

PROBLEMAS DE LA REPRESENTACION DEL TRAFICO MIXTO EN EL MODELO SATURN.

Jaime Gibson
Departamento de Ingeniería Civil
Universidad de Chile

Marcelo Farah y Raúl Erazo
LATINA Ltda.

Resumen

SATURN es una de las herramientas más promisorias para estudiar esquemas de gestión de tránsito que conllevan reasignaciones de flujos. Una aplicación en una red de gran tamaño y complejidad, en el Centro de Santiago, ha revelado que su técnica de modelación presenta serias limitaciones para introducir características de la circulación que son típicas de los países subdesarrollados. En particular, la presencia de diversos tipos de vehículos con comportamiento diferenciado (sobre todo locomoción colectiva) no puede ser reflejada adecuadamente en los arcos de la red. Esto plantea una incógnita: ¿surgen distorsiones por efecto de esta limitación, en la asignación que produce el modelo?.

En este trabajo se aborda el problema aprovechando las similitudes de SATURN y TRANSYT8, teniendo en cuenta además que en el proceso de asignación lo crucial son las curvas demora-flujo. Estas curvas se construyen para dos redes TRANSYT8: una que simula como SATURN y otra que incorpora las diferencias entre los distintos tipos de vehículos. Se prueba que las curvas demora-flujo obtenidas con ambos tipos de modelación difieren significativamente. Finalmente, se discuten posibles implicaciones de este resultado.

1. Introducción

La gestión de tránsito se reconoce hoy como una tarea compleja. Muchos problemas que pueden plantearse en una red vial urbana sólo pueden abordarse seriamente con la ayuda de modelos computacionales sofisticados: la optimización de la operación de los semáforos, la estimación de los consumos de tiempo y combustible, el análisis de los impactos de diversas medidas de gestión sobre la asignación de vehículos a la red, etc.

El SATURN (Bolland et al, 1979) es un modelo de simulación y asignación de tránsito para evaluar diferentes esquemas de gestión de tránsito. En una revisión realizada por Luk et al (1983), el SATURN fue comparado con otros cuatro modelos para gestión de tránsito que incluyen asignación. La evaluación consideró los siguientes aspectos:

- nivel de detalle
- aplicaciones y validaciones
- algoritmo de asignación
- requerimientos computacionales
- documentación.

En esta revisión, el SATURN fue considerado como el mejor modelo en su género.

En Santiago se han realizado dos aplicaciones (CITRA, 1984 y 1985), en las comunas de Santiago y Próvidencia. En esas aplicaciones se generaron algunas inquietudes en torno a la capacidad del modelo para simular adecuadamente redes con gran heterogeneidad en la composición de los flujos. Este aspecto no fue considerado por Luk et al (1983), en donde la forma de modelar el tráfico mixto en los arcos no fue considerada en la comparación de los modelos. El SATURN considera que, en todos los arcos de la red, todos los vehículos tienen la misma velocidad y se dispersan en la misma forma.

El objetivo de este trabajo es comprobar si esta modelación simplificada del tráfico mixto produce distorsiones relevantes en redes en que el tráfico está compuesto por varios tipos de vehículos, con características de operación y velocidad muy diferentes, como es el caso de autos particulares y vehículos de locomoción colectiva. Esta es una situación usual en países subdesarrollados.

El tratamiento analítico de este problema podría conducir a conclusiones generales, pero es impracticable. Por eso, en este trabajo se analizarán los efectos observados en una red determinada, con lo cual el problema es factible de ser abordado, aunque los resultados queden de alguna manera ligados a las características específicas de la red escogida.

2. Modelación del Tráfico en SATURN

SATURN maneja, mediante dos programas distintos, los dos procesos principales: simulación y asignación. La relación entre ellos es de carácter iterativo por cuanto la simulación provee las curvas demora-flujo en que se basa la asignación y ésta los flujos por arco para aquélla. En este trabajo se ha empleado la versión difundida en Septiembre de 1983 y es a sus caracte-

rísticas que se refiere todo lo que sigue.

2.1. Simulación

La zona afectada por el esquema que se quiere estudiar se representa por una red. SATURN distingue un área principal que se modela detalladamente (red interna) y otra circundante o alimentadora, que se trata más superficialmente (red externa).

En la red interna, el programa de simulación (SATSIM) trabaja con histogramas cíclicos de flujo (Robertson, 1974), el mismo principio del bien conocido modelo TRANSYT (Robertson, 1969). Es decir, la circulación en los tramos de vía entre intersecciones es modelada como un proceso de dispersión de un grupo de vehículos representado por patrones cíclicos de flujo; las intersecciones configuran los nodos de la red y en ellas la relación entre histogramas de entrada y salida depende de la forma de control (semáforo o prioridad).

La dispersión se modela de manera idéntica al TRANSYT, eso sí que con un factor $K = 0,4$ fijo. Los nodos semaforizados se representan con el típico modelo binario, en tanto que los de prioridad se tratan con un modelo de aceptación de brechas.

Las peculiaridades de SATURN con respecto a TRANSYT son que para cada tramo de vía sólo considera un arco (dispersión conjunta de todos los vehículos que lo utilizan) y que, por otra parte, la modelación de los nodos es más detallada. En efecto, en vez de arcos concurrentes se especifican movimientos, las pistas que cada uno de ellos usa y el flujo de saturación básico correspondiente. El modelo mismo calcula los flujos de saturación por movimiento, incluyendo efectos de prioridad si son pertinentes.

Dada esta lógica, en cada nodo hay un solo histograma de llegadas pero tantos histogramas de largada y de salida como movimientos. El histograma de llegadas se "divide" entre los movimientos en proporción a su flujo y así, junto con el de largada, da origen al de salida y al de cola. A su vez, el histograma de llegadas se obtiene dispersando los de salida correspondientes y, luego, agregándolos.

A partir de los histogramas de cola, el modelo estima la demora (sólo uniforme en intersecciones semaforizadas) y las detenciones (que sólo entran como total para la red).

De esta forma, dado un patrón de flujos por arco, una programación de los semáforos, flujos de saturación básicos, la brecha crítica y otros parámetros de la red, SATSIM estima demoras por movimiento. Por la dependencia de los histogramas de las condiciones de entrada a la red, se hace un proceso iterativo hasta que se produce una razonable convergencia de los histogramas.

Para construir las curvas demora-flujo simula tres situaciones en la misma red:

- a flujo nulo : supone que la tasa de llegada es 1 vehículo/ciclo;
- a flujo asignado: usa el patrón de flujos alimentado por el SATASS;

- a capacidad: asigna a cada movimiento un flujo igual a la capacidad que le calculó.

Los tres pares de valores (demora, flujo) así obtenidos permiten calcular los parámetros de la curva supuesta, que es de la forma:

$$d_i = a_i + b_i q_i^{n_i} \quad (1)$$

donde: d_i = demora media por vehículo, del movimiento i ,
 q_i = flujo del movimiento i ,
 a_i, b_i, n_i = parámetros.

2.2. Asignación

El programa de asignación (SATASS) recibe como datos una matriz O-D, las curvas flujo-demora por movimiento y características de la red. Mediante un algoritmo de equilibrio, que garantiza convergencia y unicidad del óptimo, determina los flujos por movimiento.

Hay dos tipos de vehículos: asignables y no - asignables. Estos últimos corresponden a los que tienen rutas fijas (locomoción colectiva) y se entregan como dato para cada movimiento, junto a un factor de equivalencia en automóviles. Los primeros engloban a los vehículos particulares y taxis ocupados; en general, a los vehículos cuyo origen y destino son conocidos pero su ruta entre ellos no está prefijada.

El patrón de flujos resultante, por movimiento, alimenta nuevamente al programa de simulación hasta lograr convergencia. Vale la pena recalcar que llegado a este punto no se ha alcanzado necesariamente el final. La solución obtenida supone una cierta programación de los semáforos de la red que pudo ser óptima para la asignación inicial pero no tiene por qué serlo para la final. Debería, pues, incluirse otro proceso iterativo con un programa como TRANSYT, hasta alcanzar un equilibrio global. Este es un problema nada sencillo, de solución no única y que puede consumir gran cantidad de recursos computacionales (Charlesworth, 1977). Es, por cierto, un terreno en que hace falta investigar más.

En todo caso, una vez que SATURN logra convergencia entre simulación y asignación, otro programa genera indicadores útiles para evaluación.

2.3. El problema del tráfico mixto

La existencia de tráfico mixto implica la presencia interactuante de flujos con distintas propiedades en cuanto a velocidad, capacidad, etc. El concepto de factor de equivalencia no resuelve por completo el problema puesto que no es idéntico para todas las propiedades. Lo normal es usar el factor asociado a la capacidad o, en otras palabras, a la demora en intersecciones.

A la luz de la descripción precedente de la lógica de SATURN, el tráfico mixto - en la forma que se da en las ciudades chilenas - plantea dos dificultades:

- a) taxis vacíos, que en ciertas zonas y períodos constituyen un componente importante, y hasta predominante, del flujo, pero no tienen, propiamente, origen y destino;
- b) heterogeneidad de comportamiento en los arcos, que no puede ser reflejada ni por factores de equivalencia ni por diferencias de arcos.

La primera dificultad es, en el plano teórico, compleja de resolver, puesto que en la elección de ruta de un taxista que busca pasajeros debe considerarse el beneficio esperado (probabilidad de encontrar un pasajero), cuya estimación es, por ahora, un tema virgen. Una manera práctica de proceder descansa en la observación de que hay, al menos en zonas céntricas, ciertos circuitos preferidos por los taxistas, los cuales siguen aunque haya (no independientemente, claro está) fuertes niveles de congestión. Esto sugiere la posibilidad de tratarlos como locomoción colectiva, camino que produjo satisfactorios resultados en una experiencia en el Centro de Santiago (CITRA, 1984). En cualquier caso, el problema de los taxis vacíos no es imputable a SATURN u otro modelo en particular, sino a la teoría de equilibrio disponible.

En cambio, la segunda dificultad encuentra sus raíces en el tipo de modelación que hace SATURN. La cuestión es: qué tan realista es el histograma de llegada, producido por la dispersión conjunta del tráfico heterogéneo, y cuáles son las consecuencias de eventuales discrepancias con la realidad.

Como es sabido, el modelo de dispersión que usa SATURN tiene, en última instancia, como única variable al tiempo medio de viaje. Podría pensarse entonces que si se da para éste un valor adecuado a la composición del tráfico de cada arco, no habrá distorsión. Pero la verdad es otra. Debe tenerse muy en cuenta la distinción entre vehículos asignables y no asignables pues SATURN toma decisiones sólo sobre los primeros. Y sucede que, sin embargo, lo hace sobre la base de demoras estimadas para cada movimiento con el conjunto de los dos tipos de vehículos. Luego, lo crucial es si existen entre ambos variaciones sesgadas en el patrón de llegadas. De ser así, aunque el patrón "promedio" pudiera ser bien predicho con un cierto tiempo medio de viaje habría un problema puesto que, en rigor, interesa la demora media por vehículo assignable y no la demora media, a secas.

Es fácil constatar que la velocidad media de los vehículos no asignables es, casi siempre, significativamente menor. En consecuencia, existirá la variación sesgada referida pues dichos vehículos tenderán a llegar más tarde que los otros. Que ello implique demoras mayores o menores depende de la coordinación de los semáforos y, secundariamente, otros factores; pero es indiscutible que hay sesgo.

Se desprende que una modelación separada por tipo de vehículo puede conducir a curvas demora-flujo diferentes a las que obtiene esta versión de SATURN y, por ende, dar pie a asignaciones también diferentes y, lógicamente, más realistas.

Adicionalmente, la posibilidad de separar implica ventajas para la evaluación ya que no habría un mismo tiempo de viaje para todos los vehículos en un cierto arco y los consumos en movimiento podrían afinarse más.

En suma, hay base teórica para suponer que la presencia de tráfico mixto no está bien reflejada en SATURN. La magnitud del problema debe ser investigada, inevitablemente, de manera empírica y a través de las curvas demora-flujo.

3. Análisis Experimental del Problema

3.1. Metodología

En el Capítulo 1 se señaló que el objetivo de este trabajo era comprobar si la modelación simplificada que hace el SATURN del tráfico mixto producía distorsiones significativas para las condiciones de tránsito prevalecientes en Chile y, en general, en países subdesarrollados, en que la componente de grandes vehículos de locomoción colectiva es relevante frente a los flujos de autos particulares. La constatación cabal de la existencia de diferencias significativas sólo podría hacerse construyendo un nuevo SATURN, que considere el tráfico mixto separadamente en su lógica de modelación. Obviamente, ésto es imposible en el marco de un trabajo como el que aquí se presenta. Sin embargo, es posible aprovechar las fuertes similitudes entre el SATURN y el TRANSYT8 en cuanto a su lógica de simulación. Se sabe que son las curvas demora-flujo las que gobiernan el proceso de asignación en SATURN, y si bien el TRANSYT8 no asigna, sí puede utilizarse para construir curvas demora-flujo en forma análoga a como las construye el programa de simulación del SATURN.

El método que se seguirá en este experimento consiste en una serie de pasos de los cuales el primero es construir una red TRANSYT8 que sea capaz de reproducir razonablemente la simulación que hace el SATSIM, construyendo curvas demora-flujo suficientemente similares. Esta etapa de "calibración" de una red TRANSYT8 para que simule como SATSIM, se hará utilizando la versión estándar del TRANSYT8, que contiene la fórmula de dispersión de Robertson, la misma con que simula el SATURN. Luego, se construye una red TRANSYT8 tomando en cuenta las características diferentes de los distintos tipos de vehículos (autos particulares, taxis vacíos, buses), particularmente en cuanto a velocidad media en los arcos y factor de dispersión, para ver si hay diferencias con las curvas demora-flujo obtenidas en la etapa de calibración. Este segundo paso en el desarrollo del experimento se realizará con una versión modificada del TRANSYT8 que incorpora el modelo de dispersión de Gibson (Gibson y Aguirre, 1984). Llamaremos a esta versión TRANSYT8-A. La utilización del TRANSYT8-A se justifica porque los parámetros que recogen las características propias de cada tipo de vehículos, velocidad y factor de dispersión, influyen en las demoras fundamentalmente a través de la dispersión, y por lo tanto es básico que las inconsistencias del modelo de Robertson no se mezclen con las diferencias que estamos buscando, si es que éstas existen. Luego, hay que simular la red calibrada y la red que modela detalladamente el tráfico mixto con el TRANSYT8-A, para, finalmente, comparar las curvas demora-flujo obtenidas.

La red que se analizó corresponde a la punta de la mañana de una parte del sector céntrico de la comuna de Providencia, que contiene vías rápidas que acogen exclusivamente flujos de autos particulares, calles con fuerte componente de locomoción colectiva, taxis vacíos, sectores residenciales, sectores comerciales y actividad peatonal intensa, incluso en la mañana. Esta coexistencia de situaciones muy variadas permite suplir en parte la carencia de un enfoque analítico absolutamente general.

3.2. Modelación TRANSYT8

En la etapa de calibración, el TRANSYT8 fue adaptado a una modelación menos detallada de la que es capaz, de modo que las demoras uniformes resultaran iguales a las demoras calculadas por el SATURN. En primer lugar, se dividió el ciclo en 25 intervalos que es el máximo número de intervalos por ciclo admitido por el SATURN. El TRANSYT8, en cambio, acepta hasta 50 intervalos por ciclo. Las demoras uniformes se calculan, en ambos modelos, directamente de los histogramas de llegada y salida, y el número de barras de los histogramas es igual al número de intervalos por ciclo. Es obvio, por tanto, que la precisión con que se calculan las demoras uniformes depende de dicho número. Además, se supuso que todos los vehículos tenían la misma velocidad y factor de dispersión que los autos, es decir, para el TRANSYT8 existía sólo un tipo de vehículos en la red.

Las diferencias de la modelación detallada, que considera las particularidades de los distintos tipos de vehículos que componen la mezcla de flujos de tránsito, con la modelación simplificada de la etapa de calibración, son las siguientes:

- los buses y los autos particulares fueron diferenciados en toda la red, en términos de velocidades y parámetros de dispersión;
- en dos arcos de buses, uno perteneciente a una calle de un sentido y otro a una de doble sentido de tránsito, se incorporó tiempos de detención en paradero;
- en uno de los arcos de buses en que se incorporó un tiempo de detención en paradero, el de la calle de un sentido, se incluyó además un flujo importante de taxis vacíos, con una velocidad inferior a la de los autos.

3.3. Calibración

Recuérdese que el objetivo de la calibración es obtener una red que simulada con TRANSYT8 replique los resultados de SATSIM, para construir las curvas demora-flujo. Con este fin, se simuló la red para las tres situaciones de flujo típicas de SATURN (nulo, asignado, capacidad) y se compararon las demoras uniformes estimadas por TRANSYT8 con la demora estimada por SATSIM.

Fueron necesarias varias iteraciones para alcanzar una calibración satisfactoria, ya que no hay identidad de la modelación de TRANSYT8 y SATSIM. Finalmente, se logró una razonable proximidad, en términos de que las diferencias son pequeñas y no sesgadas (ver Tabla 1). El orden de magnitud de éstas es muy parecido al que presentan Luk y Stewart (1984), el único experimento análogo publicado. Eso sí, ellos usaron el camino inverso, es decir, reproducir con SATURN una simulación hecha previamente con TRANSYT.

Aún es posible mejorar la calibración trabajando más finamente aspectos tales como el tratamiento del inicio y final del período de verde o la estimación de capacidad en nodos de prioridad (basado en aceptación de brechas en SATURN y en funciones lineales empíricas en TRANSYT8). Sin embargo, se cree que la fidelidad de reproducción conseguida es suficiente ya que la pos

Nodo Origen	Nodo Destino	Demora a Flujo Nulo (seg)	Demora a Flujo Nulo (seg)	Demora a Flujo Asignado (seg)	Demora a SATURN	Capacidad TRANSYT8	Demora a SATURN	Capacidad TRANSYT
-	1	3,2	3,0	4,4	4,3	11,6	14,0	
4	5	17,4	19,0	17,9	18,5	22,1	23,0	
17	7	6,2	6,0	6,8	6,4	11,0	10,9	
30	14	11,7	11,0	12,4	14,0	27,7	28,3	
20	14	3,2	3,2	4,5	4,6	8,3	8,1	
29	14	12,2	14,0	17,9	18,8	19,3	21,7	
15	16	2,9	3,1	3,9	3,6	7,4	7,5	
7	17	15,2	13,5	17,8	18,0	21,5	22,1	
19	18	11,8	13,0	17,8	17,5	18,0	17,6	
24	19	18,4	21,0	20,0	19,7	25,0	23,1	
7	19	16,8	21,0	18,7	18,0	21,8	22,8	
17	19	4,0	4,0	5,9	5,8	18,1	19,1	
24	23	9,2	9,0	14,3	14,1	16,6	16,6	
22	23	7,2	9,0	10,8	10,0	14,2	13,2	
30	34	30,5	31,0	37,4	37,6	42,9	41,9	
34	37	6,4	7,0	9,4	9,6	14,5	14,7	

TABLA 1 : Ejemplos de calibración de curvas demora-flujo.

terior comparación se hará entre simulaciones realizadas con el mismo modelo, TRANSYT-8. Lo que afirma la calibración es que se tiene una técnica eficaz de modelación del tráfico "tipo SATURN", para TRANSYT-8.

3.4. Comparación de las curvas demora-flujo

El objetivo de esta comparación es comprobar si la forma simplificada de modelación del tráfico mixto en el SATURN, representado por una red TRANSYT8-A que tiene la lógica del SATSIM, genera diferencias con respecto a una simulación que recoge los efectos de la presencia de distintos tipos de vehículos, representada por una red TRANSYT8-A que considera las características específicas de los distintos tipos de vehículos.

Las modificaciones introducidas para recoger los efectos del tráfico mixto en forma adecuada, pretenden, aparte de la distinción de buses y autos en toda la red, investigar el impacto de dos aspectos en las curvas demora-flujo: la presencia de tiempos de detención en paraderos y la existencia de flujos de taxis vacíos. Para analizar estos impactos fueron seleccionados dos tramos de la red que presentaban características bien diferentes. Uno de ellos, el tramo entre los nodos 15 y 16 (ver Figura 2), pertenece a una calle de un solo sentido, con un flujo de locomoción colectiva que representa el 20,9% del flujo equivalente total, que alcanza un valor de 2760 (Veq/hr). Por otro lado, el tramo comprendido entre los nodos 7 y 17 (ver Figura 2), pertenece a una calle de doble sentido con un flujo equivalente total de 1075 (Veq/hr) en el sentido considerado, con un 9,9% de locomoción colectiva. Al arco de buses entre los nodos 15 y 16 se le asignó un tiempo de detención en el paradero de 40 segundos, en tanto al arco de buses entre los nodos 7 y 17 se le asignó uno de 15 segundos. Esto permite formarse una primera idea de las distorsiones que podrían esperarse en calles de distinto nivel de flujo y con distinto porcentaje de locomoción colectiva. Además, entre los nodos 15 y 16 se modeló con un arco especial un flujo de taxis vacíos de 402 (Veq/Hr), con el objeto de analizar separadamente el efecto de la presencia de este tipo de vehículos sobre las demoras uniformes de los autos particulares.

Lógicamente, en la modelación tipo SATURN los flujos son iguales en magnitud equivalente pero el tiempo de viaje en el arco es el mismo para todos los tipos de vehículos que componen dichos flujos.

Los resultados de la simulación de ambas redes se presentan en la Tabla 2, que contiene solamente una muestra de los arcos. Esto es suficiente para los propósitos del estudio, orientado a identificar la existencia de ciertos efectos antes que a determinar su importancia cuantitativa en toda la red.

Para aclarar mejor estas cifras se entrega información complementaria sobre los tramos en la Tabla 3.

En conjunto se aprecia que, tal como se esperaba, la modelación diferenciada del tráfico mixto conduce a curvas demora-flujo distintas de las que obtiene SATURN. No obstante, el patrón de variación no es simple. Los rasgos más salientes que se detectan son:

Nodo Origen	Nodo Destino	Simulación Tipo SATURN			Simulación Detallada		
		d ₁	d ₂	d ₃	d ₁	d ₂	d ₃
17	7	4,8	5,8	11,2	6,1	7,2	13,6
20	14	2,3	4,1	7,8	3,6	3,8	8,7
15	16	2,5	3,3	6,5	4,5	4,9	9,6
7	17	13,5	16,2	20,4	13,2	16,5	22,7
17	19	4,5	4,8	20,3	4,7	5,0	19,4
22	23	6,9	9,7	12,1	9,4	9,9	11,8
34	37	7,0	8,9	14,6	6,8	9,0	14,1

d₁ = demora uniforme a flujo nulo (en seg.)

d₂ = demora uniforme a flujo asignado por el SATURN (en seg.)

d₃ = demora uniforme a capacidad (en seg.).

TABLA 2 : Curvas demora-flujo obtenidas con el TRANSYT8-A con modelación tipo SATURN y con modelación detallada del tráfico mixto.

Nodo Origen	Nodo Destino	Flujo Tot. en el Tram (veq/hr)	Porc. de Loc.Colec. (%)	Diferencias Porcentuales 1) de las Demoras (%)		
				1	2	3
17	7	1745	8,8	27,1	24,1	21,4
20	14	2833	16,3	56,5	-7,3	11,5
15	16	2760	20,9	80,0	48,5	47,7
7	17	1075	9,9	-2,2	1,9	11,3
17	19	3905	8,2	4,4	4,2	-4,4
22	23	1225	8,5	36,2	2,1	-2,5
34	37	6621	0,0	-2,9	1,1	-3,4

- 1) Los porcentajes están calculados con respecto a las demoras obtenidas con la modelación tipo SATURN.

TABLA 3 : Información complementaria sobre los tramos comparados.

- el tramo con mayor heterogeneidad del tráfico (15 - 16) es el que presenta la mayor diferencia en la curva; a su vez, el que es sólo de automóviles sufre la menor variación;
- entre esos dos extremos, la variación no sigue una ley definida en función del porcentaje de locomoción colectiva ni de la diferencia en el tiempo medio de viaje entre buses y autos. Así, el tramo 17 - 7 experimenta un cambio más fuerte en su curva que el 20 - 14, teniendo éste mayor proporción de locomoción colectiva, y que el 7 - 17, que tiene una parada de buses;
- hay una tendencia sesgada en la modificación de las curvas. En general, con la modelación detallada la demora tiende a ser mayor para el mismo nivel de flujo.

Dadas estas características, el problema del tráfico mixto parece tener serias repercusiones sobre el proceso de asignación. No hay indicios de efectos compensatorios que pudieran dar lugar a resultados estables en la asignación, con una u otra técnica de modelación.

El hecho de que en este ejemplo las demoras sean, en general, mayores con la modelación detallada no refleja necesariamente una característica estructural. Es posible que se deba a la programación de semáforos con que se ha trabajado (fija en todo el ejemplo, para no introducir perturbaciones ajenas al fenómeno en estudio) y en otro caso podría suceder lo contrario.

4. Consideraciones Finales

Se constató que con la forma de modelación que usa SATURN, el modelo de simulación estima incorrectamente las curvas demora-flujo, en que se basa el proceso de asignación, cuando hay una composición heterogénea del tráfico. La magnitud de la modificación de dichas curvas, con respecto a las que se obtienen con una modelación que considera diferenciación de vehículos, es variable pero significativa y sesgada. Esto hace esperar que no existan tendencias que conduzcan a asignaciones similares, con independencia del problema señalado.

Si bien no se encontró una ley de variación definida, es evidente que el monto de la diferencia en las curvas demora-flujo está relacionado con el grado de heterogeneidad de la corriente vehicular.

Estos resultados arrojan dudas sobre la validez de SATURN como herramienta de análisis y evaluación de esquemas de gestión del tránsito en países subdesarrollados, en los cuales el tráfico mixto es preponderante. Por otro lado, el hecho de que no haya una modelación específica de, por ejemplo, los buses constituye, de por sí, una limitación importante ya que medidas de gestión encaminadas a mejorar la operación de ese tipo de vehículos no pueden ser adecuadamente estudiadas con un modelo de estas características.

Más aún, en aplicaciones prácticas debería iterarse SATURN con TRANSYT u otro modelo similar para incorporar la optimización de los semáforos en consonancia con la reasignación. Al haber diferencias en las capacidades de modelación, ¿Cómo asegurar la consistencia del proceso iterativo? En este tra-

bajo se ha demostrado que es posible lograr con TRANSYT8 una modelación "tipo SATURN" bien aproximada. Pero, además de la multitud de finos detalles requeridos para conseguir este objetivo, subsiste el hecho de que los planes de semáforos que se obtengan serán diferentes de los realmente óptimos.

En suma, la presencia de tráfico mixto es un desafío que dista de estar bien resuelto en el modelo SATURN, en la versión disponible cuando se realizó este trabajo. Por cierto, no se sabe de ninguna otra herramienta de esta especie que lo resuelva. La indiscutible utilidad de los métodos computacionales para el estudio de proyectos de gestión de tránsito hace necesaria una mayor investigación al respecto. Al menos, cabe pensar en dos líneas de trabajo. Una primera que permita encontrar vías prácticas para minimizar el problema identificado, con los modelos que actualmente están en operación. Y una segunda, que desarrolle éstos para representar cabalmente las condiciones de la circulación en nuestras ciudades.

Referencias

- BOLLAND, J.D., HALL, M.D. y VAN VLIET, D. (1979) SATURN: a model for the evaluation of traffic management schemes, Working Paper 106, Institute for Transport Studies, University of Leeds, Inglaterra.
- CHARLESWORTH, J.A. (1977) The calculation of mutually consistent signal settings and traffic assignment for a signal-controlled road network, En T. Sasaki y T. Yamaoka (eds.), Proceedings of the Seventh International Symposium on Transportation and Traffic Theory, The Institute of Systems Science Research, Kyoto.
- CITRA (1984) Operación de la red vial del centro de Santiago, Informe Final a la Ilustre Municipalidad de Santiago.
- CITRA (1985) Operación de la red vial delimitada por Avenidas Lota, Tobalaba, El Bosque, Isidora Goyenechea, Andrés Bello y Los Leones. Informe Final a la Ilustre Municipalidad de Providencia.
- GIBSON, J. y AGUIRRE, J.F. (1984) Sobre la correcta especificación y calibración del modelo de dispersión de Robertson. Publicación ST-INV/01/84, Departamento de Ingeniería Civil, Universidad de Chile, Santiago.
- LUK, J.Y.K., AKCELIK, R., BOWYER, D.P. y BRINDLE, R.E. (1983) Appraisal of eight small area traffic management models. Australian Road Research, Vol. 13, N° 1, 25-33.
- LUK, J.Y.K. y STEWART, R.W. (1984) Some experience with three urban network models: SATURN, TRANSYT8 and NETSIM. Australian Road Research, Vol. 14, N° 2, 82-87.
- ROBERTSON, D.I. (1969) TRANSYT: a traffic network study tool. TRRL Report LR 253, Transport and Road Research Laboratory, Crowthorne.
- ROBERTSON, D.I. (1974) Cyclic flow profiles. Traffic Engineering and Control, Vol. 15, N° 14, 640-641.

VAN VLIET, D. (1982) SATURN: a modern assignment model. Traffic Engineering
and Control, Vol. 23, N° 12, 578-581.

VINCENT, R.A., MITCHELL, A.I. y ROBERTSON, D.I. (1980) User guide to TRANSYT
version 8. TRRL Report LR 888, Transport and Road Research Laboratory,
Crowthorne.

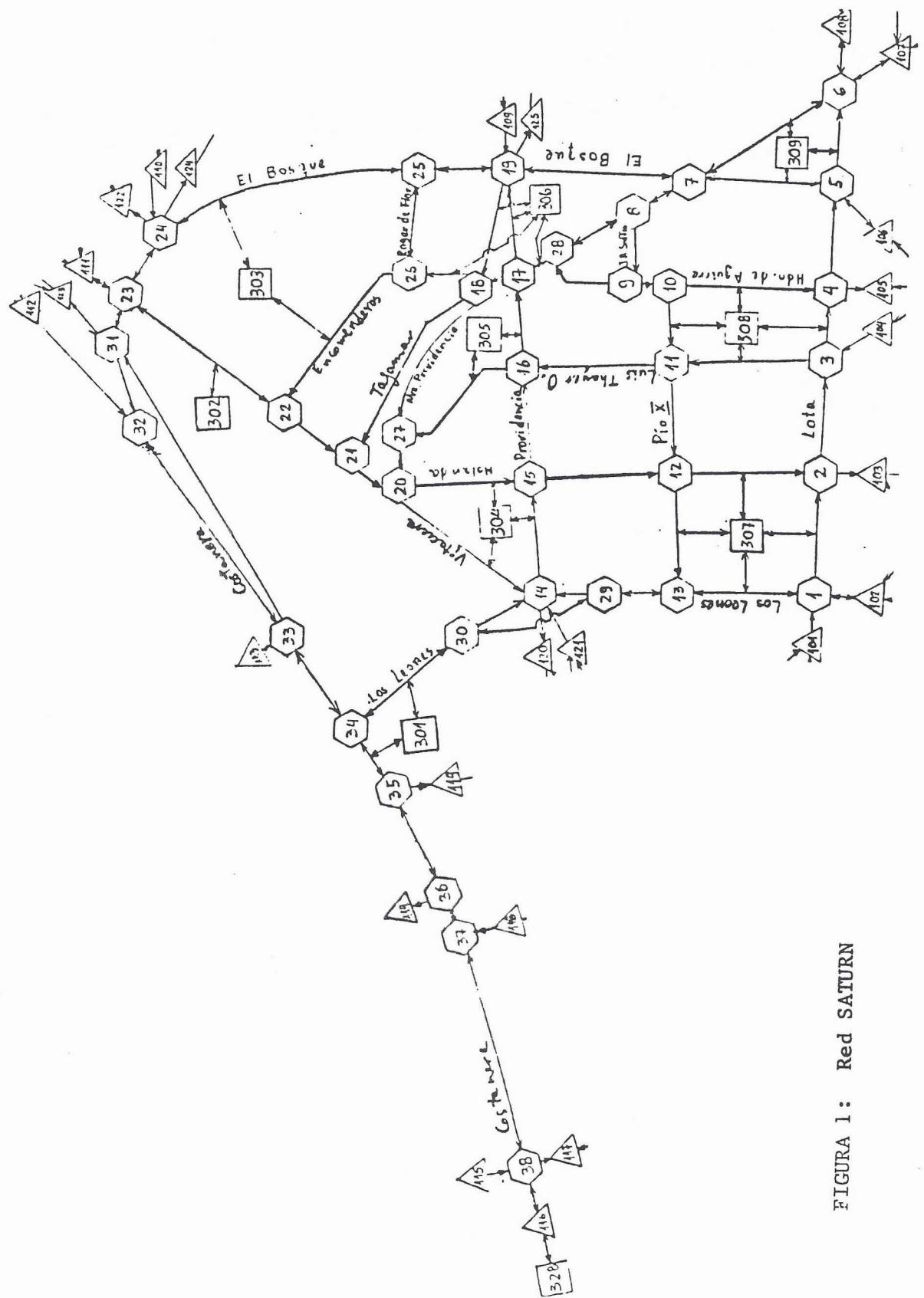


FIGURA 1: Red SATURN

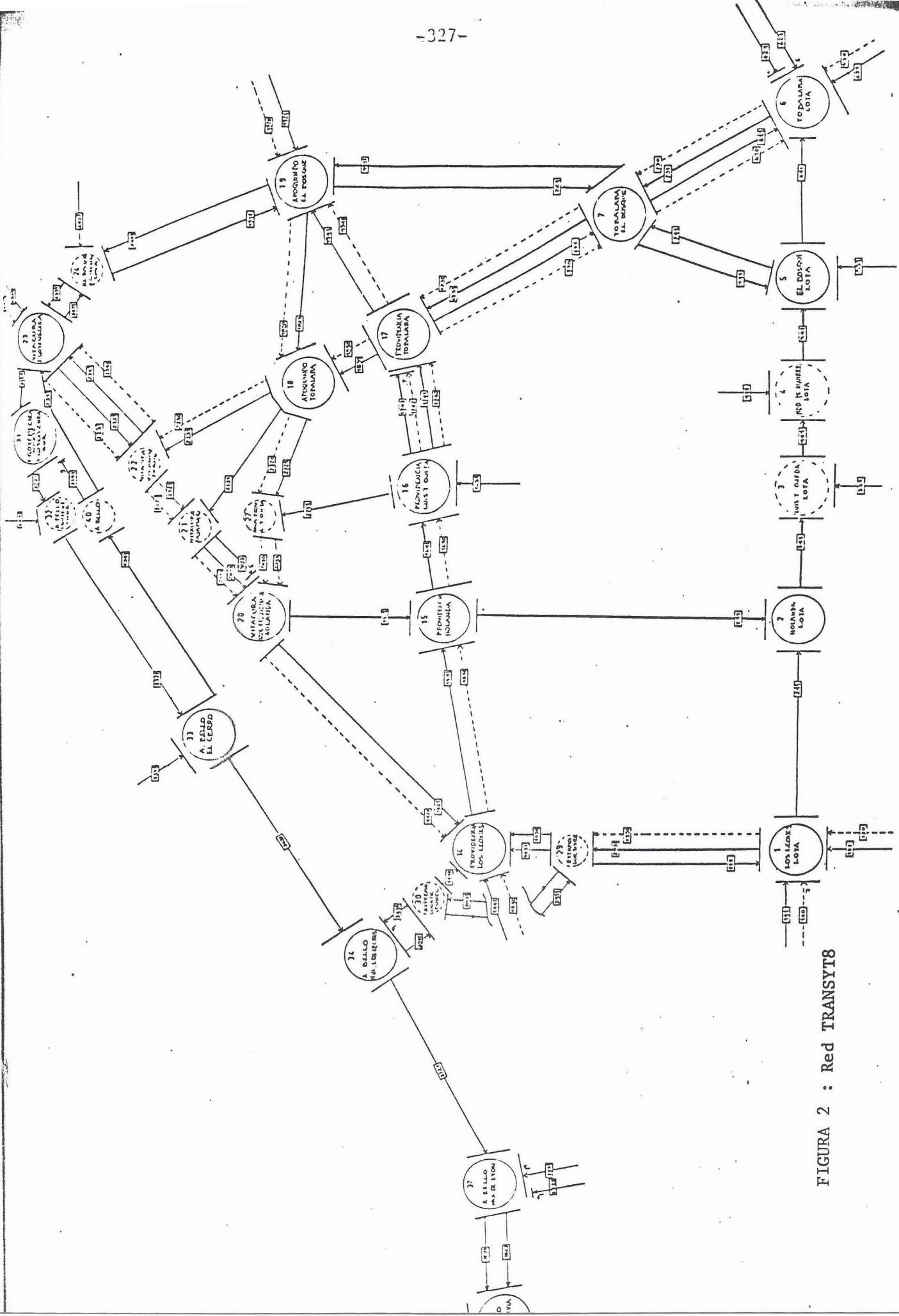


FIGURA 2 : Red TRANSYT8