

Durante los cerca de 40 experimentos realizados, correspondientes a más de 75 horas de medición en los diferentes sitios de muestreo, el porcentaje de excedencia de la norma anual para material particulado (70 ug/m^3) fue de más del 35% mientras que el porcentaje de excedencia de la norma diaria (150 ug/m^3) fue de más del 12%. Esto significa que durante una fracción importante del tiempo, las concentraciones observadas correspondieron a niveles nocivos no sólo para poblaciones sensibles sino para todos los sectores de la población expuesta.

Dentro del conjunto de datos recopilados en tiempo real fue común encontrar valores instantáneos de concentración de más de 500 ug/m^3 de PM_{10} , alcanzando incluso valores de $2,700 \text{ ug/m}^3$. La exposición asociada con estos niveles de contaminación por material particulado, si bien tiene que ver con momentos específicos y períodos de tiempo cortos, es de gran preocupación dado que corresponde a niveles que superan de manera dramática cualquier norma de calidad del aire o de salud ocupacional.

Las más altas concentraciones medias de material particulado (210 ug/m^3) fueron registradas en el experimento llevado a cabo en la Carrera Séptima con Calle 31, lugar que corresponde a una sección transversal de ocho carriles y a una geometría de cañón urbano. Estos valores fueron cerca de nueve veces mayores a los registrados en el punto sobre esta misma avenida que presentó las más bajas concentraciones medias de PM_{10} (25 ug/m^3), el cual corresponde a la Carrera Séptima con Calle 19 (en donde la sección transversal es de tres carriles).

En términos generales, todas las variables consideradas demostraron tener un impacto estadísticamente significativo en las concentraciones de PM_{10} registradas en las inmediaciones de la vía estudiada: a) Las concentraciones de PM_{10} en los cañones urbanos fue-

ron significativamente superiores que aquellas encontradas en calles abiertas; b) Las concentraciones de PM_{10} fueron más altas en los sectores de la vía con un mayor número de carriles y en los momentos del día en los que se presentaron mayores niveles de congestión vehicular.

Los resultados aquí presentados demuestran de forma contundente el impacto que los vehículos que operan con combustibles diésel tienen sobre los niveles de calidad del aire al interior de su zona de influencia (e.d., la vía sobre la cual circulan).

Los niveles de contaminación sobre una troncal del sistema Transmilenio fueron significativamente superiores a los encontrados en la vía dominada por la actividad del transporte particular así como a los encontrados en el sitio ubicado en las afueras de la ciudad. Sin embargo, las concentraciones de PM_{10} en la troncal de TM fueron significativamente inferiores a las concentraciones encontradas en varios sectores sobre la Carrera Séptima. Estas diferencias se encuentran relacionadas con la más ordenada operación de la troncal de TM por donde circula un número inferior de buses que se detienen solamente en las estaciones destinadas para tal fin.

Esto significa que la optimización del sistema de transporte de la ciudad (reducción de sobreoferta, modernización de la flota y ampliación de la cobertura del sistema de transporte masivo) corresponde a una de las más efectivas estrategias para hacerle frente al problema de contaminación del aire.

Agradecimientos

Se agradece a la Corporación Ambiental Empresarial de la Cámara de Comercio de Bogotá por la financiación proveída para este estudio a través de su programa Acercar-Transporte (en convenio con la Secretaría Distrital de Ambiente). Se agradece también a Diana Osorio y Natalia Uscátegui por sus invaluable contribuciones.

Proyectos de espacio público: Reciclaje de espacio público mediante la optimización de la sección vial en las calles de Bogotá

Álvaro Rodríguez-Valencia

Ingeniero Civil de la Escuela Colombiana de Ingeniería y Máster en Planeación de Infraestructura (MSc.) de la Universidad de Stuttgart. Coautor del libro "El transporte como soporte al desarrollo de Colombia. Una Visión al 2040". Es profesor en el área de transporte del Departamento de Ingeniería Civil y Ambiental de la Universidad del los Andes.

Pablo Posada

Arquitecto de la Universidad de Los Andes (2009), estudiante de ingeniería civil de la Universidad de Los Andes. Tesis en curso.

Resumen

Debido a las dinámicas dispersas de crecimiento urbano y a la forma seccionada en la que se desarrollaron las calles en Bogotá, muchas zonas de la ciudad presentan actualmente sobre oferta de la red vial de acceso y colectoras, donde grandes superficies pavimentadas sirven a unos pocos usuarios. Estas extensas superficies que son utilizadas exclusivamente por los usuarios de unas pocas construcciones, representan grandes sobrecostos para la ciudad en términos de mantenimiento vial. En contraposición, muchas de estas, así como la zona en la que se ubican, presentan deficiencias en materia de otras formas de espacio público, tales como andenes o zonas verdes. Para evitar esta situación se hace necesario un tratamiento más dinámico e integral de la red vial, basado en una relación directa entre volumen de tráfico y la sección vial, resultante de modelaciones zonales de tráfico.

Palabras claves

Vía, sección transversal, capacidad de la vía, espacio público, simulación de tráfico, reciclaje, funcionalidad, eficiencia urbana, calidad de vida.

Introducción

La forma desordenada en el crecimiento de Bogotá ha resultado, en muchos casos, en una incoherencia en la red vial existente. Diferencias temporales en los marcos regulatorios del desarrollo urbano, cambios no previstos en la división y usos del suelo y definición de nuevos corredores viales, han reconfigurado la morfología de la ciudad sin una visión integral de su malla vial, ni de su espacio público. Como resultado, es posible encontrar zonas urbanas consolidadas con secciones viales que no corresponden a las características de las construcciones a las que sirven, ni a los volúmenes de tráfico que por ellas transitan.

Lo anterior plantea inquietudes relacionadas con la dimensión, distribución y funciones del espacio público de Bogotá que deben ser analizadas en el contexto de los estándares internacionales.

Se considera que en una ciudad densa (200 hab/ha), a cada persona le corresponderán 50m^2 de suelo urbano; mientras que en una ciudad poco densa, 10 hab/ha por ejemplo, a cada persona le corresponderán 1000 m^2 . Si de esta área total, solo un 20% en promedio pertenece a espacio público, (del cual la mayor parte corresponde a espacio vial), el área restante que puede destinarse a

otras formas de espacios peatonales (andenes, parques, etc.), es muy reducida.

De esta manera, el espacio libre entre predios privados adquiere una importancia urbana que trasciende la función de corredor vehicular. De acuerdo con N. Bobylev¹ el uso racional del suelo urbano es un factor determinante en el desarrollo urbano sostenible. Surge entonces la necesidad de optimizar este espacio en ciudades densas como Bogotá.

Cualquier asignación del espacio público para usos diferentes al vehicular, traerá beneficios para la calidad de vida de los ciudadanos y el entorno ambiental y social de los centros urbanos². Varios autores mencionan la importancia de los espacios peatonales arborizados y zonas verdes como elementos esenciales para una ciudad sostenible. Este tipo de espacios públicos, a diferencia de los destinados al uso vehicular tienen gran incidencia en la reducción del calentamiento urbano por su menor reflectividad³, la calidad de vida⁴, la preservación de los ecosistemas urbanos y la recarga de aguas subterráneas para mantener el nivel freático⁵.

Las ciudades más desarrolladas están haciendo importantes esfuerzos económicos y logísticos por recuperar los espacios invadidos por automóviles. Ciudades como Seúl o Boston han realizado ambiciosas intervenciones para enterrar vías que atravesaban los CBD (Central Business District), y así generar espacio público peatonal y recreativo. En Bogotá encontramos proyectos como el eje ambiental en la Avenida Jiménez, la reforma a la carrera 15 y la peatonalización de calles en diversas zonas de la ciudad, como ejemplos de desarrollo de espacio público peatonal por encima del desarrollo vial, que perjudicaron el desempeño de la movilidad vehicular.

Profundizando en el problema

Alain Bertaud, menciona que un automóvil que transita por una ciudad y que requiere ser parqueado, utiliza alrededor de 40 m² de espacio⁶. Pensar en quitarle área vial

a los carros en Bogotá, con una creciente tasa de motorización y serios problemas de congestión, puede parecer contradictorio. Sin embargo, diversos estudios han señalado que la congestión se presenta principalmente en la red vial arterial, mientras que las vías secundarias y terciarias (que tiene como función alimentar la red primaria y dar acceso a los predios respectivamente), presentan bajos niveles de tráfico y, en muchos casos, secciones transversales sobredimensionadas.

Este patrón urbano que, sin considerar el tráfico real, privilegia el espacio vehicular sobre el peatonal, genera una distorsión en el concepto mismo de “calle”, con efectos en la movilidad y la calidad del entorno urbano. Las grandes secciones de vía subutilizadas alejan a las edificaciones hasta perder la relación funcional y visual entre las ellas, interrumpiendo flujos de actividad y relaciones sociales. Esto resulta en una falta de apropiación del espacio público por parte de las comunidades, que a su vez redundan en abandono, deterioro, utilización inadecuada y finalmente, inseguridad.

Además de los problemas urbanísticos antes esbozados, las grandes superficies pavimentadas representan onerosos compromisos para el distrito. El bajo tráfico que presentan estas calles no justifica los elevados costos de mantenimiento o rehabilitación de sus extensas áreas (hay que tener en cuenta que una vía que se usa poco, también tendrá que ser intervenida después de cierto tiempo). Finalmente estas superficies inoficiosas pasan a convertirse en lugares de parqueo gratuito, botaderos de basura son utilizadas para el desarrollo de usos informales.

Por consiguiente, es necesaria una reestructuración de los espacios entre paramentos de propiedad predial correspondientes a la red vial no-arterial, que permita un reciclaje parcial de las calzadas en otras formas de espacio público acordes con las necesidades de la zona.

Estas posibles reducciones de espacio vial, especialmente en una ciudad con problemas de tránsito, deben

estar sustentadas en estudios de tráfico que garanticen que la intervención no conllevara impactos negativos en la movilidad de la zona.

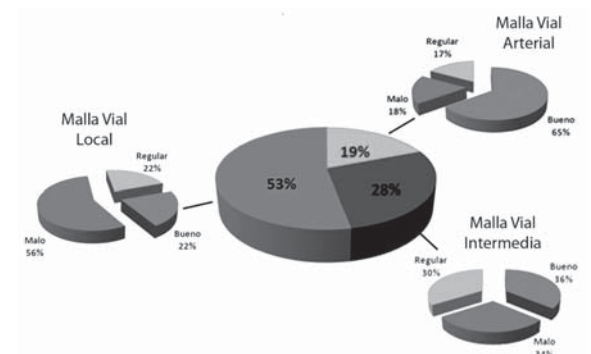
Situación actual desde la perspectiva de la movilidad

La sobreoferta de la red vial no arterial en Bogotá no radica esencialmente en el número de vías, sino en la inexistencia de una relación directa entre el volumen de tráfico que transita por estas calles y sus dimensiones.

Cerca del 20% del área urbanizada está destinada a vías. Es decir, tenemos más kilómetros de vías por habitante que Río de Janeiro, Sao Paulo, México, Caracas, Kuala Lumpur, Madrid, Viena, Marsella y casi los mismos que Londres y París y menos carros circulando por las calles⁷.

Según datos del IDU, la extensión de la malla vial de Bogotá a diciembre de 2008 era de 15.624 Kilómetros carril de los cuales el 94.6% (14.781 km-carril) corresponden al tráfico mixto y el 5.4% (843 km-carril) a las Troncales de Transmilenio (IDU, 2008). La composición del Sistema Vial y su estado, medido con el Índice de Condición del Pavimento (ICP), es el siguiente:

Es notable el deterioro de la malla vial intermedia y local, la cual representa el 81% de la red vial total de la ciudad. El presupuesto destinado para el mantenimiento y la rehabilitación de la malla vial es insuficiente para atender



Diagnóstico de Malla Vial en Bogotá. Fuente: Base de Datos del Inventario y Diagnóstico de la Malla Vial - IDU - Diciembre de 2008. No se incluye troncales de Transmilenio.

todas las necesidades. Según el estudio de prospectiva de transporte urbano de la Universidad de los Andes, las inversiones en mantenimiento de las vías en los próximos veinte años, podrá costar más de lo que cuesta la primera línea del metro⁸.

La optimización de la red vial secundaria y terciaria permitiría reducir los kilómetros cuadrados de vías por rehabilitar y se tendría la posibilidad de reciclar el espacio vial innecesario en otras formas de espacio público para peatones como andenes, ciclo-rutas, zonas verdes o plazoletas, de menor costo de mantenimiento, que recuperen el carácter y las propiedades urbanas de la escala local.

Cambios en la red vial.

La decisión de sustituir uno o varios carriles de una vía por otras formas de espacio público debe estar sustentada en estudios que permitan comprobar que este tipo de intervención no tendrá impactos negativos en el flujo vehicular de la zona. En este sentido, este artículo entiende la ingeniería de tránsito como parte activa del proceso multidisciplinar de diseño de proyectos urbanos.

Las micro-simulaciones de tráfico mediante herramientas computacionales se utilizan desde hace algunos años en el proceso de evaluación de cambios en la red vial y sus impactos en el tráfico. Con esta se busca reproducir el comportamiento de cada vehículo y sus conductores de la manera más realista posible y se utilizan para evaluar los efectos en el tráfico por cambios en la malla vial, como por ejemplo, construir un carril extra en un segmento de vía originalmente de dos carriles, que de otra manera serían difíciles de evaluar.

En este artículo se demostrará por medio de simulaciones de tráfico, cómo reducciones en secciones viales de una red subutilizada, no afectan el desempeño de la red de manera significativa. Para este fin, se utilizarán algunas de las aplicaciones básicas del software de micro simulación de tráfico VISSIM.

Para nuestro procedimiento de análisis se definen unos límites de análisis mediante un polígono cerrado que contiene el área de estudio. En el programa de micro-

1 N. Bobylev. Mainstreaming sustainable development into a city's Master plan: A case of Urban Underground Space use. En: *Land Use Policy journal*. 2009.

2 La ley 388 de 1997, Ley de Desarrollo Territorial Municipal, establece que en el POT se debe prever espacio público no vial equivalente 15 m² por habitante. Actualmente, la proporción promedio en Bogotá es cercana a los 4.5 m² por habitante, existiendo sobre el tipo de espacio que se incluye en esta cuantificación.

3 C. Smith, G. Levermore. *Designing urban spaces and buildings to improve sustainability and quality of life in a warmer world*. 2008

4 Bobylev, Op. Cit.

5 G. Kaul. *Ecologically Oriented Planning*. 2000

6 A. Bertaud. *The spatial organization of cities: Deliberate outcome of unforeseen consequences*. 2006.

7 Acevedo et al. *El transporte como soporte al desarrollo de Colombia. Una visión al 2040*. 2008

8 Acevedo, Op. Cit.

simulación VISSIM se construye la red que se encuentra dentro del polígono previamente definido y se establecen los flujos vehiculares que por ella transitan. Los vehículos entran y salen al área de análisis en los puntos en los que el polígono cerrado corta las vías, siguiendo una distribución probabilística predeterminada y con unas rutas preestablecidas.

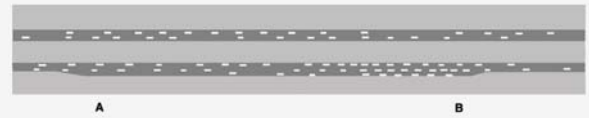


Imagen de modelación en VISSIM.

Estos volúmenes de tráfico, así como las características físicas de la red, se pueden modificar con el fin de encontrar la configuración vial que optimice parámetros de evaluación como los tiempos de viaje de todos los vehículos que circulan por esta zona.

El objetivo de esta simulación es hacer evaluación y comparación cualitativa. Es decir, no se pretende reproducir los volúmenes de tráfico actual de manera exacta, para lo cual se necesitaría una serie de aforos y toma de datos muy extensa que no son el objetivo de este ejercicio. Se simulan diferentes volúmenes de tráfico, posiblemente muy superiores a los que puedan llegar a circular por estas zonas, con el fin de demostrar que en la configuración de estas intersecciones (las calles que las componen, sus sentidos y cómo se interconectan) existen tramos de vías que no se necesitan.

Casos de Estudio

Dentro del gran número de casos que se pueden encontrar en Bogotá, hemos escogido dos para ejemplificar la situación y uno de ellos para hacer una simulación.

El primero de los casos es en el barrio San Felipe, al costado occidental de la avenida Caracas entre calles 74 y 76. En éste, se tiene una vía de dos calzadas de dos carriles en ambos sentidos. La calzada en sentido oriente remata en la Avenida Caracas, en un cierre que obliga el giro en U, siendo una vía que sirve primordialmente como vía de acceso al barrio. La corta longitud de esta vía, la cual está girada respecto a la orientación de la trama vial de la zona y la falta de conectividad que ofrece son las principales causas del bajo volumen de tráfico que por ella transita. Al no utilizarse esta vía para la movilidad del sec-

tor, su mantenimiento no es una prioridad y actualmente presenta un avanzado estado de deterioro.

Una reconfiguración basada en una sección vial más acorde con los requerimientos de tráfico permitiría un reciclaje de área pavimentada en andenes amplios o incluso un parque de *bolsillo*.

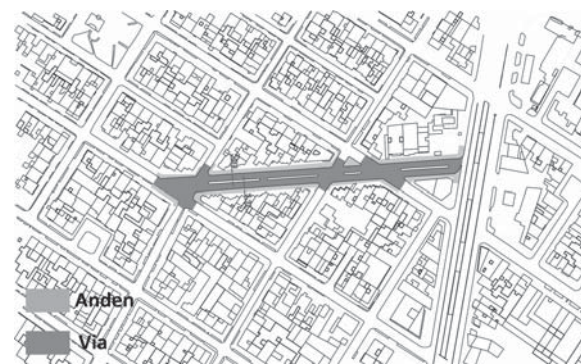
El segundo caso de estudio es el análisis de la red vial en una zona del barrio Chapinero Norte cerca a la iglesia de Lourdes.

En sentido oriente-occidente, la calle 62, pese a ser una vía continua entre la carrera séptima y la carrera 13, funciona como una vía de acceso debido a que, a diferencia de las calles 64 y 60, sí presenta cruces de la carrera 13 y la Avenida Caracas. Esta vía, entre las carreras 8 y 10 presenta una sección de más de 14 metros (más ancha que una calzada de la séptima).

Por otro lado, existe un espacio urbano amplio sobre la carrera 8 entre calles 62 y 64, con dos islas grandes embebidas dentro del pavimento de las vías. Dos islas poco accesibles y que no son utilizadas como espacio público peatonal, sino como elementos encausadores de tráfico. Esto se debe a que las calzadas para el tráfico predominan dentro del espacio, dando a entender que es un espacio para los carros.



Diagonal 75.
Fotografías: Alvaro Rodríguez-Valencia y Pablo Posada



Diagonal 75 - Av. Caracas, San Felipe.



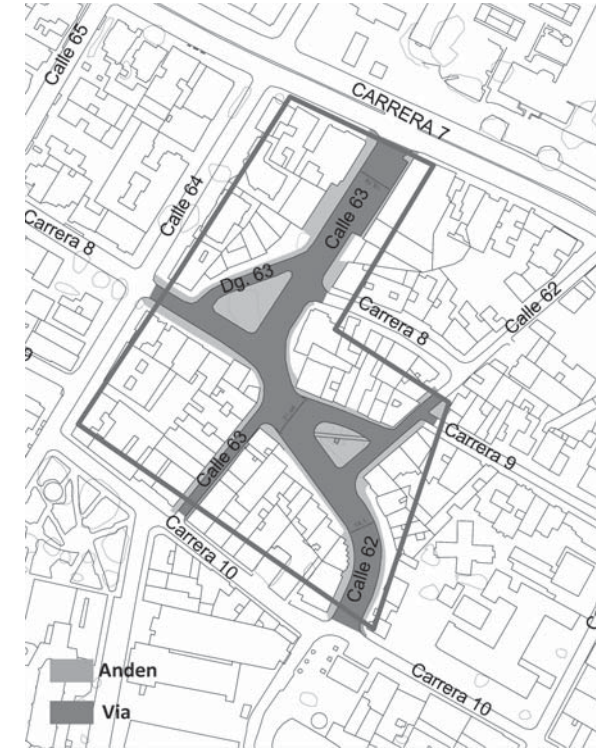
Cll 63-Cr 7. Planta con polígono que delimita zona de análisis e imágenes del lugar.

Propuesta

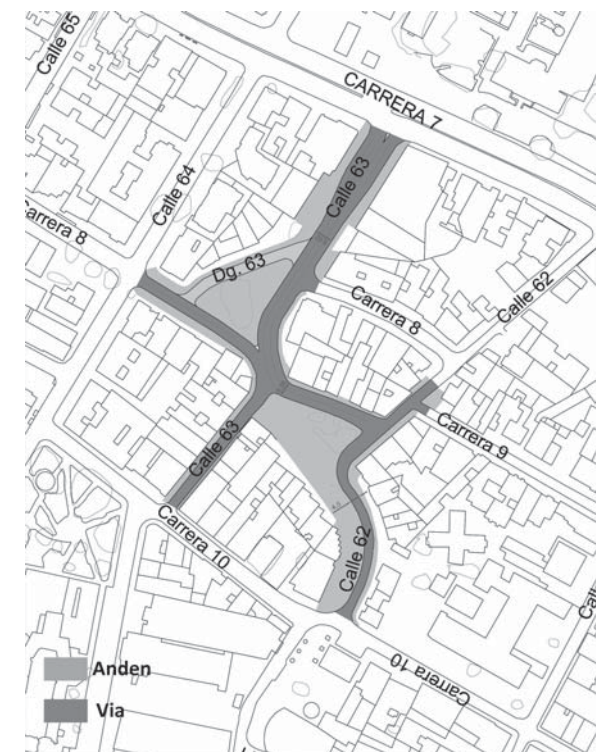
La propuesta de reconfiguración que se presenta incluye la reducción de la sección de la calle 62 de 14 metros (doble sentido) a 4,50 (un solo sentido), la construcción de un pompeyano en la Diagonal 63 y la eliminación de la Cr 9 entre calles 62 y 63. Las construcciones que se encuentran sobre esta última vía, corresponden a la Universidad Konrad Lorenz y no presentan accesos vehiculares, lo cual permite su eliminación. Además, al suspender la isla se suprime uno de los tres ingresos a la intersección de la 63 con 9a, dejando dos vías de ingreso y dos de salida.

Modelación, análisis y resultados

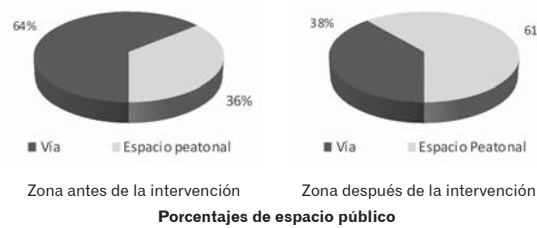
Al simular las dos redes (la actual y la intervenida con reducciones de la sección) con el tráfico promedio, no presentó ningún cambio de desempeño.



7. Cll 63 - Cr 7. Situación Actual



8. Cll 63 - Cr 7. Propuesta



Vista 3-D de simulación en VISSIM



Cll 63-Cr 9a en la actualidad.



Cll 63-Cr 9 propuesta

La eliminación del sentido oriente de la calle 62 y de su acceso a la intersección de la calle 63 con carrera 9a, distribuye el tráfico que utilizaba esta conexión entre la Cll 63 y la Cll 61 y posteriormente la carrera 9a hacia el norte, permitiendo así las mismas conexiones de la situación actual.

Teniendo en cuenta que la red es exigida al máximo cuando el volumen de tráfico es el correspondiente a la horas pico, se corrió la simulación de nuevo bajo esta condición para las dos redes. En ambos casos se forman algunas filas en la intersección de la 63 con 9a. Contrario a lo que se pensaría, el hecho de haber suprimido un ingreso a esta intersección y de haber canalizado el tráfico en secciones homogéneas, redujo los conflictos entre vehículos y mejoró la situación de congestión. Sin

embargo, en caso de que el flujo fuera más alto, el cruce en mención necesitaría un semáforo.

La intervención permite reciclar más del 40% del área vial en andenes y zonas verdes, cambiando el carácter principalmente vehicular actual de la zona, por una vocación eminentemente peatonal.

El volumen total de tráfico máximo que se utilizó para la simulación es mayor al actual, lo cual muestra que la propuesta permite un margen amplio para el desarrollo de la zona. De cualquier manera, el volumen de tráfico futuro atraído por un desarrollo en el sector, estará condicionado por la dimensión actual de las vías en los puntos de acceso al polígono de análisis (Cll 63-Kr 10 y Cll 62-Kr 8), las cuales no se modificaron.

Conclusiones

Los impactos principales de la intervención fueron:

- No afectar el flujo normal de los vehículos.
- Mejorar el desempeño de la red en horas de alto flujo.
- Reciclar más del 40% del área vial en andenes y zonas verdes, cambiando el carácter actual principalmente

vehicular de la zona por una vocación eminentemente peatonal.

El camino de densificación que ha elegido Bogotá no puede ir en detrimento de la calidad urbana de

la ciudad ni la calidad de vida de sus ciudadanos. La densificación, que busca optimizar el suelo privado reproduciéndolo en altura, debe implicar también una optimización del espacio público. Las herramientas computacionales de modelación de tráfico permiten optimizar esta categoría espacial, determinando una relación directa entre el volumen de tráfico y la sección vial y liberando el espacio público peatonal. Análisis como este son el origen y justificación de proyectos potenciales de espacio público de relativo bajo costo (no implican la compra de predios).

Las herramientas de ingeniería deben formar parte activa del proceso de diseño de proyectos urbanos. Es necesaria una mayor retroalimentación entre disciplinas afines

como la ingeniería y la arquitectura para lograr proyectos urbanos (pequeñas intervenciones urbanas) integrales.

Este tipo de ejercicios interdisciplinarios, que son el resultado de la estructura transversal de la Universidad de los Andes, demuestran la utilidad del trabajo conjunto con diferentes disciplinas.

El sardinel ha sido el límite entre el transporte y el espacio peatonal. Pese a la cantidad de posibilidades existentes para mejorar la relación entre estos usos, siempre ha existido el temor de transgredir la otra esfera al mover la línea divisoria. Este ejercicio evidencia un potencial latente para mejorar el espacio público y hacer más eficiente la red vial secundaria y terciaria.

Glosario

Rehabilitación: es un tipo de mantenimiento que se le hace a las vías que consiste en cambiar la carpeta asfáltica. Dentro de los mantenimientos puede haber desde re-parcheo hasta reconstrucción parcial o total.

Calzada: Es la zona de la vía destinada a la circulación de vehículos, enmarcada entre sardineles. Una calzada puede tener uno o varios carriles.

Carril: espacio demarcado dentro de la calzada para el tránsito de una fila de vehículos.

Flujo vehicular: Es el número de vehículos que pasan por una sección de la vía en un tiempo determinado.

Bibliografía

Acevedo et al. *El transporte como soporte al desarrollo de Colombia. Una visión al 2040*. Ediciones Uniandes, Bogotá –IDU, 2008

Bertaud, A. *The spatial organization of cities: Deliberate outcome of unforeseen consequences*, www.alain-bertaud.com (2004) (revisado: sep-2006).

Instituto de desarrollo Urbano IDU de: http://www.idu.gov.co/web/guest/malla_inventario revisada 10 marzo de 2009.

Bobylev, N. "Mainstreaming sustainable development into a city's Master plan: A case of Urban Underground Space use". En: *Land Use Policy journal*. 2009. Volumen 26. En: <http://www.sciencedirect.com/science/journal/02648377>

Cal y Mayor, R., Cárdenas, J. *Ingeniería de Tránsito*. 8ª. Edición Alfaomega, Mexico, 2007

Chocontá, P. *Diseño Geométrico de Vías*. 1ª Edición, Escuela Colombiana de Ingeniería, Bogotá, 1999

Secretaría de Tránsito y Transporte de Bogotá (STTB). *Cartilla de volúmenes vehiculares 2000-2004*, Artegrafía México, 2005

Smith, C.,Levermore, G., *Designing urban spaces and buildings to improve sustainability and quality of life in a warmer world*. Energy Policy (2008), doi:10.1016/j.enpol.2008.09.011

Kaule, G.: *Ecologically Orientated Planning*. Ediciones Peter Lang, Frankfurt, 2000