

# INFORME DEL SISTEMA MULTI-AGENTES PARA SIMULAR MOVILIDAD URBANA EN MÉXICO

## Problema que se está resolviendo y propuesta de solución

La movilidad urbana en México se ha visto afectada por un crecimiento acelerado e insostenible del uso del automóvil. Los Kilómetros-Auto Recorridos (VKT) se triplicaron de **106 millones en 1990 a 339 millones en 2010**, generando graves consecuencias ambientales, económicas y sociales. Este aumento se correlaciona con smog, accidentes, enfermedades y congestión vehicular, afectando directamente la calidad de vida de millones de personas.

Resolver la movilidad requiere **modelar el tráfico** para entender patrones, cuellos de botella y comportamientos emergentes. En este proyecto se desarrolla una **simulación gráfica con un sistema multi-agentes**, donde vehículos, semáforos y elementos urbanos interactúan en tiempo real. La solución permite:

- Observar el flujo vehicular y detectar puntos críticos.
- Evaluar dinámicas como generación de autos, semáforos y obstáculos.
- Probar modificaciones sin riesgo, costo ni interferencia con una ciudad real.

La simulación funciona como una **herramienta de análisis para reducir congestión**, entendiendo cómo el comportamiento local de agentes individuales produce fenómenos globales.

## Diseño de los agentes

La arquitectura del sistema se basa en agentes autónomos. Cada agente posee atributos específicos y reglas de comportamiento.

### Agente “Carro”

Elemento	Descripción
Objetivo	Moverse desde un origen hasta un destino siguiendo las calles; evitar colisiones; respetar semáforos.
Estado interno	ID, posición (x, z), dirección, modelo 3D, velocidad, ruedas, destino asignado.

<b>Percepción</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Estado del semáforo en su siguiente celda.</li> <li>- Posición del carro inmediatamente adelante.</li> <li>- Obstáculos o fin de carretera.</li> </ul>
<b>Capacidad efectora</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Avanzar, detenerse, girar según la dirección de la calle.</li> <li>- Ajustar velocidad según congestión.</li> </ul>
<b>Proactividad</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Si la vía está libre, avanza automáticamente.</li> <li>- Reduce velocidad si detecta congestión.</li> <li>- Cambia dirección en intersecciones conforme al mapa.</li> </ul>
<b>Métricas de desempeño</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Tiempo de viaje total.</li> <li>- Número de detenciones.</li> <li>- Cumplimiento de destino.</li> <li>- Flujo promedio (autos/minuto).</li> </ul>

Los coches se generan dinámicamente desde el servidor (función `getCars()`), y su movimiento se actualiza continuamente vía `update()`.

#### Agente “Semáforo”

Elemento	Descripción
<b>Objetivo</b>	Regular intersecciones para evitar bloqueos y reducir colisiones.
<b>Estado interno</b>	ID, posición, estado ON/OFF (verde/rojo).
<b>Percepción</b>	Tiempo desde último cambio; número de autos acumulados (si se extiende el modelo).
<b>Capacidad efectora</b>	Cambiar el estado del semáforo y actualizar la luz renderizada.
<b>Proactividad</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Alterna entre rojo y verde en intervalos predefinidos.</li> <li>- En futuras versiones puede adaptarse a flujo.</li> </ul>
<b>Métricas de desempeño</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Reducción de filas.</li> <li>- Flujo vehicular mejorado.</li> </ul>

El estado se actualiza cada ciclo (función `getTrafficLights()`).

#### Agentes de ambiente (Roads, Obstacles, Destinations)

Agente	Objetivo	Percepción	Efectores
<b>Road</b>	Definir las trayectorias posibles; orientar a los autos.	Dirección asociada a la celda.	Ninguno (pasivo).

<b>Obstacles</b>	Representar edificios o bloqueos.	Su posición.	Ninguno.
<b>Destinations</b>	Marcar zonas donde los autos completan su recorrido.	Detectar llegada de un vehículo.	Despawning del auto.

Estos elementos estructuran el entorno sin actuar activamente.

### **Arquitectura de subsunción**

La subsunción divide el comportamiento del carro en niveles, donde los niveles superiores inhiben o reemplazan a los inferiores cuando es necesario.

### **Niveles propuestos para el agente “Carro”**

#### **1. Nivel 0 – Moverse hacia adelante (comportamiento básico)**

- El carro avanza siguiendo la dirección de la calle asignada.
- No considera semáforos ni otros autos.

#### **2. Nivel 1 – Evitar colisiones**

- Si detecta un carro inmediato adelante → se detiene.
- Si un obstáculo está en la ruta → se frena.

#### **3. Nivel 2 – Respetar semáforos**

- Si el semáforo está en rojo → prioridad total sobre el avance.

#### **4. Nivel 3 – Búsqueda de destino**

- Si llega a su destino → se elimina de la simulación.
- Si necesita girar según el mapa → cambia orientación.

Esto garantiza comportamientos coherentes sin necesidad de planificación compleja.

### **Características del ambiente**

El ambiente es:

**No determinista**

- Aunque las calles y semáforos son deterministas.
- La aparición de autos y sus destinos es aleatoria (SpawnInterval).

### **Discreto en espacio y continuo en representación**

- El modelo MESA usa una cuadrícula (celdas).
- La visualización escala cada celda a  $3 \times 3$  unidades 3D.

### **Estático en estructura, dinámico en contenido**

- Obstáculos, carreteras y destinos no cambian.
- Autos y semáforos se actualizan continuamente.

### **Observable parcialmente**

- Cada carro sólo conoce su vecindad inmediata.

### **Multi-agente heterogéneo**

- Coches  $\rightarrow$  agentes móviles.
- Semáforos  $\rightarrow$  agentes reguladores.
- Obstáculos  $\rightarrow$  elementos pasivos del entorno.

### **Conclusiones**

La simulación desarrollada demuestra que los sistemas multi-agentes son una herramienta eficaz para analizar la movilidad urbana. Permiten observar cómo reglas simples generan dinámicas complejas como congestionamientos, tiempos de espera y flujos eficientes.

Este modelo constituye una base funcional para:

- Evaluar escenarios alternativos (más autos, cambio de semáforos, rutas nuevas).
- Identificar cuellos de botella.

- Explorar estrategias para reducir tráfico antes de implementarlas en la vida real.

Una correcta comprensión del comportamiento emergente del tráfico es un paso fundamental para que México avance hacia una movilidad sostenible y eficiente.