

SIMULACIÓN MICROSCÓPICA DE TRÁFICO URBANO Y SU APLICACIÓN EN UN ÁREA DE LA CIUDAD DE ZARAGOZA

José Antonio Chanca Cáceres
Servicio de Movilidad Urbana
Excmo. Ayto. de Zaragoza
josan.alaskan@terra.es

José A. Castellanos
Departamento de Informática e Ingeniería de Sistemas
Centro Politécnico Superior
Universidad de Zaragoza
jacaste@unizar.es

Resumen

El objetivo principal de este trabajo ha sido el de obtener una herramienta para simular tráfico urbano con el fin de observar el comportamiento de la red viaria ante variaciones de los parámetros que configuran su funcionamiento, de forma que se pueda:

- Experimentar con las distintas políticas de control antes de ponerlas en funcionamiento en la red semafórica.

- Observar el comportamiento del tráfico ante posibles incidencias en la vía, como puedan ser cortes de calles, obras, acontecimientos festivos, etc.

Palabras clave: Ingeniería de Tráfico, Simulación, Eventos Discretos

1 LA SIMULACIÓN DE TRÁFICO

El elevado volumen de vehículos circulando por las ciudades hace imprescindible que en éstas existan sistemas de gestión semafórica que intenten que la circulación sea la mejor posible. Estos sistemas son los centros de control de tráfico, en los cuales un ordenador establece cual es la política de control adecuada a las circunstancias del tráfico en cada momento y lugar. Para definir las distintas estrategias de control se hace necesario estudiar las distintas situaciones de tráfico y buscar los parámetros de control semafórico que permitan que la circulación se desarrolle de forma óptima. Estos estudios se apoyan en técnicas de optimización y simulación de tráfico, herramientas que permiten al

ingeniero de tráfico determinar los parámetros de regulación semafórica adecuados [1].

La simulación de tráfico es pues una herramienta fundamental en la ingeniería de tráfico, bien como parte del bucle de optimización - simulación, bien como base para experimentar estrategias de control previamente definidas, analizar situaciones de tráfico, estudiar la señalización horizontal y vertical, prever la repercusión de las obras en la vía pública o bien para la planificación de las políticas de urbanismo en ingeniería civil en las ciudades.

Existen dos tipos principales de simulación de tráfico que están relacionadas con la profundidad del análisis a realizar. Estos tipos son la simulación macroscópica y la microscópica [2]. Ésta última considera el movimiento de cada vehículo individualmente, requiere una gran cantidad de datos, los modelos que utiliza son bastante complejos y los costos computacionales requeridos son muy elevados, por el contrario ofrece resultados que dan una idea muy detallada del funcionamiento de la red y es muy útil para analizar estrategias de control, la estructura de la red y la sensibilidad del sistema ante cambios muy concretos en el tráfico. Por el contrario la simulación macroscópica se basa en el análisis del tráfico desde una perspectiva más global, donde el tráfico se considera un continuo (no se consideran los vehículos individualmente) y su aplicación es esencialmente la planificación urbanística de obras grandes como pueden ser: Los cinturones en las ciudades, nuevas infraestructuras (estaciones de autobuses, centros comerciales, etc.), nuevos centros de atracción, etc.

Este trabajo aborda la simulación microscópica de tráfico modelado mediante formalismos de eventos discretos. Se dispone de una herramienta comercial para el modelado y la simulación de eventos discretos (software Arena [4]). Así pues se ha utilizado este software para el desarrollo de un

modelo de tráfico, se ha diseñado una aplicación para el control y gestión del modelo y su enlace con los datos que caracterizan una situación de tráfico y las estrategias de control aplicadas. Así el sistema quedará definido por un modelo que representa la estructura viaria y semafórica de la red y una aplicación denominada SimTA y desarrollada con Visual Basic [3] que permite modificar tanto las situaciones del tráfico, grabando en el modelo los datos disponibles para dichas situaciones, como los tiempos de los semáforos introduciéndolos al modelo de forma automatizada.

El estudio de simulación se realizó sobre un área conflictiva desde el punto de vista del tráfico de la ciudad de Zaragoza donde además se iba a construir una nueva intersección. Se analizaron dos estrategias de control sobre una situación de tráfico.

2 SOFTWARE ARENA

La herramienta utilizada en este trabajo para modelar y simular tráfico urbano ha sido Arena 6.0 debido a su adecuación al paradigma de eventos discretos (SED). Se trata de una herramienta totalmente compatible con Microsoft Office 97 y con Visual Basic. Arena permite el modelado de SED de una forma gráfica con gran flexibilidad ya que aporta distintos módulos que se adaptan a multitud de situaciones posibles del mundo real. La posibilidad de interactuar con un lenguaje de programación de alto nivel como Visual Basic, permite al ingeniero programar los parámetros del modelo creado con Arena, sin tener que entrar al entorno gráfico.

3 EL SISTEMA OBJETO DEL ESTUDIO

Se seleccionó un área de la ciudad de Zaragoza en colaboración con el personal del Ayuntamiento de dicha ciudad. Se establecieron nueve intersecciones de una zona conflictiva de la ciudad desde el punto de vista del tráfico, que además planteaba numerosa casuística en cuanto a la estructura de la vía se refiere.

Se utilizaron datos aportados por el Servicio de Movilidad Urbana de Zaragoza que consistieron en aforos de vehículos para una situación de hora punta de la mañana, además se utilizaron los datos de regulación semafórica de dos planes de tráfico: el plan 1 que es un plan genérico de uso para fallos del sistema y días festivos, y el plan 3 plan específico para la hora punta de la mañana.

Para evaluar el sistema se definieron unos itinerarios dentro de éste, que establecían los movimientos habituales dentro de este tramo de la vía. Cada itinerario se definía con un punto de entrada al sistema y un punto de salida y atravesaba un número determinado de intersecciones. Las medidas de prestaciones se hacían respecto a estos itinerarios y son: *Tiempos de Recorrido* y *Tiempo Perdido en Cola*. Además se media en cada línea de parada la *longitud media de cola*.

4 ASPECTOS MODELADOS DEL SISTEMA

La red semafórica puede ser modelada mediante el paradigma de eventos discretos, donde el movimiento de las entidades, i.e. los vehículos, producen eventos y el sistema interactúa modificando sus variables y generando nuevos eventos. Partiendo de esto hay que buscar cuales son los aspectos que es necesario modelar. Los aspectos a modelar del sistema se exponen a continuación.

4.1 LINEA DE PARADA

En primer lugar se consideró la línea de parada ante los semáforos (figura 1), lugar donde se originan las colas. Una línea de parada es un lugar de la red donde los vehículos que llegan y se colocan al final de una cola bien porque el semáforo está rojo o por que hay congestión. Normalmente la línea de parada está compuesta por varios carriles y por lo tanto por sendas colas. Cada carril puede tener una direccionalidad determinada y definida por la señalización horizontal. Generalmente la líneas de parada tienen asociados pasos de peatones que en ocasiones interactúan con el tráfico rodado.

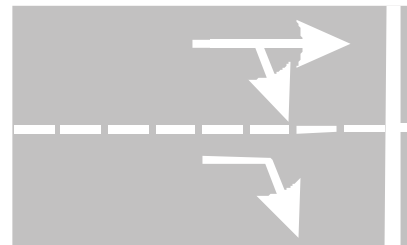


Figura 1: Ejemplo de línea de parada.

4.2 OPCIÓN DE PASO

Como ya se ha dicho cuando un vehículo llega a una línea de parada que está gobernada por un semáforo pueden ocurrir dos cosas: (a) Que el vehículo pueda pasar, o (b) que no pueda pasar. Esto se denomina opción de paso. ¿Qué factores intervienen en la opción de paso?. Un vehículo no podrá pasar por la línea de parada si:

- Existe una cola en la línea de parada.
- Si el semáforo está rojo.
- Si “aguas abajo” de la línea de parada hay una cola que impide la progresión del tráfico.
- Si en la circulación transversal existe una cola que se ha quedado en medio del cruce.

En el caso de que un vehículo llegue a una línea de parada y no se encuentre nada de lo anterior, podrá pasar, luego podrá entrar en servicio. Entrar en servicio consistirá simplemente en pasar por la línea de parada, pero ¿Cuánto tiempo le costará atravesarla?, este tiempo es el que denominaremos tiempo de paso.

4.3 TIEMPO DE PASO

Como se ha indicado el tiempo de paso es el tiempo que le cuesta a un vehículo atravesar la línea de parada. Este concepto está directamente ligado a la intensidad de saturación y a como se mide ésta. ¿Qué ocurre cuando hay una cola de vehículos parados ante un semáforo en rojo y este se pone en verde?, pues si el primer vehículo tiene opción de paso, se pone en marcha y atraviesa la línea de parada, pero esto no ocurre de forma instantánea, sino que cuando el semáforo pasa de rojo a verde transcurre un tiempo hasta que el conductor del primer vehículo se percata, arranca y cruza la línea. Este tiempo será un poco menor en el caso del segundo conductor ya que ha tenido tiempo para percibir el estado del semáforo, aunque no suficiente para arrancar ya que delante tiene al primer vehículo, el tercero tardará un poco menos que el segundo y a partir del tercer vehículo se considera que el tiempo de paso del resto de vehículos de la cola es siempre igual, o sea que la cadencia de paso o tiempo de paso es constante.

El valor de tiempo de paso típico t_p de una línea de parada, es realmente el inverso de la intensidad de saturación I_{sat} donde:

$$I_{sat} = \frac{1}{t_p} \cdot 3600$$

I_{sat} = Intensidad de saturación en *vehículos/hora*
 t_p = Tiempo de paso en *segundos/vehículo*

La forma de medir la intensidad de saturación, consiste en colocarse en una línea de parada cuyas colas estén bien cargadas y cuando se ponga verde el semáforo se espera a que pasen tres vehículos de cada cola y luego se pone en marcha un cronómetro y se cuenta el tiempo que cuesta que pasen todos los vehículos y el número de ellos que han pasado. Cuando un vehículo llega a una línea de parada y tiene opción de paso, es decir no hay colas que le impidan pasar y el semáforo está verde, simplemente pasa y el tiempo de paso es prácticamente nulo, ya que generalmente el vehículo mantiene la velocidad y la anchura de la línea de parada es muy pequeña.

Este comportamiento de los vehículos que están en cola ante un semáforo, es el que se asemeja a un fluido compresible y es uno de los aspectos que se han modelado.

4.4 SELECCIÓN DE CARRIL

Los vehículos cuando llegan a una línea de parada se suelen encontrar con varios carriles con una señalización horizontal que les indica qué carril han de elegir para ir a su destino. Muchas veces se encontrarán con que hacia su destino pueden elegir entre dos o más carriles. Generalmente los vehículos se cambiarán de carril, primero en la búsqueda del que le lleve a su destino y segundo del que tenga menos cola o sea el más rápido. Esto no siempre es así, ya que los vehículos los conducen personas que a veces les da igual que carril coger bien por despiste o por no tener prisa.

La elección de carril es importante de modelar por que de ella depende la formación de colas.

4.4 CIRCULACIÓN ENTRE LÍNEAS DE PARADA

Cuando un vehículo abandona una línea de parada lo hace, o bien para salir del sistema o bien para dirigirse a otra línea de parada. Este movimiento se realiza por las calles que unen las intersecciones y durante el recorrido se suelen hacer pocos cambios de carril, a una velocidad casi constante y generalmente se produce una deceleración al llegar al final de una cola o a otra línea de parada.

El tiempo de recorrido entre dos intersecciones semafóricas es una variable de la que se hacen medidas con cierta periodicidad en el centro de control de tráfico.

4.5 LA REGULACIÓN SEMAFÓRICA

Las intersecciones semafóricas funcionan según un plan de tráfico establecido, compuesto de ciclo, reparto y desfase. Todas las intersecciones funcionan según la misma base de tiempos. Los estados de los semáforos principales en la circulación son el verde y el rojo, si bien es cierto que existen diversas configuraciones, pero generalmente son asimilables al verde y al rojo.

5 HIPÓTESIS REALIZADAS

De la observación del tráfico real, se pueden plantear las siguientes hipótesis:

Primera: Los vehículos al llegar a una línea de parada o intersección seleccionan el carril por el que van a circular en primer lugar en función del destino que van a tomar y en segundo lugar en función de los carriles que le pueden llevar a su destino, eligen el que menos vehículos tiene.

Segunda: El tiempo de paso por una línea de parada, siempre que exista opción de paso, será cero cuando el vehículo llegue a la línea de parada y no haya cola. Cuando el semáforo pase del rojo al verde y haya una cola existirá una función que rija el tiempo de paso.

Tercera: Entre intersecciones la velocidad será constante, y tendrá el valor medido para esa situación de tráfico. Se desprecian los efectos de deceleración al llegar a la línea de parada.

Cuarta: Los conductores cumplen las normas de tráfico.

Quinta: Los semáforos sólo tienen rojo y verde.

Estas hipótesis son aproximaciones muy cercanas a la realidad y no van a tener una gran influencia en los resultados.

6 FUENTES DE ALEATORIEDAD EXISTENTES.

El tráfico se comporta cíclicamente y existen pocas diferencias entre un día laborable y otro. No obstante a nivel microscópico y en períodos de tiempo pequeños existe gran variabilidad en el comportamiento del tráfico. Las fuentes de aleatoriedad principales del sistema son:

Intensidad de entrada. Es el número de vehículos que entran en unidad de tiempo al sistema.

Distribución de tráfico dentro de la red. Son los tantos por ciento de giro que se establecen en las líneas de parada en función de la dirección que se vaya a tomar.

Tiempo de paso. El tiempo de paso en la línea de parada está regido por una función exponencial con límite en el tiempo típico de paso. Este valor será el que tenga una componente aleatoria.

Velocidad de circulación. La velocidad entre líneas de parada será la medida realizada para esa situación en ese tramo de la vía.

7 MODELADO DEL SISTEMA

7.1 ESQUEMA BÁSICO DE UNA LÍNEA DE PARADA

Una línea básica de parada está formada según el esquema de la figura 2. Consiste en una entrada, a continuación un bloque de decisión donde se elige el carril en función del destino y del tráfico, después está el bloque de proceso y cola donde se entra en servicio, es decir donde se habilita la opción de paso y se asigna el tiempo de paso, posteriormente un segundo bloque de decisión de carril y destino y por último los enrutamientos hacia las siguientes líneas de parada. En el esquema aparecen recogidos todos los aspectos a simular del tráfico.

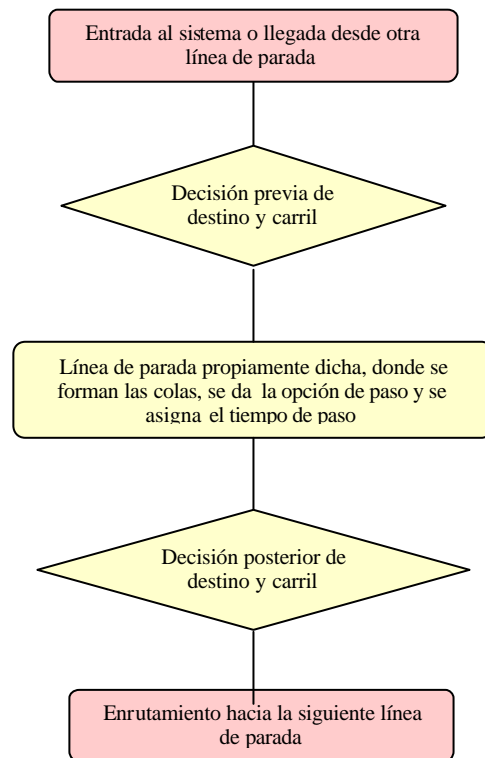


Figura 2: Esquema de línea de parada.

En la figura 3 se puede observar el modelado de la línea de parada correspondiente a la figura 1, que es una línea de parada de dos carriles con dirección “recto” en ambos y la posibilidad de girar a la derecha desde el carril derecho. También se observa la correspondencia con el esquema general de la figura 2.

7.2 CONTROL DE LA OPCIÓN DE PASO

La opción de paso en la línea de parada se controla individualmente para cada carril de esa línea de parada. La opción de paso se controla asignando el sí se puede pasar o el no se puede pasar al correspondiente control de opción de paso de cada carril. El criterio para modificar el control de paso es el resultado de consultar diversas variables del sistema: El estado del semáforo, las colas “aguas abajo” del carril, y las colas transversales que pudieran impedir el paso. Para consultar el estado de estas variables y modificar el valor del recurso se utiliza la configuración de la figura 4.

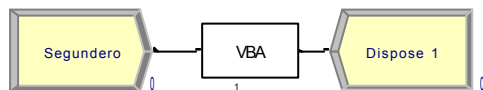


Figura 4: Bloques para control de opción de paso.

Toda la gestión del control de las opciones de paso de cada carril se realizan con un bloque de programación en Visual Basic que se ejecuta cada segundo.

8 GESTIÓN DEL MODELO DE TRÁFICO. APLICACIÓN SimTA

SimTa es una aplicación desarrollada para la manipulación de modelos de tráfico desarrollados con Arena. En un modelo de tráfico es interesante poder modificar algunas variables del sistema. Estas variables son fundamentalmente dos: La situación del tráfico y la regulación del tráfico. Así pues, el modelo tiene dos partes diferenciadas, una la parte que modela la estructura de la vía y que permanece inalterable excepto en casos de modificación de las calles, señalización horizontal, cortes de calles, obras, etc. y otra parte que cambia constantemente, que como se ha dicho son la situación del tráfico en cada momento y el plan de tráfico en funcionamiento para la regulación del mismo. Modificar estos parámetros en el modelo directamente es una tarea complicada por lo extenso del modelo, por ello se hace necesaria una automatización de la modificación de parámetros del modelo, SimTA se encarga de esto (figura 5) .

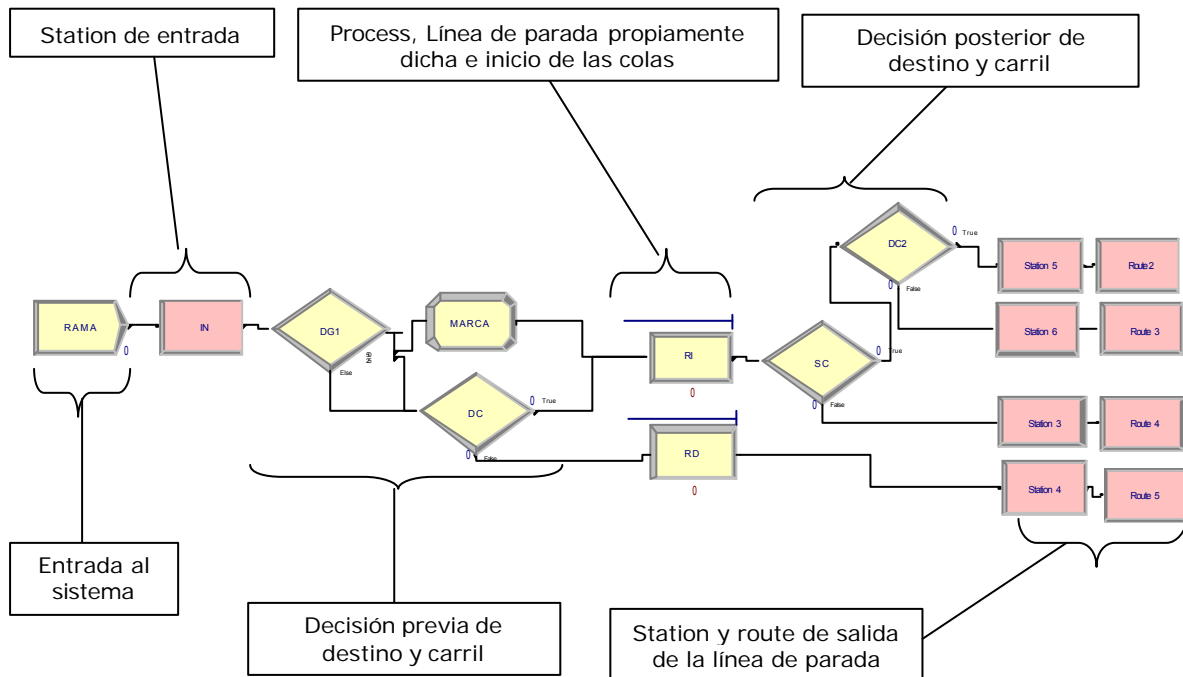


Figura 3: Modelado con Arena de una línea de parada con dos carriles

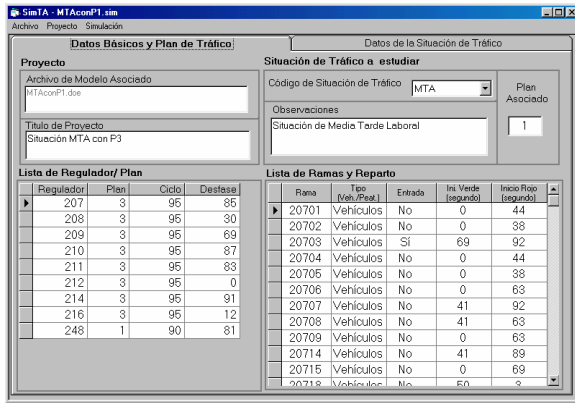


Figura 5: Pantalla de datos a volcar al modelo.

El Centro de Control de Tráfico toma datos fundamentalmente de la situación del tráfico en distintas áreas de la ciudad y dispone de unos planes de tráfico que son los que aplica a distintas horas del día, esta información puede estar disponible en sendas bases de datos. Esta información una vez procesada y formateada es la que utiliza el modelo de tráfico para la realización de los distintos experimentos de simulación.

De forma general el funcionamiento es el siguiente (figura 6):

Tenemos que la aplicación gestiona el modelo, busca la información de situaciones de tráfico y planes de regulación, los graba en el modelo y guarda toda la información de cada experimento en un archivo de proyecto.

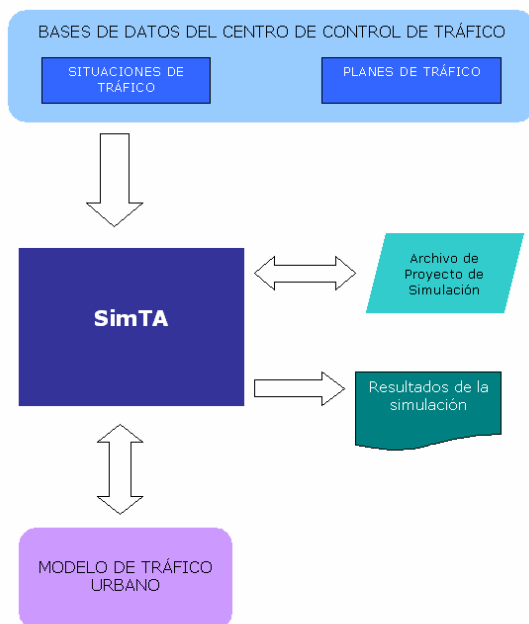


Figura 6: Esquema de funcionamiento de SimTA

Cuando se ha ejecutado una simulación, realiza un informe sobre las medidas de prestaciones previstas, que bien puede ser impreso o bien simplemente consultado en pantalla. La aplicación Arena 6.0 aparece minimizada y en principio no es necesario verla excepto cuando se realiza una simulación con animación que permite ver la simulación a una velocidad más lenta, pero donde se aprecia el movimiento de los vehículos y por lo tanto se puede ver directamente la evolución del sistema. Aunque no es necesario utilizar Arena para realizar la simulación se puede acceder al programa en cualquier momento sin que afecte al funcionamiento.

9 EXPERIMENTACIÓN

La experimentación con el modelo realizado se centra en la situación de tráfico denominada PMA y corresponde con una situación de hora punta por la mañana. Esta situación se experimentará con dos planes de tráfico: El plan 1 correspondiente a situaciones de funcionamiento del sistema sin control centralizado o días festivos y el plan 3 correspondiente al plan previsto en el control horario para la situación PMA.

Se analizarán únicamente los pasos a seguir en el primero de los casos.

9.1 DECISIONES PREVIAS A LA EXPERIMENTACIÓN

Antes de realizar los experimentos necesitamos conocer en que forma vamos a realizar la experimentación, esto es, decidir que condiciones iniciales debe tener el modelo, el período de precalentamiento o lo que es lo mismo en que instante se alcanza el régimen permanente, el número de réplicas que se han de realizar y la duración de cada réplica.

9.2 CONDICIONES INICIALES

Las condiciones iniciales son el estado en el que se encuentra el modelo en el momento de comenzar cada una de las réplicas. En nuestro caso inicialmente el modelo se encontrará vacío de coches (*empty-and-idle*), por lo que será necesario determinar un tiempo de precalentamiento para alcanzar el régimen permanente.

9.3 PERÍODO DE PRECALENTAMIENTO

Al considerar que las condiciones iniciales son el modelo vacío de coches, habrá que esperar un cierto tiempo a que se alcance el régimen permanente. El objetivo de considerar un período

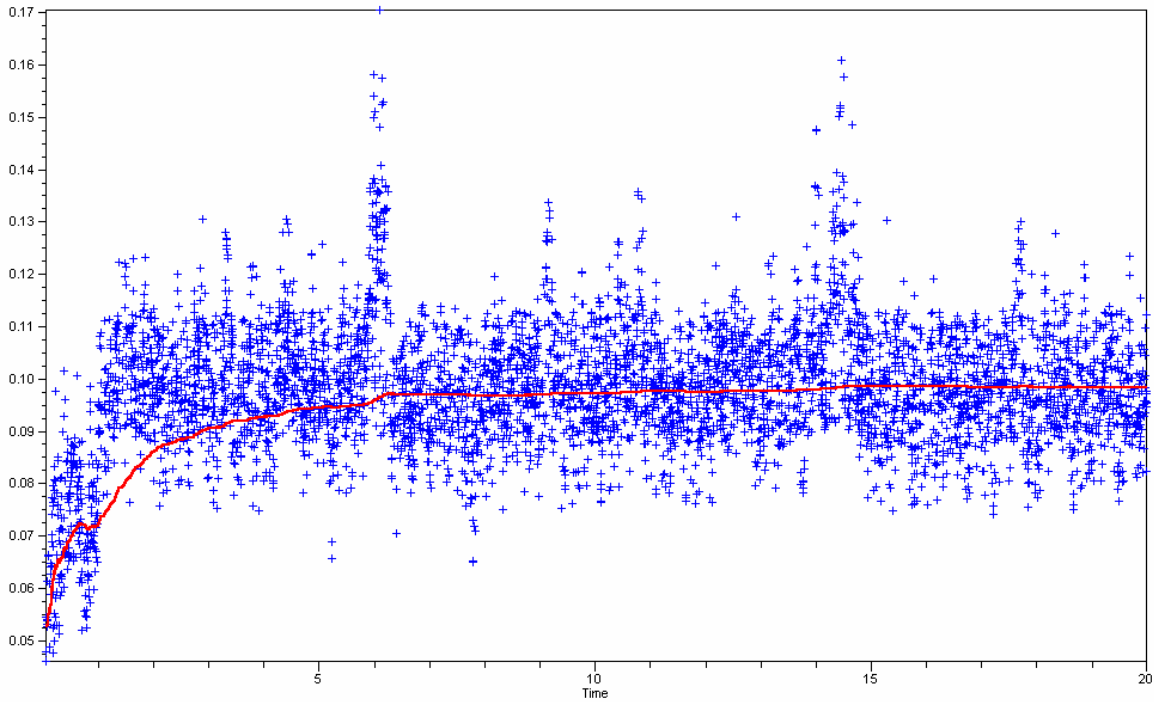


Figura 7: Gráfica de proceso estocástico promedio

de precalentamiento es precisamente eliminar la influencia de las condiciones iniciales en la medida de prestaciones.

Se va a ejecutar una simulación de la situación PMA con plan 1 de duración 20 horas. Se recolectarán los datos de cada itinerario en un archivo que se ha definido en el modelo.

9.4 GRÁFICAS DEL PROCESO ESTOCÁSTICO PROMEDIO

Estas gráficas están pensadas para observar la tendencia de los datos obtenidos de las observaciones de las medidas de prestaciones. En ellas podemos observar: Con una cruz (+) las observaciones individuales y con una línea (-) el proceso estocástico promedio. Este proceso consiste en un filtrado de la información que permite un suavizado de la misma. Este suavizado se obtiene realizando un promedio de todas las observaciones individuales anteriores al instante actual. Con estas gráficas podemos observar en que momento de la simulación se llega al régimen permanente (figura 7).

Se van a analizar las gráficas para los tiempos de recorrido de ocho itinerarios definidos en el modelo. En el eje de ordenadas se tienen los valores del tiempo de recorrido para el itinerario, en horas, y en el eje de abscisas aparece la duración de la simulación también en horas. Sólo se miran estas

medidas de prestaciones ya que el tiempo de recorrido es la medida que más cuesta que llegue al régimen permanente por lo tanto se obviarán este estudio para los tiempos perdidos en cola y las longitudes de cola.

De la observación se podrán descartar los itinerarios cuyo comportamiento se considere anómalo.

9.5 ANÁLISIS DE LAS GRÁFICAS DEL PROCESO ESTOCÁSTICO PROMEDIO

Del análisis de las gráficas podemos concluir que los tiempos de precalentamiento para cada uno de los casos es el que aparece en la tabla 1.

ITINERARIO	Tiempo de precalentamiento (horas)
ITIN1	4
ITIN2	7
ITIN3	7
ITIN4	6
ITIN7	7

Tabla 1: Tiempo de precalentamiento.

Los resultados obtenidos para los itinerarios 5 y 6 tienen un comportamiento anómalo por lo que no

son considerados. El itinerario 8 tampoco se considera por tener pocas observaciones.

Por lo tanto después de observar las gráficas anteriores, se concluye que un período de calentamiento adecuado sería de 7 horas.

El siguiente paso sería investigar el número de réplicas necesarias para que las medidas de prestaciones tengan un intervalo de confianza aceptable.

9.6 NÚMERO DE RÉPLICAS

El número de réplicas es el número de veces que se repite cada uno de los experimentos, pero con la diferencia de que los números aleatorios empleados en las variables aleatorias del modelo siguen una secuencia totalmente distinta en cada experimento. Para determinar el número de réplicas se ha utilizado el mismo modelo con la misma situación de tráfico (PMA) y con el mismo plan de tráfico (Plan 1). El experimento se ha realizado con 5 réplicas de 20 horas.

Los resultados obtenidos para intervalo de confianza del tiempo de recorrido medio para los itinerarios considerados son los de la tabla 2:

ITINERARIO	Tiempos de recorrido para la situación PMA con Plan 1	Tiempos de recorrido para la situación PMA con Plan 3
ITIN1	3.21 ± 0.0054	3.32 ± 0.0236
ITIN2	6.00 ± 0.0079	3.84 ± 0.0256
ITIN3	2.79 ± 0.0956	3.09 ± 0.0388
ITIN4	3.37 ± 0.0057	3.67 ± 0.0132
ITIN7	3.82 ± 0.0302	4.01 ± 0.0414
ITIN8	3.12 ± 0.1457	3.00 ± 0.0617

Tabla 2: Resultados con 5 réplicas y 20 horas

Debido al elevado número de observaciones en cada uno de los casos analizados, la anchura del intervalo de confianza es muy pequeña. El caso mas desfavorable es el del itinerario 8 cuyo intervalo de confianza es de ± 0.14577 minutos o lo que es lo mismo 9 segundos aproximadamente que supone un error en la medida de $\pm 4.67\%$. Por debajo del 5% de error la medida es considerada válida. Por lo tanto la simulación de 5 réplicas de 20 horas para cada experimento será suficiente para estimar las diversas medidas de prestaciones con bastante precisión.

Una vez conocido el número de réplicas y el período precalentamiento ya conocemos los parámetros para realizar la simulación y por tanto se puede proceder a la experimentación directamente.

Todo el proceso de experimentación es repetido para el Plan 3.

9.7 ANÁLISIS DE LOS TIEMPOS DE RECORRIDO

Después de realizar las dos simulaciones planteadas anteriormente se obtienen los resultados de la tabla 3. Con estos datos se podrán comparar ambos experimentos.

ITINERARIO	Tiempo de recorrido medio en minutos	Semilongitud del I.C. al 95%
ITIN1	3.21	0.00538
ITIN2	6.00	0.00789
ITIN3	2.79	0.09557
ITIN4	3.37	0.00574
ITIN7	3.82	0.03023
ITIN8	3.12	0.14577

Tabla 3: Resultados para la situación PMA.

Del análisis de los resultados se puede ver que los tiempos de recorrido son aproximadamente igual en ambos experimentos a excepción del itinerario 2 que es mucho peor con el Plan 1 que con el Plan 3. En principio se puede decir que el plan 3 es más adecuado para la situación PMA que el plan 1.

9.8 ANALISIS DE SITUACIONES DE CONGESTIÓN

De la observación de las medidas de prestaciones se observan diversas situaciones de congestión en el sistema, que se analizan posteriormente con la simulación animada para reconocer la naturaleza del problema. En las figuras 8, 9 y 10 se observan los problemas de congestión en distintos puntos del sistema objeto de estudio.

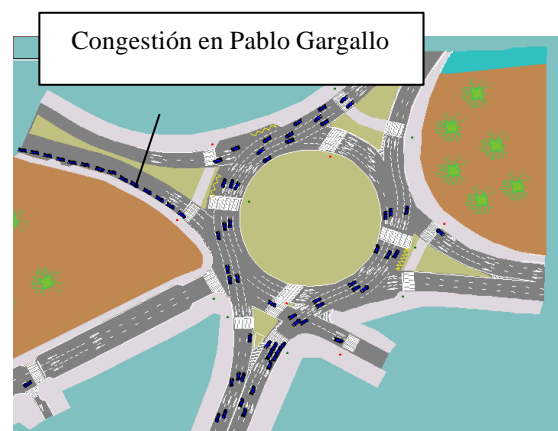


Figura 8: Plaza de Europa.

En la Plaza de Europa (figura 12) se puede observar que sólo aparecen problemas de congestión en el carril derecho de la calle Pablo Gargallo en el acceso a la plaza de Europa, esta situación se corresponde con las medidas de prestaciones obtenidas. Esta congestión aparece porque el carril derecho es el único que permite el giro a la derecha. Por lo tanto sería necesario revisar la señalización horizontal en éste punto.

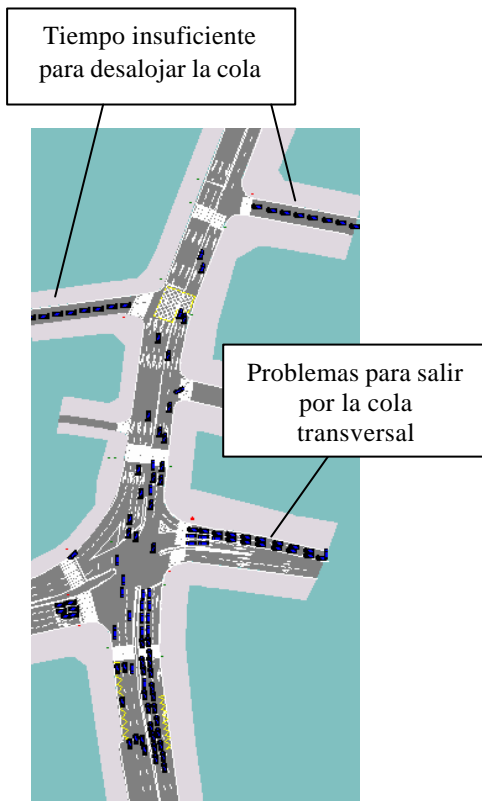


Figura 9: Cruce del Portillo.

En el tramo del cruce del Portillo (figura 4) del sistema se observa que los vehículos procedentes de la calle transversal tienen problemas para salir por la cola de la avenida principal. Las salidas de las calles laterales se saturan por que el tiempo del semáforo es insuficiente para desalojar esta cola. Convendría revisar el desfase en esta intersección para evitar que los vehículos se queden sin espacio para pasar por que la cola sea muy larga. Respecto a las salidas laterales son colas que carecen de importancia por el escaso tráfico que se ve implicado.

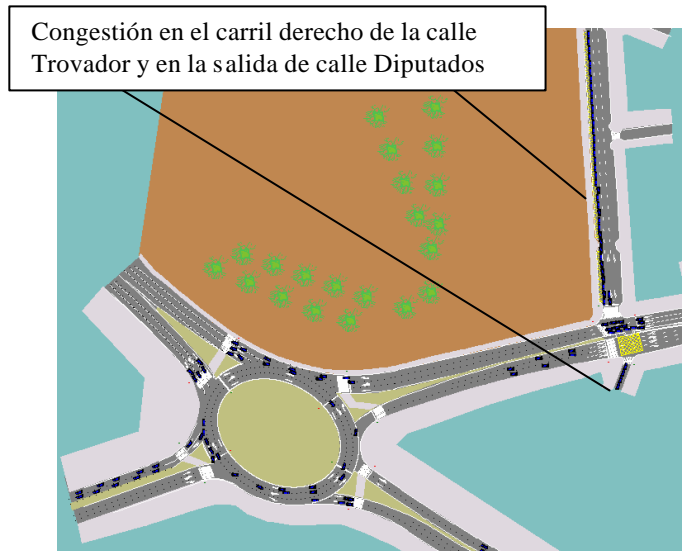


Figura 10: Avda. de Madrid – A68.

En la figura 10 nuevamente están congestionadas las calles que desembocan en las avenidas grandes, es el caso de la calle de los Diputados, donde el problema radica en el paso de peatones cuando quieren girar a la derecha. Lo mismo ocurre con los que quieren salir desde Trovador . El problema de la calle de los Diputados es la ubicación del paso de peatones al girar a la derecha, se debería proponer un cambio de sitio.

10 CONCLUSIONES

10.1 LA SIMULACIÓN MICROSCÓPICA

Se abordó anteriormente la diferencia entre simulación macroscópica y microscópica. Podemos decir que cuando trabajamos pensando en la regulación semafórica y en el diseño de la estructura de la vía, la simulación microscópica es fundamental, ya que se llegan a conclusiones del tipo: La señalización horizontal en un carril puede provocar una congestión de tráfico, sería conveniente revisarla, o modificando éste o aquel tiempo de desfase evitaremos ésta o aquella cola, etc. Por lo tanto podemos concluir que sí esta justificado desarrollar un modelo al nivel de detalle de una simulación microscópica ya que se llegan a conclusiones que afectan directamente al funcionamiento del sistema y desde el punto de vista de la regulación semafórica los detalles del sistema importan y mucho ya que un simple tiempo de desfase mal calculado puede provocar grandes atascos.

10.2 LA GESTIÓN DEL MODELO

Un sistema de tráfico es algo más o menos estable, ya que la estructura física y semafórica cambia poco. Por lo tanto los modelos generados según este trabajo también son estables y el trabajo arduo de su diseño merece la pena ya que con la aplicación SimTA podemos modificar fácilmente los parámetros que sí varían continuamente y de esta forma analizar las más diversas situaciones de tráfico dentro del sistema.

10.3 UTILIDAD DE LA SIMULACIÓN

En los últimos años se ha echado en falta, por parte del Servicio de Movilidad Urbana del Ayuntamiento de Zaragoza, una herramienta práctica que permitiera prever situaciones de tráfico, analizar políticas de control antes de implantarlas en la calle, anticiparse a los problemas generados por las obras en la ciudad o para estar preparado ante eventos deportivos, festivos, etc. El presente trabajo, ha cubierto al menos parte de este vacío.

10.4 POSIBLES MEJORAS

El modelo realizado podría completarse con la inclusión de los peatones, especialmente en los puntos donde hay semáforos de filtrado entre peatones y vehículos, esto ha sido probado con éxito aunque no se ha implantado por cuestiones de tiempo. También se podría incluir en un modelo de tráfico el transporte urbano, estacionamientos o cualquier elemento del tráfico que se nos ocurra ya que el software Arena es enormemente flexible a la hora de modelar sistemas dinámicos de eventos discretos.

El criterio seguido para el modelado se ha basado en la disponibilidad de la información, es decir, la información disponible ha determinado la estructura interna del modelo. Si se partiera de cero o sea, si pudiéramos definir la toma de datos desde el principio, tal vez cabrían otras formas de construcción aunque siempre serían muy similares a la aquí presentada.

10.5 ADAPTACIÓN DE ARENA A SISTEMAS DE TRÁFICO

Arena es un software de propósito general para el modelado y simulación de sistemas de eventos discretos, lo que le permite ser muy flexible a la hora de diseñar modelos de todo tipo. Esto ha sido una gran ventaja ya que el tráfico requiere de

flexibilidad, porque las posibles estructuras físicas y de funcionamiento de un sistema de tráfico son muy variadas. No obstante algunos aspectos del software podrían mejorar si los creadores hubiesen pensado en modelos de tráfico, sobre todo en el aspecto gráfico (movimiento de los vehículos dentro de las colas) y en el desplazamiento de los vehículos entre líneas de parada (aceleración, deceleración, no poder sobrepasar al vehículo precedente, etc). Por otro lado la velocidad de cómputo de los ordenadores actuales limita el tamaño de los modelos así realizados, pero con el tiempo esto no será un problema.

Agradecimientos

Los autores agradecen enormemente al Servicio de Movilidad Urbana del Excmo. Ayto. de Zaragoza el suministro de la información necesaria para la realización de este trabajo.

Referencias

- [1] Antonio Valdés, Sebastián De La Rica, Mariano Gullon y Jaime Azcoiti, *Ingeniería de Tráfico*. Editorial Dossat, S.A.1982.
- [2] Martínez Márquez, *Control de Tránsito Urbano*. Editorial Limusa México 1979.
- [3] Ceballos, Fco. Javier. *Enciclopedia de Microsoft Visual Basic 6*. Ra-Ma Editorial, 1999.
- [4] W. David Kelton, Randall P. Sadowski, Deborah A. Sadowiski. *Simulation with Arena*, McGraw-Hill 2002.
- [5] *Arena*. Rockwell Software. www.arenasimulation.com