

## **BASES PARA UNA GESTION AMBIENTAL DE TRANSITO**

Rodrigo Fernández A.

Departamento de Ingeniería Civil, Universidad de Chile  
Casilla 228-3, Santiago, Chile, rodferna@cec.uchile.cl

Eduardo Valenzuela F.

EXE Ingeniería & Software Ltda.  
Máximo Humbser 527, Piso 7, Santiago, Chile, evalenzuela@exe.cl

### **RESUMEN**

Este artículo presenta en forma resumida las bases de un concepto nuevo para la ingeniería chilena (o no claramente manifestado en la calle), pero bastante conocido y utilizado en países de mayor desarrollo humano: la gestión de tránsito como herramienta para mejorar la calidad del medio ambiente urbano. Primero, se entregan las principales definiciones y objetivo de la gestión de tránsito con énfasis ambiental. Luego, se identifican los principales usuarios a considerar en diversas realidades urbanas. Los impactos urbano-ambientales derivados del tráfico y una forma de cuantificarlos es presentada a continuación. Finalmente, se derivan algunos comentarios sobre lo expuesto.

## 1. INTRODUCCION Y DEFINICIONES

El tránsito o tráfico es la actividad de vehículos y de personas por las vías públicas. En consecuencia, la gestión de tránsito es la administración racional de la circulación de personas por los espacios públicos en un área urbana determinada. En su concepción moderna (ver por ejemplo, Institute of Highway and Transportation, 1997), el objetivo de la gestión de tránsito es aminorar la mayor cantidad de impactos urbanos negativos derivados del tráfico. Luego, las palabras claves de la anterior definición son:

- Racional, es decir, requiere de una aproximación rigurosa; esta existe hace algún tiempo y es la ingeniería de tránsito.
- Personas, el centro del análisis deben ser las personas y no los vehículos; el hecho que parte de la circulación se realice en vehículos es una consecuencia de una urbe disgregada, no un fin en si mismo.
- Espacio público, el medio ambiente del tráfico es el espacio público, no sólo las calzadas por donde circulan vehículos; incluye veredas, cruces peatonales, estaciones de transferencia, etc.
- Áreas, la gestión de tránsito se debe aplicar sobre zonas geográficas completas (barrio, comuna, ciudad) y no deben ser medidas aisladas espacialmente y temporalmente; es decir, la acción debe ser un conjunto de diseños en vez de medidas puntuales.
- Impactos urbanos, debe considerar efectos que vayan más allá de la congestión vehicular, atacando todas las posibles consecuencias del tráfico sobre las personas.

## 2. LOS USUARIOS

Para orientar medidas de gestión de tránsito es necesario considerar sobre qué tipos de usuarios se debe actuar y qué impactos urbanos considerar. Para la primera cuestión, se puede hacer uso de la partición modal, es decir, de la forma en que se reparten los viajes en los diferentes modos de transporte en la ciudad. Luego, el énfasis de la gestión de tránsito debe ser hacia los usuarios de los modos de uso mayoritario. A modo de ejemplo, se analizará la partición modal en dos ciudades, una desarrollada, Londres, y otra en desarrollo, Santiago.(Fig.1).

En Santiago se realizan cerca de 10 millones de viajes en un día laboral. En orden de importancia, el 50% se verifican en buses, 20% a pie, 16% en autos y taxis, 8% en otros modos (motos y bicicletas), y 6% en metro (SECTRA, 1992). En Londres, por su parte, se hacen 26 millones de viajes diarios. El 42% se hace en autos y motocicletas, un 31% a pie (incluyendo 330 mil viajes en bicicleta), 12% en buses, 10% en metro, y 5% en trenes urbanos (London Transport, 1995). Estos escenarios, con leves variaciones, se repiten a través del mundo.

En consecuencia, en ciudades de países desarrollados el orden de importancia política de los usuarios del transporte es automovilistas y motoristas, peatones y ciclistas, y usuarios del transporte público, en tercer lugar. En ciudades de países en desarrollo, por su parte, los más importantes son los usuarios del transporte público, luego los peatones, y por último los automovilistas. Orden, este último, inverso a las preocupaciones reveladas por los políticos (los que dirigen la polis) y técnicos, motivada, quizás, por una copia irreflexiva de actitudes de países desarrollados.

### 3. LOS IMPACTOS

Toda intervención urbana (aparición de alguna nueva actividad) genera un aumento de la circulación en sus inmediaciones. Esto genera impactos sobre variados sistemas: las actividades, el transporte, las personas y el medio ambiente urbano. Por lo tanto, desde una perspectiva urbana los impactos derivados de un aumento del tráfico son variados: congestión, polución, riesgo, ruido, segregación, intimidación, intrusión visual e inaccesibilidad del transporte público, entre otros.

De los impactos mencionados, la congestión ha sido tradicionalmente reconocida por todos como el principal impacto derivado del aumento del tráfico. Pero, la aprehensión se reduce a considerar el efecto sobre los usuarios de vehículos. La congestión peatonal o al interior de vehículos de transporte público no se vislumbra como un problema para la ingeniería ni el urbanismo. Posteriormente, frente al problema de contaminación atmosférica en las ciudades, se ha incorporado la polución del aire causada por fuentes móviles a la preocupación política. Últimamente, la alta tasa de accidentabilidad en transporte en Chile, ha llevado introducir también el riesgo como una de las preocupaciones de la ingeniería.

Uno de los argumentos para no considerar los restantes impactos en la gestión de tránsito y urbana ha sido la dificultad de su valoración económica para ser incorporados en los modelos de transporte y uso del suelo. Se asume, además, que la disminución de la congestión traerá aparejada una disminución de los restantes impactos derivados del tráfico. Lo que es una hipótesis falsa, como se demuestra a continuación.

El conjunto de impactos derivados del tráfico es función del grado de saturación de los dispositivos viales. Es decir, de la razón entre el flujo y la capacidad. Pero sus efectos pueden apuntar en diferentes direcciones. Por ejemplo, a igual capacidad, mayores flujos producen mayor congestión, polución, ruido y segregación. Un menor flujo, por su parte, significa mayores velocidades, las que se traducen en menor contaminación, pero aumentan la intimidación y la gravedad de los posibles accidentes (mayor riesgo). Por el contrario, mayor flujo implicaría menor velocidad, y por lo tanto menor riesgo e intimidación. Por lo tanto, la sola disminución del grado de saturación, o sea, una menor congestión, no significa una disminución de todos los impactos; otros pueden empeorar.

### 4. CUANTIFICACION DE LOS IMPACTOS

Para sobreponerse a las limitaciones por las cuales no se considera una mayor gama de impactos de tráfico, se presenta a continuación una forma de cuantificación física. Se ha elegido esta forma de considerar los impactos, ya que su manifestación primera sobre la urbe es física y no económica. En tal condición primordial, afecta a los habitantes, siendo el resultado económico un efecto de segundo orden. De igual modo como el principal resultado de un terremoto es la destrucción y pérdida de vidas, el que luego puede valorarse en términos económicos. Por eso los terremotos se miden en magnitud Richter (1935), no en millones de dólares, para diseñar medidas de mitigación.

De este modo, se propone la siguiente cuantificación de los impactos urbanos derivados del tráfico.

#### 4.1. Congestión

Corresponde al aumento de tiempos de viaje a conductores y pasajeros de vehículos motorizados, así como a peatones y rodados, producto del número de usuarios que quiere simultáneamente utilizar el mismo dispositivo vial. Su medición es directa o puede ser estimada de modelos de tráfico tradicionales (ver por ejemplo, Fernández, 1994).

#### 4.2. Polución

Es el aumento de emisiones de contaminantes atmosféricos producidos por el tráfico (COV, COx, NOx, PM10, PTS, SOx,). De estos, algunos tienen más impacto a nivel local como el monóxido de carbono (CO), el material particulado respirable (PM10) y las partículas totales en suspensión (PTS). Varios se encuentran declarados a nivel de saturación o latencia en la Región Metropolitana, como PTS, PM10, CO, O3 y NO2 (CONAMA, 1998). Existen algunos estudios que relacionan niveles de tráfico con emisiones de contaminantes (EPA, 1975 ; Madrid, 1998), siendo actualmente factible incorporar su cuantificación en estudios de gestión de tránsito.

#### 4.3. Riesgo

Es el aumento del número y gravedad de los accidentes de tránsito. Este impacto se puede medir a partir de las estadísticas de accidentes y se han desarrollado algunos modelos para estimarlo en función de la magnitud y velocidad del tráfico (Satterthwaite, 1981). Entre los más destacados, es posible mencionar modelos entre el número de accidentes (y) y el volumen de tránsito (x), mediante funciones del tipo  $y = ax^p$ . Thorson (1967) presenta una expresión más general del tipo  $y = a(x+r)^p - r^p$ , donde r es una constante que recoge posibles formas que pueda tomar la función. Asumiendo que la mayoría de los accidentes de tránsito se producen en las intersecciones, Tanner (1953) calibra y propone funciones del tipo  $A = K \cdot q^\alpha \cdot Q^\beta$ , donde q y Q representan los flujos vehiculares de las ramas en conflicto y K,  $\alpha$  y  $\beta$  son parámetros a calibrar. Otros autores han propuesto funciones regresivas (Priest, 1964) o modelos de tendencia matemática (Smeed, 1968; 1974; Srour, 1968; Couvreur 1968). Si bien los resultados de estos análisis deben ser considerados cuidadosamente debido a su representatividad, lo rescatable es que demuestran la factibilidad de implementar modelos que permiten cuantificar dicho impacto. En esta dirección, el Transport Research Laboratory ha lanzado durante la última semana de Marzo de 1999, un software denominado SafeNET que ayuda en el diseño de redes urbanas más seguras, mediante la predicción de la frecuencia de accidentes.

#### 4.4. Ruido

Es el aumento en el nivel de ruido en las calles, medido en dB(A) y vibración en edificios. Existen dispositivos para medir directamente el ruido y hay modelos matemáticos que lo ligan al tráfico (Department of Environment, 1978) en términos de flujo vehicular horario, así como estudios sobre vibraciones en edificios (Martin et al, 1978). En el caso de predicción del nivel básico de ruido en términos del flujo vehicular, existen modelos del tipo  $L_{10} = A + B \log(q)$ , donde A y B son parámetros que dependen de la velocidad, de la pendiente y de la proporción de vehículos pesados en el flujo horario q. La Fig.2 detalla el diagrama de flujo para la predicción directa del nivel de ruido en el caso de vías simples, considerando diverso tipo de correcciones. Los procedimientos para situaciones

complejas son similares pero son aplicados a segmentos de la vía y las contribuciones resultantes se suman para obtener la predicción del nivel de ruido.

#### **4.5. Segregación**

Se puede estimar mediante el aumento en la distancia y tiempo de cruce de los cauces vehiculares por los peatones y rodados (bicicletas, coches para niños, carros de compras, sillas de ruedas, etc.). Si bien puede ser medido en terreno, los autores proponen un método de estimación sencillo: asumiendo una vía ininterrumpida de flujo vehicular, la segregación de los peatones y rodados puede ser medida como la demora en cruzar la vía mediante la teoría de brechas, considerando que para niveles de flujo vehicular bajos, los peatones y rodados cruzarán "a mitad de cuadra", no en la intersección más cercana. A medida que el flujo vehicular o la velocidad aumenta, la disyuntiva será entre esperar la brecha y cruzar la vía, o caminar hasta la intersección semaforizada más cercana, cruzar y caminar al destino. En el primer caso, sigue siendo válido un modelo de brechas. En el segundo caso, la segregación puede ser medida como el tiempo de caminata en ambos lados de la vía, más el tiempo en espera de derecho de paso en la intersección semaforizada.

#### **4.6. Intimidación**

Corresponde a la disminución del uso de los espacios públicos para fines no relacionados con el tráfico vehicular (estar, jugar, pasear, caminar). Existen pocos análisis cuantitativos relacionados con este tema (Departamet of Transport, 1993), siendo una interesante línea de investigación futura en el país.

#### **4.7. Intrusión visual**

Es la disminución del campo visual del horizonte natural por vehículos (estáticos o en movimiento) o infraestructuras de transporte (vías elevadas, pasos superiores, etc.). El método del ángulo sólido desarrollado por Clamp (1976) permite su cuantificación. Consiste en dos modelos, uno que permite estimar la magnitud de la intrusión pasando de una escala subjetiva a una objetiva, mediante la cuantificación de variables tales como: existencia de prados, cantidad de arbustos, existencia de bosques y casas, entre otras variables relevantes; y otro que permite estimar el grado de cambio entre la intrusión visual antes y después de una intervención, utilizando las potencialidades de la fotografía digital, al incorporar dentro de una foto del paisaje el proyecto evaluado.

#### **4.8. Inaccessibilidad al transporte público**

Es un impacto aún más ignorado. Es el aumento de la distancia, tiempo e impedancias de caminata a los puntos de acceso al sistema de transporte público (estaciones, paraderos) producto de un aumento del tráfico en sus inmediaciones. Se están buscando medidas cuantitativas para su predicción. Algunas propuestas sugieren usar el porcentaje de usuarios que quedan impedidos de usar el transporte público, producto de barreras físicas generadas por los diseños (Tyler, 1999). Por ejemplo, la relocalización de un paradero para disminuir la congestión de una vía puede impedir que ciertas personas puedan alcanzarlo, debiendo cambiar sus decisiones de transporte. A nivel macro, los autores han desarrollado como medida de la inaccessibilidad al transporte público el porcentaje de la población que no posee cobertura, definida como un límite de distancia hasta al paradero de transporte público más cercano.



Estudios preliminares efectuados para la Línea 5 del Metro de Santiago (EXE, 1998) han arrojado que cerca del 30% de la población de las comunas de San Joaquín, Macul, La Florida y La Granja no es cubierta por el sistema de transporte, considerando una distancia de caminata de 2 cuadras (ver Fig.3).

Los autores se encuentran desarrollando un modelo predictivo con la finalidad de intentar cuantificar la inaccesibilidad del transporte público. La investigación ha arrojado que dentro de las variables más relevantes se encuentra la distancia de caminata al paradero de transporte público (paradero formal o de hecho) y el nivel de ruido producido por el flujo vehicular. Para la tercera edad, se ha encontrado que una distancia aceptable es del orden de 2 cuadras del paradero, más cerca el nivel de ruido es molesto y más lejos la caminata es demasiado extensa.

## 5. COMENTARIOS Y CONCLUSIONES

La incorporación de una perspectiva más amplia de la gestión de tránsito puede ayudar a una mejor gestión urbana y ambiental. Esta perspectiva es hoy día cuantitativamente factible, existiendo diversos enfoques para evaluar otros impactos urbanos derivados del tráfico, aparte de la sola congestión vehicular. Se puede especular, entonces, que la ausencia de tal perspectiva nace de un desconocimiento técnico y político de la potencialidades de la gestión de tránsito en los problemas urbanos. Por lo tanto, el objetivo de este artículo es contribuir a superar tal desconocimiento y enriquecer la discusión en este campo.

La aplicación de una gestión ambiental de tránsito como la expuesta debería conducir a un cambio en las políticas urbanas y de transporte. Desde ver el problema como la congestión vehicular, para el cual la solución es el aumento de la capacidad vial, a considerar que el problema real es la calidad urbana, para la cual las soluciones pasan por considerar la capacidad ambiental (Buchanan, 1963) y la capacidad de transporte de personas (Fernández, 1998).

## AGRADECIMIENTOS

El estudio de la accesibilidad local al transporte público es parte de una investigación más amplia financiada por FONDECYT (proyecto 1990879).

## REFERENCIAS

- Buchanan, C. (1963) *Traffic in towns: A study of the long term problems in urban areas*. HMSO, London.
- CONAMA (1998) *Plan de prevención y descontaminación atmosférica de la Región Metropolitana*. Comisión Nacional del Medio Ambiente, Santiago.
- Couvreur, C. (1968) Variations in the pattern of accident rates in Belgium and their causes. General Report, *Them IV, Ninth Int. Study Week in Traffic and Safety Engineering*. Munich, September 1968.

Clamp, P.E. (1976) *Evaluation of the impact of roads on the visual amenity of rural areas*. Department of Environment. Research Report 7. HMSO, London.

Department of Environment (1978) *Calculation of road traffic noise*. HMSO, London.

Department of Transport (1993) *Design manual for roads and bridges*. Volume 11: Environmental assessment. HMSO, London.

EPA (1975) *Compilation of air pollutant emission factors*. US Environment Protection Agency, Washington.

EXE Ingeniería & Software Ltda. (1998) *Estudio de Servicios de Transporte Combinado - Línea 5*. Gerencia de Ventas y Servicios al Cliente. Departamento de Transporte Combinado. METRO S.A.

Fernández, R. (1994) *Gestión de tránsito urbano*. Publicación ST-EXT/01/94, Departamento de Ingeniería Civil, Universidad de Chile, Santiago.

Fernández, R. (1998) *Modelling bus stop interactions*. PhD Thesis, University of London (no publicado).

Institute of Highway and Transportation (1997) *Transport in the urban environment*. London.

London Transport (1995) *Planning London's Transport*. London Transport, London.

Madrid, L. (1998) *Estimación de emisiones de contaminantes atmosféricos en intersecciones semaforizadas*. Memoria para optar al Título de Ingeniero Civil, Universidad de Chile.

Martin, D.J., P.M. Nelson and R.C. Hill (1978) *Measurement and análisis of traffic-induced vibration in buildings*. Transport and Road Research Laboratory. Supplementary Report SR402.

Priest, R.V. (1964) Statistical relationships between traffic volume, median width, and accident frequency on divided-highway grade intersections. *Highway Res. News* **13**, 9 – 20.

Richter, E. F. (1935) An instrumental earthquake magnitude scale. *Bull. Seismol. Soc. Amer.* **25**, 1 – 32.

Satterthwaite, S.P. (1981) *A survey of research into relationships between traffic accidents and traffic volumes*. Transport and Road Research Laboratory. Supplementary Report SR692.

SECTRA (1992) *Encuesta origen-destino de viajes en el Gran Santiago*. Secretaría ejecutiva Comisión de Planificación de Inversiones en Infraestructura de Transporte, Santiago.

Smeed, R.J. (1968) Variations in the pattern of accident rates in different countries and their causes. General Report, *Them IV, Ninth Int. Study Week in Traffic and Safety Engineering*. Munich, September 1968.

Smeed, R.J. (1974) The frequency of road accident. *Zeitschrift für Verkehrssicherheit* **20**(2), 95 – 108 and **20**(3) 151 – 159.

Strour, D.A. (1968) Variations in the road accident death rate. *Theme IV, Ninth Int. Study Week in Traffic and Safety Engineering*. Munich, September 1968.

Tanner, J.C. (1953) Accidents at rural three-way junction. *J. Instn of Highway Engrs.* **II**, 56-67.

Thorson, O.(1967) *Traffic accidents and road layout*. Technical University of Denmark, Copenhagen.

Tyler, N.A. (1999) The APEX measure: Concepts. *University of London Centre for transport Studies Working Paper*.



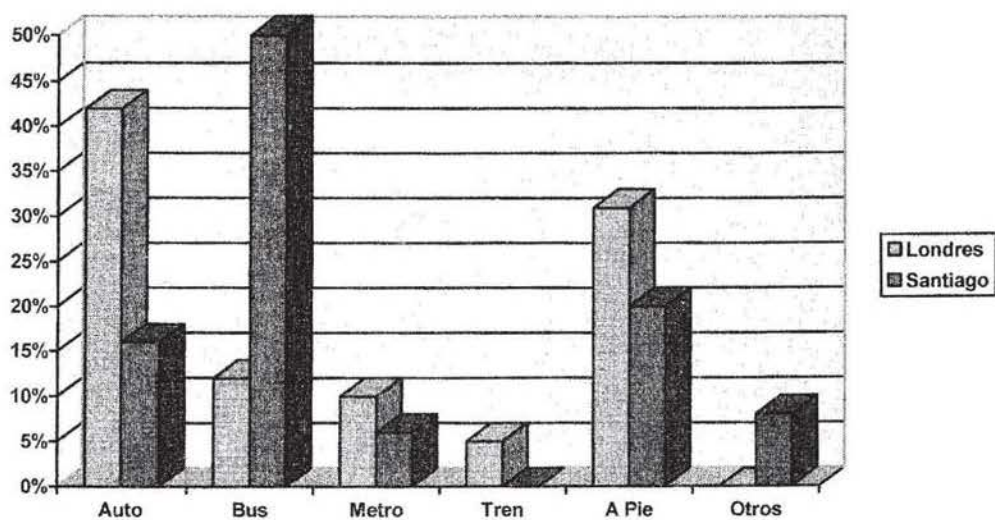


Fig.1: Importancia relativa de usuarios del transporte urbano  
(Londres y Santiago)

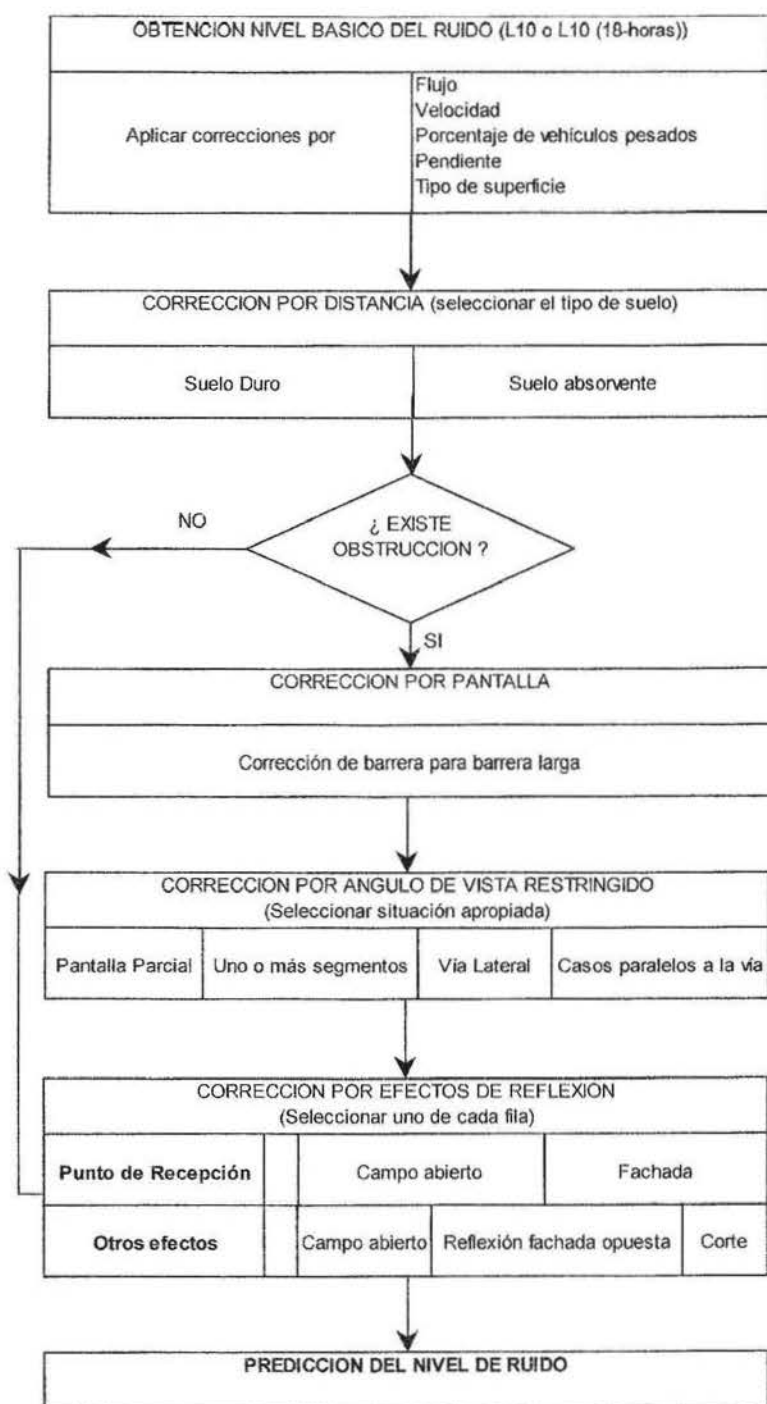


Fig.2: Diagrama de flujo para la predicción directa del nivel de ruido

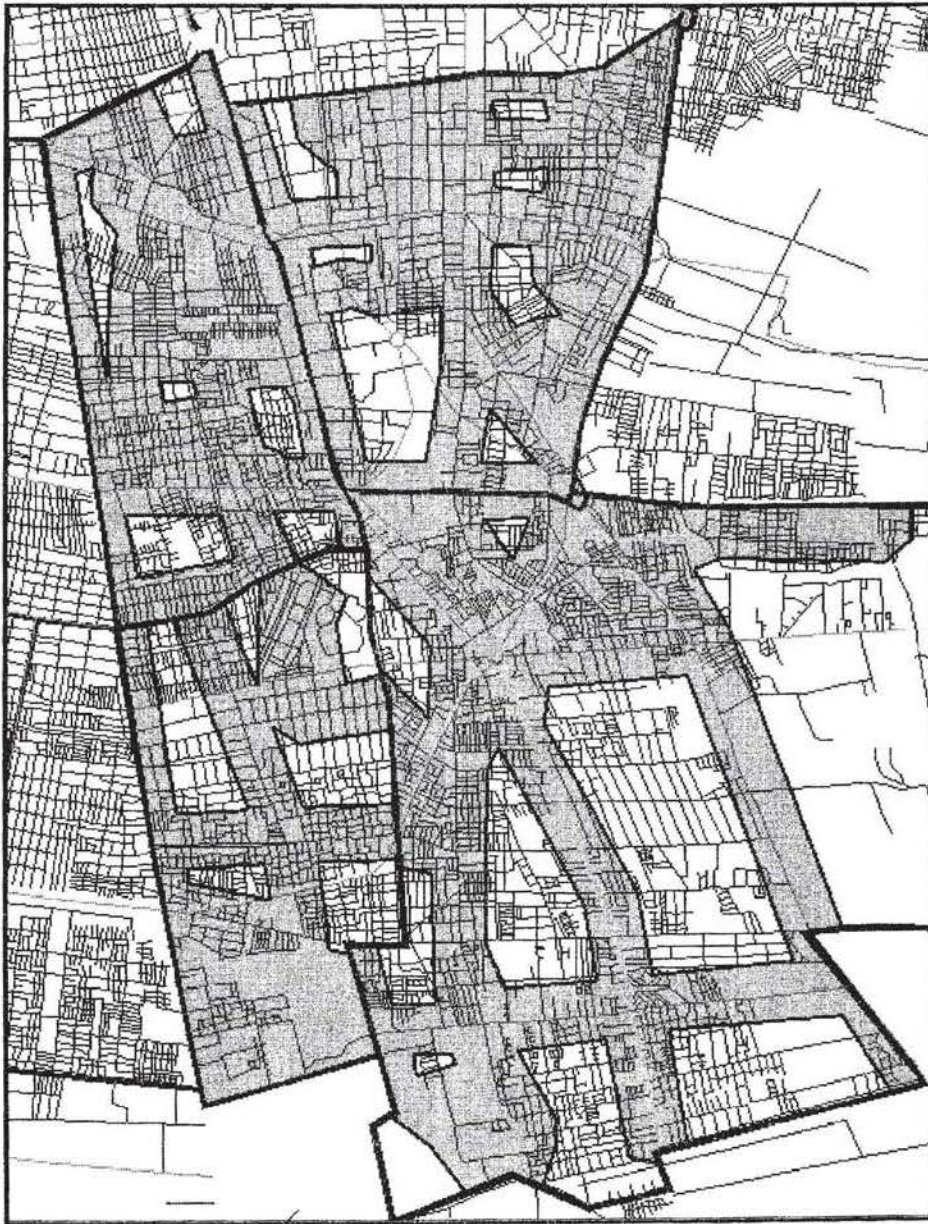


Fig.3: Cobertura del transporte público en comunas del sur-oriente de Santiago  
(San Joaquín, Macul, La Florida y La Granja)