

UTILIZACIÓN CONJUNTA DE MODELOS MACRO Y MICROSCÓPICOS PARA EL ANÁLISIS DE SISTEMAS DE TRANSPORTE URBANO

Justin Siegel S.

MCT - Modelos Computacionales de Transporte Ltda.

Lota 2257, Of. 401, Santiago, CHILE

FAX: (56-2) 234 1578; e-mail: jsiegel@FDCconsult.com

Louis de Grange C.

Fernández y de Cea Ingenieros Ltda.

Lota 2257, Of. 402, Santiago, CHILE

FAX: (56-2) 234 1578; e-mail: ldegrang@FDCconsult.com

RESUMEN

En el presente trabajo se describe una metodología para el análisis de proyectos viales que integra el uso de modelos estratégicos de transporte (macro) con modelos dinámicos de simulación de tráfico (micro), y su aplicación a un caso específico. El objetivo de esta metodología es complementar las potencialidades que presentan ambos tipos de modelos. De esta forma, utilizando un modelo estratégico es posible entregar datos de demanda al microsimulador, y a la vez, con este último, es posible obtener parámetros de entrada para el modelo macro e identificar efectos en el sistema que éste no puede captar.

El uso de metodologías como la planteada en este documento, permite ampliar los análisis comúnmente realizados y obtener una visión más clara de la operación de futuros proyectos de infraestructura y gestión de tránsito, identificando puntos críticos potenciales y modelando sus posibles soluciones. El modelo macro utilizado en el caso estudiado es ESTRAUS, y el modelo micro GETRAM.

1. INTRODUCCIÓN

La forma más común de representar la operación de un sistema de transporte urbano se basa en el uso de modelos de redes. Estos utilizan los conceptos de arco y nodo para representar las calles e intersecciones del sistema respectivamente (oferta); por otra parte, mediante información de vectores de generación y atracción, matrices, o flujos, se describen los viajes (demanda). Dentro de esta clase de modelos existen sub-categorías, dependiendo del nivel de análisis requerido. Los modelos estratégicos o a gran escala, incluyen a modelos como ESTRAUS¹ (Mideplan, 2001) y EMME2² (Inro, 1998). Un nivel mayor de detalle se logra con modelos como SATURN³ (Van Yliet, 1993), el cual incorpora explícitamente la operación de los cruces semaforizados y de prioridad con el concepto de red “inner”, combinado con una red estratégica o “buffer” (este modelo trabaja principalmente con matrices de viajes). Finalmente, se encuentran los modelos como TRANSYT (Vincent, 1980), que sólo consideran una red detallada, y además trabajan exclusivamente con flujos fijos en los diferentes arcos (i.e. no modela reasignaciones).

Todos estos modelos de redes pueden definirse como *analíticos*, en el sentido de que se basan en funciones analíticas que relacionan las diferentes variables de entrada para caracterizar la operación del sistema. Por ejemplo, el cálculo de tiempos de viaje, demoras, paradas, etc. se basa en relaciones empíricas o funciones calibradas que utilizan principalmente el flujo promedio de los arcos medido en vehículos equivalentes. Los resultados son, por lo tanto, determinísticos y no se diferencian de una ejecución a otra al utilizar los mismos datos de entrada.

Otro enfoque de modelación corresponde al uso de técnicas de *simulación*, que permiten representar la operación del sistema vehículo a vehículo con todas las aleatoriedades que su operación conlleva, en lugar de un gran “flujo equivalente”. Como resultado, los indicadores operacionales (velocidades, tiempos, demoras, etc.) son obtenidos de la modelación de cada vehículo en el sistema. En esta categoría se encuentran los modelos de microsimulación de tráfico, los cuales utilizan una representación detallada del sistema analizado, a nivel de calles e intersecciones, incluyendo las características reales de diseño y operacionales. Una diferencia importante con los modelos analíticos, es que la “capacidad” de un arco no es un dato de entrada, sino que es un resultado de la simulación, pues depende, entre otras cosas, de: la geometría de la calle, la programación del semáforo, movimientos permitidos, características de los vehículos, etc.

El uso conjunto de modelos macro y micro ya ha sido planteado en metodologías anteriores, específicamente entre el modelo EMME/2 y GETRAM (Barceló et. al, 1998). En este trabajo se describe una metodología que ha sido empleada en estudios de varias ciudades de Europa. En este caso, la interacción entre los modelos se realiza automáticamente puesto que GETRAM tiene incorporado una interfaz entre EMME/2 y el simulador. Debido a esto, es posible generar redes compatibles entre ambos modelos (misma definición de calles e intersecciones). Posteriormente, se utilizó esta metodología en un estudio de la ciudad de San Sebastián en España, pero considerando una sub-red de la red completa de EMME/2, con el fin de hacer el análisis de detalle (Barceló, 2000). En ambos casos, el proceso de modelación del sistema se planteó de manera

¹ ESTRAUS es un modelo de equilibrio simultáneo entre generación, distribución, partición modal y asignación.

² EMME2 es un modelo de asignación multimodal.

³ SATURN es un modelo principalmente de asignación detallada.

secuencial: primero se asignaron las matrices de viajes en EMME/2, y luego se utilizaron los flujos resultantes en cada una de las calles y cruces como dato de entrada al simulador. Con esto último, fue posible diagnosticar la operación en detalle de los diferentes diseños planteados en los estudios analizados preliminarmente con EMME/2.

De manera similar a los casos anteriores, en el presente documento se describe el uso conjunto de modelos macro y micro (analíticos y de simulación) en una aplicación concreta en Santiago de Chile, con dos diferencias importantes. Primero, el modelo macro utilizado en este caso corresponde a ESTRAUS. En segundo lugar, la etapa de modelación no sólo considera el análisis secuencial de macro a micro, sino que también se propone el uso en el sentido inverso; esto es, utilizar el simulador para generar parámetros de entrada al modelo macro. A continuación se detalla la metodología empleada y los principales resultados obtenidos en el caso de las concesiones viales urbanas de Santiago.

2. METODOLOGÍA PLANTEADA PARA EL USO CONJUNTO DE MODELOS MACRO Y MICRO

La metodología propuesta para el uso conjunto de un modelo macro y micro de transporte se presenta en tres etapas secuenciales, las cuales se describen brevemente a continuación.

Etapa 1: Modelación Estratégica

La primera etapa del análisis contempla el uso exclusivo del modelo macroscópico para determinar las demandas en el sistema estudiado. En este caso se utilizó el modelo ESTRAUS, que resuelve las cuatro etapas del modelo clásico de transporte (generación, distribución, partición modal, asignación) de manera simultánea. Como resultado de esta modelación se obtienen las matrices de viaje por modo, las cuales al ser asignadas sobre las redes respectivas entregan los flujos y niveles de servicio consistentes.

Etapa 2: Asignación Detallada

La segunda etapa consiste en realizar asignaciones detalladas sobre una red más desagregada en el entorno del proyecto estudiado, utilizando para ello el modelo macro con algunos parámetros generados por el simulador. Para esto, sólo se requiere asignar las matrices de viajes sobre las redes respectivas, sin la necesidad de realizar las etapas de generación, distribución y partición modal en el caso de ESTRAUS (similar a lo realizado con EMME/2 en los estudios antes citados). En el análisis de las concesiones viales, se pone el énfasis en modelar en detalle los accesos a las autopistas. Para esto, se simularon con GETRAM accesos de diferentes características de diseño y operación, con lo cual se calibraron funciones que entregan la capacidad y parámetros de la función flujo-demora resultante para cada acceso. Estos resultados son incorporados en el modelo macroscópico de manera iterativa: se realiza una asignación de las matrices de viajes en ESTRAUS a las redes respectivas, con lo cual se obtienen los flujos en los accesos y en la vía principal, estos resultados se introducen a la función calibrada con el simulador, entregando una capacidad y función flujo-demora asociada. Tales parámetros son incorporados nuevamente a la

modelación macro para realizar una nueva asignación, y así sucesivamente hasta converger a un resultados similar entre una iteración y otra.

Una vez concluido este proceso, es posible realizar un diagnóstico preliminar de operación de los proyectos estudiados con el modelo macro (e.g. analizando los grados de saturación), de tal suerte de identificar sectores que podrían resultar conflictivos, y que serían representados en mayor detalle como se explica en la siguiente etapa.

Etapa 3: Modelación Microscópica

La última etapa de la metodología consiste en realizar las modelaciones microscópicas utilizando, en este caso, el simulador de tráfico en GETRAM. Para alimentar al simulador se utilizan los flujos vehiculares resultantes de la Etapa 2 anterior, además de toda la información adicional requerida: bases gráficas con el diseño del proyecto a nivel de cada pista, especificación de movimientos permitidos en cada una de las intersecciones, etc. Como resultado de estas simulaciones es posible representar con exactitud la operación de puntos críticos diagnosticados en la etapa anterior, y captar fenómenos no representados por el modelo macro. A base de esto, es posible proponer modificaciones al diseño original de manera de mitigar ciertos conflictos, los cuales pueden ser validados con las simulaciones que incorporan tales cambios.

A continuación se describe en detalle la realización de las etapas 2 y 3, y su aplicación al caso estudiado.

3. USO DEL MODELO GETRAM PARA GENERAR PARÁMETROS DE ENTRADA A ESTRAUS

Por lo general el uso de simuladores de tráfico se orienta a la representación detallada de una red de tráfico (uso contemplado en la Etapa 3). Sin embargo, una gran potencialidad de un modelo de simulación es la posibilidad de calibrar funciones y obtener parámetros de entrada de modelos macro. En este caso específico, se realizó un análisis detallado de los accesos a las autopistas con el fin de obtener los parámetros correspondientes que podían ser incorporados a ESTRAUS (particularmente capacidad de los accesos).

La representación de la red vial en ESTRAUS, al igual que en la mayoría de los modelos analíticos de transporte, se hace principalmente a través de arcos y nodos. Los primeros quedan descritos por una capacidad y una función flujo-demora asociada. El valor de la capacidad representa el máximo número de vehículos a la hora que es capaz de liberar el arco en cuestión, incorporando las características de diseño (pendiente, curvatura, carpeta, etc.) y operacionales (presencia de semáforos, prioridad, etc.). En el caso de un arco de acceso, el valor de la capacidad depende principalmente de los siguientes factores: flujo vehicular por la vía principal (autopista) F , número de pistas en la vía principal N , largo de la pista de aceleración para acceder a la vía principal L , velocidad máxima de diseño del acceso V . Como vemos, este es un caso donde el tiempo de viaje en un arco (costo) depende no sólo de su propio flujo, sino que del flujo en otros arcos; este fenómeno es reportado ampliamente en la literatura bajo el nombre de "interacciones de flujos" (e.g. Sheffi, 1985). Dependiendo si las interacciones entre flujos de distintos arcos son simétricas o no, el planteamiento del problema de asignación varía, y en el caso en que las interacciones sean

asimétricas, su resolución analítica se resuelve mediante algoritmos iterativos como el de “diagonalización”.

En el caso de F (flujo por la vía principal) uno esperaría que mientras mayor sea su valor, más difícil se hace el acceso a la autopista (menor capacidad); en el caso de N , mientras mayor su valor, a un mismo nivel F (autos más dispersos), debiera ser más fácil acceder a la autopista (mayor capacidad); para L , mientras mayor su valor, más facilidad debieran tener los vehículos para ingresar a la autopista debido a que pueden alcanzar una mayor velocidad (mayor capacidad); finalmente V , a mayor velocidad de diseño en el acceso (e.g. un acceso recto vs. una oreja o curvo), más facilidad debiera tener el vehículo para ingresar debido a una mayor velocidad al enfrentar los vehículos en la autopista (mayor capacidad).

Considerando las características típicas de los accesos en los proyectos analizados, se clasificaron las variables F, N, L, V en 5, 2, 3, 2 niveles respectivamente. Todas las combinaciones generan un total de 60 escenarios de modelación.

Cada uno de estos escenarios se simuló utilizando la herramienta de modelación GETRAM, obteniendo un valor para la capacidad en cada caso. Esto se logró saturando en cada escenario el acceso a la autopista (i.e. flujo vehicular muy alto), en cuyo caso el número máximo de vehículos a la hora capaz de ser liberados por el acceso corresponde a la capacidad. Una imagen de un acceso a una autopista representado en GETRAM se aprecia en la siguiente Figura.

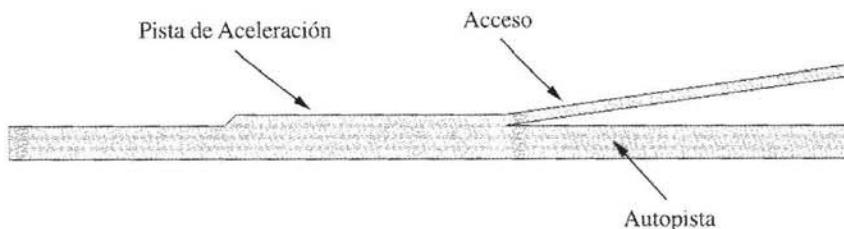


Figura 1: Acceso a una Autopista en GETRAM

La expresión calibrada para la capacidad de un determinado arco de acceso a , presenta la siguiente forma funcional:

$$k_a = \phi_F \cdot F^\delta + \phi_N \cdot N + \phi_L \cdot L + \phi_V \cdot V \quad (1)$$

Los resultados del análisis de regresión se muestran en la siguiente Tabla.

Tabla 1: Resultados del Ajuste Cálculo de Capacidad de Accesos

Parámetro	$R^2 = 0,864$		$\delta = 1,334^*$
	ϕ_F	ϕ_N	ϕ_L
Valor	-0,016	405,378	2,994
Significancia (t)	-15,403	9,472	5,510
			6,496

- El valor $\delta = 1,334$ es aquel que entrega el máximo valor de R^2 como resultado de la regresión.

De la Tabla 1 se observa la robustez y consistencia del modelo calibrado. Todos los signos de los parámetros son intuitivamente correctos. Las variables consideradas explican gran parte del fenómeno modelado ($R^2 = 0,864$) y son todas bastante significativas.

El segundo paso de este análisis contempla la estimación de los parámetros de las funciones flujo-demora, las cuales permiten relacionar el tiempo de viaje en un arco con el flujo vehicular en el mismo. ESTRAus incorpora funciones flujo-demora del tipo BPR, las cuales se describen como se muestra a continuación:

$$t_a(f_a) = t_0 \left[1 + \alpha \left(\frac{f_a}{k_a} \right)^\beta \right] \quad (2)$$

donde:

t_a : tiempo de viaje en el arco de acceso a .

t_0 : tiempo a flujo libre en el arco de acceso a .

k_a : capacidad en vehículos por hora del arco de acceso a .

f_a : flujo en vehículos por hora en el arco de acceso a .

α, β : parámetros de calibración.

La idea, en este caso, es obtener el valor de los parámetros α y β como resultado de las modelaciones con GETRAM. Para esto, se simularon diferentes niveles de flujo por el acceso para cada uno de los 60 escenarios contemplados, registrando los tiempos de viaje en cada caso. Como resultado, se agregaron los accesos en dos grupos: los que tenían una capacidad mayor y menor 1.400 veq/hr. Para cada caso se calibraron los valores para α y β , utilizando los datos simulados.

Aplicando logaritmo natural a (2) y reordenando se obtiene la siguiente expresión:

$$\ln \left(\frac{t_a(f_a)}{t_0} - 1 \right) = \beta \ln \left(\frac{f_a}{k_a} \right) + \ln \alpha \quad (3)$$

de donde finalmente se obtiene una expresión general de la forma lineal:

$$y = \beta x + \ln \alpha \quad (4)$$

Realizando un análisis de regresión lineal se obtuvieron los siguientes parámetros:

Tabla 2: Resultados del Ajuste Parámetros Función Flujo-Demora de Accesos

Tipo de Acceso	α	β	R^2
$k < 1.400$	0,3894	3,1517	0,7632
$k > 1.400$	0,1915	1,7544	0,8556

En la Tabla 2 se aprecia un ajuste adecuado para ambos grupos de accesos. Por otro lado, los valores obtenidos son consistentes con el hecho de que un acceso de “baja” capacidad (e.g. con una corta pista de aceleración) debiera saturarse con mayor facilidad (i.e. “alto” valor del parámetro β), y viceversa.

Como se mencionó anteriormente, la metodología planteada considera que los parámetros calibrados se incorporan de manera iterativa a ESTRAUS: primero se asignan las matrices, luego con los flujos resultantes se obtienen los parámetros de las funciones calibradas, posteriormente se utilizan estos nuevos parámetros y se asignan nuevamente las matrices, y así sucesivamente hasta converger entre una iteración y otra. Este método de resolución podría eventualmente automatizarse e incorporarse dentro del proceso completo de equilibrio del modelo macro ESTRAUS; incluyendo en el modelo la interacción de flujos entre los arcos de acceso y las vías principales utilizando los parámetros calibrados con la simulación de GETRAM (funciones de costos asimétricas). Para esto, basta incorporar en las funciones de costo en cada arco un término que dependa del flujo en el otro. Luego, dado que en este caso se observa que la interacción es unilateral (el flujo en la vía principal afecta al tiempo de viaje en el acceso pero no vice-versa), estaríamos ante un caso de interacciones de flujo asimétricas, para lo cuál habría que utilizar un algoritmo iterativo como el diagonalización (que actualmente utiliza ESTRAUS⁴ para resolver el problema de asignación a redes de transporte público con restricción de capacidad por la presencia de interacciones asimétricas).

4. USO DEL MODELO GETRAM PARA REPRESENTAR EN DETALLE PUNTOS CRÍTICOS DE LA RED

Una vez utilizado el modelo estratégico ESTRAUS para determinar las demandas sobre los proyectos analizados (incorporando el proceso iterativo para el análisis de los accesos a las autopistas antes descrito), se procedió a diagnosticar su operación. Como resultado, se identificaron nudos o intersecciones que presentaban altos grados de saturación y que podían ser interesantes de analizar en mayor detalle con el microsimulador de GETRAM, especialmente para captar efectos no detectados por ESTRAUS.

Para realizar una simulación en GETRAM, se requiere básicamente de 3 tipos de información: física, operacional, y de demanda. El primer tipo se compone por bases gráficas CAD con el diseño de los proyectos en los tramos de interés. Estas bases incluyen el detalle de la geometría inicial planteada para los proyectos, incluyendo las pistas y los movimientos permitidos en cada una de ellas. Sobre éstas, se generaron las calles e intersecciones de las redes analizadas utilizando

⁴ ESTRAUS considera en su versión actual que el Jacobiano de las funciones de costo de la red vial es diagonal pero no diagonal y asimétrico para las redes de transporte público.

el editor de red de GETRAM. Un ejemplo de este proceso se puede apreciar en la siguiente Figura:

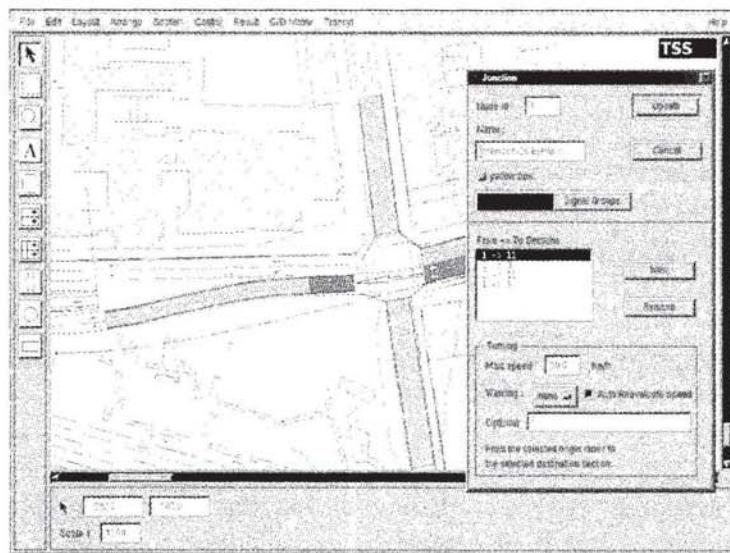


Figura 2: Codificación de Red en GETRAM

La información operacional se relaciona con la definición de las intersecciones de prioridad (ceda el paso, pare) y las semaforizadas (diseño de fases, desfases entre semáforos). Para las intersecciones de prioridad se utilizó la señalización propuesta en el diseño original del proyecto. Para las intersecciones semaforizadas en tanto, se realizaron modelaciones TRANSYT en conjunto con GETRAM para determinar a priori la programación más adecuada. Para esto, se generó en TRANSYT la red con las mismas características topológicas de la red GETRAM (mismos arcos y nodos, etc.) y como resultado se obtuvieron las programaciones y desfases óptimos. De hecho, este proceso puede ser automatizado con la Interfaz GETRAM/TRANSYT, la cual puede ser adquirida complementariamente con la última versión de GETRAM. Esta interfaz permite, dentro del mismo simulador, exportar la red al formato de TRANSYT, correr TRANSYT, y utilizar las programaciones que este último entrega.

Un resultado muy interesante de esta etapa fue que si bien las programaciones arrojadas por TRANSYT entregaban un muy buen punto de partida, al observar la simulación se requirió de pequeños ajustes en las programaciones y desfases para obtener una operación aún mejor. Este resultado no es de extrañar, considerando que un modelo como TRANSYT no es capaz de captar, entre otros fenómenos, la totalidad de las interacciones producidas entre los vehículos en las calles (bloqueos, adelantamientos, etc.), y por lo tanto las programaciones entregadas sirven como una primera aproximación. Esto mismo sucede en la práctica, cuando en redes reales de semáforos se implanta una programación “óptima” entregada por TRANSYT, la cual por lo general requiere de una posterior “sintonía fina”. Esta es otra de las ventajas que presenta el uso de microsimuladores para el análisis de proyectos que involucran modificaciones en semáforos, puesto que en vez de tener que realizar una “sintonía fina” directamente en terreno (con los costos que eso conlleva), es posible realizar una “pre-sintonía fina” con el microsimulador y luego llevarlas a terreno.

En la siguiente Figura se muestra cómo se ingresa la programación de semáforos en un cruce semaforizado:

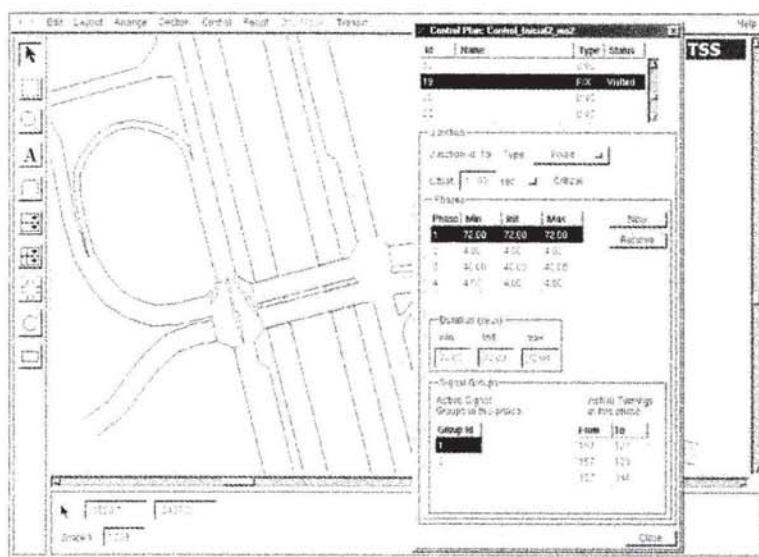


Figura 3: Programación de Semáforos en GETRAM

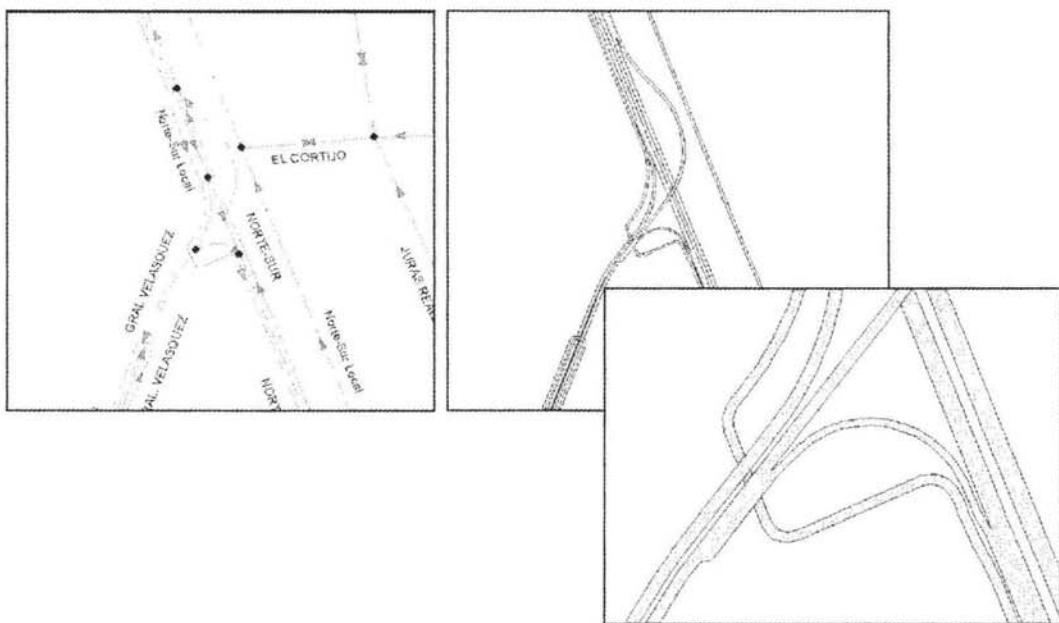
Finalmente, los datos de demanda se obtuvieron de las modelaciones con ESTRAUS (flujo vehicular en cada una de las calles y por cada movimiento en las intersecciones). Esta información además se utilizó desagregada por tipo de vehículo (auto, taxi-colectivo, camión, bus).

Con toda la información anterior se generaron las redes correspondientes. En la siguientes imágenes se compara una de las redes modeladas en ESTRAUS y la red obtenida finalmente con GETRAM.

Una vez incorporada la información de base al modelo se realizaron las simulaciones correspondientes. La metodología para realizar el análisis de los resultados se desglosó en 3 partes.

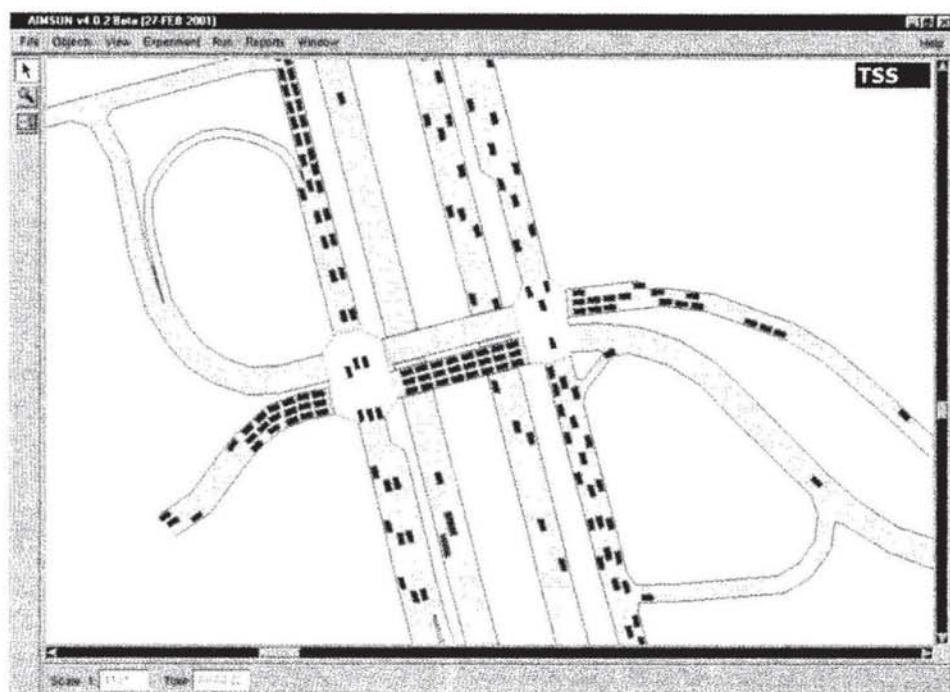
La primera parte consistió en realizar un diagnóstico visual de la operación del sistema, aprovechando la ventaja que tienen los simuladores con animación de mostrar cómo circulan los vehículos por la red gráficamente. Esta característica permite identificar de inmediato los puntos críticos en la red, y además diagnosticar su causa (e.g. presencia de un arco corto que bloquea un viraje, formación de colas que pueden bloquear cruces, accesos o salidas donde los flujos superan la capacidad, etc.). Como consecuencia se constató que, si bien los puntos que resultaban con altos grados de saturación en ESTRAUS mostraban una operación más compleja en GETRAM, el primer modelo no era capaz de captar las interacciones que se producían entre un arco y otro. Por ejemplo, el efecto que produce **una cola larga de vehículos sobre el arco aguas arriba, o el bloqueo que se puede producir sobre un viraje debido a que se satura un arco corto**, son situaciones que sólo podían ser captadas con el simulador de GETRAM.

Figura 4: Redes en ESTRAUS vs. GETRAM



En la siguiente Figura se muestra la simulación con animación en GETRAM de uno de los nudos analizados en los proyectos:

Figura 5
Simulación con animación en GETRAM



Una vez identificados los puntos críticos debido a problemas de diseño o gestión de tránsito a través de un análisis más bien cualitativo, se procedió a realizar un análisis cuantitativo utilizando los resultados estadísticos y gráficos que entrega el modelo. En particular, se analizó estadísticamente la operación de ciertos puntos críticos a través de indicadores operacionales que entrega el simulador (velocidades, tiempos de viaje, colas, paradas, etc.). Los resultados entregados por un modelo de simulación, a diferencia de un modelo analítico donde se entrega un resultado promedio considerando la operación promedio del arco en cuestión, se obtiene recopilando la información de cada vehículo que ha atravesado el arco o calle analizada. Por ejemplo, si interesa analizar la velocidad promedio de una calle, esta se compone por la velocidad de cada vehículo que la ha atravesado, incorporando las aleatoriedades propias del flujo de vehículos al igual que los diferentes eventos que enfrentan (virajes, bloqueos, reducción de velocidad, cambios de pista, adelantamientos, etc.). En la Figura 6 se muestra cómo GETRAM entrega los resultados estadísticos de las simulaciones.

Producto del análisis anterior, se procedió a proponer modificaciones geométricas y operacionales al escenario inicial planteado. Tales modificaciones se incorporaron a la red y se compararon los resultados simulados en ambos escenarios. Esta es otra ventaja de utilizar herramientas de este tipo, puesto que permite introducir modificaciones físicas y operacionales y analizar rápidamente los efectos. Lógicamente, tales modificaciones deben ser validadas técnicamente (i.e. que se puedan concretar en la práctica). De la misma manera, al incorporar cambios físicos u operacionales (e.g. proyecto involucra cambios en la programación de semáforos) se requiere realizar nuevas corridas TRANSYT para obtener las programaciones iniciales adecuadas que deben ser introducidas y ajustadas posteriormente con el simulador.

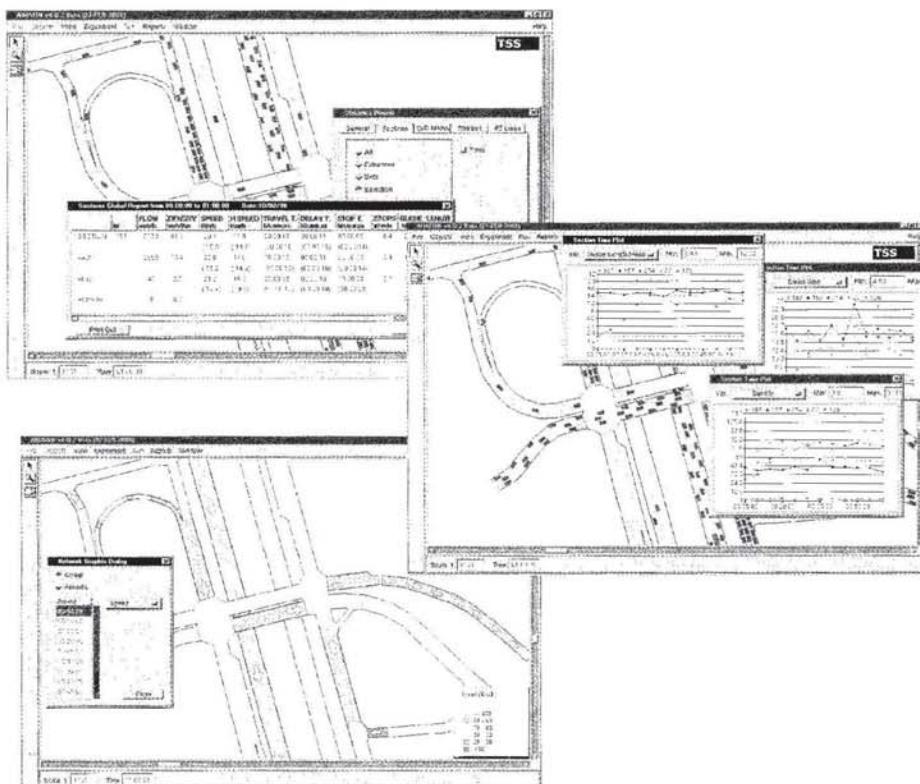
5. CONCLUSIONES

Si bien el uso de modelos de micro-simulación en el área de transporte es incipiente, su aplicación presenta una gran potencialidad para representar en detalle la operación de un determinado sistema vial, considerando los aspectos de diseño y gestión de tránsito que no son captados por los modelos estratégicos o analíticos. Adicionalmente, la utilización de modelos de simulación de tráfico permite generar parámetros de entrada para los modelos estratégicos (e.g. capacidades de arcos viales, parámetros de funciones flujo-demora, etc.).

Por otra parte, la utilización de modelos estratégicos permite estimar de manera adecuada datos de entrada a los modelos de simulación, principalmente flujos en arcos y matrices de viajes entre determinadas zonas de interés. Esto permite llevar el análisis macro de un sistema a un análisis microscópico, considerando para esto último una o varias sub-redes que interese estudiar con mayor detalle.

En aplicaciones como la presentada en este trabajo, el uso conjunto de estos modelos muestra una gran utilidad para analizar el impacto que proyectos viales tienen sobre el sistema, y en especial para anticipar la existencia de posibles puntos conflictivos y sugerir mejoras validadas mediante técnicas de simulación.

Figura 6: Análisis de Resultados en GETRAM



REFERENCIAS

Barceló, J., P. Barceló, E. Codina, y L. Montero (1998) Combining Macroscopic and Microscopic Approaches for Transportation Planning and Design of Road Networks. **19th Conference of the Australian Road Research Board. Proceedings of the 19th ARRB Transport Research Conference.** Sidney.

Barceló, J. (2000) Putting the Rush Back in Rush Hour. **OR/MS Today**, Vol 27 No. 2 pp. 36-41.

INRO Consultants Inc. (1998), EMME/2 User's Manual.

MIDEPLAN – Ministerio de Planificación y Cooperación de Chile (2001), Manual de Usuario de ESTRAUS.

Sheffi, Y. (1985) **Urban Transportation Networks**, Prentice-Hall, New Jersey.

TSS - Transport Simulation Systems (2000) GETRAM/AIMSUN2 User's Manual.

Van Vliet, D. (1993) SATURN User's Manual.

Vincent, R., A. Mitchell y D. Robertson (1980) **TRANSYT Version 8 User Guide**.