






# Sistema semafórico inteligente con análisis visual en tiempo real y energía limpia con prioridad para vehículos de emergencia

## Intelligent traffic light system with real-time visual analysis and clean energy with priority for emergency vehicles

Lorena Rachell Cortes-Fuentes<sup>1</sup>, Stephen Alberto Urribarra-Hernandez<sup>2</sup>, Yuraisma Moreno<sup>3</sup>, Juan Jose Saldana- Barrios<sup>4</sup>

Cortes-Fuentes, Urribarra-Hernandez, S.A; Moreno, Y; Saldana- Barrios, J.J. Sistema semafórico inteligente con análisis visual en tiempo real y energía limpia con prioridad para vehículos de emergencia. *Tecnología en Marcha*. Vol. 39 N° especial. Junio, 2026. VIII Congreso Internacional en Inteligencia Ambiental, Ingeniería de Software, Salud Electrónica y Móvil (AmITIC). Pág. 84-90.

 <https://doi.org/10.18845/tm.v39i7.8745>

- 1 Grupo de Investigación en Ingeniería de Software Aplicada. Universidad Tecnológica de Panamá. David, Panamá.  
 [lorena.cortes@utp.ac.pa](mailto:lorena.cortes@utp.ac.pa)  
 <https://orcid.org/0009-0003-2684-0040>
- 2 Grupo de Investigación en Ingeniería de Software Aplicada. Universidad Tecnológica de Panamá. David, Panamá  
 [stephen.urribarra@utp.ac.pa](mailto:stephen.urribarra@utp.ac.pa)  
 <https://orcid.org/0009-0000-0252-6856>
- 3 Grupo de Investigación en Ingeniería de Software Aplicada. Universidad Tecnológica de Panamá. David, Panamá.  
 [yuraisma.moreno@utp.ac.pa](mailto:yuraisma.moreno@utp.ac.pa)  
 <https://orcid.org/0000-0002-5478-4539>
- 4 Grupo de Investigación en Ingeniería de Software Aplicada. Universidad Tecnológica de Panamá. David, Panamá.  
 [juan.saldana@utp.ac.pa](mailto:juan.saldana@utp.ac.pa)  
 <https://orcid.org/0000-0001-8119-400>



## Palabras clave

Automatización; detección de emergencia; innovación tecnológica; tránsito vehicular; visión artificial.

## Resumen

En las zonas urbanas de Panamá, la gestión del tráfico presenta una problemática recurrente, los semáforos operan con ciclos fijos, sin tener en cuenta el flujo vehicular en tiempo real ni las situaciones de emergencia. Esta falta de adaptabilidad ocasiona congestiones innecesarias, pérdida de tiempo, aumento en el consumo de combustible y mayores emisiones contaminantes. La ineficiencia del sistema actual refleja la necesidad urgente de soluciones tecnológicas que optimicen la movilidad urbana. En respuesta a este desafío, el presente proyecto propone el desarrollo de un prototipo funcional de semáforo inteligente y autosostenible, diseñado para adaptarse dinámicamente a las condiciones del tráfico. El sistema emplea una cámara conectada a un modelo de inteligencia artificial capaz de analizar imágenes en tiempo real. A través del modelo YOLO (You Only Look Once), se detecta la cantidad de vehículos en cada vía y se ajustan automáticamente los ciclos semafóricos para optimizar el flujo. Además, se integran micrófonos que permiten identificar sonidos de sirenas, otorgando prioridad de paso a ambulancias y vehículos de emergencia. Este enfoque no solo mejora la eficiencia vial, sino que también refuerza la seguridad ciudadana. El prototipo físico fue construido con una placa Arduino y luces LED para simular la señalización, mientras que el procesamiento se desarrolló en Python utilizando YOLO junto con cámaras para la detección de tráfico, desarrollando una lógica para la prioridad a emergencias y se alimenta con energía solar lo que refuerza su compromiso con la sostenibilidad ambiental.

## Keywords

Artificial vision; automation; emergency detection; technological innovation; vehicular traffic.

## Abstract

In Panama's urban areas, traffic management presents a recurring problem: traffic lights operate with fixed cycles, without taking into account the real-time flow of vehicles or emergency situations. This lack of adaptability causes unnecessary congestion, wasted time, increased fuel consumption and higher pollutant emissions. The inefficiency of the current system reflects the urgent need for technological solutions to optimize urban mobility. In response to this challenge, the present project proposes the development of a functional prototype of an intelligent and self-sustainable traffic light, designed to dynamically adapt to traffic conditions. The system employs a camera connected to an artificial intelligence model capable of analyzing images in real time. Through the YOLO (You Only Look Once) model, it detects the number of vehicles on each lane and automatically adjusts the traffic light cycles to optimize the flow. In addition, microphones are integrated to identify siren sounds, giving priority passage to ambulances and emergency vehicles. This approach not only improves road efficiency but also enhances public safety. The physical prototype was built with an Arduino board and LED lights to simulate signaling, while the processing was developed in Python using YOLO along with cameras for traffic detection and developing logic for emergency priority, and is solar powered, reinforcing its commitment to environmental sustainability.

## Introducción

El creciente desarrollo urbano y el aumento del parque automotor han generado una complejidad en la gestión del tráfico vehicular, especialmente en zonas urbanas de alta densidad. Uno de los elementos clave para mantener el orden y la seguridad vial son los semáforos.

Los semáforos tradicionales operan con ciclos de tiempo preestablecidos, sin tener en cuenta las condiciones reales del tráfico, lo que puede ocasionar congestiones innecesarias, aumento en los tiempos de espera y mayor consumo de combustible [1]. A su vez, el caos que genera una situación de emergencia en el tráfico puede ser catastrófico poniendo en peligro la vida humana. Por otro lado, la dependencia de la red eléctrica tradicional genera un consumo energético constante. Este proyecto plantea la creación de un prototipo funcional que integra tecnologías como visión por computadora, inteligencia artificial, sensores y energías renovables mediante paneles solares.

La propuesta se alinea con los ODS de la ONU: con el ODS 11, al mejorar la movilidad urbana y reducir los tiempos de espera; con el ODS 7, al usar paneles solares que garantizan energía limpia y autónoma; y con el ODS 9, al integrar inteligencia artificial, sensores y visión por computadora para fomentar innovación tecnológica en la infraestructura vial. Además, contribuye al ODS 13 al reducir emisiones contaminantes mediante el uso de energías renovables y la optimización del tráfico [2].

## Planteamiento del Problema

En Panamá, muchas intersecciones aún utilizan semáforos convencionales con ciclos fijos que no consideran la densidad real del tráfico. Esto provoca congestión vehicular, incremento del riesgo de accidentes y un alto consumo energético debido a su dependencia del suministro eléctrico [1] [3]. Además, se desaprovecha el potencial de la energía solar, a pesar de la alta irradiación disponible en el país, y no se recopilan datos en tiempo real para una gestión eficiente de la movilidad [2] [4].

Ante estas limitaciones, se hace necesaria la implementación de un sistema de semáforos inteligentes, alimentados con energía solar y apoyados en análisis de tráfico en tiempo real, que respondan de manera dinámica a las condiciones del entorno, mejorando la eficiencia, sostenibilidad y seguridad vial.

## Objetivos

1. *Objetivos Generales:* Modelar y desarrollar un prototipo funcional de semáforo inteligente sostenible, capaz de regular el flujo vehicular en tiempo real mediante visión por cámara, con alimentación por panel solar, para optimizar la movilidad urbana y reducir el impacto ambiental.
2. *Objetivos Específicos*
  - Modelar e implementar un sistema semafórico con control automático basado en la detección de vehículos.
  - Integrar un sistema de alimentación solar con batería para garantizar autonomía energética.
  - Desarrollar una lógica de control adaptable que dé prioridad a la vía con mayor densidad vehicular.
  - Establecer los componentes electrónicos, software y energía necesarios para una futura escala real.

Este documento está estructurado de la siguiente manera: en la sección 2 se presenta la formulación de hipótesis y definición de variables. La sección 3 se presenta materiales y metodología. Sección 4 se presenta muestra los resultados. La sección describe las conclusiones y por último sección 6 se incluyen las referencias.

## Marco teórico

El control del tráfico vehicular es esencial para la movilidad urbana. Los semáforos tradicionales, al operar con ciclos fijos, resultan ineficientes en zonas de alto flujo, generando congestión, demoras y mayor contaminación [1] [5].

Los sistemas de transporte inteligentes (ITS) integran sensores, visión por computadora e inteligencia artificial para optimizar la regulación del tráfico [6]. Modelos como YOLO permiten detectar vehículos en tiempo real y ajustar los tiempos semafóricos según la densidad vial [7].

El uso de energía solar en señalización vial reduce costos y promueve la sostenibilidad [2], mientras que la detección acústica de sirenas facilita la prioridad a vehículos de emergencia, mejorando la seguridad [8].

En conjunto, estas tecnologías conforman un enfoque integral de semáforos inteligentes que optimizan la movilidad, impulsan la sostenibilidad y refuerzan la seguridad vial, en concordancia con los Objetivos de Desarrollo Sostenible.

## Formulación de hipótesis

Se propone un sistema semafórico inteligente autosostenible, basado en visión artificial, inteligencia artificial y energía solar, para optimizar la movilidad en intersecciones de alto flujo vehicular. El sistema ajustará dinámicamente los tiempos de luz según la densidad del tráfico detectada por una cámara, superando la rigidez de los ciclos fijos [7] [9]. Además, mediante sensores acústicos podrá reconocer sirenas de vehículos de emergencia y priorizar su paso [8]. Al estar alimentado por paneles solares, reducirá el consumo energético y operará de forma autónoma incluso en zonas con acceso limitado a la red eléctrica [2] [4]. Se espera que este prototipo disminuya los tiempos de espera, mejore la fluidez del tránsito y contribuya a la sostenibilidad ambiental al reducir consumo energético y emisiones de CO<sub>2</sub>.

## Materiales y metodología

### A. Materiales

Se utilizó el Arduino UNO, LEDs y resistencias para simular las luces del semáforo (rojo, amarillo, verde). Un sensor ultrasonico HC-SR04 para detectar la presencia y distancia de vehículos [10].

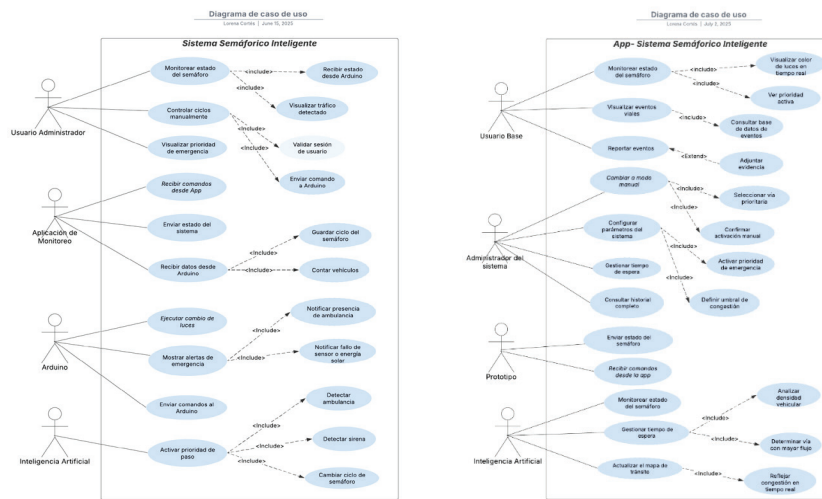
Como fuente de energía renovable se instaló un panel solar + batería recargable [11]. En cuanto a la detección de tráfico y visión artificial se utilizó una cámara de laptop juntos con el software de procesamiento (OpenCV en Python). Microsoft Excel para el registro y análisis de datos y Lucidchart para el modelado UML (caso de uso y clases). Por último Firebase para el almacenamiento y monitoreo en tiempo real del sistema.

### B. Metodología OpenUP

Es un proceso de desarrollo ágil e iterativo, centrado en casos de uso, arquitectura dirigida por riesgos y colaboración activa. A continuación, se describe su aplicación en este proyecto:

1) *Fase de inicio*: En esta fase se realiza la Identificación de los interesados (Profesores, estudiantes y posibles usuarios urbanos.) Se define el alcance desarrollando un semáforo inteligente y sostenible con visión por cámara, sensores y por último se identifican los riesgos posible (baja precisión de la cámara en condiciones de baja luz, interferencia en los sensores ultrasónicos, fallos en la captación de energía solar) .

2) *Fase de elaboración*: en esta fase se realizo la recolección y analisis de requisitos, como se muestra en la figura 1, diseño de arquitectura y casos de uso, se realizo la validación de tecnicas con pruebas preliminares junto con la planificación de iteraciones y gestión de riesgos.



**Figura 1.** Diagrama de Casos de Uso del Prototipo de Semáforo Inteligente y diagrama de Casos de Uso de la Aplicación de Monitoreo.

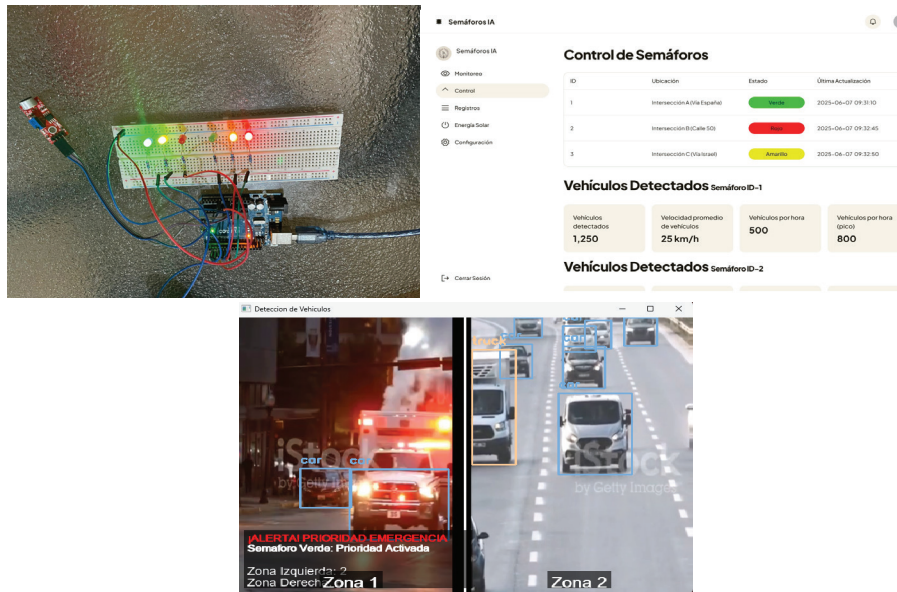
3) *Fase de construcción*

- a) *Iteración 1*: Conexión de LEDs al Arduino y simulación básica de semáforo.
- b) *Iteración 2*: Sensor ultrasónico para detección de vehículos.
- c) *Iteración 3*: Captura y análisis de imágenes con OpenCV.
- d) *Iteración 4*: Optimización del algoritmo de decisión para cambio de luces.
- e) *Iteración 5*: Integración del sistema de energía solar.

4) *Fase de transición*: En esta fase se realizaron las pruebas finales, la documentación técnica y presentación del prototipo.

**Resultados**

En esta fase se construyó un prototipo funcional dividido en dos componentes principales: el sistema físico de control de luces mediante Arduino y el prototipo visual de la aplicación de monitoreo inteligente tal y como se muestra en la figura 2.



**Figura 2.** Prototipo físico del semáforo y plataforma de detección vehicular inteligente.

El sistema registra información clave (conteo de vehículos, activación de luces, detección de emergencias y consumo energético), facilitando el análisis y el monitoreo en tiempo real desde la aplicación.

## Conclusiones

El desarrollo del prototipo de semáforo inteligente autosostenible demostró la viabilidad de implementar un sistema de control vehicular que integra inteligencia artificial, energía renovable y detección de emergencias. A través de la construcción de una maqueta física con Arduino y la programación de algoritmos de visión artificial, fue posible simular un entorno en el que el flujo vehicular es gestionado de forma dinámica en función de la densidad del tráfico.

Además, el uso de paneles solares como fuente de alimentación permitió validar el enfoque sostenible del proyecto, lo que refuerza su potencial para ser implementado en zonas urbanas de alta congestión sin depender completamente de la red eléctrica [12]. La integración de sensores acústicos y/o micrófonos con IA para detectar el sonido de ambulancias constituye un aporte relevante en materia de prioridad y atención a emergencias.

## Agradecimientos

Se agradece al Sistema Nacional de Investigación (SNI) de la SENACYT- Panamá, del cual es asesor Juan José Saldana-Barrios es miembro.

## Referencias

- [1] A. Molina-Navarro, S. Zamora-Castro, M. Remess-Pérez y E. Lagunes-Lagunes, "Los semáforos inteligentes en la logística urbana sustentable," *Revista de Aplicaciones de la Ingeniería*, vol. 3, no. 9, pp. 26–33, dic. 2016.
- [2] K. Pal et al., "Renewable energy-powered traffic signalization as a step to carbon-neutral cities (The case of Western Balkans)," *Sustainability*, vol. 15, no. 7, p. 6164, 2023.
- [3] L. Ramirez-Polo, M. A. Jimenez-Barros, V. Varela Narváez y C. Parodi Daza, "Simulation and optimization of traffic lights for vehicles flow in high traffic areas," *Procedia Computer Science*, vol. 198, pp. 548–553, 2022.



- [4] L. Jácome, J. Benavides, D. Jara, G. Riofrio, F. Alvarado y M. Pesantez, "A survey on intelligent traffic lights," ResearchGate, oct. 2018.
- [5] J. S. Gálvez, L. A. Gálvez y E. R. Orozco, "Sistema inteligente de gestión de semáforos en tiempo real," Revista Ibérica de Sistemas e Tecnologías de Informação, no. 54, pp. 69–83, jun. 2024.
- [6] L. M. Navarro, "Sistema de control de semáforos vehiculares inteligente para la ciudad de Oaxaca de Juárez," Tesis de licenciatura, Universidad Nacional Autónoma de México, UNAM Repositorio Institucional, 2016.
- [7] S. Damadam, M. Zourbakhsh, R. Javidan y A. Faroughi, "An intelligent IoT based traffic light management system: Deep reinforcement learning," Smart Cities, vol. 5, no. 4, pp. 1293–1311, 2022.
- [8] J. Hurtado-Gómez, J. D. Romo, R. Salazar-Cabrera, Á. Pachón de la Cruz y J. M. Madrid Molina, "Traffic signal control system based on intelligent transportation system and reinforcement learning," Electronics, vol. 10, no. 19, p. 2363, 2021.
- [9] M. Poomalai, S. Karthick y S. Saravanan, "Role of solar powered automatic traffic light controller for energy conservation," International Journal of Engineering Research and Technology, vol. 5, no. 12, pp. 989–995, dic. 2018.
- [10] M. Gómez, "Uso de sensores ultrasónicos en sistemas inteligentes de transporte," Revista Científica Electrónica de Ingeniería, vol. 5, pp. 88–95, 2020.
- [11] Admin2, "Design, construction and implementation of a solar-powered, four-way traffic control system," JETI (Special Issue), dic. 2024.
- [12] D. Chacón, "Eficiencia energética en sistemas de transporte urbano," Revista Andina de Energías Renovables, vol. 11, no. 2, pp. 33–40, 2022.

### **Declaración sobre uso de Inteligencia Artificial (IA)**

Para la revisión gramatical y ortográfica de este artículo, así como para la traducción de textos empleamos la herramienta de IA *ChatGPT*. Esta nos permitió identificar errores y mejorar la fluidez del texto. No obstante, realizamos una revisión final para garantizar que el artículo cumpliera con los estándares de calidad de la revista.