



## CONTROL ADAPTATIVO DE SEMÁFOROS APLICADO A INTERSECCIONES CON PRIORIDAD ASIMÉTRICA<sup>1</sup>

Linder, Germán G.<sup>2</sup>; Krujoski, Matías G.<sup>3</sup>; Kolodziej, Javier E.<sup>4</sup>; Korpys, Ricardo A.<sup>5</sup>; Garassino, Sergio A.<sup>6</sup>

<sup>1</sup>Trabajo de Investigación

<sup>2</sup>Investigador, [germangabriellinder@gmail.com](mailto:germangabriellinder@gmail.com)

<sup>3</sup>Investigador, [matiaskrujoski@gmail.com](mailto:matiaskrujoski@gmail.com)

<sup>4</sup>Co - director, [javierkolodziej@gmail.com](mailto:javierkolodziej@gmail.com)

<sup>5</sup>Investigador, [korpys@fio.unam.edu.ar](mailto:korpys@fio.unam.edu.ar)

<sup>6</sup>Director, [garassino@fio.unam.edu.ar](mailto:garassino@fio.unam.edu.ar)

### Resumen

Actualmente, junto al Grupo de Investigación y Desarrollo en Ingeniería Electrónica (GID-IE) del Departamento de Ingeniería Electrónica de la Facultad de Ingeniería de la U.Na.M., se está trabajando en el Proyecto de Investigación titulado "Semaforización Adaptativa para Intersecciones con Prioridad Asimétrica", Resolución SPU N° 4537. Este proyecto contempla el diseño, construcción e implementación de un semáforo inteligente utilizando algoritmos de Lógica Difusa; como así también, prevé una etapa de verificación y sintonización del sistema de control.

En el presente trabajo se expone el proceso de desarrollo del sistema de control adaptativo y, la metodología seguida para la implementación de las técnicas de Lógica Difusa. Así también, se presentan los resultados obtenidos hasta el momento y la metodología a seguir para demostrar la eficiencia que introduciría su implementación real en términos de reducción de tiempos de espera de los vehículos que intenten transponer una intersección vial determinada.

### Palabras Clave:

*semáforos – control adaptativo – lógica difusa*

### Introducción

Las topologías urbanas de la Provincia se caracterizan por contar con una sola vía de circulación rápida interceptada por varias vías secundarias de circulación lenta, esta distribución del trazado vial genera inconvenientes a la circulación fluida del tránsito y en especial a la seguridad vial. La solución típicamente adoptada consiste en instalar sistemas de semáforos de secuencia con temporización fija. Esto genera retrasos y embotellamientos en el tránsito cuando las condiciones del tráfico no son exactamente compatibles con las condiciones en que fueron calibrados los temporizadores de la secuencia. Un sistema de control adaptativo de semáforos se plantea como alternativa para mejorar la eficiencia y fluidez del tráfico urbano en las intersecciones complejas



dentro de los municipios de la Provincia. En el presente artículo se hace un análisis del estado del arte y se exhiben los resultados parciales obtenidos en la fase de diseño del controlador adaptativo propuesto.

## Metodología

La fase de diseño del controlador adaptativo se inició con una revisión bibliográfica a nivel internacional con el objeto de verificar el estado de la técnica; esto se logró a través del acceso a publicaciones especializadas [1]. En conjunto con la revisión bibliográfica, se realizó un estudio comparativo entre las técnicas de control de semáforos por secuencia de duración fija y el paradigma del control adaptativo como alternativa de mejora en la fluidez del tráfico [2]. La revisión bibliográfica realizada y el estudio comparativo elaborado permitieron verificar que la propuesta de aplicación de un controlador de semáforos con secuencia adaptativa permitirá mejorar la fluidez del tránsito en las intersecciones particularmente complejas, que se dan en los diversos escenarios urbanos de las pequeñas localidades de la provincia. Además, permitió consolidar la técnica de Logica Difusa como la de mayor viabilidad técnico-económica para esta aplicación; ya que resulta óptima para implementaciones de control en tiempo real debida a su baja carga computacional.

En segunda instancia, se procedió a establecer un “escenario de referencia” como la intersección de calles semaforizadas para utilizar en el proceso de diseño y validación de la estrategia de control adaptativo; en la Figura 1 puede apreciarse el escenario adoptado.

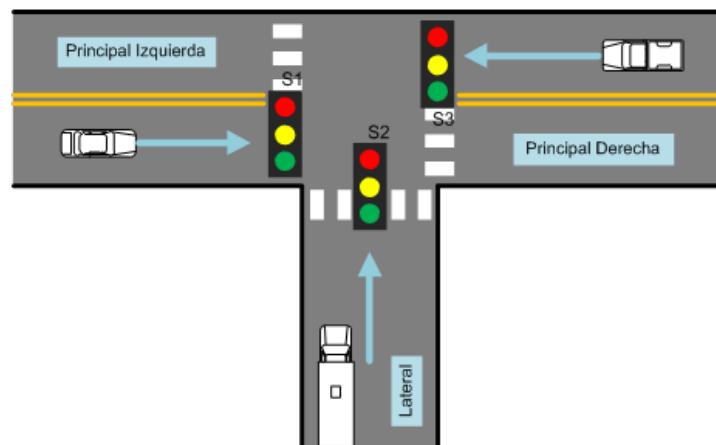


Figura 1: Intersección de calles con prioridad asimétrica.

Basándose en las consideraciones de “prioridad asimétrica”; es decir, suponiendo que el tráfico en la vía principal es prioritario respecto de los vehículos que arriban por la vía lateral; se



establecieron las reglas de control y las funciones de membresía para poder diseñar el controlador adaptativo basado en la lógica difusa.

Para el diseño del controlador se utilizó el *toolbox* "Fuzzy" de MATLAB®, según se presenta en la Figura 2.

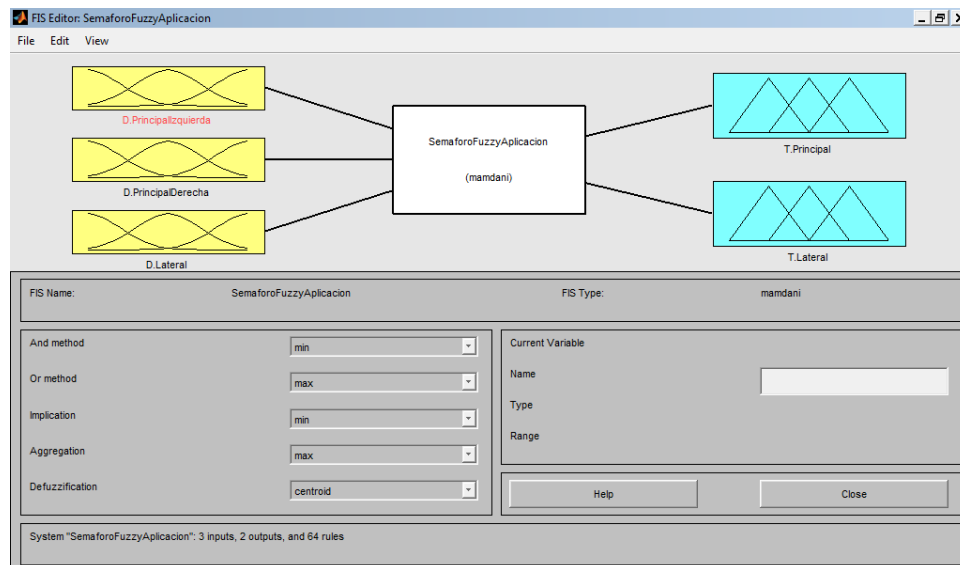


Figura 2: Diseño del controlador en el *toolbox* "Fuzzy" de MATLAB®.

En la Figura 2, se puede apreciar la interfaz gráfica provista por MATLAB®, desde la cual se establecen los parámetros del controlador difuso. Para esta aplicación se consideró como variable de entrada la densidad de vehículos, para las vías principales y la lateral, y como variable de salida, la temporización de la luz verde del semáforo en la vía principal y la lateral. En la Figura 3, se presenta un detalle de las funciones de membresía utilizadas en el conjunto difuso de entrada.

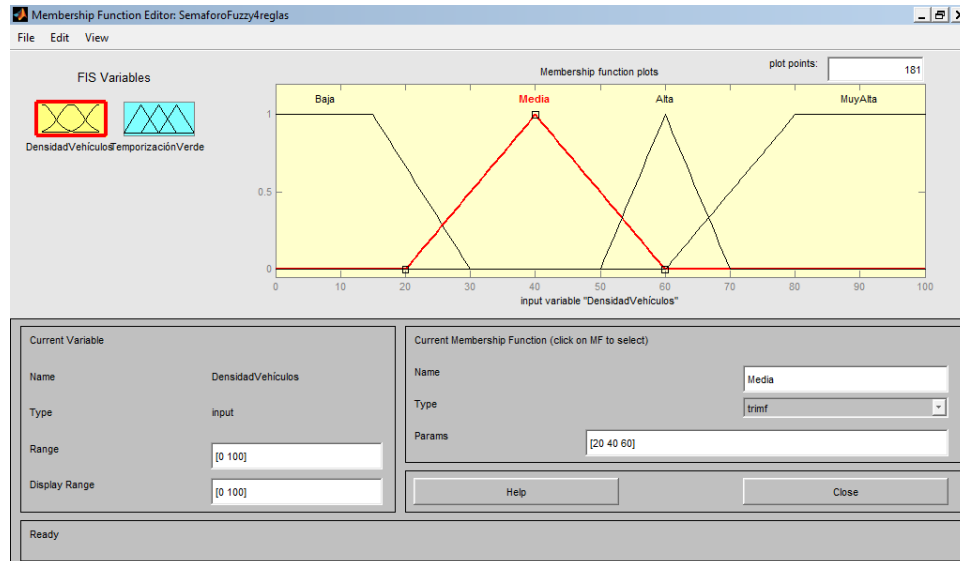


Figura 3: Funciones de membresía del conjunto difuso de entrada.

Como puede apreciarse en la Figura 3, se han definido cuatro funciones de membresía para el conjunto difuso de entrada teniendo presente un rango de densidad vehicular en la vía de entre 0 y 100. Las mismas se corresponden con densidades bajas, medias, altas y muy altas de vehículos. En la Figura 4, puede observarse que se han definido cuatro funciones de membresía triangulares para el conjunto de salida, centradas en 15, 30, 45 y 60 minutos. Cabe destacar que dichos tiempos se han definido a priori, posteriormente se irán actualizando para obtener los valores óptimos que hagan a la eficiencia del sistema de semaforización.

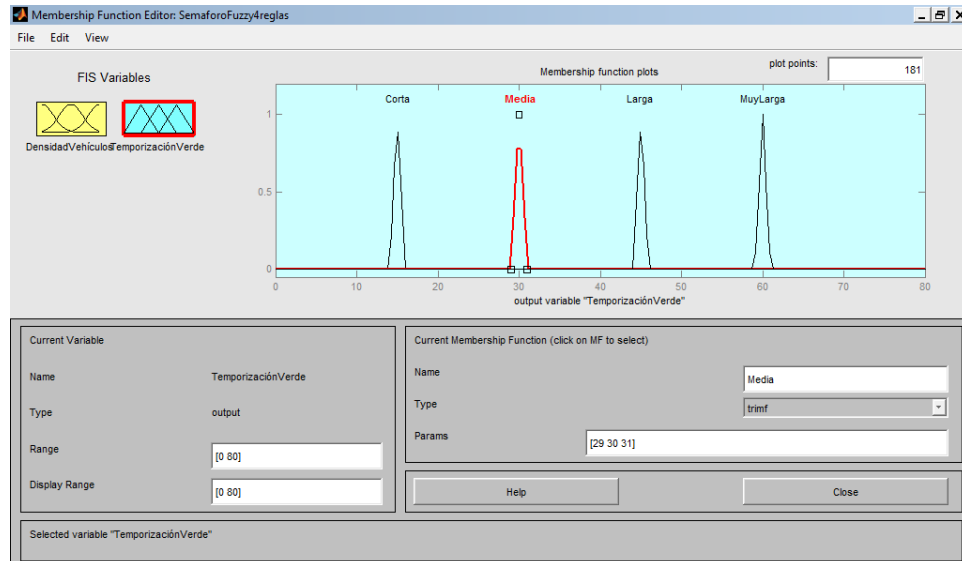


Figura 4: Funciones de membresía del conjunto difuso de salida.

Como método de inferencia difusa se utilizó el criterio de Mamdani [3] en combinación con un defusificador centroide. En la Figura 5, se presenta un detalle la interfaz gráfica para programación de las reglas de control provista por el *toolbox* "Fuzzy".

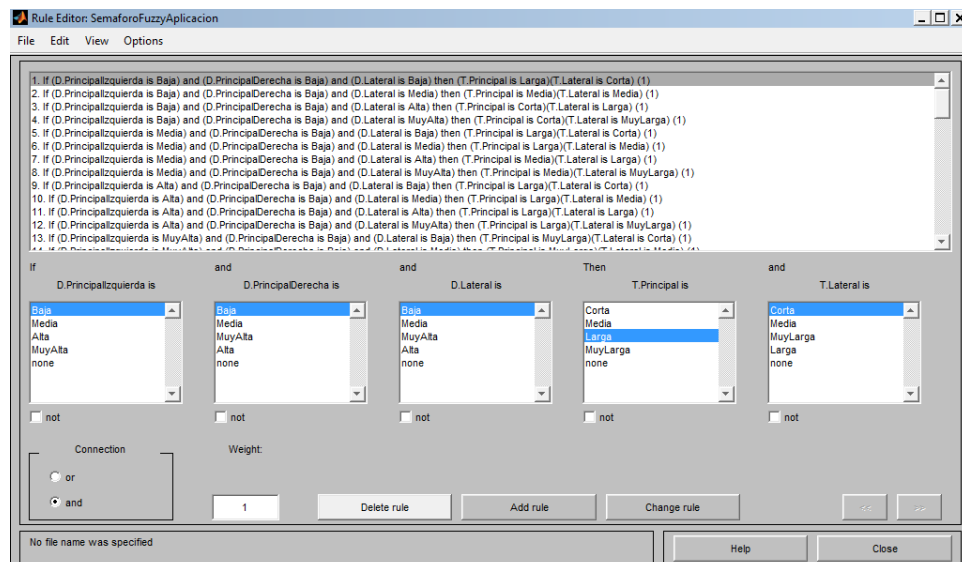


Figura 5: Reglas de control para el sistema adaptativo difuso.



## Resultados y Discusión

En la Figura 6, se presenta la superficie de control para el sistema adaptativo difuso diseñado; mostrándose como resultado la temporización de la luz verde de la vía lateral que confluye a la intersección, en función de las densidades vehiculares de la principal y de la secundaria.

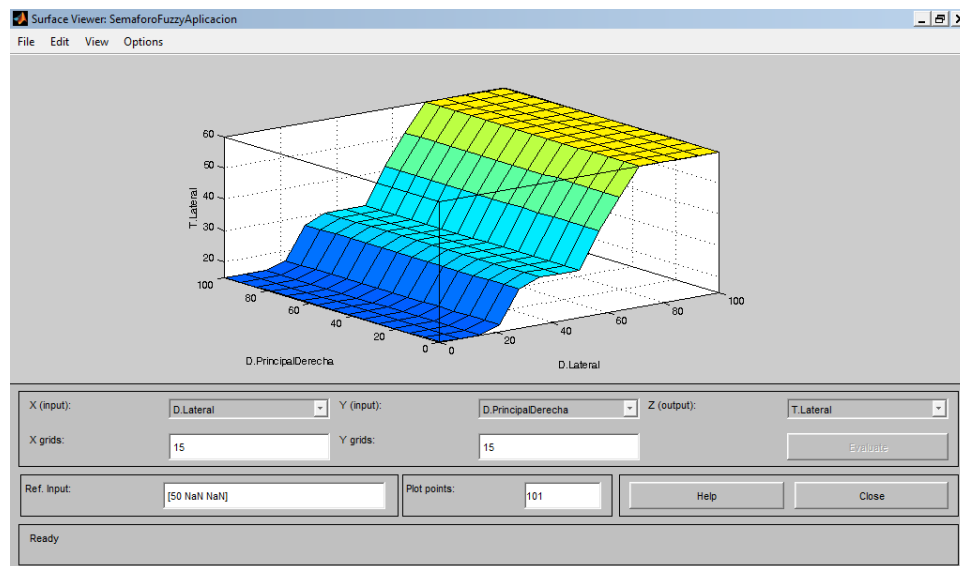


Figura 6: Superficie de control del controlador difuso diseñado.

Basándose en las superficies de control obtenidas para el sistema difuso a través de la herramienta de diseño de MATLAB® se pudo verificar que el mismo responde según las especificaciones de diseño. Pudiendo de ésta forma intuir que el controlador difuso de secuencia adaptativa podrá cumplir con la premisa de mejorar la fluidez del tráfico en las intersecciones de prioridad asimétrica.

En la etapa actual de desarrollo del proyecto, se encuentran en elaboración los modelos matemáticos necesarios para implementar un motor de simulación de tráfico para validar el controlador difuso propuesto y demostrar la mejora de fluidez en el tráfico que introduce respecto a los sistemas de secuencia de duración fija. El parámetro adoptado como medida de fluidez del tráfico es el tiempo promedio de espera para un vehículo que transpone la intersección [4]. A través de la simulación propuesta se pretende comprobar la reducción del tiempo de espera bajo diversas condiciones de tráfico en la intersección de referencia, al aplicar el semáforo con control adaptativo en comparación con la aplicación del semáforo de secuencia de duración fija. En una etapa posterior, se pretende utilizar dicho simulador para realizar ajustes en el sistema de control



difuso hasta arribar a una solución óptima.

## Conclusiones

Abordar el desarrollo del sistema de control adaptativo utilizando la técnica de Lógica Difusa desde MATLAB® permitió obtener a corto plazo resultados alentadores en vista a su implementación en el control de tráfico vehicular. Así mismo, el algoritmo obtenido resulta ser de fácil implementación electrónica y genera un baja carga computacional, lo cual lo hace ideal para este tipo de aplicaciones.

En lo referente al impacto académico del presente proyecto de investigación, tomando como referencia la información recopilada en el estudio del estado del arte; se puede concluir que, en Argentina, no existe un gran desarrollo en materia de sistemas inteligentes. En consecuencia, la implementación de sistemas adaptativos de semáforos basados en técnicas de control difuso abre una nueva brecha tanto científica como tecnológica al incursionar en un campo promisorio; permitiendo al equipo de trabajo adquirir conocimientos y experiencias en el desarrollo de esta tecnología de vanguardia.

## Referencias

- [1] I. Adam, A. Wahab, M. Yaakop, A. Abdul Salam and Z. Zaharudin, «Adaptive Fuzzy Logic Traffic Light Management System», International Conference on Engineering Technology and Technopreneurship (ICE2T 2014), Gombak, 2014.
- [2] M. G. Krujoski, G. G. Linder, J. E. Kolodziej y S. A. Garassino, «Sistemas de Control de Semáforos: Secuencia de Duración Fija vs. Control Adaptativo», Actas de las Jornadas de Investigación y Desarrollo Tecnológico, Extensión, Vinculación y Muestras de la Producción a la Comunidad, Oberá, 2015.
- [3] T. Terano, K. Asai y M. Sugeno, Applied Fuzzy Systems, C. Aschmann, Ed., New York: AP Professional, 1994.
- [4] K. T. Kok, K. Marzuki y Y. Rubiyah, «Intelligent traffic lights control by fuzzy logic», Malaysian Journal of Computer Science, vol. 9, n° 2, pp. 29-35, Malaysian, 1996.