

Semaforización Inteligente: Un Análisis a los Desafíos en la Implementación de Tecnologías y Algoritmos IoT

Intelligent Traffic Signaling: An Analysis to the Challenges in the Implementation of IoT Technologies and Algorithms

Ingrid García-de-la-Cruz¹ <https://orcid.org/0009-0006-9128-1806>, Leonardo Chancay-García¹ <https://orcid.org/0000-0002-4090-048X>

¹Universidad Técnica de Manabí, Portoviejo, Ecuador
igarcia5968@utm.edu.ec, leonardo.chancay@utm.edu.ec



Esta obra está bajo una licencia internacional
Creative Commons Atribución-NoComercial 4.0

Enviado: 2024/06/28

Aceptado: 2024/10/02

Publicado: 2024/10/15

Resumen

La semaforización inteligente es un sistema de control de tráfico diseñado para mejorar la seguridad vial y promover la movilidad sostenible. En este sentido, se ha realizado una exhaustiva revisión bibliográfica que examina las tecnologías, algoritmos y desafíos asociados a este sistema. Para ello, se seleccionaron 22 estudios publicados entre 2019 y 2023, siguiendo la metodología PRISMA a lo largo de tres fases: Planificación, Ejecución y Documentación. Los resultados destacan la implementación de tecnologías como WI-FI y CCTV, utilizadas predominantemente para la conectividad y la vigilancia, respectivamente. En cuanto a los algoritmos, YOLO emerge como el más aplicado, abordando desafíos clave como la necesidad de una conectividad estable y la protección de la confidencialidad de los datos. Sin embargo, también se identifican limitaciones significativas, como los costos asociados y la aceptación social. De esta manera, se infiere que las innovaciones técnicas pueden contrarrestar tanto los desafíos como las limitaciones inherentes, contribuyendo así a una gestión del tráfico más eficiente y a la protección de vidas.

Palabras clave: Seguridad vial, IoT, Redes neuronales, Visión por computador.

Abstract

Intelligent traffic signalization is a traffic control system designed to improve road safety and promote sustainable mobility. In this regard, an exhaustive literature review has examined

Sumario: Introducción, Estado del Arte, Métodos y Herramientas, Resultados y Discusión, Conclusiones.

Como citar: García-de-la-Cruz, I. & Chancay-García, L. (2024). Semaforización Inteligente: Un Análisis a los Desafíos en la Implementación de Tecnologías y Algoritmos IoT. *Revista Tecnológica - Espol*, 36(2), 80-96. Recuperado a partir de <https://rte.espol.edu.ec/index.php/tecnologica/article/view/1189>

the technologies, algorithms, and challenges associated with this system. For this purpose, 22 studies published between 2019 and 2023 were selected, following the PRISMA methodology along three phases: Planning, Implementation, and Documentation. The results highlight the implementation of technologies such as WI-FI and CCTV, which are predominantly used for connectivity and surveillance. In terms of algorithms, YOLO emerges as the most applied, addressing key challenges such as the need for stable connectivity and protection of data confidentiality. However, significant limitations are also identified, such as associated costs and social acceptance. Thus, it is inferred that technical innovations can counteract both the challenges and inherent limitations, therefore contributing to more efficient traffic management and life protection.

Keywords: Road safety, IoT, Neural networks, Computer vision.

Introducción

El avance constante de las tecnologías ha transformado la manera en que las ciudades abordan los desafíos relacionados con la movilidad urbana y la seguridad vial. La semaforización inteligente se refiere al uso de tecnologías avanzadas, como el Internet of Things (IoT), Wireless Sensor Networks (WSN) y Artificial Intelligence (AI). Estas optimizan y gestionan de manera eficiente el funcionamiento de los semáforos en un sistema de tráfico urbano, a diferencia de los semáforos tradicionales que operan en ciclos predefinidos sin tener en cuenta el flujo real de tráfico. Por lo tanto, la semaforización inteligente puede ser una solución para garantizar la seguridad de peatones y automovilistas (Palma & García, 2023).

El problema de la movilidad en América Latina es un tema bastante complejo; la mayoría de ciudades continúa creciendo sin una planificación urbana previa. Además, la población utiliza medios de transporte para el desarrollo de gran parte de las actividades cotidianas, lo que genera congestión vehicular y el punto crítico se establece en los semáforos. En consecuencia, se provoca estrés y situaciones peligrosas como accidentes peatonales o vehiculares, generando una preocupación importante (Aarón et al., 2019). La seguridad vial es un tema de gran importancia, ya que los accidentes de tránsito pueden ocasionar lesiones graves e incluso la pérdida de vidas humanas. Por lo tanto, es crucial investigar soluciones que mejoren la seguridad en los cruces peatonales (Michelle & Alberto, s. f.).

La semaforización inteligente emerge como un paradigma transformador en la gestión del tráfico, pues acopla las ventajas del análisis y procesamiento de información para permitir mayor fluidez en el tráfico peatonal y vehicular. Por tal motivo, el propósito de este artículo es desarrollar un análisis bibliográfico acerca de las tecnologías clave, algoritmos innovadores y los desafíos asociados. Con ello, se busca ofrecer una visión integral sobre la implementación efectiva de estos sistemas, respaldados por la Internet de las Cosas (IoT).

El presente artículo está organizado en cinco secciones siguientes. En primer lugar, se presenta el estado del arte con trabajos acordes al tema de investigación, luego se expone a profundidad la metodología y las fases llevadas a cabo en el trabajo. Posteriormente se ilustran los resultados iniciales que dan pie al análisis y discusión de los mismos. Seguidamente se plantea una propuesta con base en los hallazgos de la revisión y finalmente se expresan las conclusiones de la investigación.

Estado del Arte

La semaforización inteligente ha adquirido una importancia creciente en los últimos años como una solución prometedora para la gestión eficiente del tráfico. Diversos estudios han investigado los enfoques y tecnologías que sustentan estos sistemas, evidenciando la integración de sensores, cámaras y uso de algoritmos. Los sistemas dinámicos de estos semáforos se han presentado como una respuesta eficaz a problemas persistentes como la congestión vehicular, la contaminación ambiental, el gasto excesivo de combustible y los largos tiempos de espera en intersecciones (Michelle & Alberto, s. f.).

De la misma manera, la Internet de las Cosas (IoT) ha impulsado el desarrollo de la semaforización inteligente, facilitando el análisis de datos en tiempo real para optimizar la toma de decisiones que mejoren la calidad de vida de las personas (Rodríguez Romo & Bravo León, 2021). La aplicación de IoT en este contexto permite la integración de dispositivos y sensores conectados, capaces de recopilar y procesar datos sobre condiciones climáticas, presencia de peatones y flujos vehiculares en tiempo real, mejorando así la gestión del tráfico.

En diversas ciudades como Melina y La Meca se han implementado controladores inteligentes de semáforos mediante la integración de lógica difusa y procesamiento de imágenes con Matlab. Este sistema innovador controla el tráfico tanto a través de cámaras como de sensores automáticos, adaptando los tiempos de las señales según la congestión vehicular, lo que garantiza que los vehículos no tengan que esperar innecesariamente (Chabchoub et al., 2021).

Así mismo, en India se ha desarrollado un sistema de control de tráfico que utiliza técnicas de detección de objetos, como YOLO (“You Only Look Once”) y el algoritmo SORT (Simple Online and Real-time Tracking), para ajustar los patrones de tráfico en tiempo real. Aunque este sistema ha mostrado resultados satisfactorios en condiciones de tráfico difíciles, presenta limitaciones en la detección de vehículos en situaciones de baja visibilidad, como durante la noche o en presencia de sombras intensas (Sharma et al., 2021).

De manera similar, en Wasit, en Irak, se ha implementado un sistema de control de tráfico basado en Arduino, que incluye sensores ultrasónicos y cámaras para gestionar el tráfico en intersecciones complejas. Este sistema no solo optimiza el tiempo de espera, sino que también es capaz de registrar y reportar infracciones de tránsito, mejorando así el cumplimiento de las normas viales (Ramadhan et al., 2021).

Además, en una literatura reciente sobre semaforización inteligente, se han identificado avances significativos en el uso de tecnologías IoT para mejorar la eficiencia del tráfico vehicular. Según un estudio, se han propuesto enfoques que integran sensores y algoritmos avanzados para optimizar el flujo de vehículos en tiempo real, reduciendo significativamente los tiempos de espera y el consumo de combustible. Sin embargo, estos enfoques enfrentan desafíos importantes, como la interoperabilidad de los sistemas y la seguridad de la información transmitida (Leon & Ygnacio, 2024).

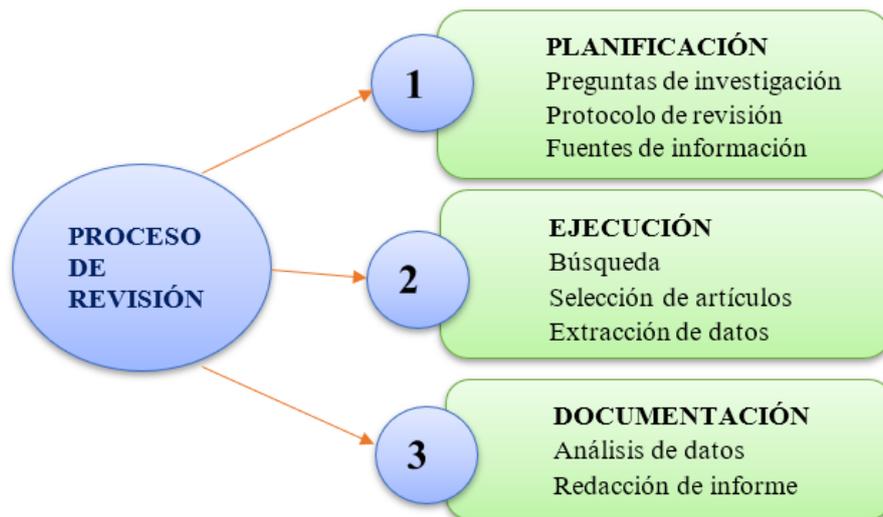
Si bien existen múltiples estudios que han explorado la semaforización inteligente y su implementación mediante tecnologías IoT, las revisiones existentes presentan resultados limitados, por lo tanto, la presente revisión pretende ofrecer una perspectiva más integrada sobre los desafíos en la adaptación de estas tecnologías. Mientras que trabajos anteriores se han centrado en soluciones específicas o en estudios de caso en ciudades particulares, este artículo busca proporcionar una visión más amplia y comparativa. Además, se pone un énfasis especial en factores técnicos de implementación y los desafíos y limitaciones persistentes, aspectos que han sido menos explorados en revisiones anteriores.

Métodos y Herramientas

Para la realización de este artículo, se utilizó la metodología PRISMA (Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses), reconocida por su rigurosidad en la realización de revisiones sistemáticas y meta análisis. Para optimizar la eficiencia y la colaboración en este proceso, se empleó la herramienta en línea Parsifal (<https://parsif.al>). La revisión se llevó a cabo en tres fases: planificación, ejecución y documentación, como se detalla en la Figura 1. Posteriormente, se proporciona una explicación detallada de cada fase.

Figura 1

Esquema del Proceso de Revisión



Planificación de la revisión

En esta sección, se describe el protocolo seguido a lo largo de la revisión. Para estructurar de manera efectiva la búsqueda bibliográfica, se empleó el modelo PICOC, que se utiliza comúnmente en revisiones sistemáticas para definir los componentes clave de la investigación. PICOC es un acrónimo que representa: P(Population), I(Intervention), C(Comparison), O(Outcome), C(Context). Estos permiten delimitar y enfocar la revisión de manera precisa. Primero, se determinaron las palabras claves correspondientes a cada uno de los componentes del modelo PICOC, las cuales se detallan en la Tabla 1. Fueron elegidas cuidadosamente para asegurar una búsqueda bibliográfica precisa y relevante. En este caso fueron las siguientes: (tránsito vehicular, seguridad vial, pasos peatonales, semáforo, semaforización inteligente, visión computacional). Estas palabras claves permiten una revisión enfocada en los aspectos críticos del tema. Además, se formularon cuatro preguntas de investigación (PI), que se detallan a continuación:

PI1. ¿Cuáles son los trabajos relacionados para la semaforización inteligente?

PI2. ¿Cuáles son las tecnologías de comunicación necesarias para recrear un semáforo inteligente?

PI3. ¿Cuáles son los algoritmos de programación para el desarrollo de un semáforo inteligente?

PI4. ¿Cuáles son los desafíos y limitaciones para la semaforización inteligente?

Con base en las palabras clave enumeradas en la Tabla 1, se diseñó una cadena de búsqueda específica para identificar y recopilar la literatura relevante. A continuación, se presenta un ejemplo de la cadena de búsqueda: ("Smart traffic lights" OR "Vehicle traffic" OR "pedestrian crossings" OR "road safety" OR "computer vision") AND ("Traffic light"). La elección de estas palabras clave se basó en criterios específicos que se detallan en la Tabla 1.

Tabla 1
Palabras PICOC

TÉRMINOS PICOC	PALABRAS CLAVE
Población.	Tránsito vehicular, seguridad vial, pasos peatonales.
Intervención.	Semáforo.
Comparación.	Semaforización inteligente, visión computacional.

Se implementaron criterios de inclusión y exclusión, como se muestra en la Tabla 2. Los criterios de inclusión se centraron en la consideración de artículos de revistas y trabajos presentados en congresos que estuvieran publicados en el período comprendido entre 2019 y 2023, y se exigía que los títulos de las investigaciones estuvieran relacionados con el tema de interés. Por otro lado, los criterios de exclusión se basaron en descartar artículos en acceso anticipado, capítulos de libros, y cualquier contenido que no estuviera accesible para su revisión. Además, se descartaron duplicados, editoriales, y aquellos artículos redactados en idiomas distintos al inglés o español. Estos criterios se aplicaron rigurosamente con el fin de garantizar la consistencia y relevancia de los estudios incorporados en la revisión.

Para determinar la idoneidad de los artículos seleccionados, se definieron tres Preguntas de Evaluación de Calidad (PEC), cuya ponderación se muestra en la Tabla 3 y se utiliza como criterio para la inclusión. Un artículo se considera apto si obtiene al menos 1 punto en esta evaluación. A continuación, se presentan las preguntas de evaluación de calidad para el proceso de selección.

PEC1: ¿El documento plantea la información precisa sobre semaforización inteligente?

PEC2: ¿Se ha implementado un algoritmo de programación para semaforización inteligente?

PEC3: ¿Se han planteado desafíos y limitaciones sobre la implementación de semaforización inteligente?

Tabla 2
Criterios de Selección

CRITERIOS DE INCLUSIÓN	CRITERIOS DE EXCLUSIÓN
Artículos de revistas.	Acceso anticipado.
Congresos.	Capítulos de libros.
Publicaciones desde 2019 al 2023.	Contenido no accesible.
Título de la investigación.	Duplicados.
	Editoriales.
	Otro idioma que no sea inglés, español.
	Otros temas.
	Reseñas.
	Resúmenes.

Tabla 3
Puntuación Conforme a la Pregunta

DEFINICIÓN	PUNTUACIÓN
Sí	1.0
Parcial	0.5
No	0.0

Se ha creado un formulario de extracción de datos, con el objetivo de tabular los campos más relevantes dentro de los estudios seleccionados en la investigación. En la Tabla 4, se denotan cuáles son estos campos y su relación directa con las preguntas de investigación planteadas con anterioridad. Se destaca que, para responder a la PI4, se ha considerado necesario realizar una distinción clara entre los desafíos y las limitaciones que surgen durante la implementación de tecnologías y algoritmos IoT. Por tal motivo, en el formulario presentado se dividen en campos diferentes; teniendo en cuenta que los desafíos se refieren a aquellos aspectos que, si bien presentan dificultades, pueden ser superados o mitigados mediante la innovación, el desarrollo tecnológico o la adopción de nuevas estrategias. Mientras que las limitaciones se entienden como aquellas restricciones inherentes que pueden no ser fácilmente superables debido a factores externos, como normativas regulatorias, costos elevados o barreras técnicas actuales.

Tabla 4
Extracción de Datos

DESCRIPCIÓN	TIPO	PI
Id	Número	-
Referencia	Texto	PI1
Nombre	Texto	-
País	Texto	-
Año	Número	-
Tecnologías	Texto	PI2
Algoritmos	Texto	PI3
Desafíos	Texto	PI4
Limitaciones	Texto	PI4

Ejecución de la revisión

Para la revisión, se eligieron tres bases de datos científicas: Scopus, IEEE Xplore y ACM Digital Library, consideradas fuentes confiables y completas para la búsqueda de literatura relevante. Además de la cadena de búsqueda base previamente definida, se realizaron ajustes específicos en cada una de estas bases de datos, como limitaciones en el rango de años o tipos de publicaciones. Tras completar la búsqueda en cada base de datos, se llevó a cabo una primera selección de artículos conforme a los criterios de selección establecidos en la Tabla 2. Posteriormente, se aplicaron las PEC a los artículos preseleccionados, donde se extrajeron datos de aquellos que obtuvieron al menos 1 punto en la evaluación de calidad, conformando así la segunda selección de artículos para su análisis detallado.

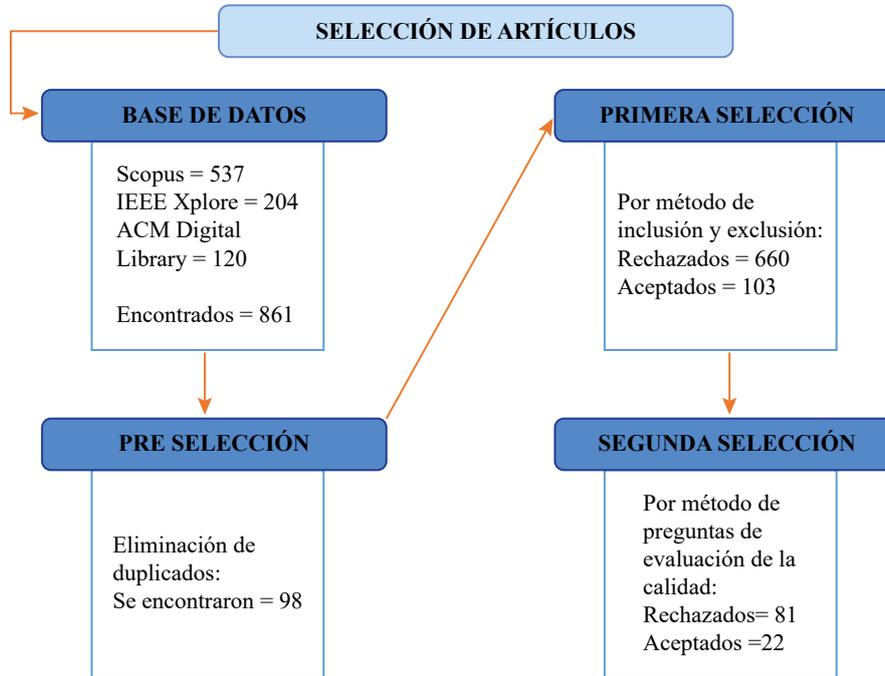
Resultados y Discusión

Selección de artículos

La Figura 2 presenta los resultados de la búsqueda en las bases de datos, mostrando un total de 861 artículos identificados. Donde la primera selección corresponde a los criterios de inclusión y exclusión. La segunda selección a las preguntas de evaluación de la calidad.

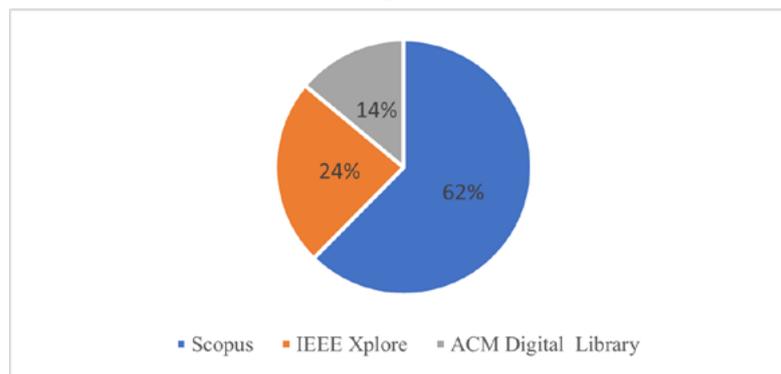
Por ende, al aplicar los criterios de inclusión y exclusión se seleccionaron 103 artículos que cumplían dichos criterios. Luego, al aplicar PEC, quedaron 22 artículos aceptados que cumplían con la puntuación de las PEC.

Figura 2
Selección de Artículos



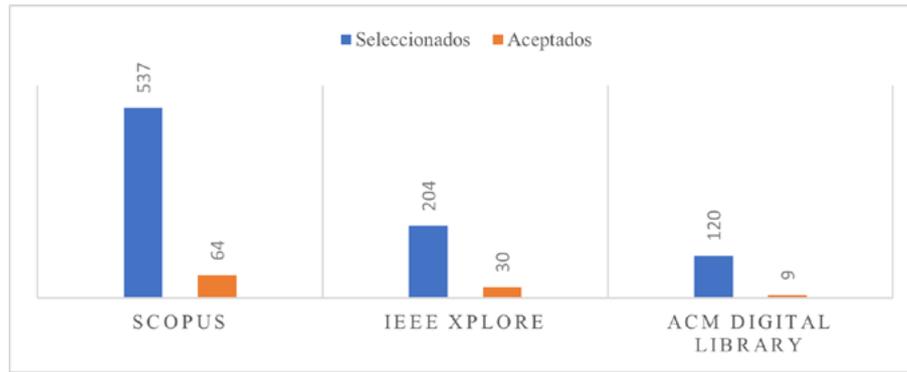
La Figura 3 muestra los artículos por fuentes bibliográficas, dando como resultado en Scopus un 62%, en IEEE Xplore, un 24%, y en ACM Digital Library, con un 14%.

Figura 3
Artículos por Fuentes



La Figura 4 presenta los resultados de la selección de artículos en Scopus, IEEE Xplore y ACM Digital Library. En Scopus se revisaron 537 artículos, de los cuales 64 fueron aceptados. De manera similar, en IEEE Xplore se evaluaron 204 artículos de los cuales 30 fueron aceptados y, por último, en ACM Digital Library se verificaron 120 artículos de los cuales se aceptaron 9 para la primera revisión.

Figura 4
Artículos Aceptados por Base de datos



Extracción de información

Tabla 5
Extracción de Datos

ID	CITA PI1	NOMBRE PI1	PAÍS	AÑO	TECNOLOGÍAS PI2	ALGORITMOS PI3	DESAFÍOS PI4	LIMITACIONES PI4
1	(Sharma et al., 2021)	Sistema inteligente de control de semáforos basado en el entorno del tráfico mediante aprendizaje profundo.	India	2021		-YOLO (you only look once). - SORT (simple online and real-time tracking algorithm).	- Dificultades logísticas. - Confidencialidad de datos.	- Restricciones espaciales. - Capacidad limitada de detección de automóviles.
2	(Abohashima et al., 2020)	Una propuesta de sistema de control de semáforos inteligentes basado en IoT dentro de un marco V2X.	Egipto	2020	- Vehículo a vehículo (V2V). - Vehículo a infraestructura (V2I).	- ANFIS (Sistemas de Inferencia difusos basados en redes adaptivas).	-Conexión estable. - Datos precisos y en tiempo real. - Confidencialidad de datos.	- Aceptación de autoridades y sociedad. - Costos.
3	(Guo et al., 2020)	Diseño de un sistema inteligente de guiado de peatones y vehículos para pasos de cebra basado en radar de ondas milimétricas.	China	2020	- Radar de onda milimétrica. - Módulo de comunicación inalámbrica (LORA). - Tecnología MIMO. - NB-IoT.	- Sistema OneNET.	- Precisión del Radar.	- Costos.
4	(Chabchoub et al., 2021)	Controlador de semáforo inteligente mediante lógica difusa y procesamiento de imágenes.	Arabia	2021			- Precisión del Procesamiento de Imágenes.	- Limitación de respuesta en tiempo real.
5	(Aulia Yúsuf et al., 2021)	Desarrollo reciente de semáforos inteligentes	Indonesia	2021	- Tecnología RFID Cámaras de circuito cerrado de televisión (CCTV).	- Algoritmo FP. - Algoritmo EDF. - YOLO.	- Calidad de imágenes. - Reglas específicas para los algoritmos.	- Limitación de respuesta en tiempo real. - Costos.

ID	CITA PI1	NOMBRE PI1	PAÍS	AÑO	TECNOLOGÍAS PI2	ALGORITMOS PI3	DESAFÍOS PI4	LIMITACIONES PI4
6	(Ramadhan et al., 2021)	Diseñar e implementar un semáforo inteligente controlado por internet de las cosas.	Irak	2021	- Red Wifi	- MicroPython.	- Conectividad estable. - Personal capacitado (mantenimiento del sistema).	- Infraestructura adecuada. - Costos. - compatibilidad con sistema actual.
7	(Evan et al., 2020)	Reconocimiento de semáforo peatonal mediante Tensorflow y SSD MobileNet V2.	Indonesia	2020		- SSD MobileNet V2.	- Datos precisos y en tiempo real.	- Aceptación de autoridades y sociedad.
8	(Saad et al., 2020)	Diseño e Implementación de un Sistema Portátil de Control Inalámbrico Inteligente para Cruces Peatonales.	Irak	2020	- Módulo bluetooth.	- Arduino IDE.	- Datos precisos y en tiempo real.	- Margen de error con sensor PIR. - Costos. - Infraestructura adecuada.
9	(Dangi et al., 2020)	Sistema Inteligente de Control de Semáforos Basado en la Densidad del Tráfico.	Inglaterra	2020		- Método Auto Canny.	- Confidencialidad de datos.	
10	(Aleko & Djahel, 2020)	Un eficiente sistema de control adaptativo de semáforos para reducción la congestión del tráfico en las vías urbanas en Ciudades inteligentes.	Inglaterra	2020		- SUMO (Simulación de movilidad urbana).	- Implementación Real.	- Interrupciones Durante la Instalación. - Cierre de Vías para Mantenimiento. - Aceptación autoridades y sociedad.
11	(Villagra et al., 2020)	Una comprensión mejor sobre la programación de semáforos: Nuevos algoritmos genéticos celulares y un nuevo análisis detallado de soluciones.	España	2020		- cGA (Algoritmos genéticos celulares). - cGA-sync. - cGA-async.	-Confidencialidad de datos. - Reducir esfuerzo computacional. - Conectividad estable. - Implementación Real.	- Aceptación autoridades y sociedad.
12	(Singh et al., 2019)	Gestión autónoma del tráfico utilizando Big Data en un red de dispositivos habilitados para IoT.	India	2019	-GPS. - Red WI-FI.		- Confidencialidad de datos. - Servidor seguro.	- Costos. - Aceptación de autoridades y sociedad.
13	(Nguyen-Ly et al., 2019)	Implementación de hardware de bajo costo y alta eficiencia del sistema de semáforo inteligente	Vietnam	2019	-Red WI-FI		- Datos precisos y en tiempo real.	- Costos Problemas de escalabilidad

ID	CITA PI1	NOMBRE PI1	PAÍS	AÑO	TECNOLOGÍAS PI2	ALGORITMOS PI3	DESAFÍOS PI4	LIMITACIONES PI4
14	(Hiari & Nofal, 2020)	Un semáforo dinámico descentralizado sistema de gestión: un enfoque inspirado en TCP.	Jordania	2020	- Protocolo de control de transmisión (TCP). - Módulos Bluetooth conectados.	- Algoritmo de semáforo adaptativo. - Algoritmo de triangulación.	- Conectividad estable.	- Problemas de Escalabilidad.
15	(Rezgui et al., 2019)	Algoritmos de programación de semáforos inteligentes	Canadá	2019		- Algoritmo STLS. - Algoritmo STLSDT. - Algoritmo STLSDE.	- Precisión de los datos y en tiempo real.	- Características de simulador. - Costos. - Problemas de Escalabilidad.
16	(Mahima et al., 2020)	Sistema de control dinámico de semáforos mediante Google Maps e IoT.	Sri Lanka	2020		- Algoritmo personalizado (matemático). Se utilizó Python.	- Precisión de los datos y en tiempo real. - Conectividad estable.	- Funcionalidad para 4 vías. - Aceptación de autoridades y sociedad.
17	(Ibrieva et al., 2020)	El uso de la red neuronal YOLO en la tarea de separar vehículos y peatones en una señal intersección controlada.	Rusia	2020		- YOLO basadas en el marco Darknet. - Rastreador SORT.	- Recopilación Continua de Datos - Conectividad estable.	- Costos.
18	(Faqr et al., 2020)	Enfoque de Q-learning profundo para problemas de congestión en ciudades inteligentes	Marruecos	2020		- Deep Q-Network (DQN).	- Conectividad estable.	- Compatibilidad con el sistema actual. - Costos.
19	(Zinchenko et al., 2020)	Visión por Computador en el Control y Optimización de tráfico en la carretera.	Ucrania	2020	Cámaras de circuito cerrado de televisión (CCTV).	- YOLO (biblioteca OpenCV). - Faster R-CNN.	- Reducir esfuerzo computacional. - Conectividad estable. - Recopilación Continua de Datos.	- Dependencia de Datos tecnología específica- Consideraciones Éticas y de Privacidad.
20	(Jauregui et al., 2020)	Mejora de la accesibilidad de las personas mediante un control de señales totalmente accionado en cruces con alta densidad de peatones.	Perú	2020		- Visvap	- Confidencialidad de datos.	- Problemas de escalabilidad. - Costos.
21	(Gandhi et al., 2020)	Control inteligente de semáforos mediante artificial inteligencia.	India	2020	Cámaras de circuito cerrado de televisión (CCTV).	- YOLO (Biblioteca OpenCV).	- Recopilación Continua de Datos. - Confidencialidad de datos.	- Costos.

ID	CITA PI1	NOMBRE PI1	PAÍS	AÑO	TECNOLOGÍAS PI2	ALGORITMOS PI3	DESAFÍOS PI4	LIMITACIONES PI4
22	(Sotiriadis & Mamalis, 2020)	Una arquitectura jerárquica basada en niebla para IoT servicios del sistema de semáforos inteligentes	Grecia	2020		- Akka	- Conectividad estable. - Confidencialidad de datos.	- Problemas de escalabilidad.

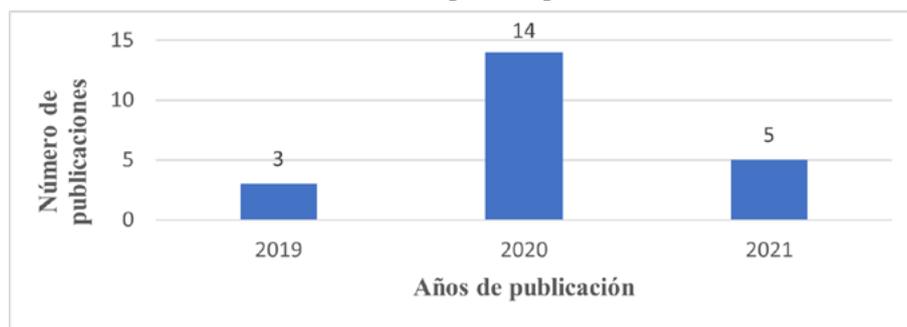
Análisis de datos

A continuación, se detalla el análisis por separado de los campos con los datos que corresponden a cada PI.

PI1 Trabajos encontrados

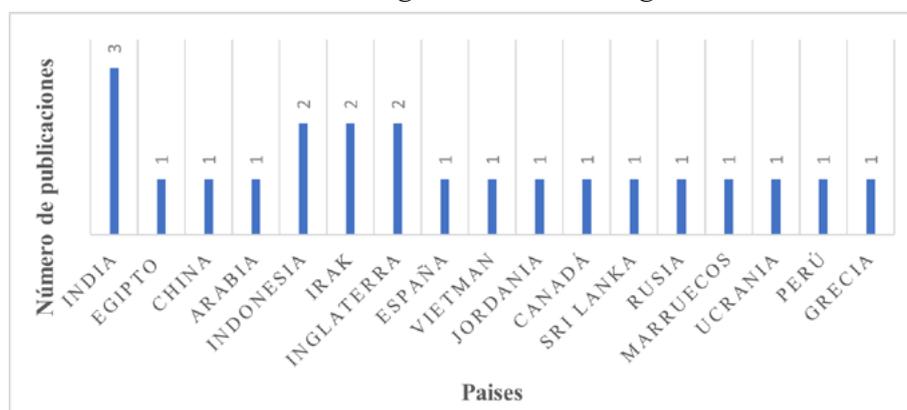
Al llevar a cabo la selección y evaluación de la calidad de los estudios, se exponen los artículos aceptados por año en el periodo comprendido entre 2019 y 2023, tal como se muestra en la Figura 5. Destaca que en el año 2020 se registra la mayor cantidad de artículos aceptados. Es importante señalar que los artículos correspondientes a los años 2022 y 2023 fueron excluidos debido a la falta de acceso o porque su contenido no era relevante para la investigación.

Figura 5
Artículos Aceptados por Año



En la Figura 6 se muestran los trabajos encontrados según los países de origen. La mayoría de propuestas resultan del continente asiático, titulándola India. Cabe recalcar que se obtuvieron resultados de diversos países.

Figura 6
Artículos Según su País de Origen

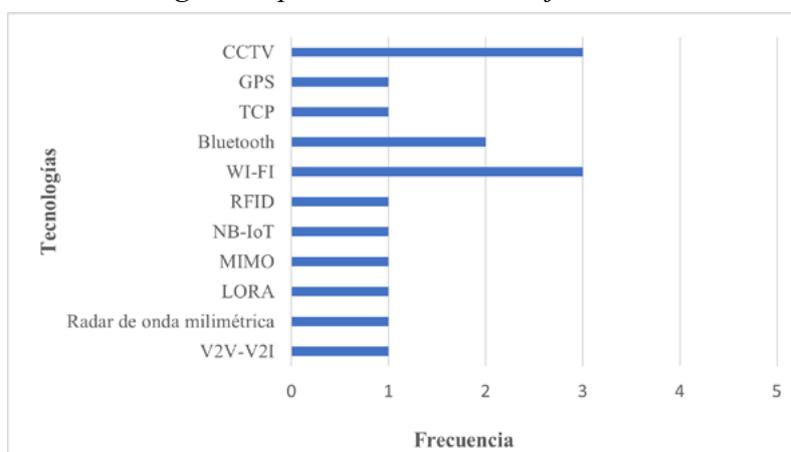


PI2 Tecnologías de comunicación

Se encontraron diferentes tipos de tecnologías que se utilizan en semaforización inteligente. En la Figura 7 se muestra la cantidad de las tecnologías aplicadas en los estudios seleccionados.

Las más utilizadas fueron Wi-Fi y circuito cerrado de televisión (CCTV), debido a su capacidad para manejar grandes volúmenes de datos en tiempo real y su facilidad de implementación. Otras tecnologías como el módulo Bluetooth también juegan un papel importante debido a que se utiliza para detectar, monitorear y gestionar el tráfico vehicular de manera eficiente, aprovechando su bajo costo y bajo consumo de energía. Sin embargo, tiene limitantes como alcance limitado, dependencia de dispositivos activos, interferencias y privacidad de datos (Saad et al., 2020).

Figura 7
Tecnologías Empleadas en los Trabajos Estudiados



Como se muestra en Figura 7, las tecnologías menos utilizadas en los estudios seleccionados fueron GPS, TCP, RFID, NB-IoT, MIMO, LORA, Radar de ondas milimétrica y V2V-V2I, debido a que tienen sus limitaciones en alcance, dependencia de activación por parte de los usuarios y capacidad de manejo de datos.

PI3 Algoritmos de programación

Existen distintos algoritmos de programación para la detección y gestión eficiente del tráfico. En los trabajos de investigación revisados, como se muestra en la Figura 8, se destacan los siguientes algoritmos:

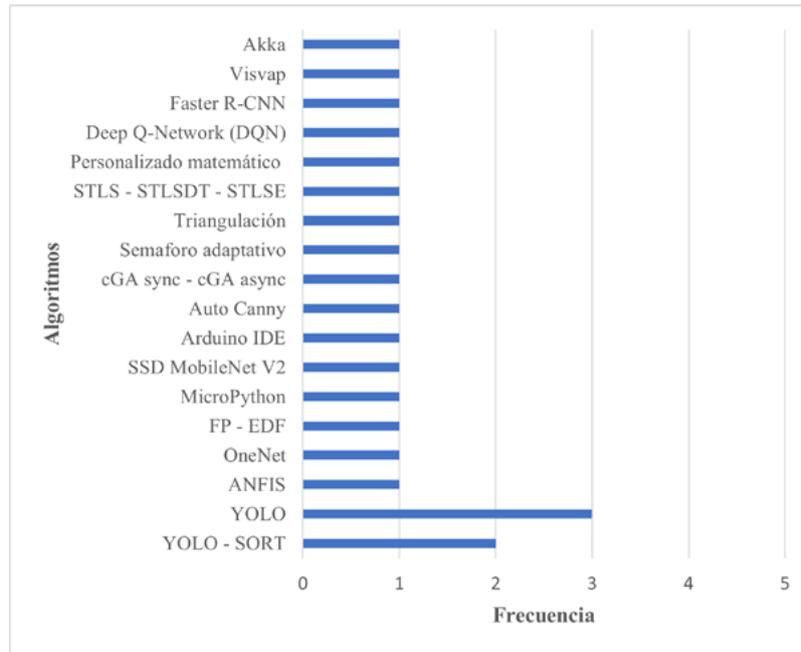
YOLO (You Only Look Once)

YOLO es un algoritmo de detección de objetos en imágenes y videos que se ha utilizado exitosamente en el desarrollo de semáforos inteligentes. YOLO divide la imagen en cuadrículas y realiza predicciones para cada cuadrícula, lo que lo hace eficiente para aplicaciones en tiempo real, como la gestión de semáforos (Pérez et al., 2019).

YOLO en conjunto con SORT (Simple Online and Realtime Tracking)

La combinación de YOLO con SORT mejora la capacidad del sistema para realizar un seguimiento continuo y preciso de objetos a medida que se mueven en el entorno. SORT se encarga de asignar identificadores únicos a los objetos detectados, facilitando así un seguimiento efectivo. La integración de YOLO y SORT proporciona un sistema más robusto para la gestión del tráfico en entornos urbanos (Ibriaeva et al., 2020).

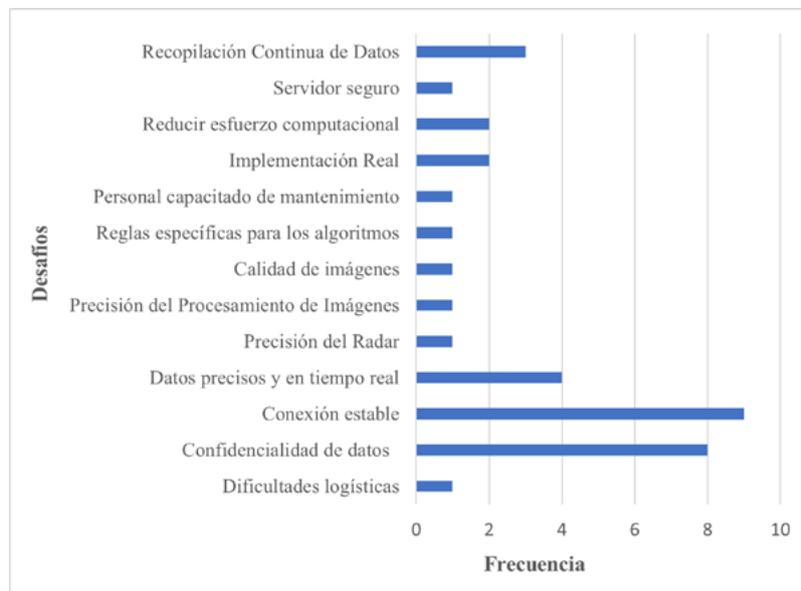
Figura 8
Algoritmos de Programación Encontrados en los Trabajos Estudiados



PI4 Desafíos y limitaciones

La implementación de la semaforización inteligente presenta varios desafíos, como se muestra en la Figura 9, que requieren una atención cuidadosa para garantizar su eficacia y éxito.

Figura 9
Desafíos Encontrados en los Trabajos Estudiado



Existen dos de estos desafíos significativos que se presentan en la mayoría de trabajos estudiados, como lo son:

Conexión estable

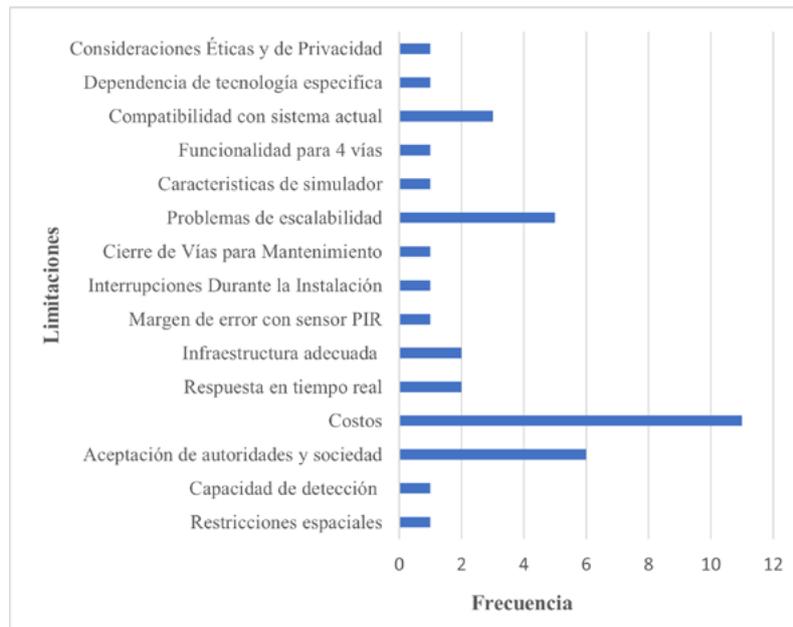
La semaforización inteligente depende en gran medida de la conectividad estable para la comunicación efectiva entre los semáforos y otros dispositivos. Desafíos como la interferencia

de señal, la pérdida de conexión y la congestión de la red pueden afectar negativamente el rendimiento del sistema, lo que destaca la importancia de implementar soluciones robustas de conectividad.

Confidencialidad de datos

La semaforización inteligente implica la recopilación y el intercambio de datos sensibles, como información de tráfico y patrones de movimiento de vehículos. Garantizar la confidencialidad de estos datos es crucial para proteger la privacidad de los usuarios y prevenir posibles riesgos de seguridad.

Figura 10
Limitaciones Encontradas en los Trabajos Estudiados



También existen diversas limitaciones para la implementación de semaforización inteligente, como se muestra en la Figura 10, que se deben abordar para garantizar su viabilidad y adopción exitosa. Las siguientes son las limitaciones más notables:

Costos

Esta es una de las principales limitantes para la implementación de la infraestructura necesaria de semaforización inteligente, debido a que los sistemas avanzados a menudo requieren inversiones significativas en tecnología, equipos y software especializado. Este costo puede ser una barrera para la adopción generalizada, especialmente en áreas con recursos financieros limitados.

Aceptación de autoridades y sociedad

La implementación exitosa de la semaforización inteligente depende en gran medida de la aceptación y cooperación tanto de las autoridades de tránsito como de la sociedad en general. La falta de comprensión, resistencia al cambio o preocupaciones sobre la privacidad pueden generar limitantes significativas. Es esencial abordar estos aspectos a través de campañas de concientización y una comunicación transparente para fomentar la aceptación y confianza.

Problemas de escalabilidad

A medida que las ciudades crecen y evolucionan, la semaforización inteligente debe ser capaz de escalar eficientemente para adaptarse a entornos urbanos en constante cambio.

Los problemas de escalabilidad pueden surgir debido a la complejidad de la infraestructura, la diversidad de las condiciones de tráfico y la necesidad de coordinar múltiples intersecciones. Garantizar que la tecnología sea escalable y flexible es crucial para su implementación efectiva a largo plazo.

Análisis de propuesta en base a los trabajos estudiados

La investigación revela que la implementación de un sistema de semaforización inteligente puede ser beneficiosa para mejorar la seguridad vial y fomentar la movilidad sostenible. Se presenta un análisis en base a los resultados encontrados:

Aspectos positivos

Adaptando nuevas tecnologías a la infraestructura existente, se encuentra la red WiFi que ayuda a la recopilación de datos, mientras que al implementar cámaras o CCTV ayudará a capturar imágenes en tiempo real.

Por otro lado, para complementar el sistema, es importante definir un algoritmo que ayude a tener efectividad del mismo. En la revisión bibliográfica se destacó el algoritmo YOLO como una solución efectiva para la detección de objetos en tiempo real. Su capacidad para identificar múltiples objetos simultáneamente puede mejorar la efectividad del sistema al abordar la complejidad del tráfico urbano. A su vez, tuvo muy buenos resultados a niveles de pruebas de simulación.

Aspectos a considerar

Sin embargo, para aprobar una implementación de recreación de un semáforo inteligente es importante considerar aspectos como desafíos o limitaciones que se deben abordar.

Uno de ellos es una conexión estable, que es crucial para garantizar el funcionamiento continuo del sistema. Se deben implementar medidas robustas para mitigar problemas de conectividad y asegurar una operación consistente.

Además, la preocupación por la confidencialidad de datos es un factor crítico, especialmente cuando se utilizan cámaras de video. La implementación de protocolos de seguridad sólidos es esencial para proteger la información sensible recopilada por el sistema.

Por otro lado, existen limitaciones para la implementación de estos sistemas como los gastos financieros. No obstante, se pueden analizar estrategias para reducir costos, como la optimización de recursos y la búsqueda de soluciones rentables, pueden abordar estos obstáculos.

También existe otra limitante, la aceptación por parte de las autoridades y la sociedad para el éxito de la implementación. Por último, pero no menos importantes, están los problemas de escalabilidad. La incorporación de estrategias es fundamental para garantizar que el sistema pueda adaptarse eficazmente a los cambios en el entorno urbano.

Conclusiones

La semaforización inteligente, como se describe en este artículo, presenta un avance significativo en la gestión del tráfico urbano al integrar tecnologías IoT y visión por computador. Los estudios revisados confirman que la implementación de tecnologías como Wi-Fi, CCTV y algoritmos como YOLO pueden mejorar sustancialmente la seguridad vial y la eficiencia del tráfico. Además, en términos de incorporación de tecnologías avanzadas, logra ser una solución

eficiente del tráfico, optimizando los tiempos de espera y reduciendo los riesgos de accidentes. La capacidad de recopilar y analizar datos en tiempo real permite ajustes dinámicos en la regulación del tráfico, adaptándose a las necesidades cambiantes de la infraestructura urbana y proporcionando un ambiente más seguro para peatones y conductores.

Sin embargo, a pesar de los beneficios potenciales, persisten desafíos técnicos y logísticos, como la precisión en la detección en condiciones adversas y la confidencialidad de los datos, que deben abordarse para garantizar una implementación efectiva y segura. Además, existen limitaciones actuales como costos elevados y la aceptación social, de forma que se destaca la necesidad de seguir investigando y optimizando estos sistemas para superar los desafíos y limitaciones actuales para lograr la movilidad sostenible y segura deseada en las Smart Cities.

Referencias

- Aarón, M. A., Gómez, C. A., Fontalvo, J., Gómez, A. J., Aarón, M. A., Gómez, C. A., Fontalvo, J., & Gómez, A. J. (2019). Análisis de la Movilidad Vehicular en el Departamento de La Guajira usando Simulación. El Caso de Riohacha y Maicao. *Información tecnológica*, 30(1), 321-332. <https://doi.org/10.4067/S0718-07642019000100321>
- Abohashima, H., Gheith, M., & Eltawil, A. (2020). A proposed IoT based Smart traffic lights control system within a V2X framework. *2020 2nd Novel Intelligent and Leading Emerging Sciences Conference (NILES)*, 338-343. <https://doi.org/10.1109/NILES50944.2020.9257874>
- Aleko, D. R., & Djahel, S. (2020). An Efficient Adaptive Traffic Light Control System for Urban Road Traffic Congestion Reduction in Smart Cities. *Information*, 11(2), 119. <https://doi.org/10.3390/info11020119>
- Aulia Yusuf, A. N., Setyo Arifin, A., & Yuli Zulkifli, F. (2021). Recent development of smart traffic lights. *IAES International Journal of Artificial Intelligence (IJ-AI)*, 10(1), 224. <https://doi.org/10.11591/ijai.v10.i1.pp224-233>
- Chabchoub, A., Hamouda, A., Al-Ahmadi, S., & Cherif, A. (2021). Intelligent Traffic Light Controller using Fuzzy Logic and Image Processing. *International Journal of Advanced Computer Science and Applications*, 12(4). <https://doi.org/10.14569/IJACSA.2021.0120450>
- Dangi, K., Kushwaha, M. S., & Bakthula, R. (2020). An Intelligent Traffic Light Control System Based on Density of Traffic. En J. K. Mandal & D. Bhattacharya (Eds.), *Emerging Technology in Modelling and Graphics* (Vol. 937, pp. 741-752). Springer Singapore. https://doi.org/10.1007/978-981-13-7403-6_65
- Evan, Wulandari, M., & Syamsudin, E. (2020). Recognition of Pedestrian Traffic Light using Tensorflow And SSD MobileNet V2. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 1007(1), 012022. <https://doi.org/10.1088/1757-899X/1007/1/012022>
- Faqir, N., En-Nahnahi, N., & Boumhidi, J. (2020). Deep Q-learning Approach for Congestion Problem In Smart Cities. *2020 Fourth International Conference On Intelligent Computing in Data Sciences (ICDS)*, 1-6. <https://doi.org/10.1109/ICDS50568.2020.9268709>
- Gandhi, M. M., Solanki, D. S., Daptardar, R. S., & Baloorkar, N. S. (2020). Smart Control of Traffic Light Using Artificial Intelligence. *2020 5th IEEE International Conference on Recent Advances and Innovations in Engineering (ICRAIE)*, 1-6. <https://doi.org/10.1109/ICRAIE51050.2020.9358334>
- Guo, P., Xiang, H., Wu, S., Pu, T., & Chen, D. (2020). Design of Intelligent Pedestrian and Vehicle Guidance System for Zebra Crossing Based on Millimeter Wave Radar. *Journal of Physics: Conference Series*, 1646(1), 012125. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1646/1/012125>
- Hiari, O., & Nofal, I. (2020). A Dynamic Decentralized Traffic Light Management System: A TCP Inspired Approach. *NOMS 2020 - 2020 IEEE/IFIP Network Operations and Management Symposium*, 1-4. <https://doi.org/10.1109/NOMS47738.2020.9110461>
- Ibriaeva, O., Shepelev, V., Zhulev, A., Chizhova, M., Yakupova, G., & Fatikhova, L. (2020). The Use of the YOLO Neural Network in the Task of Separating Vehicles and Pedestrians at a Signal-Controlled

- Intersection. *2020 Global Smart Industry Conference (GloSIC)*, 303-308. <https://doi.org/10.1109/GloSIC50886.2020.9267845>
- Jauregui, C., Torres, M., Silvera, M., & Campos, F. (2020). Improving people's accessibility through a fully actuated signal control at intersections with high density of pedestrians. *2020 Congreso Internacional de Innovación y Tendencias En Ingeniería (CONIITI)*, 1-6. <https://doi.org/10.1109/CONIITI51147.2020.9240288>
- Leon, E. R. W., & Ygnacio, M. A. C. (2024). Una revisión sistemática de literatura sobre implementaciones de sistemas de control de tráfico. *Interfases*, 019, Article 019. <https://doi.org/10.26439/interfases2024.n19.6779>
- Mahima, K. T. Y., Abeygunawardana, R. A. B., & Ginige, T. N. D. S. (2020). Dynamic Traffic Light Controlling System Using Google Maps and IoT. *2020 From Innovation to Impact (FITI)*, 1-5. <https://doi.org/10.1109/FITI52050.2020.9424870>
- Michelle, G. N. A., & Alberto, S. C. O. (s. f.). *INGENIERO EN NETWORKING Y TELECOMUNICACIONES*.
- Nguyen-Ly, T. T., Tran, L., & Huynh, T. V. (2019). Low-cost, high-efficiency hardware implementation of smart traffic light system. *2019 International Symposium on Electrical and Electronics Engineering (ISEE)*, 28-32. <https://doi.org/10.1109/ISEE2.2019.8921146>
- Palma, L. V. G., & García, L. C. (2023). Estudio bibliográfico de Sistemas de Transporte Inteligente orientado a los buses urbanos de la ciudad Portoviejo. *Polo del Conocimiento*, 8(5), Article 5. <https://doi.org/10.23857/pc.v8i5.5633>
- Pérez, R. M., Arias, J. S., & Porras, A. M. (2019). Introducción al Aprendizaje Automático con YOLO. *Tecnología Vital*, 2(6), Article 6. <https://revistas.ulatina.ac.cr/index.php/tecnologiavital/article/view/250>
- Ramadhan, Z. A., Salman, R. H., Mohammed, B. K., & Alwaily, A. H. (2021). Design and implement a smart traffic light controlled by internet of things. *Periodicals of Engineering and Natural Sciences (PEN)*, 9(4), 542. <https://doi.org/10.21533/pen.v9i4.2351>
- Rezgui, J., Barri, M., & Gayta, R. (2019). Smart Traffic Light Scheduling Algorithms. *2019 International Conference on Smart Applications, Communications and Networking (SmartNets)*, 1-7. <https://doi.org/10.1109/SmartNets48225.2019.9069760>
- Rodríguez Romo, T. M., & Bravo León, J. A. (2021). IoT para la semaforización inteligente en la ciudad de Guayaquil. *Polo del Conocimiento: Revista científico - profesional*, 6(11), 1022-1039.
- Saad, W. K., Hashim, Y., & Jabbar, W. A. (2020). Design and Implementation of Portable Smart Wireless Pedestrian Crossing Control System. *IEEE Access*, 8, 106109-106120. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2020.3000014>
- Sharma, M., Bansal, A., Kashyap, V., Goyal, P., & Sheikh, T. H. (2021). Intelligent Traffic Light Control System Based On Traffic Environment Using Deep Learning. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 1022(1), 012122. <https://doi.org/10.1088/1757-899X/1022/1/012122>
- Singh, R., Saini, S., & Bathla, R. (2019). Autonomous Traffic Management using Big Data in a Network of IoT Enabled Devices. *2019 2nd International Conference on Power Energy, Environment and Intelligent Control (PEEIC)*, 33-37. <https://doi.org/10.1109/PEEIC47157.2019.8976687>
- Sotiriadis, L., & Mamalis, B. (2020). A Hierarchical Fog-based Architecture for IoT-enabled Intelligent Traffic Lights System Services. *24th Pan-Hellenic Conference on Informatics*, 127-130. <https://doi.org/10.1145/3437120.3437290>
- Villagra, A., Alba, E., & Luque, G. (2020). A better understanding on traffic light scheduling: New cellular GAs and new in-depth analysis of solutions. *Journal of Computational Science*, 41, 101085. <https://doi.org/10.1016/j.jocs.2020.101085>
- Zinchenko, V., Kondratenko, G., Sidenko, I., & Kondratenko, Y. (2020). Computer Vision in Control and Optimization of Road Traffic. *2020 IEEE Third International Conference on Data Stream Mining & Processing (DSMP)*, 249-254. <https://doi.org/10.1109/DSMP47368.2020.9204329>