

## MOVILIDAD INTELIGENTE EN UNA CIUDAD SOSTENIBLE

Villagra A<sup>1</sup>., Errecalde M<sup>1,2</sup>., Pandolfi D<sup>1</sup>., Molina D<sup>1</sup>., Mercado V<sup>1</sup>., Rasjido J.<sup>1</sup>., Ramos L<sup>1</sup>., Del Do M<sup>1</sup>., Orozco S<sup>1</sup>., Villagra A.M<sup>1</sup>.

<sup>1</sup>Laboratorio de Tecnologías Emergentes (LabTEM)  
Instituto de Tecnología Aplicada (ITA) - Unidad Académica Caleta Olivia  
Universidad Nacional de la Patagonia Austral

<sup>2</sup>Laboratorio de Investigación y Desarrollo en Inteligencia Computacional (LIDIC)  
Departamento de Informática - Universidad Nacional de San Luis

[avillagra@uaco.unpa.edu.ar](mailto:avillagra@uaco.unpa.edu.ar), [merreca@unsl.edu.ar](mailto:merreca@unsl.edu.ar), {[dpandolfi](mailto:dpandolfi@uaco.unpa.edu.ar), [dmolina](mailto:dmolina@uaco.unpa.edu.ar), [vmercado](mailto:vmercado@uaco.unpa.edu.ar), [jrasjido](mailto:jrasjido@uaco.unpa.edu.ar), [ramos](mailto:ramos@uaco.unpa.edu.ar), [mdeldo](mailto:mdeldo@uaco.unpa.edu.ar), [srozco](mailto:srozco@uaco.unpa.edu.ar), [amvillagra](mailto:amvillagra@uaco.unpa.edu.ar)}@uaco.unpa.edu.ar

### RESUMEN

El tráfico en las grandes ciudades se ha vuelto una problemática de primera necesidad hoy en día. No solo por los problemas logísticos que supone, sino por las emisiones de gases asociadas. Tener en cuenta el impacto que tiene la movilidad en las ciudades en el medio ambiente es de vital importancia para un futuro sostenible. Precisamente, en los Objetivos de Desarrollo Sostenible de la Agenda 2030 el objetivo número 11 “Ciudades y Comunidades Sostenibles” potencian las ciudades inteligentes desde la perspectiva de la sostenibilidad.

En esta línea de trabajo se presenta una propuesta de investigación enfocada en los desafíos relacionados con la movilidad. Uno de nuestros objetivos es mejorar y optimizar las ciudades para que sean más adaptables a los ciudadanos y a las nuevas preocupaciones ambientales. Principalmente nos estamos enfocando en optimizar la planificación de los ciclos semafóricos para hacer el tráfico más fluido reduciendo atascos y tiempos de viaje. Además, se reducen las emisiones de gases a la atmósfera que impactan en el ambiente y en la salud de las personas.

**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

Desde la gran migración del campo a la ciudad, los centros urbanos han sido el escenario del crecimiento de nuestra sociedad. No sólo porque permiten un número más importante de puestos de trabajo, sino también por los muchos beneficios que ofrecen salud, seguridad, ocio, etc. Múltiples estudios afirman que en sólo 30 años más del 66% de la población mundial vivirá en ciudades [18].

Clásicamente, los diferentes servicios ofrecidos eran concebidos y gestionados por personas, generalmente pertenecientes a los dis-

tintos organismos públicos de la ciudad. Sin embargo, los enormes avances tecnológicos de los últimos tiempos han permitido la comunicación y la automatización de diferentes tareas, algo nunca visto antes. Estas ventajas técnicas incluyen avances en las telecomunicaciones inalámbricas sensores de bajo costo, actuadores y recolección automática y masiva de datos de la ciudad, por citar algunos.

Estos avances tecnológicos han llevado a pasar de una sociedad tradicional a una en la que la vida es inconcebible sin la tecnología. Por supuesto, este cambio no sólo se ha producido a pequeña escala, a nivel individual. También se ha producido a nivel social y, por supuesto, a nivel urbano.

En este contexto, las ciudades se están modernizando y convirtiendo en las llamadas Ciudades Inteligentes (CI). Mejorar todos los procesos de la ciudad desde una perspectiva holística es el aspecto clave que caracteriza a la CI. Toda esta mejora es gracias a la tecnología, los avances en las comunicaciones y la inteligencia artificial.

Las ciudades son grandes ecosistemas en los que interactúan diversos actores.

Podemos clasificar las partes interesadas en ciudadanos, empresas y gestores de la ciudad. Una de las visiones más utilizadas es la definida por Cohen [19] que propuso seis aspectos que conformaban las CI: Gobernanza Inteligente, Movilidad Inteligente, Ambiente Inteligente, Vida Inteligente, Economía Inteligente y Gente Inteligente.

En este trabajo tratando de aportar al logro de los ODS (en particular el nro. 11) nos centramos en Movilidad Inteligente. La fluidez del tráfico en las grandes ciudades inteligentes se ha convertido en uno de los problemas más graves a los que se enfrentan las grandes ciudades. En algunos casos, este problema se agrava aún más debido a la gran cantidad de atascos, accidentes de tráfico, o incluso heridos o muertes. Por ello es necesario regular el tráfico con algunos elementos como semáforos. Cuanto mayor sea el área metropolitana, mayor será el número de semáforos necesarios para regular el

flujo de tráfico. Una gestión óptima del tráfico puede ser beneficiosa para minimizar la duración de los trayectos, reducir el consumo de combustible y las emisiones nocivas.

Los semáforos son elementos simples pero esenciales utilizados en entornos urbanos para organizar el tránsito, principalmente de vehículos [1]. 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 costo [2].

Las metaheurísticas se han utilizado ampliamente para abordar el problema de planificación del tránsito, especialmente el algoritmo genético (GA), la optimización por colonia de hormigas (ACO) y la optimización por enjambre de partículas (PSO) y Evolución Diferencial (DE) [3-12], entre otras.

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. Además, de la construcción 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.

## **2. LÍNEAS DE INVESTIGACIÓN Y DESARROLLO**

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

Como en muchas ciudades del mundo real, el control en tiempo real de los semáforos [20] no es factible por diversas razones (legales, técnicas, etc.), y, en su lugar, debemos encontrar una programación global de semáforos altamente fiable que funcione bien en el sistema

de tráfico dinámico e incierto [2,5,10,16,17]. A la hora de optimizar los programas de ciclos de luces de los semáforos dentro de una ciudad para mejorar el flujo de tráfico y reducir la contaminación, la idoneidad de un programa semafórico candidato se evalúa mediante la simulación de rutas de vehículos y velocidades sobre una red de tráfico dada [10, 11, 17, 21]. La simulación de flujos de tráfico en una ciudad concreta requiere recopilar datos de la red (topología de la zona e información sobre los semáforos), que suele ser precisa y estática, y los datos de tráfico (el número de vehículos, sus desplazamientos y velocidades) se estiman a partir de datos reales muy dinámicos. Dada la incertidumbre inherente de esta estimación, es posible generar distintos escenarios de tráfico que son coherentes con el sistema del mundo real [15]. Una forma de tener en cuenta esta incertidumbre es calcular un valor de aptitud agregado simulando la misma solución candidata varias veces utilizando diferentes escenarios de tráfico [22]. Otra forma alternativa (o adicional) es hacer que cada simulación sea estocástica introduciendo cambios aleatorios en el escenario de tráfico durante la simulación [5]. La aptitud de un programa semafórico fiable no debería presentar una alta varianza cuando se evalúa en el tráfico dinámico de la ciudad real.

A pesar de la incertidumbre inherente a los escenarios de tráfico simulados, la literatura sobre optimización de semáforos suele basarse en la simulación determinista de un único escenario de tráfico [5, 10, 17, 21]. Cuando se consideran múltiples escenarios, se utilizan para evaluar la flexibilidad del algoritmo de optimización optimizando cada escenario por separado. En [22] los autores validaron la fiabilidad de las soluciones candidatas en múltiples escenarios tras la fase de optimización. Sin embargo, cada solución se sigue optimizando en relación con un único escenario.

Para el desarrollo de esta línea se han utilizado escenarios reales de la ciudad de Málaga y de París y se ha seguido el método científico, a fin de analizar cuestiones de investiga-

ción 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 [17]).

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. También, 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 [15 y 16] 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.

Recientemente para reducir el esfuerzo computacional de cGA, se utiliza una ANN como función subrogada, es decir, en lugar de evaluar la solución con la simulación con SUMO, la red neuronal artificial entrenada predice el valor de aptitud [23]. Esta ANN recibe una solución obtenida por cGA y devuelve la función de fitness correspondiente (sin evaluar la solución con SUMO). Para analizar el rendimiento de cGA con la función subrogada, definimos diferentes formas de aplicar el modelo ANN. La primera, denominada cGA-s1, aplica la ANN en el 100% de las evaluaciones, la segunda, denominada cGA-s2, aplica la ANN en el primer 50% de las evaluaciones, y la tercera, denominada cGA-s3 utiliza SUMO en el primer 50% de las evaluaciones y para el resto el modelo ANN. Con los experimentos realizados, hemos comprobado que el uso de una función subrogada reduce el esfuerzo computacional (en tiempo) para obtener el mejor valor de fitness para las instancias analizadas. Hemos reducido el tiempo de ejecución entre 60% en cGA-s2 y cGA-s3 (utilizando sólo parcialmente el modelo sustituto) y 99% en el enfoque cGA-s1 (que no utiliza el simulador).

En futuros trabajos, hay varias cuestiones que pretendemos abordar, como el uso de otras funciones subrogadas o estrategias de optimización como la bayesiana y, de combinar las evaluaciones SUMO con las subrogadas. Además, en lo que respecta a la reducción de los parámetros iniciales, sería interesante aplicar procesos de selección de características para

reducir el espacio de búsqueda y analizar el comportamiento del algoritmo. Además, utilizar un modelo ANN de ajuste dinámico preentrenado que nos permita probar nuevas técnicas y realizar más experimentos (otras rutas). También en cuanto a la generación de conjuntos de datos, estudiar diferentes tamaños de conjuntos de datos y diferentes formas de generar soluciones (muestreo aleatorio, hipercubos latinos, entre otros). Por último, definir la función objetivo como una función multiobjetivo.

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 dos doctores y dos Magister en Ciencias de la Computación, seis Ingenieros y Licenciados 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. Optimizing 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] 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.

[10] García-Nieto, J., Alba, E., Olivera, A., Swarm intelligence for traffic lightscheduling: application to real urban areas, *Eng. Appl. Artif. Intell.* 25 (2012) 274–283.

[11] Garcia-Nieto, J., Olivera, A., Alba, E., Optimal cycle program of traffic lights withparticle swarm optimization, *IEEE Trans. Evol. Comput.* 17 (2013) 823–839.

[12] 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.

[13] 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).

[14] Arnott, R., Rave, T., & Schöb, R. (2005). *Alleviating urban traffic congestion*. MIT Press Books, 1.

[15] 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.

[16] Stolfi, D. H., & Alba, E. (2014, July). Eco-friendly reduction of travel times in european smart cities. In *Proc. of the 2014 Annual Conference on Genetic and Evolutionary Computation* (pp. 1207-1214).

[17] 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.

[18] Economic, United Nations Department of and Social Affairs (2019). *World Urbanization Prospects: The 2018 Revision*.

[19] Cohen, Boyd (2012). “What exactly is a smart city”. In: *Co. Exist* 19.

[20] Cao, Z., S. Jiang, J. Zhang, and H. Guo (2017). “A unified framework for vehicle rerouting and traffic light control to reduce traffic congestion”. In: *IEEE Trans. on Intelligent Transportation Systems* 18.7, pp. 1958–1973.

[21] Péres, M., Ruiz G., Nesmachnow S., and Olivera C. (2018). “Multiobjective evolutionary optimization of traffic flow and pollution in Montevideo, Uruguay”. In: *Applied Soft Computing* 70, pp. 472–485.

[22] Ferrer, J., García-Nieto J., Alba E., and Chicano F. (2016). “Intelligent Testing of Traffic Light Programs: Validation in Smart Mobility Scenarios”. In: *Mathematical Problems in Engineering* 2016, pp. 1–19. DOI:10.1155/2016/3871046.

[23] Villagra A., Luque G. (2023). A surrogate function in cellular GA for the traffic light scheduling problema. *Applications of Evolutionary Computation – 26th International Conference, EvoApplications*. A Springer Nature Computer Science Series (en proceso de publicación).