



Tecnológico de Monterrey Campus Santa Fe

**Reto: Movilidad Urbana**

Mariel Gómez Gutiérrez A01275607

Santiago Rodríguez Palomo A01025232

Grupo 302

Dr. Gilberto Echeverría Furió

Dr. Octavio Navarro Hinojosa

Modelación de sistemas multiagentes con gráficas computacionales

Noviembre 30, 2023

## **I. Problema que se está resolviendo y Propuesta a la solución**

Actualmente, al pensar en la movilidad urbana, el tema de los automovilistas es de los primeros en abordarse. Con el paso del tiempo, el parque vehicular en las ciudades ha aumentado y es por ello que varios gobiernos han demostrado su preocupación ante el manejo de este. México, junto con otros países del mundo como China, Brasil, Chile, Corea, entre muchos otros, ha tenido un aumento en el nivel de congestionamiento en sus principales ciudades. Esto no solo afecta a los automovilistas particulares, sino a todo el sistema de transporte público, y se ha visto que ampliar el número de carriles, no es una solución óptima, cuando en realidad se debería de mejorar el sistema completo de tránsito.

El incremento de vehículos de manera indiscriminada, no solo ocasiona problemas en las vialidades, sino también contribuye a la contaminación ambiental y empeora la calidad del aire. La Secretaría del Medio Ambiente (Sedema) de la Ciudad de México, informó que los vehículos son los responsables de 40% de las emisiones de Óxido de Nitrógeno (NOX), los cuales al ser inhalados en altos niveles, pueden causar la dilatación de tejidos en la garganta y reduciendo la oxigenación del cuerpo.

Vivir en una ciudad con problemas en sus vialidades no solo afecta nuestras vías respiratorias como mencionado anteriormente, sino que puede desencadenar otro sin fin de problemas de salud. Además de causar irritación en los pulmones, estos gases pueden provocar que las defensas de nuestro cuerpo bajen y se contraigan, de manera más sencilla, enfermedades como la influenza. Por otro lado, se ha demostrado que el tráfico incrementa el riesgo de sufrir un infarto, o alguna enfermedad cardiovascular. Provoca en las personas niveles más altos de estrés y ansiedad e incluso puede afectar la calidad del sueño.

Es por ello, que este reto está enfocado en el mejoramiento de la movilidad urbana en México. Donde por medio de una simulación, se podrá observar de manera gráfica un escenario donde la congestión vehicular sea mejor manejada. Para ello se hará uso de multiagentes que estarán posicionados en un ambiente específico donde tendrán que tomar decisiones para evitar el congestionamiento de las calles. En este documento se describe de manera detallada el diseño de estos agentes y el ambiente en el que se encuentran, así como el comportamiento que tiene la simulación.

## II. Diseño de los agentes

### *Car Agent*

**Objetivo:** Partir del punto de origen y llegar a su destino asignado (de manera aleatoria), respetando las direcciones de las calles, los semáforos y a otros agentes.

**Capacidad efectora:** Este agente cuenta con varias posibles acciones.

El carro, al tener como objetivo llegar al destino, necesita poder moverse. Para ello, debe tomar en cuenta algunas cuestiones. Es capaz de moverse arriba, abajo, a la derecha, a la izquierda y de forma diagonal para cambiarse de carril, es decir, que únicamente puede moverse en sus diagonales frontales, ya que no se le permite ir de reversa. Al momento de ser colocado en el mapa y designar su destino, el agente cuenta con una función que implementa el algoritmo de A\*. Una vez obtenida dicha ruta, el carro se encarga de seguirla, salvo que deba recalcular debido a un embotellamiento.

**Percepción:** El agente no necesita explorar el mapa para conocer la ruta. La función de A\* calculará la ruta contando con la información de las calles. Sin embargo, el agente no sabe que tan congestionada se encuentra la ruta dada por el algoritmo. Es por ello, que será capaz de calcular su velocidad y conocer la velocidad de su carril vecino basado en los cálculos de otros agentes. Los carros también son capaces de percibir el estado de un semáforo y actuar conforme al él, es decir, que respetan cuando una luz está en rojo y se realizan un alto total hasta que esta cambie de color.

### **Proactividad:**

Para que el Car Agent tenga un desempeño óptimo, fue necesario crear una función que encuentra el camino más corto a su destino. Debido a que se pueden seguir varias rutas, el algoritmo A\* ayuda a que se calcule y devuelva aquella en la que se recorrerá una menor distancia. Únicamente considera el punto de origen y el peso que tienen las rutas (es decir la distancia), sin embargo no toma en cuenta el tráfico. Se diseñó de esa manera debido a que se estableció, como condición que el agente no tendría la información del tráfico del mapa a su disposición y tendría que descubrirlo él mismo. La función se llama una vez al inicio, y solo se vuelve a llamar si el agente debe tomar una ruta debido al tráfico existente.

De igual manera, se tomó en cuenta el hecho de que no únicamente debe llegar a su objetivo, sino que debe evitar causar tráfico vehicular. Por ello, para eficientar este proceso, se realizó

una función que permite que calcule su velocidad de acuerdo a las últimas tres celdas recorridas. Para que contribuya al tema antes mencionado, el agente puede conocer este dato del agente de su carril vecino, permitiendo que se evalúe en qué carril le conviene ir, permaneciendo así en su carril o cambiándose para poder evitar el tráfico.

**Métrica de desempeño:** Para medir el desempeño del agente, podríamos asegurarnos que llegue a su destino, siendo ese su objetivo principal. Se podría observar su comportamiento en el camino, evitando causar embotellamientos, respetando a los otros agentes y tomando decisiones que lo lleven a su destino más rápido.

### ***Stoplight Agent***

Este agente fue diseñado para que el carro interactúe con él. A pesar de que este agente no toma ninguna decisión, ni tiene un objetivo, cambia su estado de luz verde a luz roja, mismo que el carro toma en cuenta para su movimiento.

### ***Target Agent y Obstacle Agent***

Ambos agentes fueron diseñados para que el carro interactúe con ellos, sin embargo no realizan ninguna acción. Se encuentran estáticos en el mapa, no toman decisiones, ni cuentan con un objetivo.

### ***Street Agent***

Este agente fue diseñado para que el carro interactúe con él. Contiene una dirección y en el caso de las intersecciones, puede llegar a contener dos direcciones. Este agente no toma decisiones, no cuenta con un objetivo y es estático en el mapa.

## **III. Arquitectura de subsunción de los agentes**

Tomando en cuenta el diseño y la prioridad que se le dieron a las acciones, se tiene una arquitectura de subsunción como la siguiente:

### ***Comportamiento Individual***

**Moverse:** El agente debe seguir el camino calculado por el algoritmo A\* a su destino. Se puede mover a sus celdas vecinas, evitando obstáculos y a otros agentes. Respeta los semáforos, deteniéndose si su luz está en rojo. El agente no se mueve hacia atrás.

**Cambiar de carril:** El agente puede moverse en sus diagonales hacia enfrente, generando así un cambio de carril. Esto puede ser requerido si se desea dar vuelta en alguna calle, o tomar un carril con menos tráfico para llegar a su destino.

**Calcular velocidad:** Para poder evaluar cual es el carril que mejor le conviene para circular, el agente calcula su velocidad en el carril actual, tomando en cuenta tres celdas anteriores.

**Saber velocidad:** Para poder evaluar cual es el carril que mejor le conviene para circular, el agente puede acceder a la información de velocidad del agente del carril vecino.

**Cambiar de ruta:** El agente cuenta con paciencia, por lo que si se encuentra estancado en el tráfico y su paciencia acaba, recalcula una nueva ruta con el algoritmo A\*

**Llegar al destino:** El agente calcula la ruta más corta con ayuda del algoritmo A\* para llegar a su destino asignado. Una vez obtenido el camino, el agente debe seguirlo hasta llegar a la celda destino.

#### *Lower priority*

Estado / Ambiente	Acción	Capacidad Efectora
Al calcular su velocidad, desea calcular la velocidad del carril adyacente	Saber velocidad	Si existe un carro vecino, al calcular su velocidad, actualiza la velocidad del otro carril, basado en el agente vecino
El agente recorre una celda	Calcular velocidad	A partir de que el agente ha recorrido una celda, empieza a calcular su velocidad. Para hacerlo toma en cuenta sus tres últimas celdas.
Exceso de tráfico No pudo moverse a la celda deseada	Cambiar de ruta	Al agente se le acaba la "paciencia" y recalcula una nueva ruta para llegar a su destino. El agente no pudo moverse a la celda deseada, por lo que continua a una vacía y recalcula su ruta al destino.
Aún no ha llegado al destino	Moverse	Se mueve a una celda vacía,

		evitando colisionar con otros carros, evadiendo obstáculos y respetando los semáforos.
Destino asignado	Llegar al destino	Encuentra el camino más corto desde la celda de origen hasta el destino, y lo sigue. Al llegar al destino, termina su proceso y desaparece de la simulación

*Higher priority*

#### **IV. Características del ambiente**

En la simulación se tiene un ambiente accesible en algunos aspectos, pero inaccesible en otros. Se podría decir que es accesible debido a que se puede conocer el mapa de la ciudad y el sentido de las calles, lo que permite que se calcule una ruta al destino desde el inicio. Por otro lado, es inaccesible en cuanto a la información del tráfico, impidiendo que el carro tome la ruta más rápida y en su lugar, toma la más corta. Tampoco se puede saber el estado de todos los semáforos y es necesario que el carro esté enfrente de él para saber si se detiene o sigue. El ambiente puede ser considerado determinista, ya que podemos observar como las acciones descritas anteriormente tienen un efecto garantizado y el ambiente en el que esta simulación se desarrolla no es muy complejo. Esto permite que el carro, por ejemplo, sepa qué hacer si hay tráfico, a donde moverse si tiene que dar vuelta o cuando detenerse ante un semáforo. Un ambiente episódico es aquel en el que el agente toma las decisiones basándose únicamente con la información con la que cuenta en el episodio actual, cómo lo es en este caso. De igual manera, el ambiente es estático porque los únicos que cambian a lo largo de la simulación son los carros. Si bien sabemos que los semáforos tienen dos estados, estos siempre se encuentran en la misma posición y tiene el mismo comportamiento, puesto que cambian de verde a rojo cada determinado tiempo, y este está preestablecido. Por último, podemos decir que es discreto, por el hecho de que hay un número fijo y finito de acciones y percepciones dentro del modelo.

#### **V. Conclusiones**

Esta simulación ha logrado replicar problemas de tráfico, lo cual podría ayudar a desarrollar soluciones más óptimas para disminuir el problema de la congestión vehicular, y mejorar la

movilidad urbana. A pesar de esto, sería importante realizar un análisis empírico para validar que el modelo sí refleja el comportamiento real del tráfico en la ciudad. Quizás hay parámetros que cambien en diferentes países, e incluso en diferentes ciudades, lo cual podría llevar a que diferentes planes urbanos sean mejores que otros.

Dicho esto, consideramos que el modelo y la simulación resultante cumple con las expectativas y los objetivos planteados. De igual manera, todavía hay mejoras que se podrían hacer. La primera de estas sería implementar lógica para reducir el tráfico en las intersecciones. Durante el desarrollo de este proyecto se intentó implementar una regla, en la que si una intersección está arriba de cierto límite en su capacidad, que los coches no entren, pero no funcionó, puesto que el comportamiento era el mismo pero redujo el flujo de coches por esa intersección. Una idea posible sería que el coche, antes de entrar a la intersección, revise si va a poder salir de la intersección sin bloquear a otros coches, para que de esta manera únicamente entre considerando que va a poder salir sin parar más tiempo del necesario. Otra alternativa que podría ser explorada sería implementar reglas, como prioridad para ciertos coches.

Otra mejora que podríamos implementar en el futuro, es la implementación de semáforos inteligentes. Para un mejor funcionamiento, se podrían calcular la cantidad de segundos necesaria que tendría que estar un semáforo en verde para que pudiera desahogar toda la calle. Una vez obtenido este número se compararía con el de su semáforo adyacente para ver quien tiene una calle más grande y darle a ese prioridad. Si la calle no está llena al 100% de su capacidad, el semáforo debe calcular cuántas celdas están ocupadas y conforme a ello calcular la cantidad de segundos necesarios para poder liberarlas. Esto ayudaría a evitar tiempos muertos donde los carros estén esperando que su luz se cambie a verde para poder avanzar y el otro carril ya no tiene carros que desahogar.

Finalmente, se podría implementar una mejor percepción en el agente. En la práctica, los conductores pueden observar el tráfico a varios coches de distancia, lo cual quizás afecte sus decisiones. Adicionalmente sería interesante evaluar un modelo en el que la información del tráfico sea totalmente accesible, y ver qué diferencia hace esta restricción. Consideramos que el objetivo de esta simulación debería ser intentar aproximarse lo más posible a la práctica, para que así pueda ser una herramienta en el diseño urbano.

## Referencias

*Óxidos de nitrógeno (monóxido de nitrógeno, dióxido de nitrógeno, etc.) (Nitrogen*

*Oxides)* | *ToxFAQ* | *ATSDR*. (2021, January 25). Cdc.gov.

[https://www.atsdr.cdc.gov/es/toxfaqs/es\\_tfacts175.html#:~:text=Respirar%20alto s%20niveles%20de%20%C3%B3xidos,los%20pulmones%20y%20la%20muerte](https://www.atsdr.cdc.gov/es/toxfaqs/es_tfacts175.html#:~:text=Respirar%20alto s%20niveles%20de%20%C3%B3xidos,los%20pulmones%20y%20la%20muerte)

.

Medio, del. (2021). *Busca Sedema reducir emisión de contaminantes en automotores*.

Secretaría Del Medio Ambiente.

[https://sedema.cdmx.gob.mx/comunicacion/nota/busca-sedema-reducir-emision-de-contaminantes-en-automotores#:~:text=El%20transporte%20particular%20\(a utos%20C%20camionetas,por%20ciento%20de%20las%20PM2](https://sedema.cdmx.gob.mx/comunicacion/nota/busca-sedema-reducir-emision-de-contaminantes-en-automotores#:~:text=El%20transporte%20particular%20(a utos%20C%20camionetas,por%20ciento%20de%20las%20PM2)

Gakenheimer, R. (1999). Urban mobility in the developing world. *Transportation*

*Research Part A: Policy and Practice*, 33(7-8), 671–689.

[https://doi.org/10.1016/S0965-8564\(99\)00005-1](https://doi.org/10.1016/S0965-8564(99)00005-1)

*Cars, Trucks, Buses and Air Pollution*. (2023). Union of Concerned Scientists.

[https://www.ucsusa.org/resources/cars-trucks-buses-and-air-pollution#:~:text=Ni trogen%20oxides%20\(NOx\),such%20as%20pneumonia%20and%20influenza](https://www.ucsusa.org/resources/cars-trucks-buses-and-air-pollution#:~:text=Ni trogen%20oxides%20(NOx),such%20as%20pneumonia%20and%20influenza).

Banerjee, N. (2022, February 3). *Stress, Anxiety, Pollution: How Traffic Jam Affects*

*Your Health!* PharmEasy Blog.



<https://pharomeasy.in/blog/stress-anxiety-pollution-effects-of-traffic-jam-on-health/#:~:text=Traffic%20and%20its%20allied%20effects,pressure%2C%20heart%20attacks%2C%20etc.>