

## **Un Sistema Avanzado de Información a Viajeros aplicado a la ciudad de Montevideo.**

MSc. Ing. Daniel Giosa (dgiosa@artech.com.uy), MSc. Ing. Omar Viera (viera@fing.edu.uy).

Facultad de Ingeniería, Universidad de la República Oriental del Uruguay.  
Departamento de Investigación Operativa. Instituto de Computación.

### **Resumen ejecutivo**

Un Sistema Avanzado de Información a Viajeros es el componente, dentro de los Sistemas de Transporte Inteligentes, que se debe llevar información y servicios de tránsito y tráfico a la población. Este trabajo presenta un Sistema Avanzado de Información a Viajeros, que utilizando páginas web de Internet, permite que los usuarios puedan acceder a información de tráfico. Además se realizan algunos experimentos que demuestran que es conveniente adaptar los algoritmos de planificación de rutas, a las diferentes condiciones de tráfico.

**Palabras claves:** Sistemas de Transporte Inteligentes, Sistemas Avanzados de Información a Viajeros, planificación de rutas, algoritmos de ruteo de vehículos, simulación de tráfico, Internet, sitios web, sistemas de información geográfica.

## **1 - Introducción.**

El transporte terrestre urbano en la ciudad de Montevideo, capital del Uruguay, presenta principalmente problemas de seguridad y movilidad. El número de accidentes de tránsito con consecuencias graves, es demasiado elevado, al punto de que se considera la principal causa de muerte entre personas jóvenes. En materia de congestión también hay problemas. Las autoridades municipales de Montevideo aplican políticas para desalentar el uso de vehículos particulares en las zonas céntricas de la ciudad como estacionamiento tarifado, cepeo o zonas de exclusión.

El enfoque que se ha tomado en otros países con problemas similares es utilizando los Sistemas de Transporte Inteligentes (STI) [1]. Estos sistemas son la evolución a los sistemas de transporte actuales los cuales, utilizando tecnología de última generación e información, prometen mejorar el desempeño general del sistema, la calidad de vida de las personas y la economía de toda la nación.

En este trabajo se desarrolla un prototipo de un Sistema Avanzado de Información a Viajeros (SAIV) que es el componente de los STI encargado de difundir la información del tráfico y tránsito a las personas que deban moverse utilizando el sistema de transporte terrestre. Para llevar la información a los usuarios se utiliza un sitio web de Internet.

Esta propuesta permite mostrar que el desarrollo de un SAIV implica principalmente la integración de distintas tecnologías como bases de datos, sistemas de información geográfica y páginas web. De las pruebas realizadas se puede concluir que estos sistemas pueden beneficiar a los usuarios, logrando interesantes beneficios para el usuario como la disminución en el tiempo de viaje.

El artículo está organizado de la siguiente manera: en la siguiente Sección se introduce a los Sistemas Avanzados de Información a Viajeros. Luego, en las Secciones 3 y 4 se describe el prototipo realizado y todos sus componentes. Finalmente, en la Sección 5 se detallan las pruebas realizadas con el sistema y en las Secciones 6 y 7 se presentan las conclusiones abordadas y el trabajo futuro.

## **2 - Sistemas Avanzados de Información a Viajeros.**

Dentro de los Sistemas de Transporte Inteligentes, los Sistemas Avanzados de Información a Viajeros son componentes esenciales. Se encargan de difundir información que permite tomar decisiones sobre el viaje que se debe realizar, por ejemplo cuál es la mejor ruta para llegar al destino usando un vehículo o qué combinación de transportes públicos se deben realizar y cuánto es el costo. Los SAIV benefician en diferentes aspectos a las personas y a la ciudad, por ejemplo: mejoran la movilidad, haciendo un uso óptimo de las calles y disminuyendo el tiempo en desplazarse de un lugar a otro, también beneficia a los usuarios ahorrándoles tiempo, dinero y brindándoles seguridad e información [2]. Para llevar a cabo las tareas de recolección de información, procesamiento y entrega al usuario, los SAIV utilizan tecnología avanzada. La información es recolectada de diversas fuentes por ejemplo: los Centros de Administración del Transporte que recolectan información sobre carreteras o puentes con cámaras y sensores, Centros Meteorológicos, páginas amarillas, oficinas de turismo, información estadística, etc. Los SAIV procesan toda esa información que reciben de modo de poder integrarla, almacenarla y entregarla al usuario.

Los SAIV se distinguen en dos tipos, dependiendo de si brindan información para conductores de vehículos o para peatones. Los servicios de *tráfico* están orientados a los conductores de vehículos, por ejemplo se brinda información sobre el nivel de congestión de calles, ruteo entre dos puntos de la ciudad, alertas por incidentes, etc. En el caso de los servicios e información de *tránsito* está orientado a personas que utilizan el transporte público o medios alternativos de transporte. En este caso brindan información sobre el transporte público, interconexión entre medios de transporte distintos, precios de pasajes y mapas, entre otros servicios.

Los SAIV surgen durante los años 80 y 90 donde se diseñan y se construyen distintos prototipos de sistemas [1], que se caracterizan por brindar servicios para zonas muy específicas como una ruta o un puente. Pero a medida que se van logrando avances en distintas tecnologías como electrónica, computación, comunicaciones o satélites los horizontes de estos sistemas se van ampliando. Una combinación de tecnologías que definitivamente revitalizó el área de los SAIVs es la combinación de páginas web de Internet y dispositivos portátiles con conexión inalámbrica. Distintos sistemas prácticos e investigaciones académicas confirman que es posible utilizar páginas web para construir SAIVs [3], [4], [5] y [6]. Sin embargo, a principios del año 2000 distintos informes en Estados Unidos, indican que las implementaciones de los SAIVs

que utilizan sitios web, tenían carencias importantes en los servicios que ofrecían [7], [8], [9] y [10]. Estos informes despiertan nuevamente el interés en el área.

### 3 - Un prototipo de un SAIV.

En este trabajo se desarrolla un prototipo de un SAIV, que implementa dos servicios representativos de la funcionalidad básica de un SAIV de tráfico: planificación de la ruta, que consiste en indicar el camino a seguir desde un punto de la ciudad a otro y brindar información sobre congestión en el tráfico. Como la ciudad de Montevideo cuenta con una muy escasa y reciente infraestructura de monitoreo del tráfico, se utiliza una simulación para generar dicha información. Para acceder a la información se utiliza una página web.

Por las características del sistema, hay cuatro puntos importantes a contemplar en el diseño del sistema. Estos puntos son: el uso de mapas digitales, los algoritmos de planificación de rutas y el manejo y la presentación de la información.

La utilización de mapas es una forma muy conveniente para presentar información sobre rutas y tráfico, por lo tanto el sistema debe tener la capacidad de generar y presentar mapas digitales. Los algoritmos de planificación de rutas son un aspecto crítico del sistema, ya que las planificaciones generadas deben mejorar el conocimiento y experiencia del usuario en el sistema de transporte. Para manejar adecuadamente el volumen de información y datos generados y procesados, deben utilizarse Bases de Datos digitales. Para presentar la información y brindar el acceso a las aplicaciones es necesario un sitio web.

El sistema está compuesto por distintos módulos que integrados forman el SAIV, llamado Viajero Informado. En la Figura 1 se presenta la arquitectura del sistema. Las flechas entre los módulos indican en qué sentido se utilizan los servicios provistos por cada módulo. En la Base de Datos se almacena toda la información del sistema, como mapas digitales, información de usuarios del sitio web, información de tráfico, etc. El módulo de Planificación de Rutas, se encarga de ejecutar los algoritmos de planificación de rutas que guiarán al usuario hacia el destino. El Servidor de Mapas provee mapas digitales interactivos. El módulo de Simulación de Tráfico se encarga de generar, procesar y almacenar en la Base de Datos las condiciones del tráfico de la ciudad. El módulo del Sitio Web implementa la interfase con el usuario final.

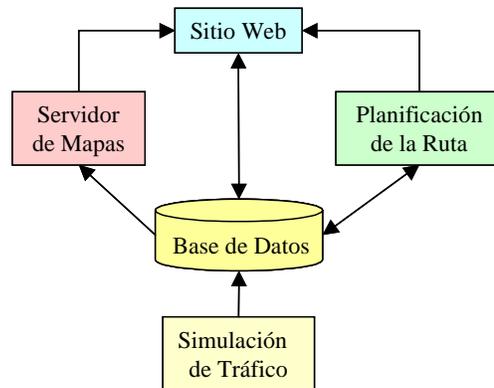


Figura 1. Arquitectura de Viajero Informado.

#### Base de Datos.

La Base de Datos cumple dos funciones en el sistema, almacena toda la información y permite la comunicación de los distintos módulos, permitiendo que la información dejada por unos sea accedida por los demás. El gestor de Base de Datos utilizado en el proyecto fue PostgreSQL [11]. Para manejar información geográfica se utilizó PostGIS [12] que permite el manejo de objetos geográficos sobre PostgreSQL.

El diseño de la Base de Datos contempla las necesidades de información de cada uno de los módulos. El sitio web utiliza algunas tablas para almacenar información administrativa sobre el manejo de los datos geográficos y sobre las sesiones que generan los usuarios al ingresar al sistema. Existen también tablas que almacenan la información geográfica como calles, manzanas, ríos, etc. El Servidor de Mapas y el Simulador de Tráfico utilizan estas tablas para generar los mapas que

necesitan. Los algoritmos de planificación de rutas, también las utilizan, además de usar la información generada por la simulación para planificar recorridos. Las planificaciones de rutas también son almacenadas en la Base de Datos.

## **Información geográfica.**

Las capas de datos geográficos sobre la ciudad de Montevideo [13] están codificados en forma vectorial y están almacenados en archivos con formato Shapefile [14], pero fueron convertidos para ser utilizados directamente desde PostgreSQL utilizando herramientas de PostGIS. Se utilizaron distintas capas de información geográfica como la capa de Ejes que provee información sobre las calles (aproximadamente 23.000 tramos), o la capa de Manzanas (aproximadamente 7800), entre otras.

## **Servidor de Mapas Digitales.**

Un Servidor de Mapas permite publicar e interactuar con mapas digitales desde páginas web. El Servidor de Mapas utilizado en este proyecto fue MapServer [15]. El servidor fue utilizado como un Servicio Web. Cuando el sitio web requiere mapas, envía una solicitud al Servidor de Mapas, que genera la imagen del mapa y le responde con la información sobre como accederla. Para la comunicación con el Servidor de Mapas se utiliza el protocolo HTTP (Hyper Text Transfer Protocol), la invocación al servidor se realiza ejecutando la URL (Uniform Resource Locator) del servidor de mapas que también contiene los parámetros que se le envían. La respuesta enviada por el Servidor de Mapas está en formato XML (Extensible Markup Language) y contiene la URL de la imagen con el mapa e información sobre el estado de visualización del mapa, por ejemplo, la extensión del mapa [16].

## **Planificación de la ruta.**

La planificación de la ruta consiste en determinar cual es el mejor recorrido para que el usuario llegue al destino. El concepto de “mejor” depende del criterio que se considere para optimizar. El camino que recorre la menor distancia, no siempre es por el cual se demora menos tiempo en llegar al destino. Dependiendo del criterio que se quiere tener en cuenta, es la información que debe utilizar el algoritmo de planificación. En este trabajo solo se consideran dos criterios de optimización: disminuir la distancia recorrida o disminuir el tiempo en llegar al destino. Para planificar el camino más corto en términos de distancia, solo se utiliza la información del mapa de las calles, pero para optimizar el tiempo de arribo, se utiliza también información sobre el tiempo de viaje, que depende de los niveles de congestión del tráfico.

Los algoritmos que se utiliza en este trabajo, planifican rutas individuales en contraposición con algoritmos que planifican rutas que pueden utilizar más de un vehículo. Esto plantea la siguiente cuestión: ¿qué ocurriría si un algoritmo indicara a todos los usuarios la misma ruta? Esto podría derivar en que todos esos usuarios que recibieron esa planificación “repetida” congestionen rápidamente la zona planificada. Para evitar este problema la solución inmediata es hacer que el algoritmo pueda considerar las planificaciones que ya ha presentando a los usuarios, de modo de ir anticipando el nivel de congestión que él mismo genera. Sin embargo, los experimentos llevados a cabo por Esser y Schreckenberg [17] indican que no es necesario utilizar ese tipo de algoritmos. Si el tiempo de actualización de la información es suficientemente corto y se actualiza la ruta mientras se conduce, no necesariamente se producen congestiones debido al algoritmo. Es decir que a medida que los vehículos tomen las mismas rutas, los SAIV registrarán el incremento en la utilización de esas calles, que será tomada en cuenta por el algoritmo en las nuevas planificaciones. Dependiendo del tiempo que tome reflejar los cambios de las condiciones del tráfico en los SAIV, será el impacto que tenga el algoritmo de planificación de rutas sobre el sistema de transporte.

Un aspecto importante que no se considera en este trabajo, es la adherencia del usuario a la información que brinda el SAIV. Esta adherencia no solo depende de la calidad del servicio, existen otros factores de distinta naturaleza como el contexto del tráfico regional, características individuales de las personas o las características del viaje que realiza [10]. Los resultados abordados por Esser y Schreckenberg en [17], contemplan el echo de que los usuarios no tengan información provista por SAIVs.

## **Algoritmo de Planificación de Rutas.**

El problema de la planificación de rutas es conocido en la literatura como encontrar el camino más corto desde un nodo a otro en un grafo. Este problema está ampliamente estudiado y existen distintos algoritmos y técnicas para resolverlo. En este

trabajo se seleccionó un algoritmo llamado A\* [18], que resuelve adecuadamente el problema logrando un balance adecuado entre el tiempo de ejecución y la calidad de la solución.

A\* es un algoritmo de búsqueda respaldado por información que pertenece al método de búsqueda preferente por lo mejor (best first search). Es muy popular en la planificación de rutas y ha sido exitosamente utilizado en otras áreas, como Inteligencia Artificial y Robótica, ver [18] y [19]. Es un algoritmo de búsqueda genérico que utiliza información heurística para determinar cual es el mejor camino hacia el destino. Es posible que el algoritmo encuentre la solución óptima si se exige que la función que evalúa los costos subestime el costo real. En la implementación se utilizaron dos funciones heurísticas diferentes, generando dos algoritmos distintos, uno minimizar la distancia recorrida y el otra minimizar el tiempo de llegada al destino. Para minimizar la distancia recorrida se utiliza como estimador del costo la evaluación de la distancia Euclídea. Para minimizar el tiempo de llegada, el estimador computa la distancia Euclídea sobre la velocidad máxima permitida en la ciudad, estimando como si se pudiera llegar al destino por un camino directo y conduciendo a velocidad máxima.

## Sitio Web.

El sitio web de Viajero Informado, es un conjunto de páginas web que permiten que el usuario interactúe con la información y las herramientas. Tiene dos componentes: las páginas web que forman el sitio de tráfico y las herramientas de administración del sitio, que también son páginas web. La Figura 2 presenta la página principal de Viajero Informado. En la parte central se puede ver el mapa de Montevideo. Al costado derecho del mapa están las herramientas para trabajar con el mapa (zoom y selección de capas de información del mapa). En el costado izquierdo del mapa están las opciones para que el usuario se registre y navegue por el sitio.



Figura 2. Página principal de Viajero Informado.

La opción de Información de Tráfico muestra en el mapa el nivel de congestión que hay en la ciudad. El nivel de congestión de las calles es determinado mediante la ejecución de la simulación del tráfico. En la Figura 3 puede verse que las calles de la ciudad tienen distintos colores dependiendo de la velocidad que se alcanza en cada tramo de la calle (el rojo indica que la velocidad que se puede alcanzar en ese tramo es lenta, el amarillo indica velocidad media y el verde indica una velocidad rápida).



Figura 3. Información de congestión.

La opción Rutear permite realizar planificaciones de ruta. Primero se ingresan los nombres de las intersecciones de las calles de origen y destino. Luego se permite realizar la planificación por la ruta en que se demora menos tiempo en llegar al destino o por la ruta que recorre menos distancia. En la Figura 4 se muestra a la izquierda la planificación de la ruta que recorre menor distancia (en color rojo) y a la derecha la que demora menos tiempo en llegar (en color azul). En la Figura de la derecha se muestra además el nivel de congestión de las calles. Si se comparan las rutas puede observarse que son diferentes entre sí, debido a que los distintos criterios de optimización seleccionados.

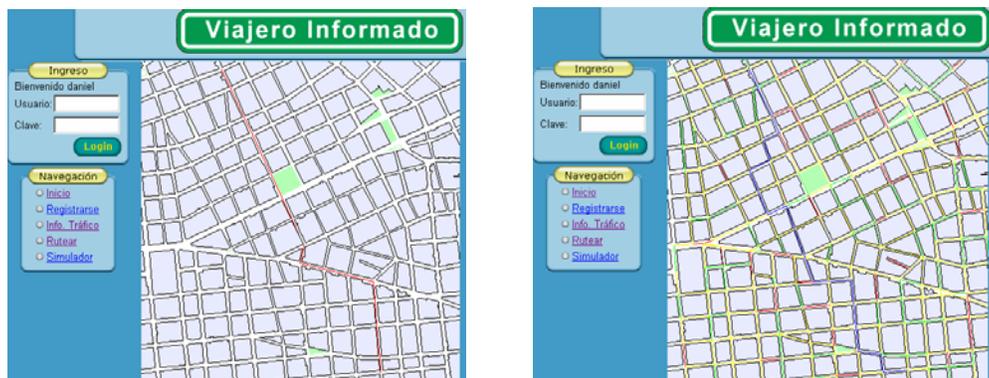


Figura 4. Dos planificaciones de un misma ruta usando criterios diferentes.

## Implementación.

Para el desarrollo de las páginas web de Viajero Informado se utilizó GeneXus 7.5 [20]. Los programas fueron generados por GeneXus en el lenguaje Java para la Base de Datos PostgreSQL y como servidor de servlets se utilizó Resin [21].

#### 4 - Simulación del tráfico de la ciudad.

El simulador tiene como objetivo proveer información de tráfico, para que el algoritmo de planificación de rutas pueda tenerla en cuenta.

#### Simulación del tráfico de vehículos.

El modelo escogido para implementar el simulador es un modelo de simulación microscópica llamado Modelo de Autos Siguiéndose (MAS) (Car Following Model) [22]. Los MAS o también llamados modelos de seguir al líder, modelan el comportamiento de cada vehículo individual dependiendo del vehículo que lo antecede en la calle. Se seleccionó un modelo que utiliza autómatas celulares, propuesto originalmente por Nagel y Schreckenberg en [22] y descrito también en [23]. Aunque en el trabajo original se modela el tráfico en carreteras de alta velocidad con una sola vía de circulación, puede ser adaptado al tráfico de una ciudad del mismo modo que se hace en los trabajos [24], [25], [26], [27], [28] y [29].

#### Modelo de Vehículos Siguiéndose.

El modelo utiliza calles y vehículos que circulan por ellas. Un tramo de una calle, que va desde una esquina a la siguiente, es representada por un arreglo de celdas, donde cada celda puede estar vacía u ocupada por un solo vehículo. La cantidad de celdas  $L_c$  por cada tramo de la calle, depende del largo de la calle y de la forma en que se escala el modelo.

Los vehículos solo se mueven en una dirección por las celdas a una velocidad discreta que va de cero a  $v_{max}$ . La velocidad significa la cantidad de celdas que un vehículo puede avanzar en una actualización de tiempo. Los vehículos circulan desde la primera celda hasta llegar a la última celda en la que son traspasados a otra calle.

En la Figura 5 se presenta un esquema del funcionamiento, el número que está en las celdas corresponde a la velocidad que llevan los vehículos.

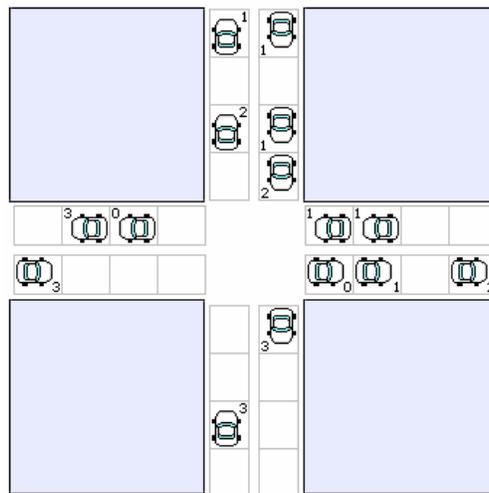


Figura 5. Esquema de funcionamiento de la simulación.

La simulación funciona guiada por el tiempo que es discreto e interno. En cada incremento de tiempo se ejecutan reglas que gobiernan el movimiento de los vehículos llamadas Reglas de Movimiento de Vehículos.

## Reglas de Movimiento de Vehículos.

Se definirán la siguiente nomenclatura para facilitar la comprensión de las reglas de movimiento. Si  $i$  es el número identificador de un vehículo entonces,  $x(i)$  es la posición dentro de la calle,  $v(i)$  la velocidad actual,  $antecesor(i)$  es el identificador del vehículo que va delante de  $i$  y  $espacio_disponible(i)$  es la cantidad de celdas que quedan vacías entre  $i$  y el vehículo siguiente. Finalmente la función  $número\_aleatorio()$  retorna un número generado en forma aleatoria entre cero y uno. Las reglas de movimiento de los vehículos son las siguientes:

1. **Aceleración.** Si  $v(i) < v_{\max}$  entonces,  $v(i) := v(i) + 1$ .
2. **Desaceleración debido a otros vehículos.** Si  $v(i) > espacio\_disponible(i)$  entonces  $v(i) := espacio\_disponible(i)$
3. **Desaceleración aleatoria.** Si  $v(i) > 0$  y  $número\_aleatorio() < P_{des}$  entonces  $v(i) := v(i) - 1$ .
4. **Movimiento del vehículo.** Si  $x(i) + v(i) < L_c$  entonces  $x(i) := x(i) + v(i)$  sino  $x(i) := L_c$ .

La regla de aceleración modela la tendencia de los conductores de ir siempre a la máxima velocidad permitida. La desaceleración debido a otros vehículos evita choques con el vehículo que va adelante y que se ocupen celdas ya ocupadas. La desaceleración aleatoria utiliza la probabilidad de desaceleración  $P_{des}$  para modelar una desaceleración del vehículo debido al comportamiento impredecible del conductor. Esta regla es fundamental para lograr una simulación realista, sino el comportamiento de los vehículos sería completamente determinístico. Finalmente, la regla de movimiento del vehículo efectúa el avance de los vehículos.

## Intersecciones.

Además de las Reglas de Movimiento se debe definir cual es el comportamiento de los vehículos en las intersecciones entre las calles. En la simulación se implementaron intersecciones *sin lugar físico* [26], que implican que no hay celdas destinadas al cruce, por lo tanto los vehículos pasan directamente del tramo en el que están, al siguiente. El manejo de las intersecciones de este modo requiere reglas de movimiento especiales llamadas de Traspaso de Vehículos. En una actualización del tiempo, primero se ejecutan las reglas de Traspaso y luego las de Movimiento. En la calle se distinguen algunas celdas, a las primeras se le llaman celdas de entrada y a las últimas de salida. Cuando un vehículo se posiciona sobre una celda de salida ya queda habilitado a pasar a las celdas de entrada de la siguiente calle. Las reglas de Traspaso son:

1. **Traspaso de vehículos.** Si el vehículo más próximo al fin de la calle se encuentra sobre las celdas de salida y  $x(i) + v(i) > L_c$  entonces:
  - a. Si la calle destino tiene su celda de entrada vacía, mover el vehículo.
  - b. Sino,  $x(i) := L_c$ .

Lo que indica la regla de traspaso es que los vehículos que estén en el área de salida y tengan suficiente velocidad como para cruzar la calle, entonces se los pondrá en la celda de entrada de la siguiente calle, sino quedarán en la última celda de la calle esperando que se libere la celda de entrada o tenga suficiente velocidad como para cruzar la calle.

## Otros aspectos del modelo.

Para que el modelo refleje la realidad de la ciudad de Montevideo, los parámetros de la simulación son ajustados de acuerdo a las características de la ciudad. Para eso se escalan los valores de los parámetros del modo propuesto por Nagel y Schrenckenberg [22]. Los valores utilizados son: una actualización de tiempo en la simulación corresponde a un segundo real, el largo de una celda es cinco metros y la velocidad máxima de los vehículos es de cuatro celdas por segundo (aproximadamente 75 kilómetros por hora).

Para estimar el desempeño general del sistema se tomaron diferentes medidas microscópicas representativas como: la densidad del sistema que se refiere a la cantidad de vehículos por unidad de distancia, el flujo que es la cantidad de vehículos que circulan, la velocidad media a la que se espera conducir o el tiempo medio que se demora en atravesar una calle. Para esto se introducen en las calles sensores que se encargan de tomar estadísticas de los vehículos que pasan. Los

censores toman estas medidas en un intervalo de celdas de tamaño  $v_{\max}$  y fueron colocados en la mitad de las calles como se recomienda en Intelligent Transportation Primer [30].

Para controlar la cantidad de vehículos que circulan por la ciudad se incorpora un componente llamado *controlador*. Los controladores se encargan de insertar o de eliminar vehículos. Los controladores pueden actuar en la simulación de dos formas posibles dependiendo de la selección del usuario:

- **Densidad del sistema.** La densidad del sistema es el valor macroscópico de densidad que se espera tener en las calles del sistema. Se configura un valor de densidad, una tolerancia y los controladores actúan manteniendo la densidad de cada calle en ese rango de valores.
- **Flujo del sistema.** Este método es similar al anterior pero utiliza el flujo en lugar de la densidad.

Todos los vehículos tienen las mismas características (excepto por el color con el que son desplegados en la interfaz gráfica, para facilitar su seguimiento) y circulan libremente por las calles desde que son insertados hasta que son eliminados.

Para que el sistema alcance el estado estable, se exige que la variación de la cantidad de vehículos se mantenga estable con respecto a la cantidad total de vehículos, en promedio. Como la cantidad de vehículos en la ciudad está asociada a los controladores que insertan o eliminan vehículos dependiendo del modo en que fue configurada la ejecución, para alcanzar un valor de flujo o densidad determinado. Entonces, alcanzar el estado estable indica que el flujo o la densidad se mantienen también estables.

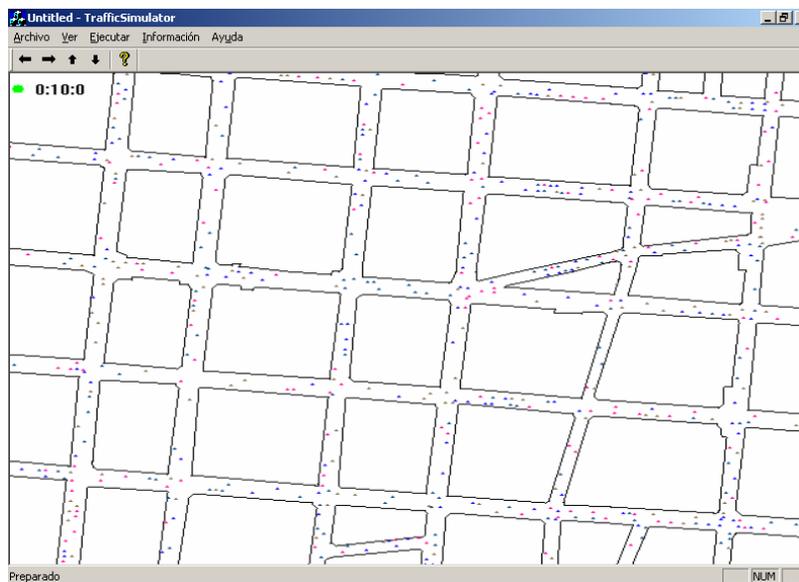
## Implementación.

La implementación del simulador fue desarrollada completamente en el lenguaje C++. El proyecto tiene aproximadamente 89 clases y más de 13.000 líneas de código. La simulación tiene dos componentes principales, el Motor del Simulador y la Visualización de la ejecución de la simulación. El Motor del Simulador es el componente que se encarga de ejecutar y coordinar los aspectos de la simulación relacionados con el movimiento de vehículos y las acciones de los controladores y sensores. Para eso ejecuta un algoritmo iterativo en donde cada iteración corresponde a una actualización del tiempo, tal como se muestra en la Figura 6 [25].

1. tiempo := tiempo + 1.
2. Activar los controladores.
3. Reglas de traspaso de vehículos.
4. Reglas de movimiento.
5. Activar los sensores.

**Figura 6. Esquema de funcionamiento del algoritmo.**

El componente de Visualización permite ver con gran detalle el movimiento de los vehículos por la ciudad. En la Figura 7 se puede ver la interfaz gráfica del simulador.



Los puntos de colores son vehículos que se desplazan por las calles y las líneas indican las manzanas de la ciudad.

**Figura 7. Simulador.**

### **5 Experimentos realizados.**

El objetivo de estos experimentos es cuantificar el beneficio de utilizar el algoritmo que tiene en cuenta las condiciones de tráfico contra el algoritmo que utiliza únicamente información geográfica. La comparación se hace en términos de la distancia recorrida y el tiempo que demora el viaje. El experimento es análogo a comparar el camino que se obtiene de consultar un mapa de calles y trazar el camino más corto hacia el destino, contra el camino obtenido de consultar un sistema que cuenta con información sobre las condiciones del tráfico.

El experimento consiste en seleccionar una zona arbitraria de la ciudad y determinar algunos orígenes y destinos dentro de la zona. Ejecutando el simulador de tráfico para la zona seleccionada se obtienen dos situaciones de tráfico diferentes, una con poco congestionamiento y la otra con mucho. Luego por cada par de origen-destino, se utilizan los dos algoritmos de planificación para realizar los recorridos, en cada uno de los escenarios. De cada planificación se obtiene la distancia total recorrida y el tiempo estimado. Finalmente, se compara la diferencia en la distancia recorrida y en el tiempo empleado en llegar al destino, por cada uno de los algoritmos.

Los resultados se presentan en la Tabla 1 y corresponden a la suma de la distancia y el tiempo de las distintas rutas. La distancia está medida en metros y el tiempo en segundos.

		Poca congestión	Mucha congestión
Ruteo Geográfico	Tiempo (seg)	<b>1275</b>	<b>7887</b>
	Distancia (mts)	<b>22883</b>	<b>22883</b>
Ruteo por Tráfico	Tiempo (seg)	<b>1272</b>	<b>5305</b>
	Distancia (mts)	<b>26976</b>	<b>31416</b>

**Tabla 1. Resultados de las pruebas.**

Congestión	Poca	Mucha
Tiempo (%)	<b>0.3</b>	<b>33</b>
Distancia (%)	<b>15</b>	<b>27</b>

**Tabla 2. Comparación porcentual de los resultados.**

En la Tabla 2 se presenta la comparación porcentual de los resultados de la Tabla 1. Para obtener la diferencia porcentual del tiempo y distancias recorridas se realizó el siguiente cálculo:

Diferencia de distancia:  $100 - (22883 * 100 / 26976) = 15 \%$

Diferencia de tiempo:  $100 - (1271.6 * 100 / 1274.87) = 0.3 \%$

Diferencia distancia:  $100 - (22883 * 100 / 31416) = 27 \%$

Diferencia tiempo:  $100 - (5304.58 * 100 / 7887.27) = 33 \%$

Lo que indican los resultados de la Tabla 2 es que en condiciones de poca congestión el algoritmo que rutea utilizando la distancia es mejor, ya el que el ruteo utilizando la información de tráfico extendió las rutas un 15% pero solo disminuyó 0.3% el tiempo de llegada. Sin embargo en las situaciones con mucha congestión el resultado no es el mismo. En este caso el algoritmo que utiliza la información del tráfico aumentó 27% la distancia recorrida pero disminuyó el tiempo del viaje en 33%. Este resultado muestra que el algoritmo que utiliza la información de tráfico es una valiosa herramienta para que los conductores puedan disminuir el tiempo en sus viajes.

Estos resultados fueron obtenidos de ejecutar Viajero Informado en un computador personal, con procesador Pentium II, con 128 MB de memoria RAM y 3 GB de disco duro.

## **6 - Conclusiones.**

Utilizar Internet como plataforma para difundir información y servicios de tráfico es una opción cada vez más utilizada y es probablemente el futuro, en el mediano plazo, de la telemática. Hoy en día ya pueden encontrarse fabricantes como Mercedes-Benz que incluyen en sus vehículos Asistentes Personales Digitales, con comunicación inalámbrica, que acceden sitios web para proveer información de tráfico [32].

Viajero Informado demuestra que desarrollar un SAIV es una tarea compleja, principalmente de integración de componentes complejos. La correcta coordinación e interacción de estos componentes, es la clave para que el sistema funcione satisfactoriamente.

La simulación del tráfico utilizando un modelo microscópico simple y claro permitió dotar de información de tráfico al sistema. Esa simplicidad del modelo también es una limitación a la hora de modelar con más detalle algunos elementos del tráfico como semáforos, cruces peatonales o diferentes reglas en los cruces (por ejemplo, en Montevideo el conductor que está a la derecha del otro tiene la preferencia de cruzar).

Las pruebas realizadas con el sistema, confirman el resultado intuitivo de que si hay pocas congestión de vehículos, utilizar el camino que recorre menor distancia es la mejor opción en términos de distancia y de tiempo. Sin embargo si hay más tráfico lo mejor es ir hacia el destino utilizando caminos que eviten la congestión, si bien la distancia recorrida es superior, el ahorro que se obtiene en la duración del viaje lo justifica. Si bien generalizar a toda la ciudad este resultado requeriría de más pruebas, puede dar una idea de cómo puede ser el comportamiento la zona céntrica. Este resultado muestra la importancia de utilizar cada algoritmo en las condiciones en que mejor funciona. Por lo que un punto a contemplar en el sistema es poder determinar cuando se debe utilizar un algoritmo u otro. De lo contrario, la credibilidad del sistema, que es un factor crítico, podría estar cuestionada.

## **7 - Trabajo futuro.**

La siguiente etapa de este trabajo sería probar el sistema utilizando dispositivos inalámbricos que permitan acceder a la información y los servicios ofrecidos.

Un aspecto sumamente crítico del sistema, que debe ser contemplado en las próximas etapas de desarrollo es la interfaz con el usuario. La interfaz debe estar diseñada de modo que el usuario pueda utilizarla y recibir instrucciones mientras conduce, del mismo modo que puede realizar otras operación en el vehículo como prender las luces o manipular la radio.

Conseguir información sobre el flujo real del tráfico de vehículos en la ciudad de Montevideo y aplicarlo a la simulación, sería interesante para obtener la comparación de los ahorros obtenidos con resultados reales.

## 8 - Bibliografía.

- [1] *Intelligent Transportation Primer*. Institute of Transportation Engineers, ITS America and USDOT. Publicado por el Institute of Transportation Engineers. 2000. ISBN 0-935403-45-0.
- [2] Mitretek Systems. "Intelligent Transportation Systems Benefits and Cost. 2003 Update". Manual técnico, disponible en Internet: <http://www.benefitcost.its.dot.gov>. Última visita: 19/8/2003.
- [3] Maclean, S. and D. Dailey. "The Use of Wireless Internet Service to Access Real-Time Transit Information". Publicado en World Congress, 2002. Disponible en Internet: [http://www.its.washington.edu/its\\_pubs.html](http://www.its.washington.edu/its_pubs.html).
- [4] Shekhar, S. and D. Liu. "Genesis and Advanced Traveler Information Systems: Killer Applications for Mobile Computing". MOBIDATA. Volumen 1, número 1, Noviembre 1994. Disponible en Internet: <http://www.cs.rutgers.edu/~badri/journal/cover11.html>.
- [5] Dillenburg, J. "Internet based traffic congestion information for the Gary-Chicago-Milwaukee Priority Corridor". Reporte técnico de la Universidad de Illinois. Disponible en Internet: <http://citeseer.nj.nec.com/67366.html>. Última visita: 30/7/2003.
- [6] Padmos, J. and D. Bernstein. "Personal Travel Assistants and the World Wide Web". The Transportation Research Board. 76<sup>th</sup> Annual Meeting. January 12-16, 1997.
- [7] Lappin, J. "Advanced Traveler Information Service (ATIS): What do ATIS customers want?". US Department of Transportation. January 2000. Reporte técnico disponible en Internet: [http://www.its.dot.gov/itsweb/EDL\\_webpages/webpages/SearchPages/Alpha\\_Search.cfm](http://www.its.dot.gov/itsweb/EDL_webpages/webpages/SearchPages/Alpha_Search.cfm). Número: 12284. Última visita: 30/7/2003.
- [8] Sussman, J. et all. "What have we learned about ITS ?". US Department of Transportation. December 2000. Reporte técnico disponible en Internet: [http://www.its.dot.gov/itsweb/EDL\\_webpages/webpages/SearchPages/Abstract.cfm?docnumber=13316](http://www.its.dot.gov/itsweb/EDL_webpages/webpages/SearchPages/Abstract.cfm?docnumber=13316). Última visita: 30/7/2003.
- [9] Soolman, J. "Features of Traffic and Transit Internet Sites. US Department of Transportation". February 2000. Reporte técnico disponible en Internet: [http://www.its.dot.gov/itsweb/EDL\\_webpages/webpages/SearchPages/Abstract.cfm?docnumber=12263](http://www.its.dot.gov/itsweb/EDL_webpages/webpages/SearchPages/Abstract.cfm?docnumber=12263). Última visita: 30/7/2003.
- [10] Lappin, J. "Advanced Traveler Information Service (ATIS): Who are ATIS Customers ?". US Department of Transportation. January 2000. Reporte técnico disponible en Internet: [http://www.its.dot.gov/itsweb/EDL\\_webpages/webpages/SearchPages/Alpha\\_Search.cfm](http://www.its.dot.gov/itsweb/EDL_webpages/webpages/SearchPages/Alpha_Search.cfm). Número: 12285. Última visita: 30/7/2003.
- [11] Sitio web de PostgreSQL: <http://www.PostgreSQL.org>. Última visita 30/7/2003.
- [12] Sitio web de PostGIS: <http://postgis.refractor.net/>. Última visita 30/7/2003.
- [13] Sitio web de Intendencia Municipal de Montevideo: <http://www.imm.gub.uy>. Última visita 30/7/2003.
- [14] ESRI. "ESRI Shapefile Technical Description". Reporte técnico disponible en Internet: <http://www.esri.com>. Última visita: 2/3/2000.
- [15] Sitio web de MapServer: <http://MapServer.gis.umn.edu/>. Última visita: 30/7/2003.
- [16] Giosa, D. y L. Loureiro. "Integrando información geográfica en aplicaciones GeneXus". XIII Encuentro Internacional GeneXus. Montevideo, Uruguay, 2003.
- [17] Esser, J. and M. Schreckenber. "Efficiency of Route Guidance Systems in Urban Road Networks". Reporte técnico de la Universität Duisburg-Essen. 1997. Disponible en Internet: <http://citeseer.nj.nec.com/177178.html>.
- [18] *Vehicle location and navigation systems*. Yilin Zhao. 1997. ARTech House. ISBN 0-89006-861-5.
- [19] *Inteligencia Artificial, un enfoque moderno*. Russell, S. y P. Norving. 1996. Prentice Hall. ISBN 968-880-682.
- [20] Genexus. Sitio web de ARTech: <http://www.artech.com.uy>. Última visita: 25/8/2003.
- [21] Resin. Sitio web de Caucho Technology: <http://www.caucho.com>. Última visita 30/7/2003.
- [22] Nagel, K. and M. Schrenckenber. "A cellular automaton model for freeway traffic". Journal de Physique I. December 1992, p. 2221.
- [23] Chowdhury, D., L. Santen and A. Schadschneider. "Simulation of vehicular Traffic: A statistical physics perspective". IEEE – Computing in simulation & engineering. September – October 2000. Páginas 80 a 87.
- [24] Simon P. and K. Nagel. "Simplified cellular automaton model for city traffic". Physical Review E, volume 58, number 2. August 1998. Disponible en Internet: <http://www.sim.inf.ethz.ch/papers/>. Última visita: 29/7/2003.
- [25] Andriotti, G. and A. Bazzan. "An object Oriented microscopic traffic simulator". InfoUY CLEI 2002, Congreso Latinoamericano de Informática, Montevideo, Uruguay, Noviembre 2002.

- [26] Rickert, M. and K. Nagel. "Experiencias with a simplified microsimulation for the Dallas/Fort Worth area". *International Journal of Modern Physics C*. 1997. Disponible en Internet: <http://www.sim.inf.ethz.ch/papers/>. Ultima visita: 29/7/2003.
- [27] Chopard, B., P. Queloz and P. Luthi. "Traffic models of a 2D road network". Proceedings of the 3rd CM users' Meeting, Parma, Octubre 1995. Disponible en Internet: <http://cui.unige.ch/~chopard/Traffic/ca-models.html>. Ultima visita: 29/7/2003.
- [28] Dupuis, A. and B. Chopard. "Parallel simulation of traffic in Geneva using cellular automata". *Parallel and Distributed Computing Practices Journal*, 1(3):79-92, September 1998. Disponible en Internet: <http://cui.unige.ch/~dupuis/publications.html>. Ultima visita: 29/7/2003.
- [29] Esser, J. and M. Schreckenberg. "Efficiency of Route Guidance Systems in Urban Road Networks". Reporte técnico de la Universität Duisburg-Essen. 1997. Disponible en Internet: <http://citeseer.nj.nec.com/177178.html>. Ultima visita: 29/7/2003.
- [30] *Intelligent Transportation Primer*. Institute of Transportation Engineers, ITS America and USDOT. Libro publicado por el Institute of Transportation Engineers. 2000. ISBN 0-935403-45-0.
- [31] Andriotti, G. and A. Bazzan. "An object Oriented microscopic traffic simulator". InfoUY CLEI 2002, Congreso Latinoamericano de Informática, Montevideo, Uruguay, Noviembre 2002.
- [32] Telematic Research Group Inc. "Saab Telematics in North America". Reporte publicado en Internet: <http://www.telematicsresearch.com>. Ultima visita: 22/8/2003.