

# Experiencia de aplicación de modelos de transporte: simulación de tránsito urbano

Roberto D. Agosta<sup>1</sup>, Raúl F. González<sup>2</sup>, María del Rosario Suppo Vegara<sup>3</sup>

(1) *Facultad de Ciencias Fisicomatemáticas e Ingeniería, Universidad Católica Argentina*  
robertoagosta@alum.calberkeley.org

(2) *Facultad de Ciencias Fisicomatemáticas e Ingeniería, Universidad Católica Argentina*  
rgonzal@uca.edu.ar

(3) *Facultad de Ciencias Fisicomatemáticas e Ingeniería, Universidad Católica Argentina*  
csuppo@gmail.com

RESUMEN: La necesidad de modelar y simular procesos se ha vuelto imperativa en cualquier rama de la ingeniería moderna, por lo tanto se vuelve un requisito de formación concreto para cualquier profesional. La presente propuesta se enmarca dentro de un proyecto de ingeniería aplicada con el objetivo de formar un grupo especializado en modelado y simulación de tránsito a nivel microscópico en la Facultad de Ingeniería de la UCA, carrera de ingeniería civil, en el ámbito del centro de estudios del transporte CETUCA. Este trabajo mostrará lo realizado a partir de la incorporación de estos modelos para el estudio de arterias urbanas especialmente en las intersecciones semaforizadas. El resultado encontrado es el análisis de los parámetros operativos y una “maqueta virtual” de los flujos: vehículos y peatones, de gran valor didáctico para los que se inician en el conocimiento del tema. Se ha seleccionado como proyecto piloto la avenida Alicia Moreau de Justo en la Ciudad de Buenos Aires frente a la universidad, que fue afectada recientemente por la circulación de un tranvía, facilitando a los estudiantes realizar los estudios de campo y vinculando el proyecto con la comunidad.

PALABRAS CLAVES: modelos de transporte, simulación de tránsito microscópica, aplicación de modelos en clase, calibración de modelos.

## 1 INTRODUCCION

Los modelos matemáticos empleados en transporte son de dos tipos: modelos macroscópicos de planeamiento estratégico orientados al modelado de flujos, a nivel tanto regional como urbano, y modelos microscópicos de tránsito, basados en las entidades vehiculares mismas. Los primeros poseen base macroeconómica y consideran la interacción entre la oferta y la demanda de transporte, mientras que los segundos reproducen las características operativas de la infraestructura y de las entidades de flujo (automóviles, trenes, etc.) de los sistemas.

La presente propuesta se enmarca dentro de un proyecto de ingeniería aplicada. El objetivo es formar un grupo especializado en:

- a) Modelado y simulación de tránsito, nivel microscópico.
- b) Planeamiento de Transporte, nivel macroscópico en la Facultad de Ingeniería de la

UCA, carrera de ingeniería civil en el ámbito del centro de estudios del transporte CETUCA.

Como antecedente de este trabajo se menciona que existía un grupo de estudiantes interesados en participar en el proyecto, a partir de la motivación suscitada durante el curso de la materia de cuarto año de la carrera de ingeniería civil: Ingeniería del Transporte I, cuando se mostró en clase un ejemplo con herramientas de modelado semejantes a las que se presentan en la propuesta.

### 1.1 Breve reseña histórica de los modelos de microsimulación de tránsito

Se puede decir que los primeros esfuerzos en simulación de tránsito datan de hace 50 años, pero es a partir de 1980 en Estados Unidos, más precisamente con la publicación del Report FHWA-IP-80-3 “Traffic network analysis with Netsim a user guide” publicado por la Federal Highway Administration, organismo de la

administración federal de caminos e investigación del citado país, donde el así llamado UTCS-1 se convierte en NETSIM (NETwork SIMulation model), se comienza entonces la utilización y aplicación de estos modelos.

La primera versión de este programa es para mainframe, que permite el procesamiento de una red de 160 links, 99 nodos, y un total de 1200 vehículos. El modelo está compuesto de tres módulos: preprocesador, el simulador y el post procesador. El programa está escrito en Fortran y el sistema de ingreso de datos es por tarjetas (cards) perforadas.

Más adelante se dispone de una versión para PC (microcomputadoras) y aumenta su capacidad de simulación. A final de los 90 aparece la versión bajo windows y adopta técnicas de usuario de autocad o GIS.

Por su parte la escuela europea comienza su desarrollo perfeccionando los algoritmos de simulación, es así que, en la Universidad de Karlsruhe, Alemania durante la primera parte de los años 70, el Prof. Dr. Ing. Rainer Wiedemann presenta su modelo teórico de "car following", luego en 1980 aparece el primer módulo del denominado VISSIM (Verkehr in Städten SIMulation), el mismo es un modelo de simulación microscópico, paso a paso y basado en el comportamiento del conductor desarrollado para analizar el rango total de funcionamiento en calzada y operación del transporte público. Este modelo puede integrar redes de calzadas con tránsito en general, ómnibus, ferrocarriles, camiones, peatones y ciclistas.

En esta experiencia se aplicó la versión 4.30 de este software. El mismo contiene dos componentes primarios: el simulador y el generador del estado de los semáforos. El simulador genera tránsito y es donde el usuario gráficamente construye la red. El usuario comienza importando una foto aérea o dibujo esquemático del área de estudio dentro del simulador. A partir de allí el programa permite "dibujar" la red y aplicar los atributos (ancho de carriles, zonas de velocidad, reglas de prioridad, etc).

El generador de estado de los semáforos permite al usuario incorporar la lógica de los controles semafóricos con tiempos prefijados, actuados, adaptativos, prioridad de tránsito.

En conclusión los modelos de microsimulación de tránsito han seguido un desarrollo en el modelado de situaciones reales por más de 25 años. Constituyen una herramienta valiosa para el estudio actual y futuro de los problemas de la

Ingeniería de Tránsito. A través de la animación se puede hacer la verificación de programas de coordinación semafórica, longitudes de dársenas de giro a la izquierda, ordenamiento vehicular carriles exclusivos, flujos de tránsito en intersecciones, impacto del estacionamiento y/o maniobras prohibidas, estimación de emisión de polucionantes, traslado de paradas de colectivos, cambios de mano de circulación, desvíos de obra.

## 1.2 Seguimiento de vehículo

VISSIM usa el modelo del comportamiento psico-físico del conductor desarrollado por Wiedemann (1974). Los vehículos se siguen uno a otro en un proceso de oscilación. Cuando un vehículo más rápido se acerca a un vehículo más lento en un solo carril, se ajusta su separación. El punto de acción o de reacción consciente depende de la diferencia de velocidad, la distancia y el comportamiento del conductor. En los caminos multi-carriles se verifica que los vehículos manejan cambiando de carriles. Si ese es el caso, ellos verifican la posibilidad de encontrar los espacios aceptables entre vehículos en los carriles adyacentes. El seguimiento de vehículos y el cambio de carril forman un conjunto integrado en el modelo de tránsito.

El movimiento longitudinal de los vehículos está influenciado por los vehículos que viajan al frente en el mismo carril. Es por esto que el modelo es llamado el "modelo del seguimiento de vehículos". Un conductor está directamente influenciado por el primer vehículo que viaja al frente suyo ya que el segundo vehículo tendrá alrededor del doble de la distancia para una decisión; por lo tanto este modelo se concentra en la influencia del primer vehículo que está al frente, incluyendo la opción de frenado.

La influencia del movimiento está caracterizado por la percepción del movimiento relativo del vehículo del frente, cambios en la distancia y en la diferencia de velocidades. Estos cambios son percibidos si el impulso físico excede un cierto valor mínimo, llamado umbral. La percepción de los cambios depende de que tan rápido la imagen del vehículo del frente cambie, la cual es una función de la diferencia de velocidades y distancias.

Estas medidas e investigaciones fueron realizadas por Todosiev (1963), Miechaels (1965) y Hoefs (1972); con el propósito de encontrar los límites de la percepción humana en el proceso de seguimiento de vehículos. Esta investigación forma la base del "modelo de seguimiento de vehículo" desarrollado por Wiedemann (1974).

## 2 METODOLOGIA

### 2.1 Definición del área de estudio

El área de estudio comprende una zona del barrio de Puerto Madero en la ciudad de Buenos Aires cercano al denominado Microcentro, centro comercial y administrativo.

Esta zona se crea como barrio nuevo de la ciudad al reacondicionar la zona portuaria, quedan liberados los viejos docks de la Aduana frente a los diques y se reciclan en emprendimientos inmobiliarios y educativos como la Universidad Católica Argentina.

Frente a ellos se abre la Av. Alicia Moreau de Justo del lado oeste de los diques.

Es un área total de 2,1 km<sup>2</sup> y alrededor de 3 km de extensión, con una población en el año 2001 de 526 habitantes donde la mayoría vive en edificios de departamentos.

Por otra parte circulan hasta el momento 6 líneas de colectivos, una línea de tranvía con un plan de expansión previsto.

### 2.2 Definición del sub área de análisis

Se ha definido la sub área comprendida entre la Calle Chile, la Av. Huergo, la Av. Belgrano y la Av. Alicia Moreau de Justo.

Esto es así, ya que la licencia académica del programa adquirida por la universidad, permite sólo modelar en forma completa un sector con dos intersecciones semaforizadas. Entonces se adoptó la mencionada sub área crítica frente a la Universidad, en la que también se encuentra operativo el tranvía paralelo a la avenida Alicia M. de Justo.

La situación crítica se presenta en los cruces transversales hacia y desde la costanera, ya que subsisten los puentes angostos sobre los diques.

Además la presencia del tranvía en la zona, crea inconvenientes en las intersecciones, debido a la existencia de vehículos que quedan atrapados en la cola vehicular sobre las vías al darse el corte semafórico.

Por otra parte los peatones no están acostumbrados a la circulación del tranvía y ello obliga a que la circulación sea lenta y con mucha tensión por parte del conductor del mismo.

El problema analizado en la sub área, puede ser replicado a otros sectores de la Av. Alicia Moreau de Justo, de similares características.

### 2.3 Búsqueda de la información

Para la carga del modelo se necesitó una exhaustiva recolección de datos, desde la información cartográfica planimétrica, datos de las características de operación de los vehículos y los conteos de tránsito.

La Universidad adquirió 10 licencias del software citado y se dispuso de un laboratorio específico, además se adquirió bibliografía relacionada al tema y se otorgaron seguros obligatorios para los que participaron en las tareas de campo.

### 2.4 Tareas realizadas

#### 2.4.1 Capacitación y Organización

El primer paso consistió en familiarizar a los alumnos con las herramientas de simulación disponibles. Uno de los conceptos básicos es la estructura de funcionamiento del modelo de simulación. Los datos de campo se cargan en el modelo en diferentes módulos, tal como se representa la figura 1.

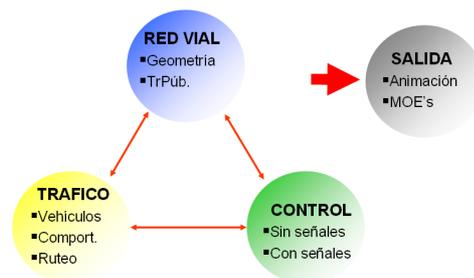


Figura 1. Módulos del modelo de simulación.

A partir de la comprensión de este concepto resultó factible la división de tareas entre los participantes en el proyecto.

Una vez alcanzado este objetivo se realizó con los alumnos la organización de los trabajos y su consecuente división de tareas.

#### 2.4.2 Capacitación

Durante esta etapa se trabajó en el laboratorio informático guiados por un docente. Se hizo una introducción a los conceptos básicos de modelos de transporte, así como de los elementos de red propios del VISSIM.

Algunas de las herramientas propias del programa son las que muestran en la Figura 2.



Figura 2. Menú de herramientas del programa.

La etapa de capacitación también contempló el entrenamiento para realizar las tareas de campo con la preparación de formularios de campo, es decir la recolección de los datos necesarios para cargar el modelo.

#### 2.4.3 Organización y división de tareas

La tarea de conteo de tránsito requiere una cantidad de personal proporcional a la cantidad de intersecciones que se desee conocer. Por tal motivo se coordinó como tarea de un trabajo práctico de la cátedra Ingeniería del Transporte I, la realización de conteos de tránsito volumétricos y con clasificación en las horas pico matutina y vespertina en el sector de estudio, cercano a la facultad. Cabe aclarar que esta tarea aporta a los alumnos una experiencia adicional y motivadora.

Aún con la participación de los alumnos citados, no fue suficiente la cantidad de personas para estudiar la totalidad de las intersecciones involucradas. Resultó necesario entonces acudir a métodos que requieran menor cantidad de personas por intersección “in situ” para realizar conteos de tránsito. Esto se resolvió por medio de filmaciones de puntos estratégicos, como ser la intersección de la Avenida Alicia Moreau de Justo y Avenida Belgrano. Las cámaras se ubicaron en lugares cedidos por la facultad. Cabe aclarar que a partir de las filmaciones, pueden obtenerse otros datos de interés al momento de calibrar el modelo.

#### 2.4.4 Procesamiento de datos

Las tareas de campo requieren el procesamiento de los datos en gabinete.

Por un lado deben sintetizarse los datos contados en el terreno, y resumirse los mismos en valores horarios. Otro tratamiento es el que debe realizarse con las filmaciones. En este caso deben contarse los vehículos, con su respectiva clasificación y tipo de movimiento en gabinete, y luego pasar los datos medidos a volúmenes horarios. Estas tareas se realizaron en grupos.

A partir de las filmaciones también se obtendrán los datos para calibrar en una etapa posterior el modelo de microsimulación de tránsito.

Los datos a los que se hace referencia en el párrafo anterior se resumen de la siguiente manera:

Datos para la simulación

- a) geometría
- b) fases semafóricas
- c) volumen de tránsito

d) comportamiento de los conductores

Datos para la calibración

- a) tiempo de viaje
- b) capacidad y saturación
- c) demoras y colas

#### 2.5 Implementación del modelo

La simulación se desarrolla en distintas etapas, según la información que se esté cargando al modelo.

Los alumnos cargaron la geometría de la red con indicaciones de los docentes a cargo.

El programa es muy flexible y permite alcanzar el mismo objetivo a través de diferentes procedimientos. Sólo a través de la experiencia es posible optimizar los recursos que ofrece el programa.

Se modelizó la red a través de diferentes procedimientos, y pudieron observarse falencias y bondades de cada una de las propuestas a medida que se iban obteniendo resultados preliminares.

Un ejemplo de modelización de la red, y de la visualización de la misma puede apreciarse la Figura 3.

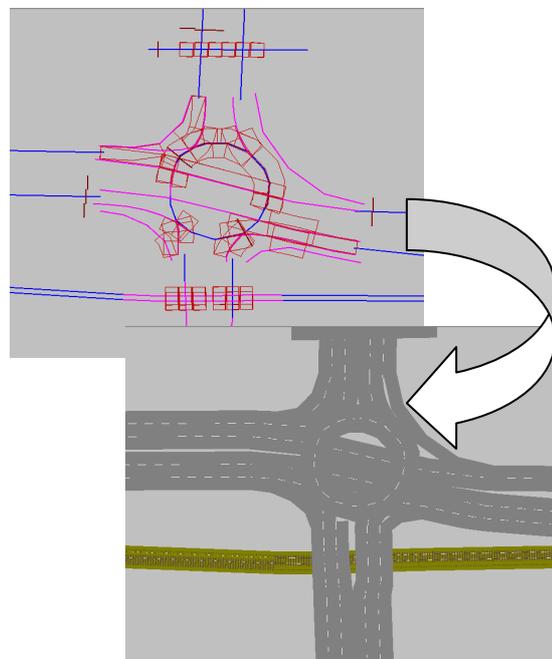


Figura 3. Ejemplo de armado de la red y visualización de una intersección.

La experiencia del armado de la red fue muy buena ya que los alumnos fueron descubriendo las mejores alternativas para modelizar las intersecciones y rotondas. Luego se realizaron los ajustes detallados, propuestos en base a la experiencia de los docentes.

También se introdujeron las características físicas de los diferentes tipos de vehículo, prestando atención a la modelización en tres dimensiones de los mismos. Lo citado puede apreciarse en la siguiente Figura 4.

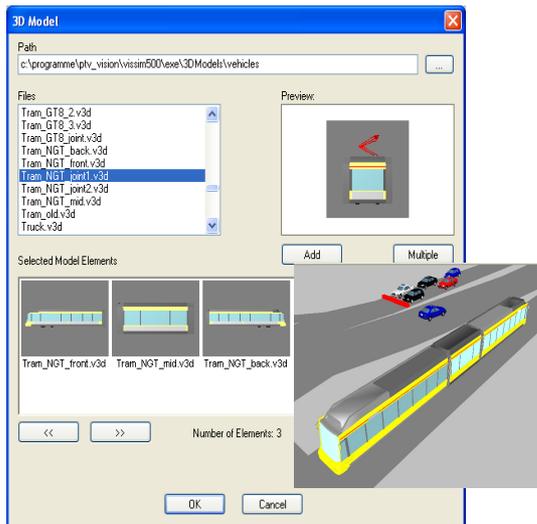


Figura 4. Pantalla del programa con la modelización de los vehículos

Como resultado de la simulación se obtuvo una primera aproximación de la realidad, con resultados que permitirán en una etapa posterior compararlos con la realidad, para luego realizar la calibración del modelo, de manera de lograr una simulación exacta y reproducible.

## 2.6 Calibración y Validación del Modelo

La calibración es el proceso en el cual se seleccionan los parámetros del modelo que mejor reproducen las condiciones de operación del tránsito locales.

El programa de microsimulación posee parámetros ajustables que permiten calibrar el software y adecuarlo a las condiciones locales.

Esta tarea involucra la selección de los parámetros que se ajustarán, y realizar las simulaciones que sean necesarias para identificar los valores óptimos de dichos parámetros.

En el proceso de validación se compara el funcionamiento del modelo con las mediciones de campo, como ser volumen de tránsito, tiempo de

viaje, velocidad media y demoras. El procedimiento de validación se basa en datos que no hayan sido utilizados en el proceso de calibración.

Los siguientes parámetros son los que se estudiaron en el campo, con el fin de observar su incidencia en el comportamiento del flujo vehicular en el sitio en estudio.

Dentro de los parámetros a evaluar se encuentran:

- Velocidades deseadas para cada tipo de vehículo.
- Aceleraciones y deceleraciones deseadas para cada tipo de vehículo.
- Brechas o espacios entre y para cada tipo de vehículos.
- Parámetros del comportamiento del conductor en el proceso del seguimiento del vehículo; estos son: Distancia estática de los vehículos y parámetros de calibración para la distancia entre vehículos a bajas velocidades.

El programa permite salidas muy amigables y didácticas para estudiar un problema como puede observarse en la Figura 5.

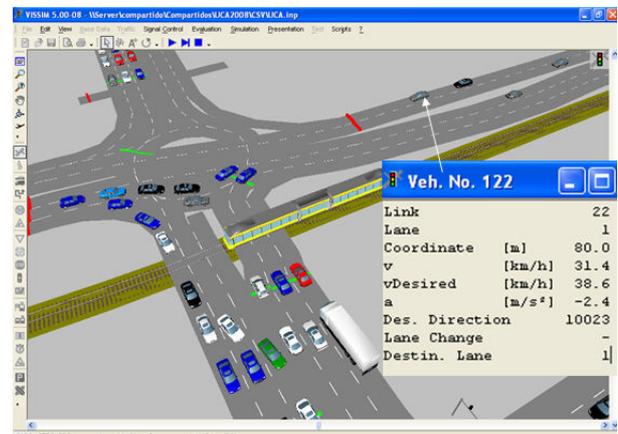


Figura 5. Salida del modelo

## 3 RESULTADOS

### 3.1 Análisis de los resultados

Actualmente la experiencia propuesta se encuentra en la etapa de calibración del modelo.

A partir de los primeros resultados obtenidos del modelo de microsimulación, y comparando los mismos con los datos medidos en el campo, puede observarse algunas discrepancias entre los mismos.

A partir de los escenarios evaluados, se analizó:

- Qué tan ajustado es el modelo calibrado en su país de origen Alemania, para la aplicación en nuestro medio sin calibrar parámetros, utilizando las diferentes opciones de distribuciones, funciones y valores que ofrece el mismo, en cuanto a los parámetros en estudio.
- Cuáles de los parámetros analizados y calibrados para el tramo en estudio pertenecen a los rangos y curvas que ya el programa trae por defecto y cuales se deben ajustar porque se encuentran por fuera de los rangos de nuestro país.

Una vez calibrado el modelo es posible identificar y cuantificar los problemas de tránsito existentes y potenciales ante un incremento de tránsito futuro, o diferentes escenarios que se planteen.

Luego de analizados los resultados, se plantearán las soluciones alternativas que se consideren adecuadas, y con el programa ya calibrado será posible implementar el modelo de simulación para las soluciones alternativas, y comparar los resultados obtenidos para elegir la mejor solución.

#### 4 CONCLUSION

El planeamiento de transporte en las ciudades es clave para su desarrollo económico y social, por lo que se ha generado la necesidad de contar con herramientas que permitan la evaluación de las diferentes políticas y estrategias implementadas en escenarios actuales y futuros teniendo en cuenta la dinámica que se genera por los usos del suelo.

En un sistema de transporte vial influyen diferentes factores en el comportamiento del flujo vehicular, estos son: el transporte público, transporte privado, el componente humano (conductores, peatones, pasajeros y guardas de tránsito), en las vías los sistemas reguladores y el entorno urbano. La integración de estos factores hacen que sea complejo la modelación del sistema citado, sin embargo hace ya algunas décadas se han venido desarrollando herramientas computacionales que permiten modelar en diferentes escenarios, las situaciones actuales y futuras; es por esta razón que la simulación se ha vuelto un instrumento indispensable para el análisis y la optimización de sistemas técnicos complejos, reduciendo costos y tiempo. No obstante, estas herramientas computacionales tienen origen en países donde las condiciones del tránsito e incluso la cultura difieren del entorno

actual de la ciudad de Buenos Aires. Esta situación genera diversos interrogantes: ¿cómo es más conveniente tomar la información de campo para la alimentación del software?, ¿qué metodología existe para la calibración de los parámetros?, ¿se pueden modificar los parámetros a las condiciones actuales?

En conclusión este trabajo muestra que la experiencia de la aplicación de modelos de transporte, en particular la simulación de tránsito resulta muy positiva como herramienta didáctica para alumnos y docentes de la carrera de ingeniería civil de la UCA, permitiendo comprender mejor los conceptos desarrollados en la cátedra de Ingeniería del Transporte I y motivando a la formación de grupos de investigación como el desarrollado en el presente trabajo.

#### 5 REFERENCIAS

Radelat, G., *Principios de Ingeniería de Tránsito*, ITE Institute of Transportation Engineers, USA, 2003.

Institute of Transportation Engineers, *Manual of Transportation Engineering Studies*, ITE, USA, 2003.

Federal Highway Ad Guidelines for Applying Traffic Microsimulation Modeling Software FHWA. HRT-04-0040. July 2004.

Journal of Transportation Research Board N° 1876, Calibration and validation of Simulation Models, TRB, 2004.

Highway Capacity Manual, Transportation Research Board TRB, 2000.

Microscopic Traffic Simulation The Simulation System Mision, Wiedemann Rainer, 1974.

Manual del usuario VISSIM versión 4.30, Planung Transport Verkehr PTV, 2007.

Modelos de Tráfico Vial. J. G. Gardeta Oliveros, MOPU Centro de Estudios y Experimentación de Obras Públicas, 1984.