bertrand Russell (1910-1913), considerándose como un proyecto bastante avanzado para ese entonces. Incluso, Minsky y McCarthy lograron fundar el laboratorio de inteligencia artificial del *Massachusetts Institute of Technology* (MIT), el que se convertiría en un veterano del sector.

Más tarde, durante la década de los 70, la I.A. logró subdividirse en distintas áreas, de las que se destacan el procesamiento del lenguaje natural, la visión por computadora y la planificación automática. "Los sistemas expertos se convirtieron en un enfoque popular para la construcción de sistemas de IA en la década de 1980", señala Nilsson (2010) (p. 136).

Tras 20 años, la inteligencia artificial avanzó hasta poder influir en ámbitos como la robótica y abordando temas como el razonamiento incierto y *el Deep Learning*. Nilsson (2010)

señala que "La década de 1990 se caracterizó por la expansión de la IA en muchas áreas nuevas y la creciente sofisticación de las técnicas existentes" (p. 202).

Ya en la década de los 2010 hasta la actualidad, los campos de que abarca la inteligencia artificial se desarrollaron nuevamente, pudiendo llegar a la visión artificial o el procesamiento de lenguaje natural. Según Nilsson (2010), "El campo de la IA se encuentra actualmente en un estado de rápido desarrollo y expansión" (p. 302).

### **Qué es Inteligencia Artificial**

La inteligencia artificial (IA) es un campo de la informática y la tecnología que se centra en desarrollar sistemas y programas capaces de realizar tareas que normalmente requieren la inteligencia humana. Como plantean Pablo Neira (2022), "la IA pretende construir sistemas que presenten un comportamiento similar al que presenta un ser humano, es decir, que presenta racionalidad". Estas tareas incluyen el aprendizaje, la percepción, el razonamiento, la resolución de problemas y la toma de decisiones, por lo tanto, esta busca emular la capacidad cognitiva y la adaptabilidad del ser humano a través de algoritmos y modelos computacionales.

Según la RAE (2023), la inteligencia artificial es "Disciplina científica que se ocupa de crear programas informáticos que ejecutan operaciones comparables a las que realiza la mente humana, como el aprendizaje o el razonamiento lógico." En esencia, la inteligencia artificial busca crear máquinas que puedan procesar información, aprender de ella y aplicar ese conocimiento para realizar tareas específicas de manera autónoma. Para lograr esto, la IA se basa en una amplia gama de técnicas y enfoques, como el aprendizaje automático (*machine learning*), el procesamiento del lenguaje natural (NLP), la visión por computadora, la lógica difusa y la optimización, entre otros.

Una forma más clara de abordar este concepto es mediante su agrupación, como se ha realizado en la siguiente tabla (Chicas Villegas et al., 2004), en la cual se recopilan diversas definiciones de varios autores.

**Tabla 2**

*Definiciones de diferentes autores sobre la Inteligencia artificial*

AUTOR	AÑO	DEFINICION
Bellman	1978	[La automatización de] <u>actividades que vinculamos con procesos de pensamiento humano</u> , actividades tales como toma de decisiones, resolución de problemas, aprendizaje...
Haugeland	1985	La interesante tarea de lograr que las computadoras piensen... <u>máquinas con mente</u> , en su amplio sentido literal.
Charniak y McDermott	1985	El estudio de las <u>facultades mentales</u> mediante el uso de modelos computacionales.
Minsky	1986	IA es el arte de construir máquinas <u>capaces de hacer cosas</u> que requieran inteligencia en caso de que fuesen <u>hechas por los seres humanos</u> .
Amat	1989	La parte de la informática que trata de los sistemas computarizados inteligentes, es decir, sistemas que <u>muestran las características</u> que pueden asociarse a la inteligencia en lo que se refiere al <u>comportamiento humano</u> : comprensión de lenguaje, aprendizaje, resolución de problemas, etc.
Kurzweil	1990	El arte de crear máquinas con <u>capacidad de realizar funciones</u> que realizadas por personas <u>requieren de inteligencia</u> .
Shallkoff	1990	Un campo de estudio que se enfoca a la <u>explicación y emulación de la conducta inteligente</u> en función de procesos computacionales.
Shapiro	1992	Es un campo de la ciencia y de la ingeniería que se ocupa de la comprensión a través de la computadora de lo que comúnmente llamamos <u>comportamiento inteligente</u> y de la creación de herramientas que exhiben tal comportamiento.
Winston	1992	El estudio de los cálculos que <u>permiten percibir, razonar y actuar</u> .
Luger y Stubblefield	1993	La rama de la ciencia de la computación que se ocupa de la automatización de la <u>conducta inteligente</u> .
Rich y Knight	1994	La IA estudia como lograr que las máquinas <u>realicen tareas</u> , que, por el momento son <u>realizadas mejor por seres humanos</u> .
Costa	1995	El ofrecimiento por parte de la máquina de un <u>comportamiento parecido al humano</u> que es capaz de acomodarse o ajustarse a una disposición o situación real o ficticia y poder escoger de acuerdo a una serie de particularidades para dar respuesta rápida y lo más acertada posible.

*Nota.* Chicas Villegas, R. W., Contreras Ayala, H. E., Cortez Recinos, R. P., & Gutierrez Recinos, D. W. (2004). *Investigación aplicada al área de inteligencia artificial y desarrollo de un sistema experto*. [tps://ri.ues.edu.sv/id/eprint/13463](https://ri.ues.edu.sv/id/eprint/13463)

Estos conceptos, se pueden abordar en 4 enfoques como se planteó en investigaciones previas, siendo estos actuar como humano, pensar como humano, pensar racionalmente y actuar racionalmente (Chicas Villegas et al., 2004). Donde el primero consistía en la prueba de Turing, en la que, a grandes rasgos, esta evaluación presupone que la computadora debe poseer las siguientes capacidades: en primer lugar, la capacidad de procesar lenguaje natural, permitiéndole mantener una comunicación efectiva en múltiples idiomas humanos. Además, debe ser competente en la representación del conocimiento, lo que le permitirá almacenar toda la información proporcionada antes o durante el proceso de interrogación. Asimismo, se espera que sea capaz de razonar de manera automática, utilizando la información almacenada para responder preguntas y derivar nuevas conclusiones. Por último, la máquina debe tener la capacidad de autoaprendizaje, lo que le permitirá adaptarse a nuevas circunstancias y discernir patrones específicos.

El enfoque de "pensar como humano" se centra en las capacidades cognitivas y ejerce una influencia significativa en la ciencia cognitiva. En contraste, el enfoque de "pensar racionalmente" se define como el uso de las facultades intelectuales para realizar juicios, tomar decisiones, hacer inferencias, llegar a conclusiones y formar opiniones de manera precisa. Por otro lado, el enfoque de "actuar racionalmente" implica que un sistema inteligente, orientado por el pensamiento racional está diseñado para realizar inferencias correctas. Este enfoque busca fusionar elementos de los enfoques basados en las leyes del pensamiento y en las capacidades cognitivas. (Chicas Villegas et al., 2004).

Por lo tanto, se considera que la inteligencia artificial es “Rama de las ciencias de la computación que se ocupa del estudio y modelado de las capacidades de aprendizaje, razonamiento y adaptación, para la construcción de sistemas que exhiban estas capacidades.”

(Chicas Villegas et al., 2004). Teniendo en cuenta las diferentes definiciones presentadas, se puede definir a la inteligencia artificial como un campo de la informática y la tecnología que se dedica a desarrollar sistemas y programas capaces de ejecutar tareas que normalmente requieren la inteligencia humana, como el aprendizaje, el razonamiento, la toma de decisiones y la resolución de problemas, emulando así la capacidad cognitiva y adaptativa de las personas mediante algoritmos y modelos computacionales.

## **Deep Learning**

El *Deep Learning* es una rama del aprendizaje automático que se inspira en el procesamiento de datos a través de redes neuronales artificiales, y desempeña un papel fundamental en este proyecto. A través del uso de múltiples capas de procesamiento, el *deep learning* es capaz de aprender y reconocer patrones complejos mediante la configuración de parámetros básicos en relación con los datos. En este enfoque, las computadoras tienen la capacidad de entrenarse y aprender de manera autónoma, identificando estos patrones y logrando un rendimiento superior en tareas diversas. (Neira Voces, 2022)

## **Redes neuronales**

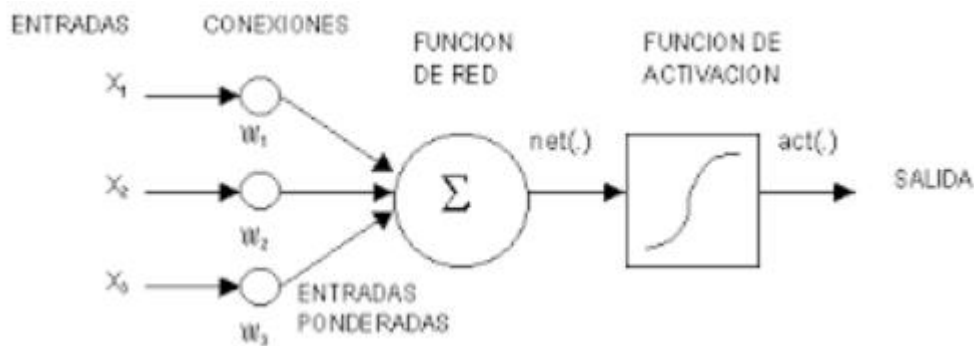
Las redes neuronales conocidas también como redes neuronales artificiales (ANN) o redes neuronales simuladas (SNN) son el motor principal de los algoritmos de *Deep Learning* y son un subcampo fundamental del aprendizaje automático. Su denominación y estructura están directamente inspiradas en el funcionamiento del cerebro humano, ya que, al igual que este, están conformadas por conexiones entre neuronas que colaboran de manera sinérgica. (Neira Voces, 2022)

Los perceptrones simples pueden considerarse como una neurona, la cual constituye la unidad fundamental de las redes de neuronas artificiales, operan al recibir múltiples entradas y generar una o varias salidas. Este concepto se sustenta en un discriminador lineal que mediante un algoritmo tiene la capacidad de separar elementos en subgrupos en función de las entradas proporcionadas. (Gimenez Arnal, 2018). Según Pablo Neira (2022) su arquitectura consta de un *input*, *weight*, y función de activación.

La entrada (*input*), que representa el conjunto de características iniciales proporcionadas al modelo, como una matriz de valores de píxeles en el caso de la detección de accidentes; los pesos (*weight*), cuya función principal es asignar importancia a las diferentes características de entrada mediante multiplicaciones escalares, permitiendo que la red aprenda qué características son relevantes; y la función de activación, esencial en el procesamiento, que introduce no linealidad en el modelo, determinando cómo transmitir la información resultante de la combinación de pesos y entradas a través de las conexiones de salida, lo que posibilita que la red capture relaciones y patrones complejos en los datos, siendo ejemplos comunes la función sigmoide, la ReLU (Rectified Linear Unit) y softmax, empleadas en diferentes capas y contextos de la red neuronal. (Neira Voces, 2022)

**Figura 2**

*Perceptrón básico con sus partes.*



Nota. Perceptrón básico. Tomado de Gimenez Arnal, M. (2018). Estudio y aplicación de las redes neuronales convolucionales 3D.

<https://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2117/124877/Estudio+y+aplicación+de+las+redes+neuronales+convolucionales+3D.pdf?sequence=1>

Según Mario Gimenez (2018) estructuralmente una red neuronal se compone de tres tipos de capas: Capas de entrada, donde la información entra a la red. Capas ocultas, en estas capas, la información que proviene de las neuronas de entrada se combina mediante una función de transferencia que aplica pesos diferentes a la información de cada neurona de entrada. Posteriormente, se aplica una función de activación, que desempeña un papel fundamental en el proceso. Es esencial que esta función sea no lineal, ya que, si se utilizaran funciones lineales en todas las capas, el resultado sería equivalente a una sola capa lineal, lo que limitaría la capacidad de la red para aprender y representar información compleja. Finalmente, La capa que recopila la información y proporciona una salida en una red neuronal se conoce como la capa de salida.

## Visión artificial

La visión artificial, también conocida como visión computacional (*CV: Computer Vision*) es un subcampo del aprendizaje automático o *machine Learning* que se enfoca en enseñar a las computadoras a adquirir, procesar, extraer e interpretar información de imágenes digitales, lo que es una tarea computacionalmente desafiante (Bonilla Carrión, 2020). Ya que como comenta Jovann Pérez (2019) “Su alta complejidad se debe a su naturaleza inversa inherente. Es decir, que, partiendo de una imagen bidimensional, se pretende reconstruir las características tridimensionales de dicha escena capturada.”

Según Pablo Neira (2022) la visión artificial se puede clasificar en 3 etapas: adquisición, procesamiento y explicación. Donde el primero es sobre la recopilación de una gran cantidad de imágenes y videos; en la siguiente etapa, el *Deep Learning* se utiliza para generar modelos analíticos con parámetros específicos, permitiendo que las computadoras aprendan datos, identifiquen patrones y tomen decisiones con mínima intervención humana. Por último, en la etapa de explicación, las computadoras utilizan la información procesada para identificar y categorizar objetos, incluso interactuando de manera diferente con cada uno de ellos.

Un aspecto clave de este proceso es la digitalización de las imágenes, donde cada píxel se representa numéricamente en función de la intensidad de color o escala de grises, lo que convierte una imagen en un conjunto de números. Estos números permiten la creación de patrones de identificación, lo que significa que la similitud visual que percibimos en las entidades virtuales se traduce en proximidad numérica para las computadoras (Neira Voces, 2022).



*Nota.* Arquitectura de una Red Neuronal Convolutiva. Tomado de Neira Voces, P. (2022).  
Detección de accidentes de tráfico en tiempo real mediante redes neuronales convolucionales.  
<https://hdl.handle.net/20.500.12880/3419>

Su funcionamiento paso a paso inicia con la adquisición de los datos de entrada, que en este caso son los píxeles de una imagen. El tamaño y el número de neuronas en la capa de entrada dependerán en gran medida de la naturaleza de la imagen, incluyendo la cantidad de colores presentes en ella. Si la imagen es en escala de grises, se requerirá solo un canal para representarla, mientras que, en el caso de imágenes en color, se utilizarán tres canales (rojo, azul y verde) para capturar la información cromática. Continuando con un pre-procesamiento donde se normalizan los valores de los píxeles cambiándolos de 0 a 255, a 0 y 1. (Neira Voces, 2022).

Así continuando con la capa de convolución donde se realiza se toman grupos cercanos de píxeles de la imagen y se realiza un producto escalar entre estos píxeles y un kernel (una pequeña matriz). El resultado de esta operación se coloca en la matriz de salida en la posición correspondiente. Este proceso se repite desplazando el kernel de arriba a abajo y de izquierda a derecha hasta que todas las posiciones de la matriz de entrada se han procesado. El resultado de este proceso se conoce como mapa de características, y en él se representan los patrones detectados por la red en la imagen original. Estos patrones son fundamentales para el reconocimiento de características en tareas de visión por computadora y constituyen una parte clave en el procesamiento de imágenes por parte de las CNN. (Neira Voces, 2022).

Lo siguiente es la función de activación es la que introduce no linealidad en la red al mantener los valores positivos sin cambios y convertir los valores negativos en cero. Esto permite que la red capture características no lineales en los datos y mejore su capacidad para aprender y

representar patrones complejos en las imágenes. La función ReLU ha demostrado ser efectiva en la mayoría de las aplicaciones de CNN. (Neira Voces, 2022)

El siguiente proceso es el submuestreo, el más comúnmente empleado es el Max-Pooling. En esta técnica, se recorre la imagen de arriba a abajo y de izquierda a derecha, tomando grupos de píxeles, generalmente 2x2, en lugar de un solo píxel y seleccionando el valor más alto entre esos cuatro píxeles. Este proceso permite reducir el tamaño de las capas siguientes en la red en aproximadamente una cuarta parte, al tiempo que conserva las características más importantes extraídas en las capas anteriores. (Neira Voces, 2022)

Sucesivamente continuaría las capas de convolución, ya que como menciona Pablo Neira (2022) “La primera convolución es capaz de detectar líneas o curvas, sin embargo, a medida que aumenta el número de convoluciones la red neuronal será capaz de identificar formas más complejas.” Finalmente se llega a la última capa oculta, que a menudo presenta una estructura tridimensional debido al submuestreo aplicado anteriormente. Para simplificar esta estructura tridimensional, se realiza una transformación que "aplanará" la capa, convirtiéndola en una capa de neuronas con una disposición más "tradicional". En este punto, a esta nueva capa se le aplica una función llamada Softmax. Esta función tiene como objetivo asignar probabilidades a las neuronas de salida, permitiendo que la red realice una clasificación probabilística. En otras palabras, convierte las salidas de la red en una distribución de probabilidad sobre las posibles clases o categorías de salida, lo que facilita la interpretación de los resultados y la toma de decisiones basada en probabilidades en tareas como la clasificación de imágenes.

## **Ciudades Inteligentes**

El concepto de ciudades inteligentes se desarrolló en la década de 1990 como un modelo urbano basado en la tecnología para abordar desafíos como la eficiencia energética, las emisiones de contaminantes y el cambio climático. Una ciudad inteligente es aquella que introduce tecnologías de la información y la comunicación en sus sistemas y estructuras. Existe un debate en torno al concepto, categorías, enfoques, aplicaciones y críticas de las ciudades inteligentes. También se discute la inclusión de la sostenibilidad en el estudio de las ciudades inteligentes. Se hace una distinción entre el concepto y el modelo de una ciudad inteligente. Se mencionan los desafíos y problemas asociados con el modelo de ciudad inteligente, así como las críticas existentes. Se estudian conceptos relacionados con las ciudades inteligentes y se sintetiza el concepto de ciudades inteligentes y sostenibles. (Segura Olman, Hernández Jairo y López Marlon, 2019).

La implementación de las ciudades inteligentes está estrechamente relacionada con los semáforos inteligentes pues se pueden considerar como un componente dentro de una ciudad inteligente, según (Rozga Luter, 2018 y 2017, Rozga Luter y Hernández Mar, 2018, ), el paradigma del desarrollo urbano se ha cambiado en el siglo XXI y las actividades de investigación sobre las ciudades inteligentes se convierten en la tarea prioritaria con la participación directa de los políticos, práctico del desarrollo urbano y de la comunidad académica. Gracias a la importancia que se le ha dado al tema se ha avanzado en gran medida en la implementación e investigación de las ciudades inteligentes, pero aún se encuentran muchas maneras de ampliar su uso y más en Latinoamérica donde no se ha explotado totalmente el potencial.

El concepto de una ciudad inteligente ha evolucionado con el tiempo y ha sido definido de diferentes maneras por diferentes organizaciones. Algunas definiciones enfatizan el uso de la tecnología para mejorar la eficiencia y la calidad de vida de los ciudadanos, mientras que otras también incluyen aspectos de sostenibilidad y transparencia. Los enfoques conceptuales hacia las ciudades inteligentes. (Segura Olman, Hernández Jairo y López Marlon, 2019).

En la investigación realizada por Ryszard E. Rózga y Raúl Hernández (s.f) se plantean diferentes modelos, el primer modelo, conocido como Ciudad Inteligente 1, se centra en la innovación y la capacidad institucional. Hace hincapié en la importancia de fomentar una cultura de innovación y colaboración entre diversos actores. Este modelo reconoce la necesidad de un liderazgo sólido, una gobernanza efectiva y la participación de la academia, la industria y el gobierno en impulsar la innovación y los avances tecnológicos.

El segundo modelo, conocido como Ciudad Inteligente 2, se centra en el uso de tecnologías de la información y espacios virtuales para mejorar los servicios urbanos y mejorar la calidad de vida de los residentes. Engloba seis dimensiones: economía inteligente, movilidad inteligente, medio ambiente inteligente, ciudadanos inteligentes, vida y gobernanza inteligentes. Este modelo enfatiza la integración de la tecnología en diversos aspectos de la vida urbana, como la eficiencia energética, los sistemas de transporte y la participación ciudadana.

El tercer modelo, propuesto para economías emergentes como las de América Latina, se llama Ciudad Inteligente 3 - Escalable. Este modelo adopta un enfoque más holístico, considerando las condiciones económicas, sociales y culturales de estos países. Reconoce que la implementación de ciudades inteligentes en economías emergentes requiere un enfoque a largo plazo y por etapas. El modelo sugiere que el proceso debe dividirse en diferentes etapas, en cada una de las cuales participan diferentes actores y niveles de participación ciudadana. La primera

etapa se centra en la convergencia tecnológica, la competitividad y la seguridad. La segunda etapa agrega una dimensión social, abordando cuestiones de accesibilidad social e inclusión. Finalmente, en la tercera etapa, se involucran las autoridades centrales, y el enfoque se desplaza hacia la sostenibilidad y la planificación a largo plazo.

Según el artículo (Ryszard E. Rózga y Raúl Hernández, s.f) la mayoría de las ciudades latinoamericanas usan el segundo modelo enfocándose principalmente en los avances tecnológicos, pero deberían poner su foco en modelos similares al tercero donde consideran diferentes aspectos de la vida urbana y su administración.

Las restricciones relacionadas a este tipo de modelos se enfocan principalmente en infraestructura y el acceso. Muchas ciudades cuentan con infraestructura obsoleta o insuficiente lo que dificulta la implementación de tecnologías avanzadas como es en el caso de los semáforos inteligentes, su costo es alto además de su mantenimiento que requiere de mano de obra calificada en tecnología y programación que llega a ser la más cara, según la revista Cronista (2023), dos de los 5 trabajos mejor pagos del mundo corresponden a esta área. Este problema está estrechamente relacionado con la accesibilidad ya que no todas las personas cuentan con los recursos necesarios para disfrutar de servicios digitales y nuevas tecnologías, la influencia de factores socioeconómicos, comunidades marginadas y habilidades necesarias agravan la brecha de desigualdad que afecta el desarrollo de una ciudad inteligente.

La restricción económica no es ajena a este tipo de proyectos, el poder de inversión que poseen depende en gran manera en el desarrollo y culminación exitosa, factores como limitaciones en presupuesto, restricciones presupuestarias son los principales obstáculos. Una restricción que se suma son las regulaciones y restricciones relacionadas con gobernanza, este tipo de proyectos masivos requiere la participación de entes gubernamentales, un trabajo en

equipo que debe involucrar al gobierno, el sector privado y a los ciudadanos. Obstáculos burocráticos, falta de regulaciones claras y estructuras de gobernanza fragmentadas son algunos factores que dificultan la implementación fluida de proyectos como ciudades inteligentes o a menor escala como los semáforos. (Ryszard E. Rózga y Raúl Hernández, s.f).

El retorno a largo plazo, impacto social limitado, enfoque específico por sector, precauciones por la privacidad, seguridad de datos y amenazas cibernéticas, impacto ambiental, la ética relacionada con el tratamiento de datos y la aceptación cultural son otras restricciones que se presentan en las ciudades inteligentes, así como en la implementación de semáforos inteligentes. (Segura Olman, Hernández Jairo y López Marlon, 2019)

Un modelo que solucione las restricciones expuestas puede idearse centrado en la privacidad protegiendo los datos e involucrar a todos los actores interesados u afectados en la implementación similar al modelo 3 que presentaron los autores Ryszard E. Rózga y Raúl Hernández.

### **Análisis de restricciones**

- **Restricciones Ambientales**

No aplica. El proyecto no tiene en ningún momento algún procedimiento que pueda afectar el medio ambiente o que las políticas medioambientales condicionen su éxito.

- **Restricciones Económicas**

No aplica. Al momento de plantear inicialmente el proyecto se buscó que no pueda ser detenido/afectado por una cuestión económica.

- **Restricciones Legales**

Aplica. El monitoreo constante de las calles puede presentar inconveniente en la privacidad de las personas por lo que toca tomar las medidas necesarias para no tener problemas durante el desarrollo o después de estar realizado.

- **Restricciones de Salud y Seguridad**

Aplica. Existe una restricción en la seguridad de las personas que utilizan el producto en ciberseguridad dado que constantemente estarían haciendo pública su ubicación y puede llegar a presentar un riesgo a su integridad.

- **Restricciones Socioculturales**

No aplica. Puede significar un cambio en ciertas costumbres de las personas a la hora de utilizar aplicaciones que brindan sugerencias de rutas, sin embargo, no significa un cambio en términos generales o un peligro para ellos ya que puede ser tomado como una implementación a lo ya usado.

## **Metodología para la selección**

En el contexto de este proyecto, se han planteado dos enfoques: el primero consiste en el desarrollo de una inteligencia artificial desde cero, para lo cual sería esencial recopilar fotografías de diversos vehículos, como camiones, automóviles y autobuses, esta diversidad de imágenes serviría como base para el etiquetado correspondiente de cada una de las clases que se pretenden identificar.

El siguiente paso es iniciar el entrenamiento de la inteligencia artificial. No obstante, es importante destacar que este proceso demanda una capacidad computacional significativa, haciendo indispensable el uso de tarjetas gráficas de las últimas generaciones. Este componente

tecnológico es fundamental para optimizar el rendimiento del modelo durante el entrenamiento, permitiendo que la inteligencia artificial adquiriera las complejidades necesarias para el reconocimiento eficiente de patrones. Finalmente, una vez completado el entrenamiento del modelo, se iniciaría la implementación de los algoritmos destinados al seguimiento, medición de velocidad y almacenamiento de datos.

El segundo enfoque considerado implica el uso de un modelo de inteligencia artificial ya entrenado, eliminando así la necesidad de llevar a cabo el proceso de entrenamiento y la recopilación extensiva de fotografías de los objetos a detectar. En este caso, se prescinde de la exigente carga computacional asociada al entrenamiento de un modelo desde cero, simplificando el desarrollo al empleo directo de algoritmos diseñados para el seguimiento, medición de velocidad y almacenamiento de datos.

Este enfoque se beneficia de la disponibilidad de modelos previamente entrenados, que han adquirido conocimientos a partir de datos previos. Al evitar la fase de entrenamiento, se reduce significativamente el tiempo y los recursos necesarios para poner en marcha la aplicación, permitiendo una implementación más rápida y eficiente. De esta manera, se canalizan los esfuerzos hacia la optimización de los algoritmos específicos de seguimiento y medición de velocidad, así como la configuración adecuada para el almacenamiento eficiente de los datos generados durante el proceso de detección. Este enfoque se posiciona como una opción ágil y efectiva, especialmente cuando se busca una solución más rápida y con requerimientos computacionales más moderados.

Teniendo esto en cuenta, se eligió el segundo enfoque ya que al prescindir del proceso de entrenamiento y la recopilación extensa de datos, se reducen significativamente los plazos de desarrollo y los recursos computacionales requeridos. Esta decisión se ve respaldada por la

disponibilidad de modelos previamente entrenados que han adquirido conocimientos a partir de conjuntos de datos diversificados. Además, al eludir la necesidad de tarjetas gráficas de última generación y una capacidad computacional notable, se simplifica la infraestructura tecnológica necesaria. Este enfoque se presenta como la opción idónea cuando la prioridad radica en una implementación ágil y eficaz, permitiendo centrar los esfuerzos en la configuración y optimización específica de los algoritmos de seguimiento, medición de velocidad y gestión de datos, acelerando así el despliegue funcional de la solución.

### **Desarrollo del modelo de Inteligencia artificial**

Se ha decidido por utilizar YOLO (You Only Look Once) que, es un modelo de detección de objetos que utiliza una estructura compuesta por múltiples capas convolucionales seguidas de capas completamente conectadas. A través de un proceso de aprendizaje supervisado, la red se entrena para identificar patrones distintivos en las imágenes que corresponden a objetos específicos. Durante la fase de inferencia, YOLO realiza predicciones de cuadros delimitadores y las probabilidades asociadas a las clases de los objetos presentes en la imagen de entrada. (Gleen, J., Waxmann, S., Chaurasia, A., & Laughing-q., 2023).

Teniendo esto en cuenta, es necesario la recolección de videos a una altura equiparable a la de un semáforo, por lo tanto, se efectuó la grabación de segmentos de aproximadamente 1 minuto en la ubicación específica del puente peatonal de la AV. Boyacá – CL 23. Esta elección se sustentó en el flujo vehicular constante de dicha área, que posibilita obtener una perspectiva visual equiparable a la que experimentaría un semáforo. Este enfoque permite simular el funcionamiento del modelo implementado en un semáforo con mayor fidelidad.

## Figura 4

*Video tomado de la AV Boyaca CL-23*



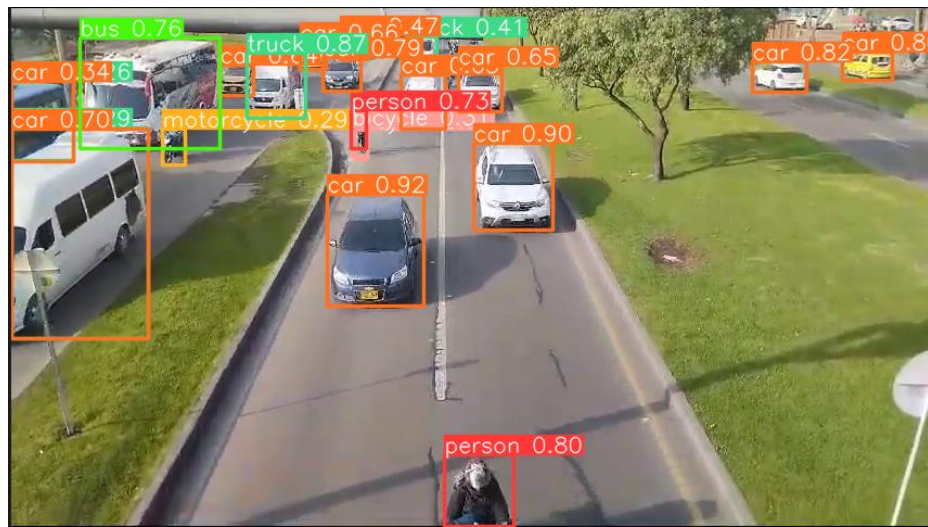
Nota. *Autoría propia.*

Para la creación del código, se ha establecido un entorno mediante *Conda* con el propósito de contar con un ambiente controlado que albergue las dependencias específicas de las versiones de las librerías necesarias. Entre las bibliotecas seleccionadas se encuentra *cv2*, empleada para el procesamiento de imágenes, así como *ultralytics*, que facilita la importación del modelo YOLOv8x. Además, se ha integrado *numpy* para llevar a cabo operaciones matemáticas esenciales y *matplotlib*, una herramienta para diseñar polígonos y objetos en imágenes. Este enfoque de entorno controlado no solo asegura la coherencia y compatibilidad entre las versiones de las librerías, sino que también proporciona un marco estructurado que facilita el desarrollo, la depuración y el mantenimiento del código a lo largo del proyecto.

A continuación, se procede a elaborar el código que permitirá el procesamiento del video de manera frame por frame. Además, se realiza la importación del modelo YOLOv8x, habilitando así la capacidad de realizar predicciones sobre los objetos presentes en el material visual.

**Figura 5**

*Predicciones del modelo de inteligencia artificial*



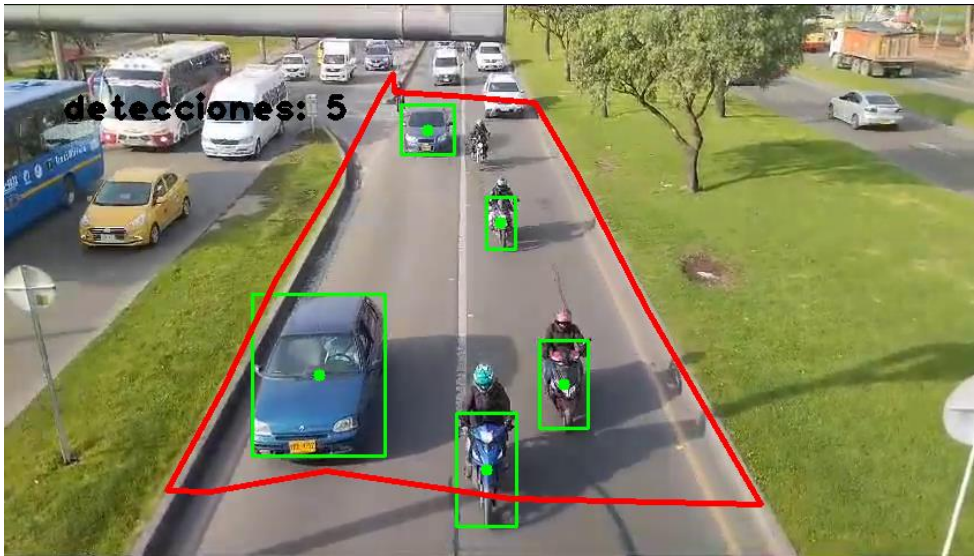
Nota. *Autoría propia*

Luego, se implementa el algoritmo SORT (Simple Online and Realtime Tracking) de Bewley et al. A grandes rasgos es un algoritmo básico de seguimiento visual de múltiples objetos diseñado para aplicaciones en línea, en el cual solo se tienen los cuadros pasados y actuales. Utiliza técnicas de asociación de datos y estimación de estados, como el filtro de Kalman, para seguir objetos a lo largo del tiempo. Además de dibujar el polígono mediante definición de coordenadas para definir el área donde se empezará a contabilizar cuando vehículos hay en un área determinada. También se desarrolla un método para obtener las medidas de las *bounding*

*boxes*, es decir, el rectángulo donde se encuentra la predicción, para obtener el valor de su centro y así validar que la detección se encuentre dentro del recuadro.

**Figura 6**

*Contador de detecciones.*

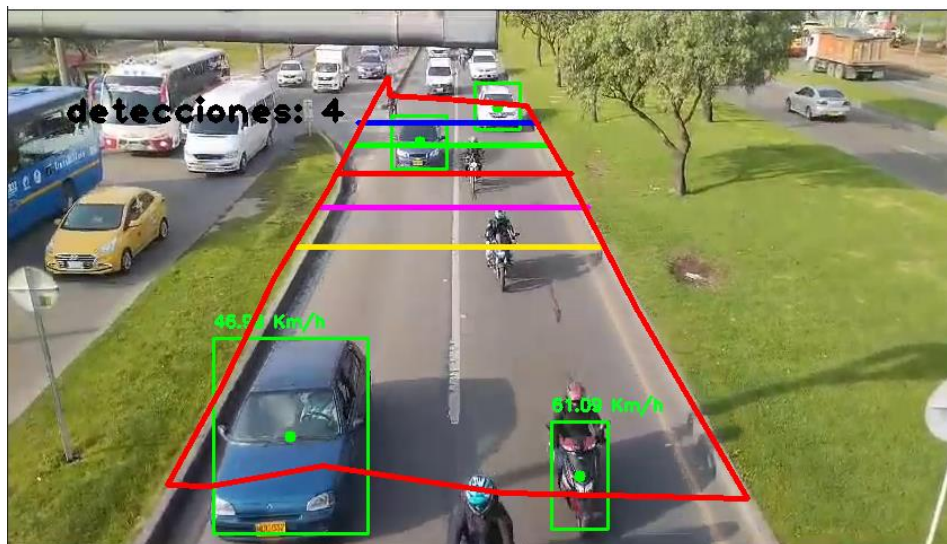


Nota. *Autoría propia.*

Después, se desarrolla el método para la medición de la velocidad a través de la medición del tiempo entre 5 líneas de referencia y la aplicación de la fórmula de distancia euclidiana, obtenida mediante el teorema de Pitágoras, se determinaron los valores de velocidad en cada punto de referencia. Posteriormente, se calculó un promedio de estas velocidades para comparar el resultado con el valor real. La selección de las 5 líneas se basó en pruebas previas, buscando un equilibrio entre obtener valores cercanos a la realidad y evitar un consumo excesivo de recursos computacionales.

**Figura 7**

*Vehículos con velocidades mediante la distancia euclidiana*



Nota. *Autoría propia.*

Durante el conteo de vehículos por cada recuadro del video se hace uso de la librería de pandas para la organización, manipulación y almacenamiento de datos los cuales son la cantidad de vehículos que identifica en cada uno de los 322 recuadros y el conteo de a que recuadro hace referencia para que al tenerlo en un archivo Excel se puedan hacer estimaciones de como durante un periodo de tiempo

Al ser un video corto como parte de la muestra de funcionalidad del modelo estos 322 recuadros pueden representar el día completo y al guardar la información se puede obtener una buena estimación del flujo de vehículos en una hora en concreto o en un día en específico. Teniendo en cuenta tambien la velocidad media de estos vehículos es fácil determinar si los conductores que vienen atrás pueden tomar vías alternas o cuales son las rutas con mas trafico vehicular (con un proyecto a mayor escala).

## Análisis de Costos

Una vez teniendo el proyecto finalizado, se llevaron a cabo evaluaciones de los costos asociados para su replicación. Estos análisis abarcaron la inversión en equipamiento, los recursos energéticos utilizados, así como las horas dedicadas al desarrollo del proyecto. Cabe destacar que tanto el servicio de internet como de electricidad solo fueron considerados por un mes en dichas evaluaciones. resultando en un costo total del proyecto aproximado de \$7,318,600, como se evidencia en la Tabla 3.

**Tabla 3**

*Análisis de costos para el desarrollo del proyecto*

Nombre	Descripción	Frecuencia	Precio	Total
Cámara	Cámara de resolución 720 p	1	\$ 58.900,00	\$ 58.900,00
Computador	Computador i5-11400H, 24GB RAM, 1TB SSD, Grafica NVIDIA GTX1650	1	\$ 3.706.900,00	\$ 3.706.900,00
Servicio de internet	Costos de conexión a Internet	1	\$ 200.000,00	\$ 200.000,00
Servicio de electricidad	Costos de energía para la cámara y el computador	1	\$ 100.000,00	\$ 100.000,00
Horas de ingeniería	Horas trabajadas para el desarrollo del proyecto	160	\$ 20.330,00	\$ 3.252.800,00
				\$ 7.318.600,00

Nota. Autoría propia.

Para el análisis de costos es fundamental tener en cuenta que es aquello indispensable para el correcto funcionamiento del proyecto en su desarrollo y mantenimiento continuo. Se busca plantear unos costos para un corto personal y con un alcance reducido para que de esta forma sea viable la producción y puesta en marcha. Los costos fueron divididos en dos partes, los costos directos son aquellos esenciales en la producción del proyecto y de los materiales utilizados en ello y los costos fijos son aquellos de servicios, impuestos y demás que se existen

asi se realice una producción grande o pequeña. Existen otros tipos de costos como los administrativos, indirectos, de oportunidad y costos variables los cuales no fueron incluidos ya que por el alcance del proyecto no eran indispensables o ya fueron incluidos en los directos/fijos.

**Tabla 4**

*Análisis de costos para implementación del proyecto*

Nombre	Descripción	Precio (en pesos colombianos)	Frecuencia	Precio Anual (en pesos colombianos)
Cámara	Adquisición e instalación de una cámara	\$ 750.000	Unico	\$ 750.000
Computadoras y Servidores	Equipos para procesamiento de datos y servidor	\$ 5.000.000	Único	\$ 5.000.000
Personal	Salarios y beneficios (desarrollador o científico de datos)	\$ 5.000.000	Mensual	\$ 60.000.000
Electricidad	Costos de energía para cámaras, computadoras y servidores	\$ 1.000.000	Mensual	\$ 12.000.000
Internet	Costos de conexión a Internet	\$ 200.000	Mensual	\$ 2.400.000
Almacenamiento de Datos	Costos asociados con el almacenamiento de datos	\$ 2.500.000	Anual	\$ 2.500.000
Costos de Entrenamiento de IA	Costos asociados con el entrenamiento de modelos de IA	\$ 2.500.000	Único	\$ 2.500.000
Mantenimiento y Actualizaciones	Mantenimiento de hardware y software, actualizaciones	\$ 1.000.000	Mensual	\$ 1.200.000
Calibración	Costos asociados con la calibración de cámaras y	\$ 500.000	Único	\$ 500.000

	ajuste de algoritmos			
Seguridad	Implementación de medidas de seguridad	\$ 250.000	Mensual	\$ 3.000.000
Pruebas y Evaluación	Costos asociados con pruebas piloto y evaluación	\$ 500.000	Único	\$ 500.000
Costos Operativos	Otros costos operativos (limpieza, seguro, servicios generales)	\$ 500.000	Mensual	\$ 6.000.000

Nota. *Autoría propia.*

La tabla 3 muestra los costos estimados de un proyecto grande de fluencia de carros con inteligencia artificial. Los costos se han dividido en las siguientes categorías:

- Hardware: incluye la adquisición e instalación de una cámara, computadoras y servidores.
- Personal: incluye los salarios y beneficios de un equipo de desarrolladores, científicos de datos, gerentes de proyecto, etc.
- Otros costos: incluye los costos de electricidad, Internet, almacenamiento de datos, mantenimiento y actualizaciones, calibración, seguridad, pruebas y evaluación, y contingencias.

Los costos se sacaron de una investigación exhaustiva de los precios de los componentes y servicios necesarios para el proyecto. Se consultaron con proyectos similares en el área de la inteligencia artificial y el procesamiento de imágenes, y se realizó un análisis detallado de los costos, considerando los factores que pueden afectarlos, como la ubicación del proyecto, las características específicas del sistema y el nivel de precisión deseado.

Los costos están establecidos según el tamaño del proyecto, en caso de aumentar el alcance del proyecto o incrementar la mano de obra para desarrollar nuevas herramientas los costos aumentarían proporcionalmente sin pasar por alto que también se generan algunos nuevos no contemplados anteriormente ya sean permisos, impuestos, gestión y/o administración.

Dados los costos se establece un precio de \$100.000.000 para cumplir con todos los costos previamente mencionados y mantener un margen de ganancias del 19.85% que corresponden a gastos únicos de la implementación. Este precio se consideró teniendo en cuenta que se piensa cumplir con lo que es el mantenimiento de cámaras y software, tener las personas quienes realizan el análisis y envían los datos, El correcto uso de las grabaciones y el mantenimiento a servidores además de la protección ante vulnerabilidades también está incluido en lo mencionado y se espera que aquellos que quieran acceder al servicio plataformas como moviit, waze o Google maps quienes brinden un servicio de gps o recomienden rutas para que los usuarios lleguen más rápido a sus destinos, sin olvidar que puede apoyar al estado en el área de semáforos inteligentes junto a las cámaras de foto multa.

## **Conclusiones**

Al aprovechar las capacidades de las redes neuronales convolucionales, el proyecto ofrece una herramienta poderosa para detectar y rastrear vehículos en movimiento con una gran precisión y velocidad. La aplicación del framework YOLO v8, conocido por su eficiencia y facilidad de implementación, agiliza el proceso de desarrollo y optimización del modelo de inteligencia artificial, permitiendo una adaptación más rápida a diversas condiciones de iluminación y entornos variables. Además, al utilizar imágenes tomadas desde un puente peatonal y otras perspectivas similares, se logra una visión global del flujo vehicular, lo que proporciona

una comprensión más completa y detallada de los patrones de tráfico en una determinada área. Esta perspectiva multidimensional facilita el monitoreo del flujo vehicular y así almacenar datos para su futuro análisis.

Respecto a las limitaciones del proyecto la precisión del modelo puede verse afectada por condiciones climáticas adversas, como lluvia intensa, niebla espesa o nevadas, lo que podría comprometer la fiabilidad de los datos recopilados. Además, la iluminación deficiente o variable en ciertos momentos del día podría dificultar la captura precisa de imágenes, lo que potencialmente disminuiría la exactitud de las mediciones del flujo vehicular.

Asimismo, es importante destacar que el modelo puede presentar dificultades en la detección precisa de motocicletas y bicicletas en algunos casos. La capacidad para identificar estos vehículos, aunque avanzada, puede no ser siempre completamente precisa, lo que podría afectar la integridad de los resultados. Además, es crucial tener en cuenta que las velocidades registradas son aproximadas y están sujetas a un margen de error, además que dependen de la detección de los objetos, lo que implica que los valores reportados pueden variar en función de diversos factores.

Otra limitación crucial es la necesidad de una infraestructura de soporte adecuada para implementar y mantener el sistema en funcionamiento de manera eficiente. La instalación de cámaras de alta resolución y otros dispositivos de captura de imágenes requiere una planificación cuidadosa y un mantenimiento regular, lo que implica costos adicionales y consideraciones logísticas complejas.

Por último, el proyecto puede enfrentar desafíos relacionados con la privacidad y la seguridad de los datos, especialmente en lo que respecta a la recopilación y el procesamiento de

información sensible de vehículos y conductores. La necesidad de garantizar el cumplimiento de las regulaciones de privacidad de datos y proteger la integridad de la información recopilada puede plantear desafíos éticos y legales que requieren una cuidadosa consideración y gestión.

Sin embargo, basado en el análisis y desarrollo del proyecto se prevé un futuro prometedor con diversas proyecciones y posibilidades. Se espera que las continuas mejoras en la tecnología de inteligencia artificial y visión por computadora permitan una mayor precisión y eficiencia en la medición del flujo vehicular, incluso en condiciones climáticas desafiantes. La integración de algoritmos más avanzados y el desarrollo de modelos predictivos basados en datos históricos pueden brindar una comprensión más profunda de los patrones de tráfico, lo que a su vez facilitaría una planificación más precisa y proactiva de la infraestructura vial y del transporte.

Además, se vislumbra un potencial significativo en la aplicación de este enfoque a diferentes entornos urbanos y suburbanos a nivel global. La implementación de sistemas de monitoreo del tráfico basados en inteligencia artificial podría contribuir en gran medida a la reducción de la congestión vehicular, la optimización de los tiempos de viaje y la mejora general de la movilidad en las ciudades. Esto, a su vez, podría tener un impacto positivo en la reducción de emisiones y la promoción de un transporte más sostenible y eficiente.

Asimismo, se espera que la evolución de la tecnología conduzca a la integración de soluciones de movilidad inteligente y sistemas de gestión del tráfico interconectados, lo que permitiría una coordinación más efectiva entre diferentes modos de transporte y una adaptación dinámica a las demandas cambiantes del entorno urbano. Esto podría promover un ecosistema de transporte más fluido y seguro, mejorando la calidad de vida de los ciudadanos y fomentando un desarrollo urbano sostenible y equitativo.

## Referencias

- ¿Cuántas motos circulan en Bogotá este año? (11 de enero de 2023). *El Nuevo Siglo*. Recuperado de <https://www.elnuevosiglo.com.co/articulos/01-10-2023-cuantas-motos-circulan-en-bogota-en-el-2023#:~:text=En%20diálogo%20con%20EL%20NUEVO,en%20materia%20de%20congestión%20vehicular>
- ¿Qué es una api? aws.amazon.com (2023). Página principal de amazon web service. Recuperado de: <https://aws.amazon.com/es/what-is/api/>
- ¿Sabes que es Google APIs? (2022). Maplink.global. Recuperado de: <https://maplink.global/blog/es/que-son-google-apis/>
- Al cambio de los semáforos en Bogotá le faltó ‘prudencia’. (10 de julio de 2022). *Motor*. Recuperado de <https://www.motor.com.co/industria/Al-cambio-de-los-semaforos-en-Bogota-le-falto-Prudencia-20200710-0005.html>
- Alcaide Martínez, A. (2020). *Redes neuronales convolucionales siamesas aplicadas a la verificación facial*. <https://e-archivo.uc3m.es/handle/10016/32814>
- Barrero, K. (23 de diciembre de 2022). *Distrito anuncia medidas en movilidad y actualiza tarifas del transporte público*. Recuperado de <https://bogota.gov.co/mi-ciudad/movilidad/conoce-las-medidas-de-movilidad-en-bogota-para-fin-de-2022-y-el-2023>
- Becerra Pérez, O. F. (2020). *Inteligencia artificial como generadora de competitividad a la Empresa de Servicios Públicos Domiciliarios del Distrito de Santa Marta*.

Bonilla Carrión, C. (2020). *REDES CONVOLUCIONALES*.

<https://idus.us.es/handle/11441/115221>

Canal Ferneutron. (26 de mayo de 2023). *Trackeo de Objetos con Yolov8 y SORT | Object Tracking* [Archivo de Vídeo]. Youtube. [https://www.youtube.com/watch?v=p-pBHQh8WVI&t=1076s&ab\\_channel=Ferneutron](https://www.youtube.com/watch?v=p-pBHQh8WVI&t=1076s&ab_channel=Ferneutron)

Canal Ferneutron. (30 de abril de 2023). *Detección y conteo de objetos con Yolov5 | Python | PyTorch | OpenCV* [Archivo de Vídeo]. Youtube. [https://www.youtube.com/watch?v=sy8uRDZw8pk&ab\\_channel=Ferneutron](https://www.youtube.com/watch?v=sy8uRDZw8pk&ab_channel=Ferneutron)

Canal Ferneutron. (30 de junio de 2023). *Cómo calcular la velocidad de objetos en un video | Python | Yolov8 | SORT* [Archivo de Vídeo]. Youtube. [https://www.youtube.com/watch?v=NSyz360\\_BIQ&t=510s&ab\\_channel=Ferneutron](https://www.youtube.com/watch?v=NSyz360_BIQ&t=510s&ab_channel=Ferneutron)

Canal Ultralytics. (22 de noviembre de 2023). *Episode 16 | Ultralytics YOLOv8 Object Counting in Multiple & Moveable Regions* [Archivo de Vídeo]. Youtube. [https://www.youtube.com/watch?v=okItf1iHIV8&t=192s&ab\\_channel=Ultralytics](https://www.youtube.com/watch?v=okItf1iHIV8&t=192s&ab_channel=Ultralytics)

Chicas Villegas, R. W., Contreras Ayala, H. E., Cortez Recinos, R. P., & Gutierrez Recinos, D. W. (2004). *Investigación aplicada al área de inteligencia artificial y desarrollo de un sistema experto*. <https://ri.ues.edu.sv/id/eprint/13463>

Ciudades inteligentes y sostenibles. Estado del arte. (2019). Universidad Nacional de Costa Rica. Recuperado de: <https://repositorio.una.ac.cr/bitstream/handle/11056/17401/Cuaderno-001-2020%20CIS-Estado%20del%20Art%20%20Segura-Hernandez-Lopez%20.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Echeverri López, E. (5 de enero de 2023). Estas son las obras de infraestructura más grandes que se desarrollan en la capital. *La República*. Recuperado de <https://www.larepublica.co/economia/estas-son-las-obras-de-infraestructura-mas-grandes-que-se-desarrollan-en-la-capital-3519102>

El concepto de ciudad inteligente y condiciones para su implementación en las ciudades Latinoamérica más importante. (s.f). Universidad Nacional Autónoma de México. Recuperado de: <http://ru.iiec.unam.mx/4652/1/4-172-Rozga-Hernandez.pdf>

El pico y placa y sus efectos. (15 de septiembre de 2017). *Motor*. Recuperado de <https://www.motor.com.co/industria/El-pico-y-placa-y-sus-efectos-20170915-0004.html>

Gimenez Arnal, M. (2018). *Estudio y aplicación de las redes neuronales convolucionales 3D*. <https://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2117/124877/Estudio+y+aplicación+de+las+redes+neuronales+convolucionales+3D.pdf?sequence=1>

Gleen, J., Waxmann, S., Chaurasia, A., & Laughing-q. (2023, octubre 24). *Home*. Ultralytics.com. <https://docs.ultralytics.com/>

Herrera, C. C. (2019, diciembre 8). *Detrás del Alcalde*. Bogota.gov.co. <https://bogota.gov.co/yo-participo/blogs/semaforizacion-inteligente-en-bogota>

[https://www.movilidadbogota.gov.co/web/sites/default/files/Paginas/14-09-2021/16\\_informe\\_agosto-2021.cto20171913\\_vf.pdf](https://www.movilidadbogota.gov.co/web/sites/default/files/Paginas/14-09-2021/16_informe_agosto-2021.cto20171913_vf.pdf)

INRIX. (2022). Global Traffic Scorecard [Informe]. <https://inrix.com/scorecard/>

Kemeny, F. (2023). *¿Cómo se entrena un modelo IA? Una mirada dentro de la caja negra*. LinkedIn.com. <https://www.linkedin.com/pulse/c%C3%B3mo-se-entrena-un-modelo-ia-una-mirada-dentro-de-la-caja-kemeny/?originalSubdomain=es>

*La Inteligencia Artificial en la sociedad: Explorando su Impacto Actual y los Desafíos Futuros*. (n.d.).

León, D. A., Martínez Cuenca, J. G., Ardila Sánchez, I. A., & Mosquera Palacios, D. J. (2022). Inteligencia artificial para el control de tráfico en redes de datos: Una Revisión. *Entre Ciencia e Ingeniería*, 16(31), 17–24. <https://doi.org/10.31908/19098367.2655>

Martín De Diego, E. (2022). *Redes Neuronales Convolucionales*.

Muñoz Pérez, S., Salcedo Reátegui, J., & Sotomayor Mendoza, A. (2021). Contaminación ambiental producida por el tránsito vehicular y sus efectos en la salud humana: revisión de literatura. (Spanish). *Inventum. Ingeniería, Tecnología e Investigación*, 16(30), 20–30. <https://doi.org/10.26620/UNIMINUTO.INVENTUM.16.30.2021.20-30>

Muñoz, S., Salcedo, S. (2021). Contaminación ambiental producida por el tránsito vehicular y sus efectos en la salud humana: revisión de literatura. *Inventum*. doi: 10.26620/uniminuto.inventum.16.30.2021.20-30

Natareno Yanes, C. O. (2013). *INTELIGENCIA ARTIFICIAL APLICADA AL TRÁNSITO EN LA CIUDAD DE GUATEMALA UTILIZANDO REDES NEURONALES*.

Neira Voces, P. (2022). *Detección de accidentes de tráfico en tiempo real mediante redes neuronales convolucionales*. <https://hdl.handle.net/20.500.12880/3419>

Pardo, D. (15 septiembre de 2022). Por qué Bogotá tiene el peor tráfico de América Latina y en qué se diferencia de otras ciudades. *BBC News Mundo*. Recuperado de <https://www.bbc.com/mundo/noticias-america-latina-62829646>

Pardo, D. (2022, septiembre 15). Por qué Bogotá tiene el peor tráfico de América Latina y en qué se diferencia de otras grandes ciudades. *BBC*.  
<https://www.bbc.com/mundo/noticias-america-latina-62829646>

Pérez Nasser, J. (2019). *ANÁLISIS DE TRÁFICO VEHICULAR MEDIANTE VISIÓN ARTIFICIAL*. <http://repositorio.uta.edu.ec/jspui/handle/123456789/29182>

RAE. (2022). *Diccionario de la lengua española RAE* “Diccionario de La Lengua Española” - Edición Del Tricentenario. <https://dle.rae.es/inteligencia>

Red de preguntas universidad EAFIT (Agudelo, J, 2016) ¿Cómo funcionan los semáforos?

RUNT. (2023). Boletín de Prensa 01 de 2023 [Documento PDF].  
<https://www.runt.com.co/sites/default/files/Bolet%C3%ADn%20de%20Prensa%2001%20de%202023.pdf>

Secretaría distrital de movilidad, (31 agosto de 2021) Informe de ejecución con corte 31 de agosto 2021. Recuperado de <https://www.mintrabajo.gov.co/documents/20147/66579996/5.Informe+Ejecucion+Ministerio+Agosto+2021.pdf/7ed13d9d-92fa-7e5c-f5e7-fe665208455f?t=1656392093897&download=true>

Secretaría Distrital de Movilidad. (2021). *Lineamientos técnicos en materia de Seguridad Vial para entidades externas*. Recuperado de

[https://www.movilidadbogota.gov.co/web/sites/default/files/Paginas/25-06-2021/lineamiento\\_externo\\_de\\_semaforos\\_-\\_v2.pdf](https://www.movilidadbogota.gov.co/web/sites/default/files/Paginas/25-06-2021/lineamiento_externo_de_semaforos_-_v2.pdf)

SUAREZ PRIETO, J. E. (2018). *LOS BENEFICIOS DE LA INTELIGENCIA ARTIFICIAL EN EL SECTOR EMPRESARIAL*.

Thomson, I. y Bull, A. (2001). *La congestión del tránsito urbano: causas y consecuencias económicas y sociales*. Recuperado de

<https://repositorio.cepal.org/server/api/core/bitstreams/c7b69c09-8fdb-4633-8950-05abc459c15c/content>

TomTom. (2022). TomTom Traffic Index 2022 [Informe].

Universidad EAFIT. (2016, enero 25). *¿Cómo funcionan los semáforos?* - Unininos / Red de las preguntas / Máquinas y energía - Universidad EAFIT. eafit.edu.co.  
<https://www.eafit.edu.co/ninos/reddelaspreguntas/maquinasyenergia/Paginas/como-funcionan-los-semaforos.aspx>

Valencia Alaix, G. V. (2000). *Principios sobre semáforos* (Trabajo de grado). Recuperado de  
<https://repositorio.unal.edu.co/bitstream/handle/unal/21291/10539884.2000.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Velandia, D. A. y Torres Fidel, J. (2022). *Evaluación del efecto de los tiempos de semáforos sobre la longitud de las colas y tiempos de tránsito de los vehículos en las diferentes rutas de acceso y salida en intersecciones viales* (Trabajo de grado). Recuperada de

<https://repositorio.uniandes.edu.co/bitstream/handle/1992/58544/Velandia%20Prieto,%20David%20Andres.pdf?sequence=3>

Wang, F. Y. (2010). Parallel Control and Management for Intelligent Transportation Systems: Concepts, Architectures and Applications. *IEEE Xplore*. doi: 10.1109/TITS.2010.2060218.

Wirastuti, N. M. A. E. D., Verlin, L., Mkwawa, I. H., & Samarah, K. G. (2023). Implementation of Geographic Information System Based on Google Maps API to Map Waste Collection Point Using the Haversine Formula Method. *Jurnal Ilmiah Teknik Elektro Komputer dan Informatika (JITEKI)*, 9(3), 731-745. Recuperado de: <https://eprints.uad.ac.id/43886/1/19-Implementation%20of%20Geographic%20Information%20System%20Based%20on%20Google%20Maps%20API%20To%20Map%20Waste%20Collection%20Point%20Using%20the%20Haversine%20Formula%20Method.pdf>

## **Anexos**

El código del programa desarrollado se encuentra disponible en un repositorio de GitHub, accesible a través del siguiente enlace: [https://github.com/Estebanrpj/ProyectoGrado\\_Yolov8](https://github.com/Estebanrpj/ProyectoGrado_Yolov8).

Dentro de este repositorio, se encuentran tres archivos fundamentales para el funcionamiento del programa: En primer lugar, el archivo `coordenadas.py` se encarga de definir las coordenadas necesarias para obtener los puntos que delimitan el polígono de la zona de detección. A continuación, se presenta el archivo `sort.py`, que es el código *open source* para el seguimiento a tiempo real de las predicciones. Finalmente, el archivo `conteo_autos.py` constituye el código principal, ejecutando todo el proceso de monitoreo del flujo vehicular. Adicionalmente, se ha incluido un archivo `read.me` en el repositorio. Este archivo contiene información esencial acerca de las dependencias y las bibliotecas necesarias para asegurar el correcto funcionamiento del código. El repositorio también alberga una carpeta denominada "data", que contiene un video de simulación utilizado durante el desarrollo del programa.