

**Universidad de Costa Rica**  
**Escuela de Ciencias de la Computación e Informática**

**Proyecto de investigación:**  
**Simulación multi-agente del tráfico vehicular**  
**en un entorno cuadriculado simple**

**Curso: Paradigmas Computacionales**

Elaborado por:

Brenda Aymerich Fuentes (B20712)

César Antonio Mata Bonilla (A83759)

Profesor: Dr. Álvaro de la Ossa Osegueda

San Pedro de Montes de Oca, San José. I Semestre, 2015

# Estado del arte

- I. *Evolving Individual Behavior in a Multi-agent Traffic Simulator* (Sanchez, E., Squillero, G. y Tonda, A.). Esta publicación es parte del libro *Applications of Evolutionary Computation* publicado en el año 2010. En este trabajo los investigadores se encargan de ilustrar el comportamiento de los conductores mediante sistemas multi-agentes evolutivos. Dichos agentes se comportan de manera egoísta, buscando cada uno la mejor ruta que les permita obtener un menor tiempo para llegar a su destino. Utilizando este sistema, los autores afirman que la evolución permite que los agentes se adapten y orienten hacia una conducción más humana basándose en diferentes estrategias. Según ellos, el sistema se diseñó para que cada agente fuera capaz de percibir otros agentes en un determinado radio. Y de acuerdo a esto, los resultados obtenidos fueron que, aun y si no existe cooperación entre los agentes, simplemente el hecho de que ellos sean capaces de percibir su entorno mejora los tiempos promedio de llegada debido a su proceso evolutivo.
  
- II. *Estudio del Uso de Sistemas Multiagentes para el Modelado del Tráfico de Autos* (Camacho, J.). Este proyecto constituye el desarrollo de un modelo multi-agente que representa el tráfico vehicular presente en una intersección, utilizando NetLogo como entorno para este propósito. Éste pretende mostrar la viabilidad del uso de sistemas multi-agentes para la simulación del flujo de autos, método que le permitió a la autora y a su equipo realizar conjeturas acerca del flujo de automóviles real. La simulación se orienta a una intersección de la ciudad de Mérida.  
  
Con el desarrollo del proyecto se mostró que el uso de la simulación multi-agente facilitó la representación de los diferentes tipos de agentes (comportamiento de los conductores de los autos) y la interacción con el entorno de una manera más cercana a la realidad. Además, que la plataforma NetLogo fue un buen aliado para la simulación debido a su interfaz amigable. Por otro lado, describe dificultades específicas con la utilización de la simulación multi-agente y NetLogo como plataforma para el problema en cuestión. Publicado en el 2012.

- III. *A Rule-based Multi-agent System for Road Traffic Management* (Marti, I., Tomas, V., Saez, A. y Martinez, J.). A diferencia del primer artículo, la tesis de los autores radica en que la cooperación entre los agentes participantes mejora sustancialmente el flujo de vehículos en las autopistas. Según los investigadores, el dinamismo de un flujo vehicular hace necesario el control mediante un sistema inteligente que soporte cambios durante el tiempo (demoras, congestiones o choques). Los autores se enfocan, por lo tanto, en un sistema que aborda el problema de los incidentes bajo dos modelos distintos: coordinado (todos los agentes se coordinan para resolver un problema en redes extensas) y local (en caso de que existan problemas de comunicación, grupos pequeños de agentes trabajan en conjunto para informar a los usuarios sobre el estado del tráfico). Según las pruebas realizadas por los autores, el modelo más eficiente resultó ser el de todos los agentes trabajando en conjunto como una sola red; sin embargo, los grupos pequeños de agentes también demostraron ser efectivos para resolver ciertos problemas de flujos. Básicamente, lo que los investigadores demostraron es que este sistema puede tolerar ciertos incidentes gracias a la metodología de resolución de conflictos en conjunto. Publicado en el año 2009.
- IV. *Non-normative Behaviour in Multi-agent System: Some Experiments in Traffic Simulation* (Doniec, A., Espie, S., Mandiau, R. y Piechowiak, S.). La importancia de este estudio radica en que muchos de los datos que existen basan sus modelos en que los agentes siempre cumplen las reglas; no obstante, este proyecto describe las ventajas de modelar una simulación en la que los agentes no siempre se apeguen a lo establecido. En particular, el estudio demuestra que, en base a datos estadísticos, la implementación de un sistema multi-agente basado en un comportamiento no normativo puede colaborar con el realismo de la investigación. Publicado en el año 2006.
- V. *Knowledge Based Agent for Intelligent Traffic Light Control – An Indian Perspective* (Mandava, V., Nimmagadda, P., Korrapati, T.R., Anne, K.R.). El trabajo consiste en la descripción del uso de agentes para una simulación de control de semáforos. Es un

sistema en el que interactúan los agentes y su entorno: carreteras, automóviles y semáforos.

El objetivo del proyecto es que los agentes tengan la posibilidad de observar el congestionamiento del flujo vehicular, y que con ello infieran una acción en el controlador de los semáforos con el objetivo de gestionar de una manera más eficiente, el tráfico cerca del cruce. Con el resultado del experimento se concluyó que con el control inteligente de los semáforos se podía reducir el tiempo de espera y brindar una mayor eficiencia del flujo vehicular. Adicionalmente, éste es un proyecto implementado en NetLogo. Publicado en el año 2012.

- VI. *Sistemas Multiagente Colaborativos* (Zapata, L.). El proyecto analiza los sistemas multi-agentes colaborativos mediante la comparación de seis simulaciones distintas que utilizan este modelo. Cada simulación representa un estilo distinto de colaboración entre los agentes del entorno así como la comunicación entre los mismos. Dichas simulaciones fueron implementadas en NetLogo, plataforma útil para el aprendizaje y desarrollo de sistemas multi-agentes colaborativos, según escribe el autor. Luego de la experimentación se muestra cómo la colaboración y comunicación entre agentes permite mejorar el rendimiento de los sistemas multi-agentes para lograr objetivos. Publicado en el año 2010.
- VII. *Simulador multi-agente de tráfico urbano* (Oñate, L.). En este proyecto se realizó un simulador de tráfico urbano utilizando técnicas multi-agentes, sobre el ambiente Matlab. Éste modela el entorno que influye en el flujo del tráfico y la trayectoria de los vehículos. Además, realizan distintas simulaciones en diversos escenarios para demostrar la viabilidad del método. Proporciona información de comunicación y cooperación entre agentes utilizando el modelado estático de un mapa en el que transcurre la simulación. Publicado en el año 2005.
- VIII. *Reconciling Strategic and Tactical Decision Making in Agent-Oriented Simulation of Vehicles in Urban Traffic* (Fiosins, M., Fiosina, J., Müller, J. y Görmer, J.). En esta publicación, los autores proponen utilizar dos enfoques distintos para la etapa de planeación de tráfico urbano. Ellos proponen que el proceso de planeamiento debe

dividirse en las etapas: estratégica y táctica. En la etapa estratégica se definen las características básicas de los agentes, es decir, la ruta óptima de los automóviles definiendo un punto de inicio y un destino. Por su parte, en la etapa táctica se establecen características más dinámicas como la regulación de la velocidad y los cambios de vía según sea posible. En la etapa estratégica, el modelado de la ruta más corta se implementó en base al conocimiento práctico de la red vial. En la etapa táctica, los autores aplicaron técnicas de reforzamiento de aprendizaje en los agentes para simular un comportamiento más real. En la publicación se presentan algoritmos complejos que demuestran cómo la colaboración de los automóviles bajo estos enfoques pueden mejorar el flujo vehicular en una red urbana. Según el artículo, el modelo demostró ser efectivo pues evidenció un crecimiento en la experiencia de cada agente y cooperación entre ellos, lo cual redujo tiempos de llegadas y congestiones. Los autores planean trabajar en el futuro con mejoras al modelo como por ejemplo: implementar regulaciones centralizadas, mejorar la estructura de los agentes para lograr una cooperación más flexible entre ellos en ambas fases y simplificar la complejidad de sus algoritmos de simulación. Publicado en el año 2011.

IX. *Semi-Autonomous Intersection Management* (Au, T., Zhang, S. y Stone, P.). En este artículo se introduce un nuevo protocolo del modelo multi-agentes llamado: semiautónomo. Los autores llaman así al modelo utilizado en los automóviles que cuentan con una autonomía limitada de conducción y que carecen de comunicación con la red total. Pese a que este tipo de autos no son completamente autónomos, son capaces de seguir un número limitado de trayectorias preestablecidas. La simulación se llevó a cabo en intersecciones y demostró que los tiempos de espera entre los autos semiautónomos se redujeron de manera importante con respecto a los manejados por seres humanos. Con lo cual se demuestra una vez más que los sistemas cooperativos mejoran los tiempos de espera. Publicado en el año 2014.

X. *Integrating Mobile Agent Technology with Multi-Agent Systems for Distributed Traffic Detection and Management Systems* (Chen, B., Cheng, H., Palen, J.). Este artículo describe el crecimiento exponencial que ha tenido la tecnología multi-agente en el campo de la informática y su versatilidad para ser aplicada en distintas

disciplinas. Además menciona que pese a que se han realizado estudios sobre sistemas de control y gestión del tráfico basado en agentes y por su parte, se han estudiado a profundidad los sistemas multi-agentes, la tecnología de agentes móviles aún no ha sido aplicados en este campo. En particular, la propuesta y lo valioso del enfoque de esta publicación es que se plantea la idea de integrar la tecnología de agentes móviles con los sistemas multi-agente para mejorar la capacidad de los sistemas de gestión de tráfico y poder manejar la incertidumbre en un entorno dinámico. Los autores desarrollaron un modelo llamado *Mobile-C*, el cual toma las ventajas de ambos agentes: los estacionarios y los móviles. Los desarrolladores encontraron que la simulación utilizando agentes móviles para el algoritmo dinámico demuestra que el los agentes móviles presentan una gran flexibilidad en la gestión de la dinámica en sistemas complejos. Los resultados de la simulación mostraron que los agentes móviles proporcionan una forma efectiva para la implementación de componentes de software dinámico. Publicado en el año 2009.

- XI. *Simulation and Evaluation of Urban Bus Networks Using a Multiagent Approach* (Meignan, D., Simonin, O., and Koukam,A.). Este trabajo utiliza un enfoque multi-agente para simular el funcionamiento de un sistema de redes de buses urbanos que tiene en cuenta el comportamiento de los viajeros, es decir, toma en cuenta la estimación de la demanda de este transporte público en específico. Además, la simulación mantiene la interacción entre autobuses, pasajeros y tráfico en la carretera, y permite hacer el análisis de la red en diferentes escalas espaciales y temporales. Este modelo fue aplicado y validado en un estudio de caso real y es utilizado para diseñar nuevas soluciones de transporte. El principal objetivo de los autores de evaluar las políticas de red de tránsito con esta simulación, permitiría regular las redes de autobuses cuando suceden eventos como choques, dando así la posibilidad de medir la eficiencia de dichas políticas. Por último se menciona que en obras futuras se consideraría otros medios de transporte público y movimientos más realistas de los autobuses, además de integrar accidentes de tráfico. Publicado en el año 2007.
- XII. *A behavioral multi-agent model for road traffic simulation* (Doniec, A., Mandiau, R., Piechowiak, S., Espié, S.). En este artículo se documenta el diseño de una herramienta

de simulación de tráfico vehicular por carretera, incluyendo los cruces de las mismas. El modelo es multi-agente y se basa en dos comportamientos individuales de los conductores, primero en los comportamientos oportunistas que explican la violación de normas, y segundo en las habilidades anticipadas de los conductores que permiten que situaciones críticas sean detectadas. Es decir, los conductores pueden elegir el cuándo respetar las normas de tránsito y permitirles a estos agentes tomar decisiones para evitar entornos de embotellamiento. Además la propuesta fue validada para distintos escenarios de tráfico lo que les permitió comparar el flujo de la simulación con el flujo real. Publicado en el año 2008.

## Definición del problema

NetLogo es un entorno programable orientado al modelado de sistemas multi-agentes que, por su versatilidad, es utilizado para simular fenómenos naturales y sociales que pueden cambiar en el tiempo. Como parte de su repertorio de modelos, NetLogo cuenta con varias representaciones de automóviles y vías básicas que incluyen elementos como semáforos, calles, avenidas y congestiones durante la luz roja de los semáforos, entre otros; sin embargo, ninguna de estas es particularmente precisa con respecto a los factores que influyen en la simulación. Un ejemplo de lo anterior es la velocidad constante de los vehículos durante su recorrido en la autopista. Por ende, los modelos presentados en NetLogo son una base importante que requieren de algunos refinamientos antes de ser tomados como simulaciones realistas de tráfico vehicular.

De esta forma, en el presente proyecto se pretende utilizar esta plataforma para simular una configuración vehicular típica adaptando nuevos componentes a uno de los modelos ya existentes en dicho entorno, de manera que sea posible alcanzar conclusiones aplicables a situaciones reales y medir el impacto que conllevan estos nuevos agentes en la simulación.

## Conceptualización

Como primer punto, el proyecto tendrá dos agentes primordiales: los automóviles y los peatones, además de objetos como calles, avenidas, pasos peatonales y semáforos. Inicialmente estos serían los únicos dos agentes que se implementen en la simulación, sin

embargo, queda abierta la posibilidad de agregar nuevos agentes como: distintos tipos de vehículos (motocicletas, ambulancias, autobuses, entre otros), distintos tipos de conductores (pasivos o agresivos), semáforos inteligentes (pasaría de ser un objeto a un agente activo), personas con distintas características físicas (personas con discapacidades físicas, madres cruzando calles con sus hijos, entre otros) y algún otro elemento que ayude en un modelado más real del sistema.

El comportamiento de los agentes descritos corresponderá a lo siguiente:

- Peatones: se deberán movilizar solamente por las aceras y pasos peatonales (en caso de que deseen cruzar una calle). Para esta primera iteración los peatones tendrán un comportamiento correcto y predecible, es decir, no deberán interactuar directamente con los automóviles y los cruces deberán realizarse solamente por las zonas designadas para dicha acción; además, los peatones podrán interactuar solo con los semáforos peatonales, los cuales indicarán si pueden o no cruzar la calle.
- Vehículos: cuentan con vías (calles y avenidas) de un solo sentido dentro de las cuales se pueden movilizar a una velocidad constante siempre y cuando no existan obstáculos. Para la primera iteración del proyecto se modificará el comportamiento típico de los automóviles de NetLogo para incluir que en determinadas situaciones (obtenidas al azar) se puedan presentar colisiones. Esto afectará completamente el flujo vehicular puesto que se crearán congestiones y deberá restablecerse el tránsito en un determinado tiempo. Adicionalmente se puede pensar que en futuras iteraciones los vehículos también podrían interactuar (además de con los semáforos) con personas que decidieron no cruzar por pasos peatonales, de manera que se puedan evitar accidentes y que el modelo se apegue más a la vida real. Así mismo, se podría implementar un modelo de "tipos de conductores", en el cual, los mismos conductores analicen las ventajas y desventajas de cambiar de velocidad si la vía se encuentra disponible para hacerlo.

De esta forma, al crear dos tipos de agentes con comportamientos opuestos es posible experimentar, de primera mano, las relaciones que existen entre ambos y analizar su interacción durante la simulación.

Por otra parte, un elemento que tiene gran relevancia en el modelo son los semáforos. Para la primera parte del proyecto serán diseñados como objetos controlados principalmente por peatones (en caso de que se encuentren sobre un paso peatonal) o por algún control de



tiempo. Sin embargo, es también válido diseñar los semáforos como agentes inteligentes para mejorar el flujo vehicular de una determinada zona, esto podría implementarse en una entrega posterior.

La idea de implementar estos objetos y agentes para la primera etapa del proyecto es establecer un marco básico sobre el cual se pueda crear una simulación más real en futuras iteraciones mediante la inclusión de nuevos elementos. De esta forma, al trabajar con un dominio reducido de agentes, se espera alcanzar una interacción más directa y manejable con este paradigma computacional.

## Objetivo general

Adaptar el modelo de simulación de tráfico de calles y avenidas que contiene la plataforma NetLogo incluyendo variaciones más realistas para entender el funcionamiento de los agentes con los que cuenta el modelo.

## Objetivos específicos

- Agregar pasos peatonales al modelo de simulación, de manera que se puedan representar nuevas condiciones de parada y reducción de velocidad en los automóviles.
- Agregar choques al modelo de simulación, de manera que se puedan representar nuevas condiciones de congestionamiento.

## Planificación del proyecto

Lapso para avance del proyecto	Descripción de tarea
Semana 10	Conceptualización del tema
Semana 11	Representación e inferencia
Semana 12	Comprensión del modelo a modificar de NetLogo y elaboración de casos de uso para el desarrollo del prototipo
Semana 13	Desarrollo del prototipo y trabajo en el marco teórico

Lapso para informe final y presentación	Descripción de tarea
Semana 14	Desarrollo del prototipo y trabajo en el marco teórico
Semana 15	Desarrollo del prototipo y trabajo en el marco teórico
Semana 16	Validación del prototipo y su descripción en el trabajo de investigación así como la propuesta de un trabajo futuro
Semana 17	Conclusión del trabajo escrito y elaboración de la presentación