

## GESTIÓN SUSTENTABLE DEL TRÁNSITO EN CIUDADES INTELIGENTES Y SOSTENIBLES

Villagra A., Pandolfi D., Mercado V., Ramos L., Torres M., Del Do M., Molina D.,  
Varas V.

Laboratorio de Tecnologías Emergentes (LabTEM)  
Instituto de Tecnología Aplicada (ITA) - Unidad Académica Caleta Olivia  
Universidad Nacional de la Patagonia Austral

{avillagra, dpandolfi, vmercado,lramos}@uaco.unpa.edu.ar, [marianagalos@gmail.com](mailto:marianagalos@gmail.com),  
[madeldo@gmail.com](mailto:madeldo@gmail.com), {dmolina,vvaras}@uaco.unpa.edu.ar

### RESUMEN

Los sistemas de movilidad urbana son variados y han evolucionado rápidamente con nuevos servicios para adaptarse a una demanda creciente, considerando los cuatro requisitos modernos para ciudades inteligentes: ser inclusivos, seguros, resilientes y sostenibles. Estos nuevos servicios tratan en gran medida con vehículos, semáforos y otros "objetos" similares. Sin embargo, los problemas de tránsito aumentan constantemente y las ciudades del futuro solo pueden ser verdaderamente inteligentes si habilitan la Movilidad Inteligente (en inglés, *Smart Mobility*). Mejorar la movilidad representa un gran reto.

En esta línea de trabajo se presenta una propuesta de investigación enfocada en los desafíos relacionados con la movilidad. Se hace desde la perspectiva de construir nuevos prototipos basados en sistemas inteligentes, mejorados con metodología y tecnologías diferentes con el fin de exhibir "inteligencia holística". En particular se pretende contribuir a la reducción del consumo de combustibles, la emisión de gases, y el tiempo de traslado, así como al mejoramiento de la calidad del aire. Se utiliza la infraestructura existente (semáforos), optimizando el flujo de vehículos sin ningún coste adicional, y sin requerir el uso de aplicaciones especializadas por parte de los conductores.

**Palabras clave:** Ciudades Inteligentes, Optimización, Planificación semafórica, Movilidad Inteligente.

### CONTEXTO

La línea de trabajo se lleva a cabo en el Laboratorio de Tecnologías Emergentes (LabTEM), Instituto de Tecnología Aplicada (ITA) de la Unidad Académica Caleta Olivia Universidad Nacional de la Patagonia Austral, en el marco del Proyecto de Investigación 29/B273 "Ciudades inteligentes y sostenibles: iniciativas y desafíos". Este proyecto se desarrolla en cooperación con el LIDIC de la UNSL, y el Grupo NEO de la UMA (España).

### 1. INTRODUCCIÓN

Las aplicaciones de movilidad inteligente, como el control de semáforos, estacionamientos inteligentes y la gestión del tráfico rodado, están empezando a implantarse en todo el mundo y aportan beneficios a las ciudades, como una mejor calidad de vida, una reducción de costes, un uso más eficiente de la energía y una disminución de las emisiones de los vehículos. Los semáforos son elementos simples pero esenciales utilizados en entornos urbanos para organizar el tránsito, principalmente de vehículos [1], para evitar accidentes y mejorar el flujo de tráfico. Una ciudad con tráfico congestionado y muchos

atascos conlleva, sin duda, a más contaminación, ya que los vehículos se ven obligados a hacer muchas paradas o a mantener el coche en marcha durante más tiempo y, en consecuencia, emiten grandes cantidades de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>). Por lo tanto, con una gestión inteligente del tráfico se pueden reducir drásticamente los tiempos de viaje, el consumo de combustible y las emisiones contaminantes. El problema del control del tráfico por zonas es uno de los más difíciles en el campo del control del flujo de tráfico y requiere la utilización de técnicas avanzadas para resolver incluso los casos más pequeños. A diferencia de técnicas como los semáforos inteligentes, que requieren nuevas infraestructuras, la ubicación de sensores y modificaciones en obras civiles ya estructuradas, el uso de técnicas de inteligencia artificial en la optimización de los ciclos de los semáforos se presenta como una herramienta viable, rápida, eficiente y de bajo coste [2].

En los últimos años, las metaheurísticas se han utilizado ampliamente para abordar este problema, especialmente el algoritmo genético (GA), la optimización por colonia de hormigas (ACO) y la optimización por enjambre de partículas (PSO) [3-14]. Los autores en [2] y [14] han utilizado PSO para construir programas de ciclos de semáforos, con el objetivo de reducir el consumo de combustible y las emisiones de los vehículos en las áreas metropolitanas. En [15] se presenta un enfoque paralelo para el problema de programación de semáforos mediante el uso de la Evolución Diferencial (ED), aplicada a escenarios de problemas cercanos a la realidad que consisten en dos grandes áreas urbanas ubicadas en las ciudades de Málaga, España, y París, Francia. Sus resultados superan a los obtenidos por un algoritmo PSO en términos de calidad de la solución.

Para abordar la movilidad inteligente será necesario la aplicación de técnicas de vanguardia de diferentes dominios que permitan flexibilidad, autoadaptabilidad, robustez, alta dimensionalidad (escalabilidad) y eficiencia.

## 2. LÍNEAS DE INVESTIGACIÓN Y DESARROLLO

En esta sección se describe la línea de investigación que se lleva a cabo en el proyecto.

En ciudades grandes son objetivos comunes controlar, disciplinar el tránsito y reducir accidentes en la ciudad, invirtiendo en sistemas de monitoreo y administración de tráfico. Los resultados que deben lograrse incluyen, por ejemplo, el uso de radares de velocidad, la programación adaptativa y en tiempo real de los semáforos, tomando en cuenta, entre otros factores, la concentración y el flujo de vehículos (dando prioridad a las ambulancias y los vehículos policiales y un corredor preferencial para colectivos), la concentración de peatones y la velocidad de los vehículos.

Otra fuente de preocupación común es la oferta de sistemas de transporte público más eficiente, adecuado al desarrollo urbano y a la equidad social en relación con los desplazamientos. Muchas de las soluciones tienen el objetivo de preparar a la ciudad para la implementación, en el futuro, de un sistema multimodal de transporte, que incluya diferentes medios (bicicleta, subtes, franjas exclusivas para colectivos, vehículos livianos sobre rieles), y contribuya así a la reducción del consumo de combustibles, la emisión de gases y el tiempo de traslado, así como al mejoramiento de la calidad del aire.

La optimización de la movilidad inteligente surgió para reducir la contaminación generada por el tráfico [16], con excelentes resultados (hasta un 50% de reducción). Una manera de reducir el impacto negativo del tráfico consiste en optimizar las rutas. Cada ruta tiene costos asociados: tiempo, dinero, contaminación. En consecuencia, se debe optimizar simultáneamente más de un objetivo (por ejemplo, tiempo versus contaminación) [17-20]. Además, los datos utilizados en la optimización no son precisos (contienen errores) y varían durante un viaje. Existen trabajos que se centran en proporcionar rutas

personalizadas a las necesidades de los ciudadanos y modificarlas según el estado actual de las rutas y el tráfico

Para el desarrollo de esta línea seguiremos el método científico, a fin de analizar cuestiones de investigación abiertas en estos campos, definir los desafíos y validar nuestros resultados con prototipos reales. Dar soluciones significa resolver muchos problemas tecnológicos, necesidad de plataformas de alto rendimiento, y visualización intuitiva (mapas digitales y gemelo). Las tecnologías necesarias son muchas y modernas, pero serán inútiles sin una inteligencia real capaz de extraer información de extensos conjuntos de datos junto con una gran cantidad de complejos problemas de optimización por resolver.

Nuestra hipótesis es que creando nuevos algoritmos bioinspirados podremos cumplir con los requisitos, especialmente cuando se combinan con técnicas de aprendizaje automático para ofrecer una neuro-evolución rápida, algoritmos paralelos multiobjetivo, selección de características y metaheurísticas dinámicas, por nombrar algunos. Además, la incorporación de funciones subrogadas aportará mayor eficiencia computacional al proceso de optimización.

### 3. RESULTADOS

#### OBTENIDOS/ESPERADOS

Hemos abordado el problema de programación de semáforos con dos versiones de un Algoritmo Genético Celular, cGA (síncrono y asíncrono) para resolver instancias grandes y reales. Nuestros algoritmos superan las técnicas de vanguardia y las configuraciones de expertos. Se llevaron a cabo varios análisis en profundidad de los resultados, estudio genotípico y fenotípico (para mayor detalle ver [20]).

La investigación actual y futura se centra en lograr disminuir el número de evaluaciones con el

objetivo de reducir el esfuerzo computacional en términos de tiempo de procesamiento.

Planeamos definir una función de aptitud más precisa que explore el espacio de búsqueda de manera más eficiente.

Aplicar diferentes modelos de funciones subrogadas utilizando redes neuronales artificiales (ANN) y otros modelos de SMT (*Surrogate Modeling Toolbox*). Integrar los modelos con el cGA y analizar resultados.

Tenemos previsto modelar diferentes problemas con datos de varias ciudades para nuestros algoritmos de optimización., basándonos en trabajos como [18 y 19] donde se realiza la importación de mapas de *OpenStreetMap* en el simulador de tráfico SUMO. Los mapas realistas incluirán rotondas reales, semáforos, etc. Además, utilizaremos datos abiertos publicados por las autoridades locales, para mejorar la precisión. También se pretende desarrollar varios prototipos y servicios web para poner en práctica nuestras ideas de movilidad inteligente, ofreciendo servicios web para optimizar las rutas.

Finalmente, se procurará colaborar con los gobiernos locales para la implementación de políticas y acciones inteligentes y sostenibles que impacten en la calidad de vida de los ciudadanos.

### 4. FORMACIÓN DE RECURSOS HUMANOS

El equipo de trabajo se encuentra formado por una doctora y dos Magister en Ciencias de la Computación, un Magister en Matemática Avanzada, cuatro Ingenieros en Sistemas cursando estudios de Posgrado.

Este proyecto de investigación proporcionará un marco propicio para la iniciación y/o finalización de estudios de posgrado de los integrantes docentes.

## 5. BIBLIOGRAFIA

- [1] Papageorgiou, M., Diakaki, C., Dinopoulou, D., Kotsialos, A., Wang, Y. Review of road traffic control strategies, *Proc. IEEE* 91 (2003) 2043–2067.
- [2] Garcia-Nieto, J., Ferrer, J., Alba, E. Optimising traffic lights with metaheuristics: reduction of car emissions and consumption, in: *International Joint Conference on Neural Networks (IJCNN)*, IEEE, 2014, pp. 48–54.
- [3] Celtek, S. A., Durdu, A., & Ali, M. E. M. (2020). Real-time traffic signal control with swarm optimization methods. *Measurement*, 166, 108206.
- [4] Shaikh, P. W., El-Abd, M., Khanafer, M., & Gao, K. (2020). A review on swarm intelligence and evolutionary algorithms for solving the traffic signal control problem. *IEEE transactions on intelligent transportation systems*, 23(1), 48–63.
- [5] Sánchez, J., Galán, M., Rubio, E., Applying a traffic lights evolutionary optimization technique to a real case: “Las Ramblas” area in Santa Cruz de Tenerife, *IEEE Trans. Evol. Comput.* 12 (2008) 25–40.
- [6] Stolfi, D. H., & Alba, E. (2021). Yellow Swarm: LED panels to advise optimal alternative tours to drivers in the city of Malaga. *Applied Soft Computing*, 109, 107566.
- [7] Baskan, O., Haldenbilen, S., Ant colony optimization approach for optimizing traffic signal timings, in: *Ant Colony Optimization-Methods and Applications*, InTech, 2011.
- [8] Nguyen, T. H., & Jung, J. J. (2021). Ant colony optimization-based traffic routing with intersection negotiation for connected vehicles. *Applied Soft Computing*, 112, 107828.
- [9] Jabbarpour, M., Malakooti, H., Noor, R., Anuar, N., Khamis, N., Ant colony optimisation for vehicle traffic systems: applications and challenges, *Int. J. Bio-Inspir. Comput.* 6 (2014) 32–56.
- [10] Yadav, A., & Nuthong, C. (2020, May). Traffic signal timings optimization based on genetic algorithm and gradient descent. In *2020 5th International Conference on Computer and Communication Systems (ICCCS)* (pp. 670–674). IEEE.
- [11] Cui, C.-Y., Lee, H.-H., Distributed traffic signal control using PSO based on probability model for traffic jam *Intelligent Autonomous Systems*, 12, Springer, 2013, pp. 629–639.
- [12] García-Nieto, J., Alba, E., Olivera, A., Swarm intelligence for traffic lights scheduling: application to real urban areas, *Eng. Appl. Artif. Intell.* 25 (2012) 274–283.
- [13] Garcia-Nieto, J., Olivera, A., Alba, E., Optimal cycle program of traffic lights with particle swarm optimization, *IEEE Trans. Evol. Comput.* 17 (2013) 823–839.
- [14] Olivera, A., García-Nieto, J., Alba, E., Reducing vehicle emissions and fuel consumption in the city by using particle swarm optimization, *Appl. Intell.* 42(2015) 389–405.
- [15] Souravlias, D., Luque, G., Alba, E., Parsopoulos, K., Smart traffic lights: a first parallel computing approach, in: *Intelligent Networking and Collaborative Systems (INCoS)*, International Conference on Intelligent Networking and Collaborative Systems (INCoS), IEEE, 2016, pp. 229–236.
- [16] Shaheen, S., Rodier, C. J., & Finson, R. S. (2003). University of California, Davis Long-Range Development Plan: A Davis Smart Mobility Model. California Partners for Advanced Transit and Highways (PATH).
- [17] Arnott, R., Rave, T., & Schöb, R. (2005). Alleviating urban traffic congestion. MIT Press Books, 1.
- [18] Stolfi, D. H., & Alba, E. (2014). Red Swarm: Reducing travel times in smart cities by using bio-inspired algorithms. *Applied Soft Computing*, 24, 181–195.
- [19] Stolfi, D. H., & Alba, E. (2014, July). Eco-friendly reduction of travel times in European smart cities. In *Proceedings of the 2014 Annual Conference on Genetic and Evolutionary Computation* (pp. 1207–1214).
- [20] 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.